

PROSES MANUFACTURE

Tim Penyusun:

Muhammad Shobur

Edi Supriyadi

Rully Nur Dewanti

Budi Aprina

Anthon Rudy Wardyanto



Jl. Surya Kencana No. 1 Pamulang
Gd. A, Ruang 212 Universitas Pamulang
Tangerang Selatan – Banten

PROSES MANUFACTURE

Penyusun:

Muhammad Shobur
Edi Supriyadi
Rully Nur Dewanti
Budi Aprina
Anthon Rudy Wardyanto

ISBN: 978-623-6352-06-9

Editor:

Adi Candra

Desain sampul:

Adi Candra

Tata letak:

Kusworo

Penerbit:

Unpam Press

Redaksi:

Jl. Surya Kencana No. 1
R. 212, Gd. A Universitas Pamulang Pamulang | Tangerang Selatan | Banten Tlp/Fax:
021. 741 2566 – 7470 9855 Ext: 1073
Email: unpampress@unpam.ac.id

Cetakan pertama, 22 Juni 2021

Hak cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang memperbanyak karya tulis dalam bentuk cetak dengan cara apapun tanpa ijin
tertulis dari penerbit

DATA PUBLIKASI UNPAM PRESS

| Lembaga Penerbit dan Publikasi Universitas Pamulang

Gedung A. R. 212 Kampus 1 Universitas Pamulang
Jalan Surya Kencana Nomor 1. Pamulang Barat, Tangerang Selatan, Banten.
Website: www.unpam.ac.id | email: unpampress@unpam.ac.id

Proses Manufacture / Muhammad Shobur, Edi Supriyadi, Rully Nur Dewanti,
Budi Aprina, Anthon Rudy Wardyanto - 1sted

ISBN: **978-623-6352-06-9**

1. *Proses Manufacture* I. Muhammad Shobur, II. Edi Supriyadi, III. Rully Nur Dewanti, IV. Budi Aprina, V. Anthon Rudy Wardyanto.

M148-22072021-01

Ketua Unpam Press: Pranoto

Koordinator Editorial: Aden, Ali Madinsyah

Koordinator Hak Cipta: Susanto

Koordinator Produksi: Dameis Surya Anggara

Koordinator Publikasi dan Dokumentasi: Kusworo

Desain Cover: Putut Said Permana

Cetakan pertama, 22 Juni 2021

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang menggandakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh buku ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin penerbit

PROSES MANUFACTURE

IDENTITAS MATA KULIAH

Program Studi	: Teknik Industri S-1
Mata Kuliah/Kode	: Proses <i>Manufacture</i> / TIN0132
Sks	: 2 Sks
Prasyarat	: Gambar Teknik
Semester	: III
Deskripsi Mata Kuliah	: Mata kuliah Proses <i>Manufacture</i> merupakan Matakuliah pokok/ inti Program Studi S.1 Teknik Industri yang membahas tentang Proses <i>Manufacture</i> dari sebuah proses, material yang digunakan, sifat perubahan bentuk dari material, tahapan proses seperti <i>casting</i> , <i>welding</i> , permesinan serta teknologi yang digunakan dalam proses <i>manufacture</i> dalam mengubah material baku menjadi sebuah produk.
Capaian Pembelajaran	: Setelah menyelesaikan Matakuliah ini mahasiswa diharapkan mampu mengetahui dan mengidentifikasi material, alat, mesin dan teknologi yang dapat digunakan dalam mengubah atau mentransformasi material menjadi sebuah bentuk yang memiliki <i>value</i> lebih, serta rancangan proses yang dilakukan dalam proses <i>manufacture</i> yang dapat membuat proses atau pekerjaan dapat berlangsung lebih efektif dan efisien secara terukur dan terintegrasi pada tiap proses <i>manufacture</i>
Penyusun	: 1. Muhammad Shobur 2. Edi Supriyadi 3. Rully Nur Dewanti 4. Budi Aprina 5. Anthon Rudy Wardyanto

Ketua Program Studi

Ketua Tim Penyusun

Rini Alfatiyah, S.T, M.T.
NIDN: 0418038102

Muhammad Shobur, S.T, M.T.
NIDN: 0427088903

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah- Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Modul Proses *Manufacture* ini. Tak lupa juga kita panjatkan Sholawat dan Salam kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW semoga memberikan safaatnya di hari akhir nanti, Amin.

Terselesainya Modul Proses *Manufacture* ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Dr. (HC) Drs. H. Darsono. Selaku ketua Yayasan Universitas Pamulang yang telah membangun Universitas Pamulang ini menjadi berkualitas;
2. Dr. E. Nurzaman AM, M.M., M.Si. Selaku Rektor Universitas Pamulang yang telah memberikan banyak motivasi kepada penulis;
3. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Modul Proses *Manufacture* ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa pada modul ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis selalu berusaha untuk tetap membuka diri terhadap semua masukan kritik dan saran yang membangun dan berguna untuk penyempurnaan dimasa yang akan datang dan pada akhirnya semoga Modul Proses *Manufacture* dapat memberikan kontribusi yang berarti dan bermanfaat bagi semua pihak.

Tangerang Selatan, Juni 2021

DAFTAR ISI

PROSES MANUFACTURE.....	II
DATA PUBLIKASI UNPAM PRESS	III
KATA PENGANTAR	V
DAFTAR ISI.....	VI
DAFTAR GAMBAR.....	XI
DAFTAR TABEL	XVIII
PERTEMUAN 1	1
MANUFACTURING	1
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	1
B. URAIAN MATERI.....	1
1. Definisi Manufacture	1
2. Industri Dan Produk Manufacture.....	2
3. Material dalam Manufacturing.....	5
4. Manufacturing Processes.....	8
C. LATIHAN SOAL / TUGAS	17
D. DAFTAR PUSTAKA.....	18
PERTEMUAN 2	19
METALS	19
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	19
B. URAIAN MATERI.....	19
1. Alloys dan Phase Diagram.....	19
2. Logam Besi.....	23
C. LATIHAN SOAL/TUGAS	35
D. DAFTAR PUSTAKA.....	36
PERTEMUAN 3	37
METAL CASTING.....	37
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	37

B. URAIAN MATERI.....	37
1. Definisi Fundamental Casting Logam.....	37
2. Teknologi Dalam Pengecoran.....	39
3. Solidifikasi dan Pendinginan	43
C. LATIHAN SOAL / TUGAS	51
D. DAFTAR PUSTAKA.....	51
PERTEMUAN 4	52
PROSES METAL CASTING	52
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	52
B. URAIAN MATERI.....	52
1. Proses Pengecoran Logam.....	52
2. Proses Pengecoran Cetakan yang Dapat Dihasilkan	59
3. Proses Pengecoran Cetakan Permanen (Permanent-Mold Casting Processes).....	61
4. Praktek Pengecoran	64
5. Kualitas Casting.....	66
6. Logam untuk Pengecoran	69
7. Pertimbangan Desain Produk	71
C. LATIHAN SOAL / TUGAS	73
D. DAFTAR PUSTAKA.....	73
PERTEMUAN 5	74
DASAR-DASAR PENGELASAN (WELDING)	74
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	74
B. URAIAN MATERI.....	74
1. Tinjauan Teknologi Pengelasan.....	74
2. Sambungan las.....	78
3. Fitur dari Sambungan Las Fusi	83
C. LATIHAN SOAL/TUGAS	85
D. DAFTAR PUSTAKA.....	85
PERTEMUAN 6	86
PROSES PENGELASAN (WELDING).....	86
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	86

B. URAIAN MATERI.....	86
1. Proses Pengelasan.....	86
2. Pengelasan Resistensi / Resistance Welding (RW)	102
3. Pengelasan Gas Oxyfuel / Oxyfuel Gas Welding (OFW).....	113
4. Weldability Kemampuan Las.....	117
5. Pertimbangan Desain dalam Pengelasan	118
C. LATIHAN SOAL TUGAS	120
D. DAFTAR PUSTAKA.....	120
PERTEMUAN 7	121
PROSES DEFORMASI Pengerjaan Logam	121
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	121
B. URAIAN MATERI.....	121
1. Rolling.....	121
2. Forging.	126
3. Ekstrusi.....	133
C. LATIHAN SOAL/TUGAS	139
D. DAFTAR PUSTAKA.....	139
PERTEMUAN 8	140
PERMESINAN	140
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	140
B. URAIAN MATERI.....	140
1. Teori Permesinan Logam.....	140
2. Teknologi Permesinan	142
3. Teori Pembentukan Chip dalam Permesinan Logam	147
4. Perkiraan Mengubah Dengan Pemotongan Orthogonal.....	155
5. Suhu Pemotongan	155
C. SOAL – SOAL / LATIHAN	156
D. DAFTAR PUSTAKA.....	156
PERTEMUAN 9	157
Pengerjaan Logam Lembaran	157
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	157
B. URAIAN MATERI.....	157

1. Operasi Pemotongan	158
2. Operasi Pembengkokan	167
3. Peralatan dan Ekonomi untuk Pressworking Lembaran-Logam	170
4. Operasi Lembaran-Logam Tidak Dilakukan pada Mesin Press	177
5. Pembengkokan Stok Tube	182
C. SOAL LATIHAN	185
D. DAFTAR PUSTAKA	185
PERTEMUAN 10	186
TEKNOLOGI ALAT PEMOTONG	186
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	186
B. URAIAN MATERI	186
1. Bahan Alat	186
2. Alat Geometri	189
C. SOAL DAN LATIHAN	201
D. DAFTAR PUSTAKA	202
PERTEMUAN 11	203
TEKNOLOGI OTOMASI UNTUK SISTEM MANUFAKTUR	203
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	203
B. URAIAN MATERI	203
1. Pengantar Teknologi Otomasi	203
2. Dasar-dasar Otomasi	204
3. Perangkat Keras Untuk Otomasi	206
4. Industri Robotik	211
C. LATIHAN SOAL/TUGAS	220
D. DAFTAR PUSTAKA	220
PERTEMUAN 12	221
SISTEM MANUFAKTUR TERINTEGRASI	221
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	221
B. URAIAN MATERI	221
1. Pengantar Sistem Manufaktur Terintegrasi	221
2. Dasar-dasar Lini Produksi	225
3. Jalur Perakitan Manual	229

4. Jalur Produksi Otomasi	235
5. Manufaktur cell	242
6. Sistem Manufaktur dan Cell yang Fleksibel.....	247
C. LATIHAN SOAL/TUGAS	253
D. DAFTAR PUSTAKA.....	254
PERTEMUAN 13	255
SISTEM OTOMASI UNTUK MANUFAKTUR	255
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	255
B. URAIAN MATERI.....	255
1. Pengantar Sistem Otomasi untuk Manufaktur	255
2. Otomasi Industri.....	256
3. Prinsip Computer Integrated Manufacturing (CIM)	260
4. Computer Aided Design (CAD)	263
C. LATIHAN SOAL/TUGAS	268
D. DAFTAR PUSTAKA.....	269
PERTEMUAN 14	270
ROBOTIKA INDUSTRI	270
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	270
B. URAIAN MATERI.....	270
1. Robot Anatomi Dan Atribut Terkait.....	270
2. Sistem Kontrol Robot	276
3. Mengakhiri Efektor	278
4. Penerapan Robot Industri	281
5. Pembuatan Robot.....	291
6. Akurasi dan Repeatabilitas Robot.....	296
C. LATIHAN SOAL/TUGAS	299
D. DAFTAR PUSTAKA.....	299
GLOSARIUM	300
DAFTAR PUSTAKA.....	305
RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER	302
(RPS).....	302

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Dua Cara Untuk Mendefinisikan <i>Manufacture</i> :.	1
Gambar 1.3 Hubungan Antara Variasi Produk Dan Kuantitas Produksi	4
Gambar 1.4 Klasifikasi Empat Bahan Teknik	5
Gambar 1.5 Klasifikasi Proses <i>Manufacture</i>	9
Gambar 1.6 Proses Pengecoran Dan Pencetakan.....	11
Gambar 1.7 Pemrosesan Partikulat.	12
Gambar 1.8 Beberapa Proses Deformasi Yang Umum.....	13
Gambar 1.9 Operasi Pemesinan Umum.	13
Gambar: 2.1 Dua Bentuk Solusi Padat	21
Gambar: 2.2 Fase Diagram Untuk Paduan Tembaga-Nikel Sistem	22
Gambar: 2.3 Fase Diagram Untuk Besi-Karbon Sistem, Hingga Sekitar 6% Karbon... ..	24
Gambar: 2.4 Tungku Pembuatan Besi	26
Gambar: 2.5 Diagram <i>Skematik</i> Menunjukkan Rincian Operasi Tanur Tinggi.	26
Gambar: 2.6 Dasar Tungku Oksigen Menunjukkan Kapal Bof.	28
Gambar: 2.7 Urutan Bof Selama Siklus Pemrosesan.....	29
Gambar: 2.8 Listrik <i>Arc Furnace</i> Untuk Pembuatan Baja.	30
Gambar: 2.9 Cetakan Batangan Besar Dan Bawah Tipikal.....	31
Gambar: 2.10 Pengecoran Kontinyu	32
Gambar: 3.11 Karbon Dan Silikon	33
Gambar 3.1 Klasifikasi Proses Solidifikasi.	37
Gambar 3.2 Dua Bentuk Cetakan: (A) Cetakan Terbuka, Dan (B) Cetakan Ditutup	40
Gambar 3.3 Spiral Tes Cetakan Untuk Cairan	42
Gambar 3.4 Pendinginan Kurva Untuk Logam Murni Selama <i>Casting</i>	44

Gambar 3.5 Struktur Butir Karakteristik Dalam Paduan <i>Casting</i> ,	47
Gambar 3.6 Penyusutan Dari Pengecoran Silinder Selama Solidifikasi	48
Gambar 4.1 Pasir <i>Casting</i> Untuk Pompa Industri.....	53
Gambar 4.2 Langkah-Langkah Dalam Urutan Produksi Dalam Penuangan Pasir.....	54
Gambar 4.3 Jenis Pola Yang Digunakan Dalam Pengecoran Pasir	55
Gambar 4.4 (A) Inti Tertahan Di Dalam Rongga Cetakan Oleh Kapell.	56
Gambar 4.5 Langkah-Langkah Dalam Pembuatan Cetakan Kerang.....	59
Gambar 4.6 Langkah-Langkah Dalam Cetakan Vakum	60
Gambar 4.7 Steps In Permanent-Mold Casting:.....	62
Gambar 4.8 Tekanan Rendah Pengecoran.....	64
Gambar 4.9 Tiga Jenis Tungku Wadah.....	66
Gambar 4.10 Beberapa Cacat Umum Di Coran	68
Gambar 4.11 Rancangan Ubah Untuk Menggunakan Inti	72
Gambar 5.1 Dasar-Dasar Pengelasan Busur: Sebelum Pengelasan.	75
Gambar 5.2 Lima Tipe Dasar Sambungan.....	79
Gambar 5.3 Berbagai Bentuk Las Fillet.	80
Gambar 5.4 Beberapa Las Alur Yang Umum.....	81
Gambar 5.5 (A) Las Busi Dan (B) Las Celah.	82
Gambar 5.6 (A) Pengelasan Titik Dan (B) Pengelasan Jahitan.....	82
Gambar 5.7 (A) Las Sayap Dan (B) Las Permukaan.	82
Gambar 5.8 Penampang Melintang Dari Sambungan Las Fusi Yang Khas	84
Gambar 6.1 Konfigurasi Dasar Dan Sirkuit Listrik Dari Proses Pengelasan Busur.....	87
Gambar 6.2 Pengelasan Busur Logam Berpelindung	92
Gambar 6.3 Pengelasan Busur Logam Berpelindung	93
Gambar 6.4 Pengelasan Busur Logam Gas.....	93

Gambar 6.5 Pistol Las Untuk Pengelasan Busur Logam Gas	95
Gambar 6.6 Pengelasan Busur Berinti <i>Fluks</i>	96
Gambar 6.7 Pengelasan Elektrogas Menggunakan Kawat Elektroda	97
Gambar 6.8 Pengelasan Busur Terendam.....	98
Gambar 6.9 Gas Pengelasan Busur Tungsten.....	99
Gambar 6.10 Pengelasan Busur Plasma	101
Gambar 6.11 Pengelasan Busur Stud (1) Stud Diposisikan.	102
Gambar 6.12. <i>Resistance Welding (Rw)</i> ,	103
Gambar 6.13 (A) Langkah-Langkah Dalam Pengelasan Titik Resistansi	106
Gambar 6.14 Mesin Las Tempat Lengan Rocker	107
Gambar 6.15 Pengelasan Jahitan Resistansi	108
Gambar 6.16 Berbagai Jenis Sambungan Yang Dihasilkan Oleh Roda Elektroda: ...	109
Gambar 6.17 <i>Resistance Projection Welding (Rpw)</i>	110
Gambar 6.19 <i>Flash Welding (Fw)</i>	111
Gambar 6.20 Pengelasan Lapisan Tabung Dengan	112
Gambar 6.21 Operasi Pengelasan Oksiasetilen Biasa.....	113
Gambar 6.22 Api Netral Dari Obor Oksiasetilen, Menunjukkan Suhu Yang Dicapai..	114
Gambar 6.23 Penerapan Pengelasan Gas Bertekanan.	117
Gambar 6.24 Posisi Pengelasan.....	119
Gambar 7.1 Proses <i>Rolling</i>	122
Gambar 7.2 Beberapa Produk Baja Dibuat Di <i>Rolling Mill</i>	123
Gambar 7.3 Tampilan Samping Dari <i>Flat Rolling</i>	124
Gambar 7.4 Berbagai Konfigurasi <i>Rolling Mills</i>	125
Gambar 7.5 Tipe-Tipe Operasi <i>Forging</i>	127
Gambar 7.6 Deformasi Homogen Dalam Operasi <i>Open-Die Forging</i>	128

Gambar 7.7 Beberapa Operasi Penempaan Cetakan Terbuka	130
Gambar 7.8 Urutan Dalam <i>Impression-Die Forging</i>	131
Gambar 7.10 Penempaan Tanpa <i>Flash</i>	133
Gambar 7.10 Ekstrusi Langsung	134
Gambar 7.11 Ekstrusi Tidak Langsung	135
Gambar 7.12 Penampang Yang Diekstrusi Kompleks Untuk <i>Heat Sink</i>	137
Gambar 7.13 Beberapa Cacat Umum Dalam Ekstrusi	138
Gambar 8.1 Klasifikasi Proses Pemindahan Material	141
Gambar 8.2 (A) Tampilan Penampang Proses Permesinan	141
Gambar 8.3 Tiga Jenis Proses Permesinan Yang Paling Umum	144
Gambar 8.4 (As) Pahat Satu Titik Menunjukkan Permukaan Rake,	145
Gambar 8.5 Kecepatan Potong, Umpan, Dan Kedalaman Potong	146
Gambar 8.6 Pemotongan Ortogonal	148
Gambar 8.7 Regangan Geser Selama Pembentukan <i>Chip</i>	150
Gambar 8.8 Tampilan Formasi <i>Chip</i> Yang Lebih Realistis	152
Gambar 8.9 Empat Jenis Pembentukan <i>Chip</i>	153
Gambar 8.10 Gaya Dalam Pemotongan Logam.	154
Gambar 9. 1 Pemotongan Lembaran Logam Antara Dua Ujung Tajam	159
Gambar 9. 2 Karakteristik Tepi Geser Pekerjaan	160
Gambar 9. 3 Operasi Geser	160
Gambar 9. 4 (A) Blanking Dan (B) Punching	161
Gambar 9. 5 Efek Jarak Bebas	162
Gambar 9. 6 Ukuran Cetakan Menentukan Ukuran Kosong	163
Gambar 9. 7 Jarak Sudut	164
Gambar 9. 8 (A) Cutoff Dan (B) Perpisahan	165

Gambar 9. 9 <i>Slotting</i> , (B) Perforasi, (C) Dan <i>Seminotching</i>	165
Gambar 9. 10 (A) Mencukur Dan (B) Blanking Halus, Simbol V = Gerak Pukulan, ...	167
Gambar 9. 11 (A) Pembekokan Lembaran Logam	168
Gambar 9. 12 Dua Metode Pembengkokan Umum.....	168
Gambar 9. 13 Flanging: (A) Flang Lurus, (B) Flang Regang, Dan (C) Flens Menyusut	169
Gambar 9. 14 (A) <i>Hemming</i> , (B) <i>Seaming</i> , Dan (C) <i>Curling</i>	169
Gambar 9. 15 Berbagai Operasi Tekukan.....	170
Gambar 9. 16 Komponen Mesin Press (Penggerak Mekanis) Tipikal.....	171
Gambar 9. 17 Press Bingkai Celah Untuk Pengerjaan Logam Lembaran	172
Gambar 9.18 Tekan <i>Frame</i> Lurus.....	174
Gambar 9.19 Beberapa Bagian Lembaran Logam.....	175
Gambar 9.20 Mesin <i>Press Turret</i> Kontrol Numerik Computer	176
Gambar 9.21 Press Bingkai Sisi Lurus.....	176
Gambar 9.22 Jenis Penggerak Untuk Pengepres Lembaran Logam	177
Gambar 9.23 Pembentukan Regangan.....	178
Gambar 9.24 <i>Roll</i> Lentur.....	179
Gambar 9.25 Pembentukan Gulungan Dari Penampang Saluran Kontinu	179
Gambar 9.26 Pemintalan Konvensional.....	181
Gambar 9.27 <i>Shear Spinning</i> : (1) Penyetelan Dan (2) Penyelesaian Proses.....	181
Gambar 9.28 Dimensi Dan Istilah Untuk Tabung Bengkok	183
Gambar 9.29 Metode Pembengkokan Tabung	184
Gambar 10. 1 Hubungan Kekerasan Panas Khas Untuk Bahan Perkakas Yang Dipilih	188
Gambar 10. 2 (A) Tujuh Elemen Geometri Alat Satu Titik	190
Gambar 10. 3 Dua Metode <i>Chip</i> Pecah Dalam Alat Titik Tunggal.....	191

Gambar 10. 4 Tiga Cara Menahan Dan Menampilkan <i>Cutting Edge</i>	191
Gambar 10. 5 Bentuk Sisipan Yang Umum.....	192
Gambar 10. 6 Mata Bor	194
Gambar 10. 7 Bor Suling Lurus Yang Menggunakan Sisipan Yang Dapat Diindeks .	195
Gambar 10. 8 Mata Bor	196
Gambar 10. 9 Bor Sekop	197
Gambar 10. 10 Elemen Geometri Pahat Dari Pemotong Milling Polos 18 Gigi.....	198
Gambar 10. 11 Elemen Geometri Pahat Pemotong Milling Muka Empat Gigi	198
Gambar 10. 12 <i>Broach</i> : (A) Terminologi Geometri Gigi Dan (B) <i>Broach</i> Tipikal	200
Gambar 10. 13 Fitur Mata Gergaji	201
Gambar 11.1 Posisi Sistem Manufaktur Dalam Sistem Produksi Yang Lebih Besar.	203
Gambar 11.2 Elemen Sistem Otomasi.....	204
Gambar 11.3 Konverter Analog Ke Digital Bekerja	208
Gambar 11.4 Konverter Analog Ke Digital Bekerja.	209
Gambar 11.5 Komponen Utama Dari Pengontrol Logika Yang Dapat Diprogram.	210
Gambar 11.6 Manipulator Robot Industri Modern. (Foto Milik Adept Technology, Inc.)	212
Gambar 11.7 Lima Anatomi Umum Dari Robot Industri Komersial.....	214
Gambar 11.8 Robot <i>Gripper</i> : (A) Terbuka Dan (B) Tertutup.....	216
Gambar 11.10 Bagian Dari Jalur Perakitan Mobil Di Mana Robot.....	219
Gambar 12.1 Beberapa Jenis Peralatan Penanganan Material.....	223
Gambar 12.2 Konfigurasi Umum Dari Jalur Produksi.....	226
Gambar 12.3 Sebagian Dari Jalur Perakitan Manual.	230
Gambar 12.4 Jalur Transfer Pemesinan, Jenis Jalur Produksi Otomasi Yang Penting.	236
Gambar 12.5 Konfigurasi Mesin <i>Indeks Dial</i>	237

Gambar 12.6 Tiga Konfigurasi Umum Sistem Perakitan Beberapa Stasiun.	238
Gambar 12.7 Dua Bagian Yang Bentuk Dan Ukurannya Sama.	243
Gambar 12.8 Konsep Bagian Komposit.....	245
Gambar 12.9 Jenis <i>Cell</i> Mesin Teknologi Grup.....	246
Gambar 12.10 Empat Dari Lima Tipe Layout Fms	250
Gambar 12.11 Karakteristik Aplikasi Sistem Manufaktur Dan <i>Cell</i>	251
Gambar 12.12 Sebuah Sistem Manufaktur Fleksibel Lima Stasiun.....	252
Gambar 13.1 Kerangka Dasar Manufaktur Terintegrasi Komputer (Cim)	261
Gambar 13.2 Konfigurasi Cad Terdiri Dari Komputer	264
Gambar 13.3 Prosedur Csc.	265
Gambar 13.4 B-Rep Menggabungkan Batas Batas Yang Kokoh Bersama Sama.	265
Gambar 13.5 Sistem Pakar Yang Didasarkan Pada Aturan Produksi.	266
Gambar 13.6 Sistem Pemrograman Otomatis Untuk Pemesinan	268
Gambar 14.1 Diagram Konstruksi Robot Yang Menunjukkan Bagaimana Robot	271
Gambar 14.2 Lima Jenis Sambungan Yang Umum Digunakan Dalam Konstruksi Robot	272
Gambar 14.3 Struktur Kendali Hierarki Pengendali Mikrokomputer Robot.	276
Gambar 14.4 Robot Mekanik Gripper.	279
Gambar 14.5 Pengaturan Bagian Tipikal Untuk Operasi Pembuatan Palet Robot. ...	282
Gambar 14.6 <i>Cell</i> Las Busur Robot Tempat Robot Pengelasan Bergerak	285
Gambar 14.7 (A) Sistem Koordinat Dunia. (B) Sistem Koordinat Alat.	293

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Industri Tertentu Dalam Kategori Primer, Sekunder, Dan Tersier.....	3
Tabel 1.2 Peralatan Produksi Dan Perkakas Yang Digunakan.....	17
Tabel 3.1 Komposisi Dan Sifat Mekanis Dari Besi Tuang Terpilih.....	34
Tabel 3.1 Nilai Penyusutan Linear Tipikal Untuk Logam Cor	49
Tabel 4.1 Kepadatan Paduan <i>Casting</i> Yang Dipilih.....	58
Tabel 6.1 Faktor Perpindahan Panas Untuk Beberapa Proses Pengelasan Busur	90
Tabel 6.2 Gas Yang Digunakan Dalam Pengelasan.	116
Tabel 8.1 Kunci Konversi: Operasi Pembubutan Vs. Pemotongan Ortogonal.	155
Tabel 10. 1 Nilai Kekerasan Khas (Pada Suhu Kamar).....	187
Tabel 10. 2 Nilai Representatif Dari N Dan C Dalam Persamaan Taylor	188
Tabel 12.1 Lima Jenis Peralatan <i>Material Handling</i>	222
Tabel 12.2 Jenis Metode Dan Sistem Penanganan Material.....	225

PERTEMUAN 1 MANUFACTURING

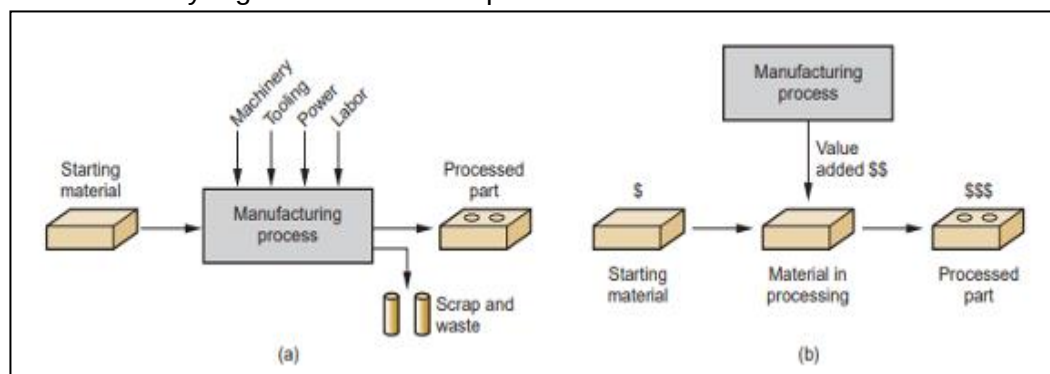
A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa dapat mengetahui definisi, sejarah serta perkembangan industri *manufacturing* dari waktu ke waktu, pemanfaatan teknologi yang digunakan serta sistem yang dapat diadopsi dalam proses *manufacturing*, mahasiswa juga mampu menelusuri beberapa organisasi dalam perkembangan proses *manufacturing*.

B. URAIAN MATERI

1. Definisi *Manufacture*

Kata *Manufacture* berasal dari dua kata Latin, manus (tangan) dan factus (membuat); cara kombinasi yang dibuat dengan tangan. Pembuatan kata dalam bahasa Inggris berusia beberapa abad, dan "dibuat dengan tangan" secara akurat menggambarkan metode manual yang digunakan ketika kata itu pertama kali diciptakan.¹ Sebagian besar *Manufacture* modern dilakukan dengan mesin otomatis dan yang dikendalikan komputer.



Gambar 1.1 Dua cara untuk mendefinisikan *Manufacture*: (a) sebagai proses teknis, dan (b) sebagai proses ekonomi.

Sebagai bidang studi dalam konteks modern, *Manufacture* dapat didefinisikan dalam dua cara, satu teknologi, dan ekonomi lainnya. Secara teknologi, *Manufacture* adalah penerapan proses fisik dan kimiawi untuk mengubah geometri, sifat, dan / atau tampilan bahan awal tertentu untuk membuat bagian atau produk; *Manufacture* juga mencakup perakitan beberapa bagian untuk membuat produk. Proses untuk mencapai *Manufacture* melibatkan

kombinasi mesin, perkakas, tenaga, dan tenaga kerja, seperti yang digambarkan pada Gambar 1.1 (a). *Manufacture* hampir selalu dilakukan sebagai urutan operasi. Setiap operasi membawa material lebih dekat ke keadaan akhir yang diinginkan.

Secara ekonomis, *Manufacture* adalah transformasi bahan menjadi barang-barang dengan nilai lebih besar melalui satu atau lebih operasi pemrosesan dan / atau perakitan, seperti yang digambarkan pada Gambar 1.1 (b). Poin utamanya adalah bahwa *Manufacture* menambah nilai material dengan mengubah bentuk atau sifatnya, atau dengan menggabungkannya dengan material lain yang telah diubah serupa. Materi telah dibuat lebih berharga operasi *Manufacture* dilakukan di atasnya. Ketika bijih besi diubah menjadi baja, nilai tambah. Saat pasir diubah menjadi kaca, nilai tambah. Ketika minyak bumi disuling menjadi plastik, nilai tambah. Dan ketika plastik dicetak menjadi geometri kompleks dari kursi teras, itu menjadi lebih berharga.

Kata *Manufacture* dan produksi sering digunakan secara bergantian. Pandangan penulis adalah bahwa produksi memiliki arti yang lebih luas daripada *Manufacture*. Sebagai ilustrasi, orang mungkin berbicara tentang "produksi minyak mentah", tetapi frasa "produksi minyak mentah" tampaknya tidak tepat. Namun bila digunakan dalam konteks produk seperti suku cadang logam atau mobil, kedua kata tersebut tampaknya tidak masalah (Groover, 2019)

2. Industri Dan Produk *Manufacture*

Manufacture merupakan aktivitas komersial penting yang dilakukan oleh perusahaan yang menjual produk kepada pelanggan. Jenis *Manufacture* yang dilakukan oleh suatu perusahaan bergantung pada jenis produk yang dibuatnya. Industri *Manufacture* terdiri dari perusahaan dan organisasi yang memproduksi atau memasok barang dan jasa. Industri dapat diklasifikasikan sebagai primer, sekunder, atau tersier. Industri primer membudidayakan dan mengeksploitasi sumber daya alam, seperti pertanian dan pertambangan. Industri sekunder mengambil output dari industri primer dan mengubahnya menjadi barang konsumsi dan modal. *Manufacture* adalah aktivitas utama dalam kategori ini, tetapi konstruksi dan utilitas listrik juga termasuk. Industri tersier merupakan sektor jasa perekonomian. Daftar industri tertentu dalam kategori ini disajikan pada Tabel 1.2.

Tabel 1.1 Industri tertentu dalam kategori primer, sekunder, dan tersier.

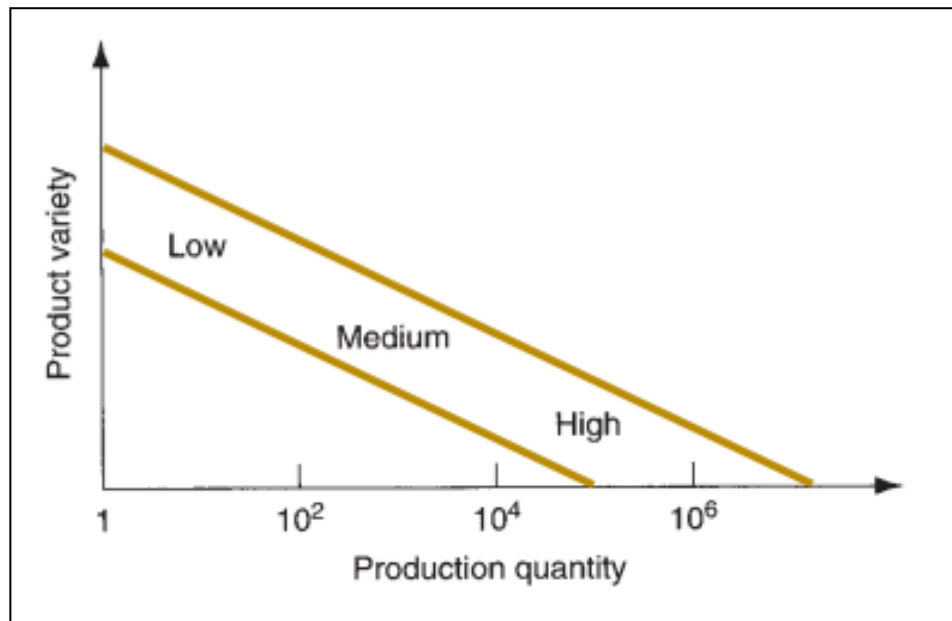
Primary	Secondary		Tertiary (service)	
Agriculture	Aerospace	Food processing	Banking	Insurance
Forestry	Apparel	Glass, ceramics	Communications	Legal
Fishing	Automotive	Heavy machinery	Education	Real estate
Livestock	Basic metals	Paper	Entertainment	Repair and maintenance
Quarries	Beverages	Petroleum refining	Financial services	Restaurant
Mining	Building materials	Pharmaceuticals	Government	Retail trade
Petroleum	Chemicals	Plastics (shaping)	Health and medical	Tourism
	Computers	Power utilities	Hotel	Transportation
	Construction	Publishing	Information	Wholesale trade
	Consumer appliances	Textiles		
	Electronics	Tire and rubber		
	Equipment	Wood and furniture		
	Fabricated metals			

Kuantitas Produksi dan Ragam Produk Kuantitas produk yang dibuat oleh sebuah pabrik memiliki pengaruh penting terhadap cara orang, fasilitas, dan prosedurnya diatur. Kuantitas produksi tahunan dapat diklasifikasikan menjadi tiga rentang:

- Produksi rendah, kuantitas dalam rentang 1 hingga 100 unit per tahun
- Produksi sedang, dari 100 hingga 10.000 unit per tahun
- Produksi tinggi, 10.000 hingga jutaan unit.

Batas-batas ini dapat bergeser dengan urutan besarnya atau lebih. Kuantitas produksi mengacu pada jumlah unit yang diproduksi setiap tahun dari jenis produk tertentu. Beberapa pabrik menghasilkan berbagai jenis produk yang berbeda, masing-masing jenis dibuat dalam jumlah rendah atau sedang. Pabrik lain mengkhususkan diri pada produksi tinggi hanya satu jenis produk. Mengidentifikasi variasi produk sebagai parameter adalah instruktif, berbeda dari kuantitas produksi. Variasi produk mengacu pada desain atau tipe produk berbeda yang diproduksi di pabrik. Produk yang berbeda memiliki bentuk dan ukuran yang berbeda; mereka menjalankan fungsi yang berbeda; mereka ditujukan untuk pasar yang berbeda; beberapa memiliki lebih banyak komponen daripada yang lain; Dan seterusnya. Jumlah jenis produk berbeda yang dibuat setiap tahun dapat dihitung. Ketika jumlah jenis produk yang dibuat di pabrik tinggi, ini menunjukkan keragaman produk yang tinggi. Ada korelasi terbalik antara variasi produk dan kuantitas produksi dalam kaitannya dengan operasi pabrik. Jika variasi produk pabrik tinggi, maka kuantitas produksinya cenderung

rendah; tetapi jika kuantitas produksinya tinggi, maka variasi produk akan rendah, seperti yang digambarkan pada Gambar 1.3.



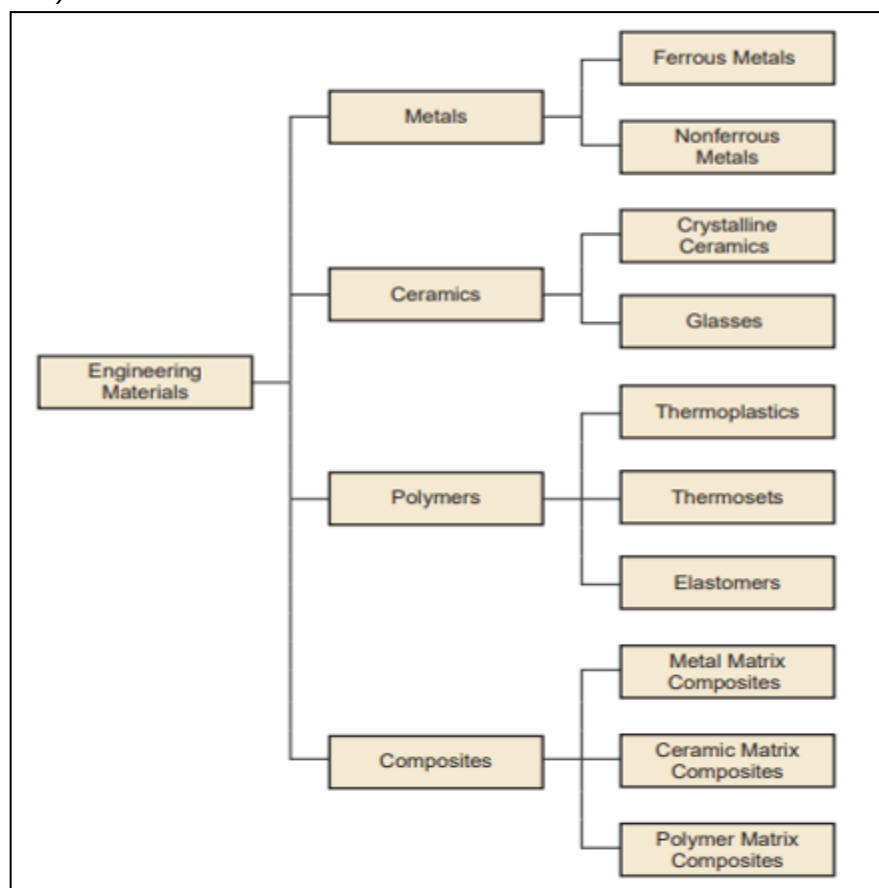
Gambar 1.3 Hubungan antara variasi produk dan kuantitas produksi dalam pembuatan produk diskrit

Pabrik *Manufacture* cenderung mengkhususkan diri pada kombinasi kuantitas produksi dan variasi produk yang terletak di dalam pita diagonal pada Gambar 1.3. Meskipun variasi produk telah diidentifikasi sebagai parameter kuantitatif (jumlah jenis produk berbeda yang dibuat oleh pabrik atau perusahaan), parameter ini jauh lebih tidak tepat daripada kuantitas produksi karena detail tentang seberapa besar perbedaan desain tidak ditangkap hanya oleh jumlahnya. dengan desain yang berbeda. Perbedaan antara mobil dan AC jauh lebih besar daripada antara udara. kondisioner dan pompa panas. Dalam setiap jenis produk, ada perbedaan di antara model tertentu. Tingkat perbedaan produk mungkin kecil atau besar, seperti yang diilustrasikan dalam industri otomotif. Masing-masing perusahaan otomotif A.S. memproduksi mobil dengan dua atau tiga papan nama berbeda di pabrik perakitan yang sama, meskipun gaya bodi dan fitur desain lainnya hampir sama. Di berbagai pabrik, perusahaan membuat truk berat. Istilah "lunak" dan "keras" dapat digunakan untuk menggambarkan perbedaan dalam variasi produk ini. Variasi produk lunak terjadi jika hanya ada sedikit perbedaan antar produk, seperti perbedaan antara model mobil yang dibuat pada jalur produksi yang sama. Dalam produk rakitan, variasi

lambut dicirikan oleh proporsi yang tinggi dari bagian umum di antara model. Variasi produk keras terjadi jika produknya sangat berbeda, dan hanya ada sedikit suku cadang yang umum, jika ada. Perbedaan antara mobil dan truk mencontohkan variasi yang sulit.

3. Material dalam *Manufacturing*

Sebagian besar bahan teknik dapat diklasifikasikan menjadi salah satu dari tiga kategori dasar: (1) logam, (2) keramik, dan (3) polimer. Kimia mereka berbeda, sifat mekanik dan fisiknya berbeda, dan perbedaan ini mempengaruhi proses *Manufacture* yang dapat digunakan untuk menghasilkan produk darinya. Selain tiga kategori dasar, ada (4) komposit — campuran nonhomogen dari tiga tipe dasar lainnya daripada kategori unik. Klasifikasi keempat kelompok digambarkan pada Gambar 1.4. Bagian ini memberikan Sumber: (Groover, 2019).



Gambar 1.4 Klasifikasi empat bahan Teknik

a. Metals

- 1) *Ferrous*. Logam besi didasarkan pada besi; kelompok tersebut meliputi baja dan besi tuang. Logam-logam ini merupakan kelompok yang paling penting secara komersial, lebih dari tiga perempat tonase logam di seluruh dunia. Besi murni memiliki penggunaan komersial yang terbatas, tetapi bila dicampur dengan karbon, besi memiliki lebih banyak kegunaan dan nilai komersial yang lebih besar daripada logam lainnya. Paduan besi dan karbon berupa baja dan besi tuang. Baja dapat didefinisikan sebagai paduan besi-karbon yang mengandung 0,02% sampai 2,11% karbon. Ini adalah kategori paling penting dalam kelompok logam besi. Komposisinya sering juga mencakup elemen paduan lainnya, seperti mangan, kromium, nikel, dan molibdenum, untuk meningkatkan sifat logam. Aplikasi baja meliputi konstruksi (jembatan, balok I, dan paku), transportasi (truk, rel, dan rolling stock untuk rel kereta api), dan produk konsumen (mobil dan peralatan).

Besi tuang adalah paduan besi dan karbon (2% sampai 4%) yang digunakan dalam pengecoran (terutama pengecoran pasir). Silikon juga terdapat dalam paduan (dalam jumlah dari 0,5% sampai 3%), dan elemen lainnya juga sering ditambahkan, untuk mendapatkan sifat yang diinginkan pada bagian cetakan. Besi tuang tersedia dalam beberapa bentuk berbeda, di mana besi tuang abu-abu adalah yang paling umum; aplikasinya mencakup blok dan kepala untuk mesin pembakaran internal.

- 2) *Nonferrous*. Logam *nonferrous* termasuk unsur logam lainnya dan paduannya. *Dalam* hampir semua kasus, paduan lebih penting secara komersial daripada logam murni. Logam *nonferrous* termasuk logam murni dan paduan aluminium, tembaga, emas, magnesium, nikel, perak, timah, titanium, seng, dan logam lainnya.

b. Ceramics

Keramik didefinisikan sebagai senyawa yang mengandung unsur logam (atau semimetalik) dan bukan logam. Unsur non logam yang khas adalah oksigen, nitrogen, dan karbon. Keramik mencakup berbagai bahan tradisional dan modern. Keramik tradisional, beberapa di antaranya telah digunakan selama ribuan tahun, meliputi: tanah liat (banyak tersedia, terdiri dari partikel

halus aluminium silikat hidro dan mineral lain yang digunakan dalam pembuatan batu bata, ubin, dan tembikar); silika (dasar untuk hampir semua produk kaca); dan alumina dan silikon karbida (dua bahan abrasif yang digunakan dalam penggilingan). Keramik modern mencakup beberapa bahan sebelumnya, seperti alumina, yang sifatnya ditingkatkan dengan berbagai cara melalui metode pemrosesan modern. Keramik baru meliputi: karbida — karbida logam seperti tungsten karbida dan titanium karbida, yang banyak digunakan sebagai bahan perkakas pemotong; dan nitrida — nitrida logam dan semimetal seperti titanium nitrida dan boron nitrida, digunakan sebagai alat pemotong dan bahan abrasif gerinda.

Untuk keperluan pengolahan, keramik dibedakan menjadi keramik kristal dan gelas. Metode pembuatan yang berbeda diperlukan untuk kedua jenis tersebut. Keramik kristal dibentuk dengan berbagai cara dari bubuk dan kemudian difilter (dipanaskan hingga suhu di bawah titik leleh untuk mencapai ikatan antar bubuk). Keramik kaca (yaitu, kaca) dapat dilebur dan dituang, dan kemudian dibentuk dalam proses seperti peniupan kaca tradisional

c. *Polymers*

Polimer adalah senyawa yang terbentuk dari unit struktural berulang yang disebut mers, yang atom-atomnya berbagi elektron untuk membentuk molekul yang sangat besar. Polimer biasanya terdiri dari karbon ditambah satu atau lebih unsur lain seperti hidrogen, nitrogen, oksigen, dan klorin. Polimer dibagi menjadi tiga kategori: (1) polimer termoplastik, (2) polimer termoseting, dan (3) elastomer.

Polimer termoplastik dapat mengalami beberapa siklus pemanasan dan pendinginan tanpa mengubah struktur molekul polimer secara substansial. Termoplastik umum termasuk polietilen, polistiren, polivinilklorida, dan nilon. Polimer termoset secara kimiawi mengubah (mengawetkan) menjadi struktur kaku setelah pendinginan dari kondisi plastik yang dipanaskan; oleh karena itu dinamakan thermosetting. Anggota jenis ini termasuk fenolat, resin amino, dan epoxies. Meskipun nama "thermosetting" digunakan, beberapa polimer ini sembuh dengan mekanisme selain pemanasan. Elastomer adalah polimer yang menunjukkan sifat elastis yang signifikan; maka nama elastomer. Mereka termasuk karet alam, neoprena, silikon, dan poliuretan.

d. Composites

Komposit sebenarnya bukan merupakan kategori bahan yang terpisah; mereka adalah campuran dari tiga jenis lainnya. Komposit adalah material yang terdiri dari dua atau lebih fase yang diproses secara terpisah dan kemudian disatukan untuk mencapai sifat yang lebih unggul dari konstituennya. Istilah fase mengacu pada massa material yang homogen, seperti agregasi butir struktur sel satuan identik dalam logam padat. Biasanya struktur komposit terdiri dari partikel atau serat satu fasa yang bercampur dalam fasa kedua, yang disebut matriks.

Komposit ditemukan di alam (misalnya kayu), dan dapat diproduksi secara sintesis. Jenis yang disintesis lebih diminati di sini, dan ini mencakup serat kaca dalam matriks polimer, seperti plastik yang diperkuat serat; serat polimer dari satu jenis dalam matriks dari polimer kedua, seperti komposit epoksi-Kevlar; dan keramik dalam matriks logam, seperti tungsten karbida dalam pengikat kobalt untuk membentuk alat pemotong karbida yang disemen.

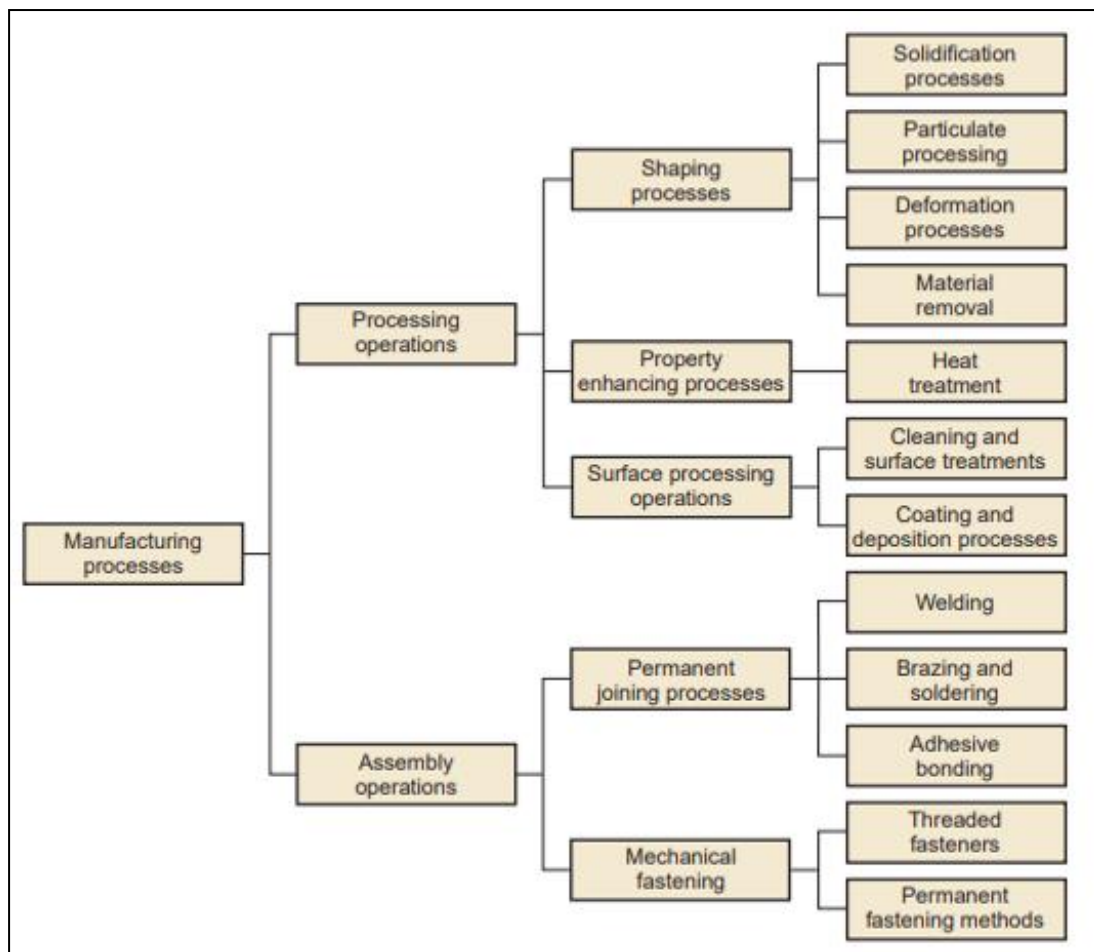
Properti komposit bergantung pada komponennya, bentuk fisik komponen, dan cara gabungannya untuk membentuk bahan akhir. Beberapa komposit menggabungkan kekuatan tinggi dengan bobot ringan dan cocok untuk aplikasi seperti komponen pesawat terbang, badan mobil, lambung kapal, raket tenis, dan tiang pancing. Komposit lain kuat, keras, dan mampu mempertahankan sifat ini pada suhu tinggi, misalnya, alat pemotong karbida yang disemen.

4. Manufacturing Processes

Proses pembuatan adalah prosedur yang dirancang yang menghasilkan perubahan fisik dan / atau kimiawi pada bahan awal pekerjaan dengan tujuan untuk meningkatkan nilai bahan tersebut. Proses pembuatan biasanya dilakukan sebagai operasi unit, yang berarti bahwa merupakan satu langkah dalam urutan langkah-langkah yang diperlukan untuk mengubah bahan awal menjadi produk akhir. Operasi *Manufacture* dapat dibagi menjadi dua tipe dasar: (1) operasi pemrosesan dan (2) operasi perakitan.

Operasi pemrosesan mengubah bahan kerja dari satu keadaan penyelesaian ke keadaan yang lebih maju yang mendekati produk akhir yang diinginkan. Hal ini menambah nilai dengan mengubah geometri, properti, atau

tampilan bahan awal. Secara umum, operasi pemrosesan dilakukan pada bagian kerja yang terpisah, tetapi operasi pemrosesan tertentu juga berlaku untuk item yang dirakit (misalnya, mengecat bodi mobil yang dilas titik). Operasi perakitan menggabungkan dua atau lebih komponen untuk membuat entitas baru, yang disebut perakitan, sub-perakitan, atau istilah lain yang mengacu pada proses penggabungan (misalnya, perakitan yang dilas disebut las). Klasifikasi proses *Manufacture* disajikan pada Gambar 1.5. Beberapa proses dasar yang digunakan dalam pembuatan modern berasal dari zaman kuno (Groover, 2019).



Sumber: (Groover, 2019)

Gambar 1.5 Klasifikasi proses *Manufacture*.

a. Processing Operations

Operasi pemrosesan menggunakan energi untuk mengubah bentuk, sifat fisik, atau tampilan bagian kerja untuk menambah nilai pada material. Bentuk energi meliputi mekanik, termal, listrik, dan kimia. Energi diterapkan

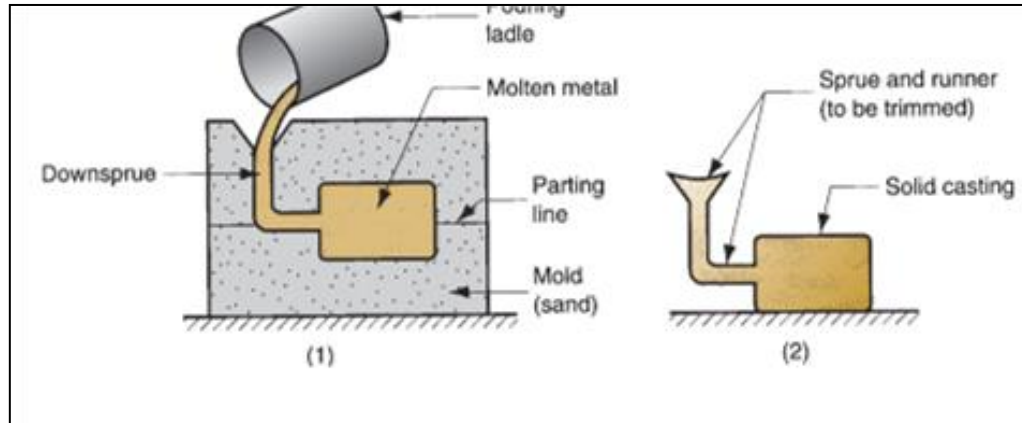
dengan cara yang terkendali melalui mesin dan perkakas. Energi manusia mungkin juga dibutuhkan, tetapi pekerja manusia umumnya dipekerjakan untuk mengendalikan mesin, mengawasi operasi, dan memuat dan membongkar bagian sebelum dan sesudah setiap siklus operasi. Model umum dari operasi pemrosesan diilustrasikan pada Gambar 1.1 (a). Material dimasukkan ke dalam proses, energi diterapkan oleh mesin dan perkakas untuk mengubah material, dan bagian pekerjaan yang telah selesai keluar dari proses. Sebagian besar operasi produksi menghasilkan sisa atau skrap, baik sebagai aspek alami dari proses (mis., membuang bahan seperti dalam pengerjaan mesin) atau dalam bentuk potongan rusak yang kadang terjadi. Ini merupakan tujuan penting dalam *Manufacture* untuk mengurangi limbah dalam salah satu bentuk ini.

Biasanya diperlukan lebih dari satu operasi pemrosesan untuk mengubah bahan awal menjadi bentuk akhir. Operasi dilakukan dalam urutan tertentu yang diperlukan untuk mencapai geometri dan kondisi yang ditentukan oleh spesifikasi desain. Tiga kategori operasi pemrosesan dibedakan: (1) operasi pembentukan, (2) operasi peningkatan properti, dan (3) operasi pemrosesan permukaan. Operasi pembentukan mengubah geometri bahan kerja awal dengan berbagai metode. Proses pembentukan yang umum termasuk pengecoran, penempaan, dan pemesinan. Operasi peningkatan properti menambah nilai material dengan meningkatkan sifat fisiknya tanpa mengubah bentuknya. Perlakuan panas adalah contoh paling umum.

Operasi pemrosesan permukaan dilakukan untuk membersihkan, merawat, melapisi, atau mengendapkan material ke permukaan luar pekerjaan. Contoh umum pelapisan adalah pelapisan dan pengecatan. Proses Pembentukan Sebagian besar operasi pemrosesan bentuk menerapkan panas, gaya mekanis atau kombinasi keduanya untuk mempengaruhi perubahan geometri bahan kerja. Ada berbagai cara untuk mengklasifikasikan proses pembentukan. Klasifikasi yang digunakan dalam buku ini didasarkan pada keadaan bahan awal, yang terdiri dari empat kategori: (1) proses pemadatan, di mana bahan awal adalah cairan atau semifluida yang dipanaskan yang mendingin dan memadat membentuk bagian geometri; (2) pemrosesan partikulat, dalam format dimana bahan awalnya adalah bubuk, dan bubuk dibentuk dan dipanaskan menjadi geometri

yang diinginkan; (3) proses deformasi, di mana bahan awal adalah padat ulet (umumnya logam) yang dideformasi untuk membentuk bagian; dan (4) proses pemindahan material, dimana material awal berupa padat (ulet atau rapuh), dimana material dikeluarkan sehingga bagian yang dihasilkan memiliki geometri yang diinginkan.

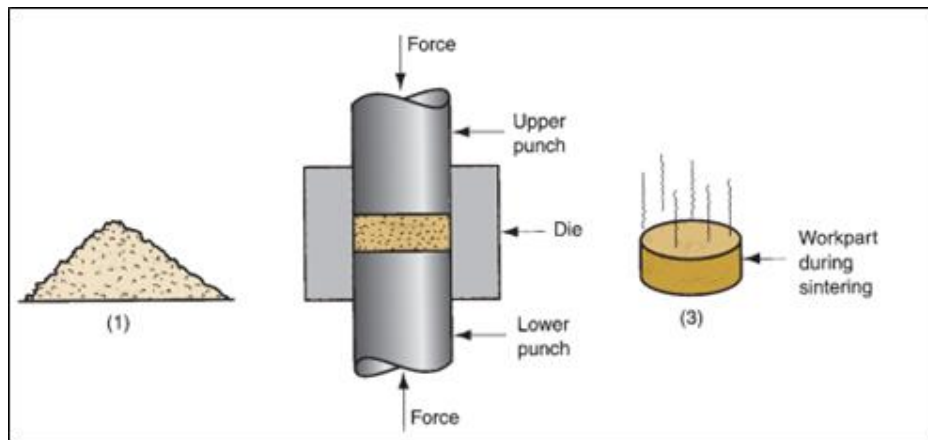
Dalam kategori pertama, bahan awal dipanaskan secukupnya untuk mengubahnya menjadi bentuk cair atau sangat plastis (setengah cair). Hampir semua bahan bisa diproses dengan cara ini. Logam, gelas keramik, dan plastik semuanya dapat dipanaskan hingga suhu yang cukup tinggi untuk mengubahnya menjadi cairan. Dengan bahan dalam bentuk cair atau semifluida, maka dapat dituang atau sebaliknya dipaksa mengalir ke dalam rongga cetakan dan dibiarkan mengeras, sehingga mengambil bentuk padat yang sama dengan rongga tersebut. Sebagian besar proses yang beroperasi dengan cara ini disebut pengecoran atau pencetakan. Pengecoran adalah nama yang digunakan untuk logam, dan cetakan adalah istilah umum yang digunakan untuk plastik. Kategori proses pembentukan ini digambarkan pada Gambar 1.6.



Gambar 1.6 Proses pengecoran dan pencetakan. (1) menuangkan fluida ke dalam rongga cetakan dan (2) membiarkan fluida memadat.

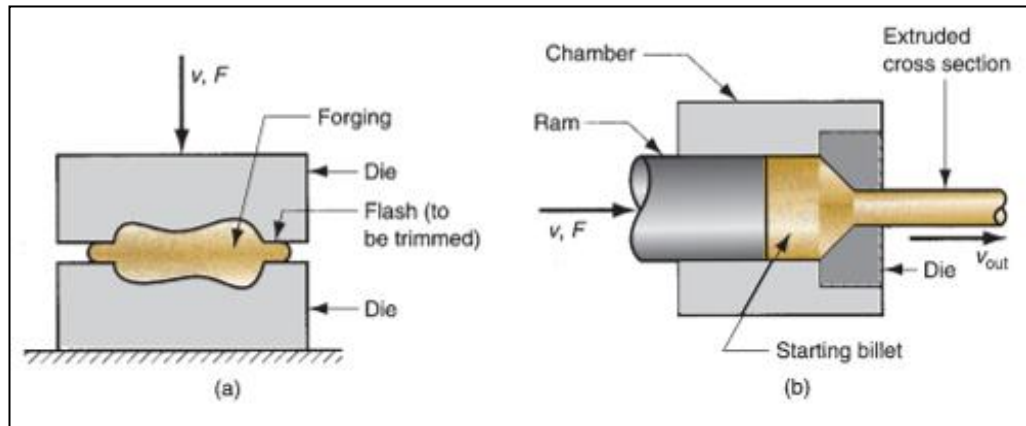
Dalam pemrosesan partikulat, bahan awalnya adalah bubuk logam atau keramik. Meskipun kedua bahan ini sangat berbeda, proses untuk membentuknya dalam pemrosesan partikulat sangat mirip. Teknik umum dalam metalurgi serbuk melibatkan pengepresan dan sintering, yang diilustrasikan pada Gambar 1.7, di mana serbuk pertama-tama diperas ke

dalam rongga cetakan di bawah tekanan tinggi dan kemudian dipanaskan untuk mengikat partikel individu menjadi satu.



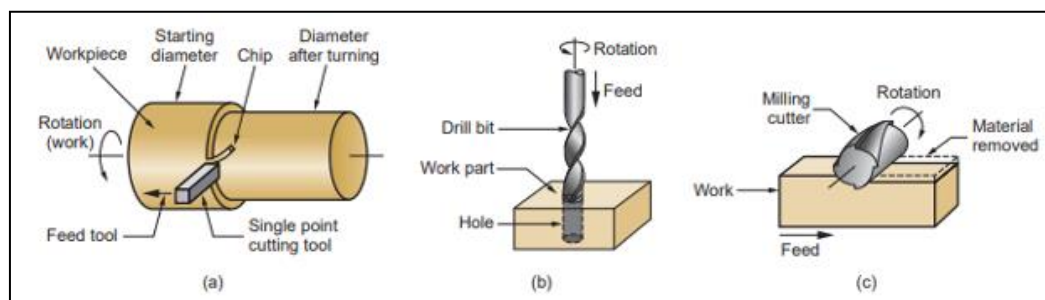
Gambar 1.7 Pemrosesan partikulat: (1) bahan awalnya adalah bubuk; Proses biasa terdiri dari (2) pengepresan dan (3) *sintering*.

Dalam proses deformasi, bagian kerja awal dibentuk oleh penerapan gaya yang melebihi kekuatan luluh material. Agar bahan dapat dibentuk dengan cara ini, bahan tersebut harus cukup ulet untuk menghindari fraktur selama deformasi. Untuk meningkatkan keuletan (dan karena alasan lain), bahan kerja sering kali dipanaskan sebelum dibentuk hingga suhu di bawah titik leleh. Proses deformasi paling erat kaitannya dengan pengerjaan logam dan termasuk operasi seperti penempaan dan ekstrusi, yang ditunjukkan pada Gambar 1.8.



Gambar 1.8 Beberapa proses deformasi yang umum: (a) penempaan, di mana dua bagian cetakan menekan bagian kerja, menyebabkannya mengambil bentuk rongga cetakan; dan (b) ekstrusi, di mana sebuah billet dipaksa untuk mengalir melalui sebuah lubang.

Juga termasuk dalam kategori proses deformasi adalah pengerjaan logam lembaran, yang melibatkan operasi pembengkokan, pembentukan, dan pemotongan yang dilakukan pada blanko awal dan strip lembaran logam. Beberapa bagian lembaran logam, disebut stempel karena dibuat di atas mesin cetak, Proses pemindahan material adalah operasi yang menghilangkan material berlebih dari benda kerja awal sehingga bentuk yang dihasilkan sesuai geometri yang diinginkan. Proses terpenting dalam kategori ini adalah operasi pemesian seperti pembubutan, pengeboran, dan penggilingan, ditunjukkan pada Gambar 1.9.



Gambar 1.9 Operasi pemesian umum: (a) pembubutan, di mana pahat satu titik menghilangkan logam dari benda kerja yang berputar untuk mengurangi diameternya; (b) pengeboran, di mana mata bor yang berputar dimasukkan ke dalam pekerjaan untuk membuat lubang bundar; dan (c)

milling, di mana bagian kerja diumpankan melewati pemotong yang berputar dengan banyak sisi.

Operasi pemotongan ini paling sering diterapkan pada logam padat, dilakukan dengan menggunakan alat pemotong yang lebih keras dan kuat dari logam kerja. Sampul depan buku ini menunjukkan operasi pembubutan. Penggilingan adalah proses penghilangan material umum lainnya. Proses lain dalam kategori ini dikenal sebagai proses nontradisional karena menggunakan laser, berkas elektron, erosi kimiawi, pelepasan muatan listrik, dan energi elektrokimia untuk menghilangkan material daripada alat pemotong atau penggilingan. Sebaiknya meminimalkan pemborosan dan skrap dalam mengubah bagian pekerjaan awal menjadi geometri berikutnya. Proses pembentukan tertentu lebih efisien daripada yang lain dalam hal konservasi material. Proses pemindahan material (mis., Pemesinan) cenderung memboroskan material, hanya dengan cara kerjanya. Material yang dihilangkan dari bentuk awal adalah pemborosan, setidaknya dalam hal pengoperasian unit. Proses lainnya.

sebagai operasi pengecoran dan pencetakan tertentu, sering kali mengubah hampir 100% bahan awal menjadi produk akhir. Proses *Manufacture* yang mengubah hampir semua bahan awal menjadi produk dan tidak memerlukan pemesinan berikutnya untuk mencapai geometri bagian akhir disebut proses bentuk bersih. Proses lain memerlukan pemesinan minimum untuk menghasilkan bentuk akhir dan disebut proses bentuk hampir bersih.

Property-Enhancing Processes, merupakan Jenis utama kedua dari pemrosesan bagian dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik atau fisik material kerja. Proses ini tidak mengubah bentuk bagian, kecuali dalam beberapa kasus secara tidak sengaja. Proses peningkatan properti yang paling penting melibatkan perlakuan panas, yang mencakup berbagai proses anil dan penguatan untuk logam dan kaca. Sintering logam bubuk juga merupakan perlakuan panas yang memperkuat bagian kerja logam bubuk tekan. Rekannya dalam keramik disebut penembakan.

Pemrosesan Permukaan Operasi pemrosesan permukaan meliputi (1) pembersihan, (2) perawatan permukaan, dan (3) proses deposisi lapisan dan film tipis. Pembersihan mencakup proses kimia dan mekanis untuk menghilangkan kotoran, minyak, dan kontaminan lainnya dari permukaan.

Perawatan permukaan meliputi pekerjaan mekanis seperti peledakan tembakan dan peledakan pasir, dan proses fisik seperti difusi dan implantasi ion. Proses pelapisan dan deposisi film tipis menerapkan pelapisan material ke permukaan luar bagian kerja. Proses pelapisan yang umum termasuk anodisasi pelapisan aluminium, pelapisan organik (sebut saja lukisan), dan enameling porselen. Proses deposisi film tipis meliputi deposisi uap fisik dan deposisi uap kimia untuk membentuk lapisan yang sangat tipis dari berbagai zat. Beberapa operasi pemrosesan permukaan telah disesuaikan untuk membuat bahan semikonduktor menjadi sirkuit terintegrasi untuk mikroelektronika. Proses ini meliputi deposisi uap kimia, deposisi uap fisik, dan oksidasi. Mereka diterapkan ke area yang sangat terlokalisasi pada permukaan wafer tipis silikon (atau bahan semikonduktor lainnya) untuk membuat sirkuit mikroskopis.

b. *Assembly Operations*

Jenis operasi pabrikan dasar kedua adalah perakitan, di mana dua atau lebih bagian terpisah digabungkan untuk membentuk entitas baru. Komponen entitas baru terhubung secara permanen atau semi permanen. Proses penyambungan permanen meliputi pengelasan, mematri, penyolderan, dan pengikatan perekat. Mereka membentuk sambungan antar komponen yang tidak dapat dengan mudah dilepaskan. Metode perakitan mekanis tertentu tersedia untuk mengikat dua (atau lebih) bagian menjadi satu dalam satu sambungan yang dapat dengan mudah dibongkar. Penggunaan sekrup, baut, dan pengencang berulir lainnya merupakan metode tradisional yang penting dalam kategori ini. Teknik perakitan mekanis lainnya membentuk koneksi yang lebih permanen; ini termasuk paku keling, pemasangan pers, dan perlengkapan ekspansi. Metode penyambungan dan pengikatan khusus digunakan dalam perakitan produk elektronik. Beberapa metode identik atau merupakan adaptasi dari proses sebelumnya, misalnya penyolderan. Perakitan elektronik terutama berkaitan dengan perakitan komponen seperti paket sirkuit terintegrasi ke papan sirkuit tercetak untuk menghasilkan sirkuit kompleks yang digunakan di banyak produk saat ini.

c. *Mesin Dan Peralatan Produksi*

Operasi *Manufacture* diselesaikan dengan menggunakan mesin dan perkakas (dan manusia). Penggunaan ekstensif mesin di bidang *Manufacture*

dimulai dengan Revolusi Industri. Pada saat itulah mesin pemotong logam mulai dikembangkan dan banyak digunakan. Ini disebut peralatan mesin — mesin yang digerakkan oleh tenaga digunakan untuk mengoperasikan alat pemotong yang sebelumnya dioperasikan dengan tangan. Peralatan mesin modern dijelaskan dengan definisi dasar yang sama, kecuali bahwa tenaganya adalah listrik daripada air atau uap, dan tingkat presisi serta otomatisasi jauh lebih tinggi saat ini.

Peralatan mesin adalah salah satu yang paling serbaguna dari semua mesin produksi. Mereka digunakan untuk membuat tidak hanya suku cadang untuk produk konsumen, tetapi juga komponen untuk mesin produksi lainnya. Baik dalam arti historis dan reproduktif, perkakas mesin adalah induk dari semua permesinan. Mesin produksi lainnya termasuk pengepres untuk operasi stamping, palu tempa untuk penempaan, rolling mills untuk rolling sheet metal, mesin las untuk pengelasan, dan mesin penyisipan untuk memasukkan komponen elektronik ke dalam papan sirkuit tercetak. Nama peralatan biasanya mengikuti dari nama prosesnya. Peralatan produksi dapat tujuan umum atau tujuan khusus. Peralatan serba guna lebih fleksibel dan mudah beradaptasi dengan berbagai pekerjaan. Ini tersedia secara komersial untuk setiap perusahaan *Manufacture* untuk berinvestasi. Peralatan tujuan khusus biasanya dirancang untuk menghasilkan suku cadang atau produk tertentu dalam jumlah yang sangat besar. Ekonomi produksi massal membenarkan investasi besar dalam mesin tujuan khusus untuk mencapai efisiensi tinggi dan waktu siklus yang pendek. Ini bukan satu-satunya alasan untuk peralatan tujuan khusus, tetapi merupakan alasan yang dominan. Alasan lain mungkin karena prosesnya unik dan peralatan komersial tidak tersedia. Beberapa perusahaan dengan persyaratan pemrosesan yang unik mengembangkan peralatan tujuan khusus mereka sendiri. Mesin produksi biasanya membutuhkan perkakas yang menyesuaikan peralatan untuk part atau produk tertentu. Dalam banyak kasus, perkakas harus dirancang secara spesifik untuk konfigurasi bagian atau produk. Saat digunakan dengan peralatan serba guna, itu dirancang untuk ditukar. Untuk setiap jenis bagian kerja, perkakas diikat ke mesin dan proses produksi dilakukan. Saat proses selesai, perkakas diubah untuk jenis bagian pekerjaan berikutnya. Saat digunakan dengan mesin tujuan khusus, perkakas sering dirancang sebagai bagian integral dari mesin. Karena mesin tujuan khusus kemungkinan besar

digunakan untuk produksi massal, perkakas mungkin tidak perlu diganti kecuali untuk penggantian komponen yang aus atau untuk memperbaiki permukaan yang aus. Jenis perkakas tergantung pada jenis proses pembuatannya. Pada Tabel 1.2, contoh perkakas khusus yang digunakan dalam berbagai operasi (Black et al, 2012).

Tabel 1.2 Peralatan produksi dan perkakas yang digunakan untuk berbagai proses *Manufacture*

Process	Equipment	Special tooling (function)
Casting	^a	Mold (cavity for molten metal)
Molding	Molding machine	Mold (cavity for hot polymer)
Rolling	Rolling mill	Roll (reduce work thickness)
Forging	Forge hammer or press	Die (squeeze work to shape)
Extrusion	Press	Extrusion die (reduce cross-section)
Stamping	Press	Die (shearing, forming sheet metal)
Machining	Machine tool	Cutting tool (material removal)
		Fixture (hold work part)
		Jig (hold part and guide tool)
Grinding	Grinding machine	Grinding wheel (material removal)
Welding	Welding machine	Electrode (fusion of work metal)
		Fixture (hold parts during welding)

C. LATIHAN SOAL / TUGAS

1. Jelaskan definisi *Manufacture* dalam artian secara umum?
2. Carilah beberapa referensi yang menguatkan definisi manufaktur tersebut?
3. Sebutkan dan jelaskan material yang dapat digunakan dalam proses *Manufacture*
4. Jelaskan dan berikan gambaran contoh peralatan yang dapat digunakan dalam proses *Manufacture*?
5. Jelaskan dan cari beberapa teori yang mengemukakan *assembling process*?

D. DAFTAR PUSTAKA

- Black, J T., and Kohser, R. DeGarmo's (2012). Materials and Processes in Manufacturing, 11th ed., John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey
- Groover, M. P. (2009) Work Systems and the Methods, Measurement, and Management of Work, Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2007. [9] Hornyak, G. L., Moore, J. J., Tibbals, H. F., and Dutta, J. Fundamentals of Nanotechnology, CRC Taylor & Francis, Boca Raton, Florida.
- Groover, M. P. (2019). *Fundamentals of Modern Manufacturing; Materials, Processes, and Systems 7th*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc
- Groover, M. P. Automation, (2008) Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing, 3rd ed. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Kalpakjian, S., and Schmid S. R. (2010) Manufacturing Processes for Engineering Materials, 6th ed. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

PERTEMUAN 2 METALS

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa mampu memahami dan menjabarkan tentang bagaimana struktur dari material *metals* atau logam, mengidentifikasi logam yang dapat diproses baik pada perubahan material proses, produk, serta perkembangan produksi pada logam dilakukan dalam tiap periode di industri.

B. URAIAN MATERI

1. *Alloys dan Phase Diagram*

Logam adalah kategori bahan umumnya ditandai oleh sifat daktilitas, kelenturan, kilau, dan konduktivitas listrik dan termal yang tinggi. Kategori ini mencakup unsur logam dan paduan mereka. Logam memiliki sifat yang memuaskan luas berbagai persyaratan desain. Pentingnya teknologi dan komersial dari logam berasal dari sifat umum berikut dimiliki oleh hampir semua logam biasa (Groover, 2019):

- a. Kekakuan dan kekuatan tinggi. Logam dapat dicampur untuk kekakuan, kekuatan, dan kekerasan yang tinggi; jadi, mereka digunakan untuk menyediakan kerangka kerja struktural untuk sebagian besar produk rekayasa.
- b. Ketangguhan. Logam memiliki kapasitas untuk menyerap energi lebih baik daripada bahan kelas lainnya.
- c. Konduktivitas listrik yang baik. Logam adalah konduktor karena ikatan logam mereka yang memungkinkan pergerakan bebas elektron sebagai pembawa muatan.
- d. Konduktivitas termal yang baik. Ikatan logam juga menjelaskan mengapa logam umumnya melakukan panas lebih baik dari keramik atau polimer.

Selain itu, logam tertentu memiliki sifat spesifik yang membuatnya menarik untuk aplikasi khusus. Banyak logam umum tersedia dengan harga yang relatif rendah biaya per unit berat dan seringkali menjadi bahan pilihan hanya karena mereka biaya rendah. Logam dikonversi menjadi bagian dan produk

menggunakan berbagai manufaktur proses. Bentuk awal logam berbeda, tergantung pada prosesnya. Itu kategori utama adalah:

- a. Logam cor, di mana bentuk awal adalah *casting*;
- b. Tempa logam, tempat logam telah dikerjakan atau dapat dikerjakan (misal: digulung atau lainnya terbentuk) setelah *casting*; sifat mekanik yang lebih baik umumnya terkait dengan logam tempa dibandingkan dengan logam cor.
- c. logam bubuk, di mana logam dibeli dalam bentuk bubuk yang sangat kecil untuk dikonversi menjadi bagian-bagian menggunakan teknik *metalurgi* bubuk.

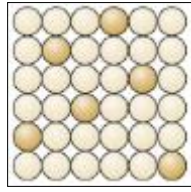
Kebanyakan logam tersedia dalam ketiga bentuk. Diskusi dalam bab ini berfokus pada kategori logam cor dan tempa logam, yang merupakan yang terbesar minat komersial dan teknik. Teknik *metalurgi* serbuk diperiksa Logam digolongkan ke dalam dua kelompok utama:

- a. Besi - yang didasarkan pada besi.
- b. *Non ferrous* - semua non logam lainnya.

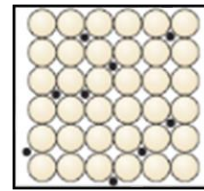
Kelompok besi dapat dibagi lagi menjadi baja dan besi tuang. Sebagian besar diskusi dalam bab ini diselenggarakan sekitar klasifikasi ini.

a. *Alloys*

Alloys adalah logam yang terdiri dari dua elemen atau lebih, setidaknya satu di antaranya adalah logam. Dua kategori utama paduan adalah solusi padat dan perantara fase. Solusi padat adalah paduan di mana satu elemen dilarutkan lain untuk membentuk struktur fase tunggal. Fase istilah menjelaskan setiap homogen massa material, seperti logam di mana butirannya memiliki kisi kristal yang sama struktur. Dalam larutan padat, pelarut atau elemen dasarnya adalah logam, dan terlarut elemen dapat berupa logam atau bukan logam. Solusi padat datang dalam dua bentuk, ditunjukkan pada Gambar 2.1.



(a) solusi solid pengganti



(B) solusi padat pengantara.

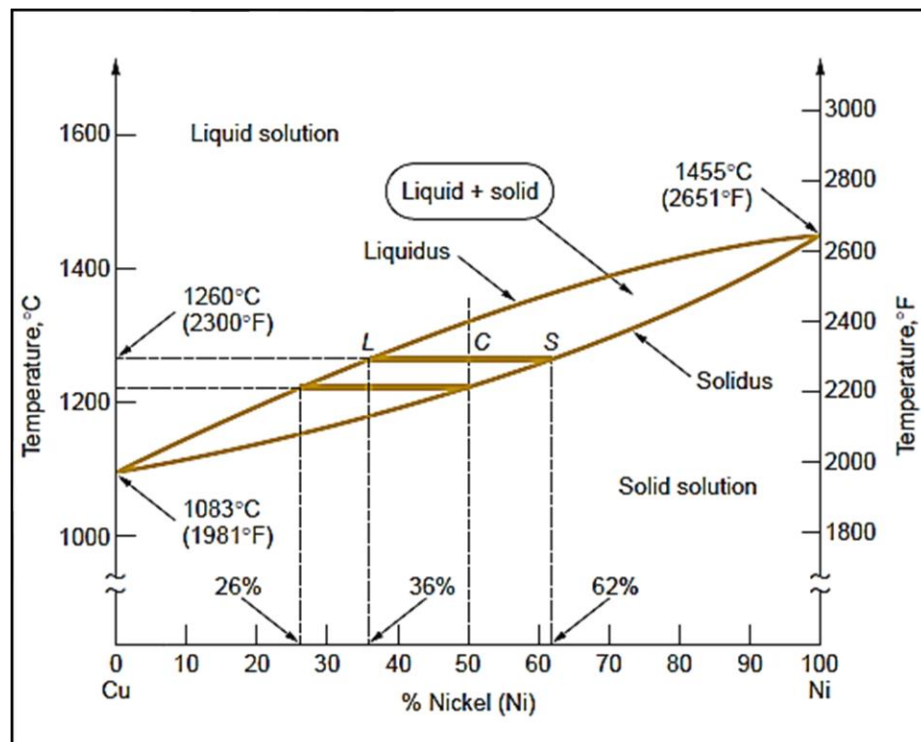
Gambar: 2.1 Dua bentuk solusi padat

Dalam kedua bentuk larutan padat, struktur paduan umumnya lebih kuat dan lebih keras dari salah satu elemen komponen. Fase Menengah Biasanya ada batas kelarutan satu elemen di tempat lain. Ketika jumlah elemen terlarut dalam paduan melebihi padatan batas kelarutan logam tidak mulia, fase kedua terbentuk dalam paduan. Istilah menengah fase digunakan untuk menggambarkan karena komposisi kimianya menengah antara dua elemen murni. Struktur kristalinnya juga berbeda dengan logam murni. Tergantung pada komposisi, dan mengakui bahwa banyak paduan terdiri lebih dari dua elemen, fase perantara ini dapat dari beberapa jenis, termasuk:

- 1) Senyawa logam yang terdiri dari logam dan bukan logam seperti Fe_3C ;
- 2) Senyawa *intermetalik* - dua logam yang membentuk senyawa, seperti Mg_2Pb .

b. Diagram Fase

Diagram fase adalah sarana grafis untuk merepresentasikan fase sistem paduan logam sebagai fungsi komposisi dan suhu.



Gambar: 2.2 Fase Diagram untuk paduan tembaga-nikel sistem

Gambar 2.2 menyajikan salah satu kasus paling sederhana, paduan Cu-Ni sistem. Komposisi diplot pada sumbu horizontal dan suhu pada vertikal sumbu. Jadi, setiap titik dalam diagram menunjukkan komposisi keseluruhan dan fase atau fase hadir pada suhu yang diberikan. Tembaga murni meleleh pada 1083 ° C (1981 ° F), dan nikel murni pada 1455 ° C (2651 ° F). Paduan komposisi di antaranya ekstrem menunjukkan pencairan bertahap yang dimulai pada solidus dan berakhir pada liquidus karena suhu meningkat. Sistem tembaga-nikel adalah paduan larutan padat di seluruh jajarannya komposisi. Menganalisis komposisi *fase cair* dan *padat* yang ada di dalam *coppernickel* sistem pada komposisi *agregat 50% nikel* dan *suhu 1260 ° C* (2300 ° F).

Karena suhu paduan 50-50 Cu-Ni berkurang, garis *solidus* tercapai sekitar 1221 ° C (2230 ° F). Menerapkan prosedur yang sama yang digunakan dalam contoh ini, the komposisi logam padat adalah 50% nikel, dan komposisi yang tersisa terakhir Cairan untuk dibekukan adalah sekitar 26% nikel. Kemudian sebagai tambahan logam padat, komposisinya berbeda dari logam

pertama yang dibekukan. Sebagai situs nukleasi tumbuh menjadi massa padat, komposisi didistribusikan di dalam massa, tergantung pada suhu dan waktu dalam proses pembekuan terjadi. Komposisi keseluruhan adalah rata-rata distribusi.

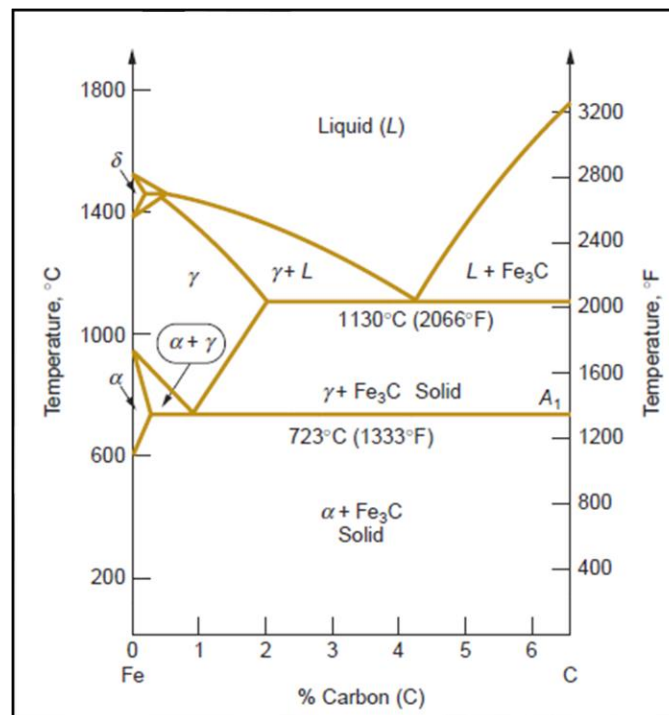
2. Logam Besi

Logam besi didasarkan pada besi, salah satu logam tertua yang dikenal manusia. Berikut adalah data dasar mengenai logam besi (Groover, 2019):

- a. Simbol: Fe
- b. Nomor atom: 26
- c. Gravitasi spesifik: 7.87
- d. Struktur kristal: BCC
- e. Suhu leleh: 1539 ° C (2802 ° F)
- f. Modulus elastis: 209.000 MPa (30 106 lb / in²)
- g. Bijih utama: Hematit (Fe₂O₃)
- h. Unsur-unsur paduan: Karbon; juga kromium, mangan, nikel, molibdenum, vanadium, dan silikon.
- i. Aplikasi khas: Konstruksi, mesin, otomotif, rel kereta api dan peralatan.

Logam besi yang penting dalam rekayasa adalah paduan besi dan logam karbon. Paduan ini terbagi menjadi dua kelompok besar: baja dan besi tuang. Bersama-sama, mereka merupakan sekitar 85% dari tonase logam di Amerika Serikat. Itu diskusi tentang logam besi dimulai dengan diagram fase besi-karbon.

- a. Diagram fase besi-karbon



Gambar: 2.3 Fase diagram untuk besi-karbon sistem, hingga sekitar 6% karbon.

Ditunjukkan pada Gambar 2.3 Besi murni meleleh pada 1539 ° C (2802 ° F). Selama kenaikan suhu dari sekitar, itu mengalami beberapa padatan transformasi fase seperti yang ditunjukkan dalam diagram. Mulai dari suhu kamar fase adalah *alfa* (a), juga disebut ferit. Pada 912 ° C (1674 ° F), ferit berubah menjadi *gamma* (g), disebut austenit. Ini, pada gilirannya, berubah pada 1394 ° C (2541 ° F) menjadi delta (d), yang tetap sampai mencair terjadi. Tiga fase itu berbeda; alfa dan delta memiliki struktur kisi BCC (Bagian 2.3.1), dan di antara mereka, gamma adalah FCC.

Besi sebagai produk komersial tersedia di berbagai tingkat kemurnian. *Elektrolit* besi adalah yang paling murni, sekitar 99,99%, untuk penelitian dan keperluan lain dimana diperlukan logam murni. Besi ingot, mengandung sekitar 0,1% pengotor (termasuk sekitar 0,01% karbon), digunakan dalam aplikasi di mana daktilitas tinggi atau korosi resistensi diperlukan. Besi tempa mengandung sekitar 3% terak tetapi sangat sedikit karbon, dan mudah dibentuk dalam operasi pembentukan panas seperti penempaan. Batas kelarutan karbon dalam besi rendah pada fase ferit hanya sekitar 0,022%

pada 723°C (1333°F). Austenite dapat melarutkan hingga sekitar 2,1% karbon pada suhu dari 1130°C (2066°F).

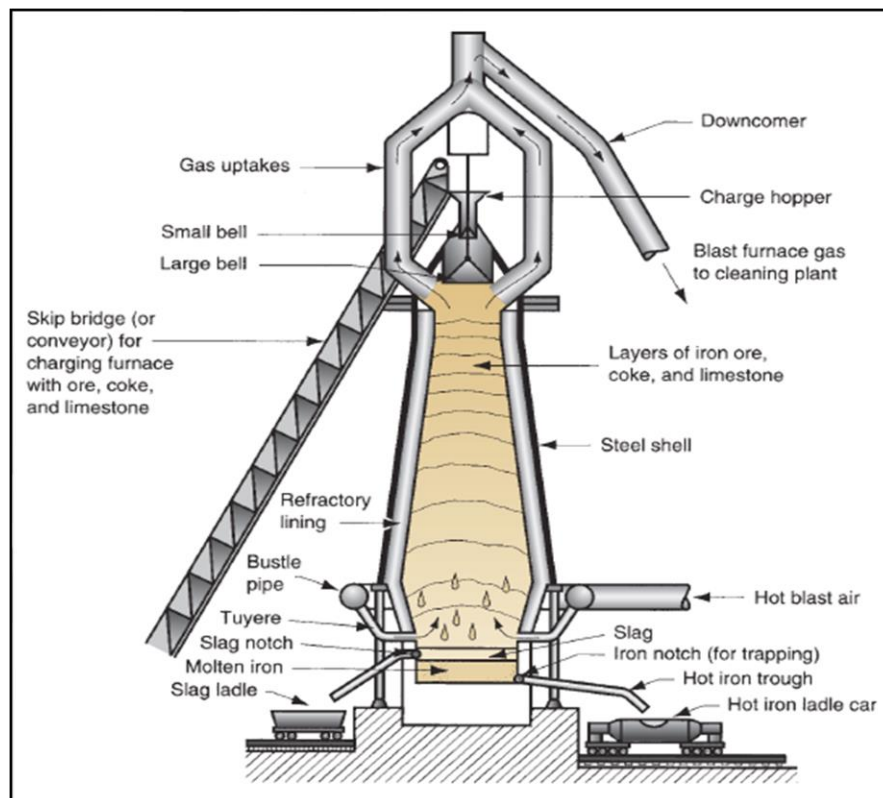
b. Produksi Besi Dan Baja

Cakupan produksi besi dan baja dimulai dengan bijih besi dan bahan baku lainnya yg dibutuhkan. Pembuatan besi kemudian dibahas, di mana besi direduksi dari bijih, dan pembuatan baja, di mana setrika diperbaiki untuk mendapatkan kemurnian dan komposisi yang diinginkan (paduan) baja. Proses pengecoran yang dilakukan di pabrik baja adalah kemudian dipertimbangkan.

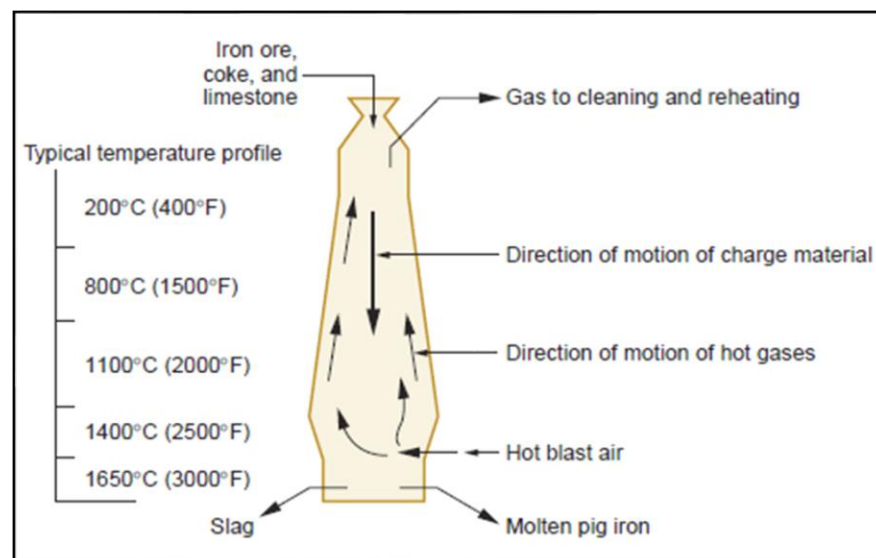
Bijih Besi dan Bahan Baku Lainnya Bijih utama yang digunakan dalam produksi besi dan baja adalah hematit (Fe_2O_3). Bijih besi lainnya termasuk magnetit (Fe_3O_4), siderite (FeCO_3), dan limonite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, di mana x biasanya sekitar 1,5). Besi bijih mengandung dari 50% hingga sekitar 70% zat besi, tergantung pada kadar (hematit hampir 70% besi). Selain itu, besi tua dan baja banyak digunakan saat ini sebagai bahan baku dalam pembuatan besi dan baja. Bahan baku lain yang dibutuhkan untuk mengurangi zat besi dari bijih adalah kokas dan batu kapur. *Coke* adalah bahan bakar karbon tinggi yang diproduksi dengan memanaskan batubara bitumen dalam oksigen terbatas atmosfer selama beberapa jam, diikuti oleh penyemprotan air di pendinginan khusus menara. *Coke* melayani dua fungsi dalam proses reduksi:

- 1) Bahan bakar yang memasok panas untuk reaksi kimia; dan
- 2) Menghasilkan karbon monoksida (CO)

Untuk mengurangi bijih besi. Batu kapur adalah batu yang mengandung proporsi kalsium yang tinggi karbonat (CaCO_3). Batu kapur digunakan dalam proses sebagai *fluks* untuk bereaksi dengan dan menghilangkan kotoran di besi cair sebagai terak. Pembuatan besi Untuk menghasilkan besi, muatan bijih besi, kokas, dan batu kapur dijatuhkan ke bagian atas tungku ledakan. *Blast furnace* adalah ruang berlapis tahan api dengan sebuah diameter sekitar 9 hingga 11 m (30–35 kaki) paling lebar dan tinggi 40 m (125 kaki), di gas panas yang dipaksa masuk ke bagian bawah ruangan dengan kecepatan tinggi untuk dicapai pembakaran dan reduksi besi.

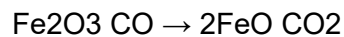


Gambar: 2.4 Tungku Pembuatan Besi

Gambar: 2.5 Diagram *skematik* menunjukkan rincian operasi tanur tinggi.

Tungku sembur khas dan beberapa di antaranya perincian teknis diilustrasikan dalam Gambar 2.4 dan Gambar 2.5. Tuduhan perlahan turun

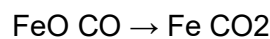
dari atas tungku ke arah pangkalan dan dipanaskan hingga suhu sekitar 1650 ° C (3000 ° F). Pembakaran kokas dilakukan oleh gas panas (CO, H₂, CO₂, H₂O, N₂, O₂, dan bahan bakar) ketika mereka melewati lapisan bahan muatan. Karbon monoksida disuplai sebagai gas panas, dan juga terbentuk dari pembakaran kokas. Gas CO memiliki efek pengurangan pada bijih besi; reaksi (disederhanakan) dapat ditulis sebagai berikut (menggunakan hematit sebagai bijih awal):



Karbon dioksida bereaksi dengan kokas untuk membentuk lebih banyak karbon monoksida:

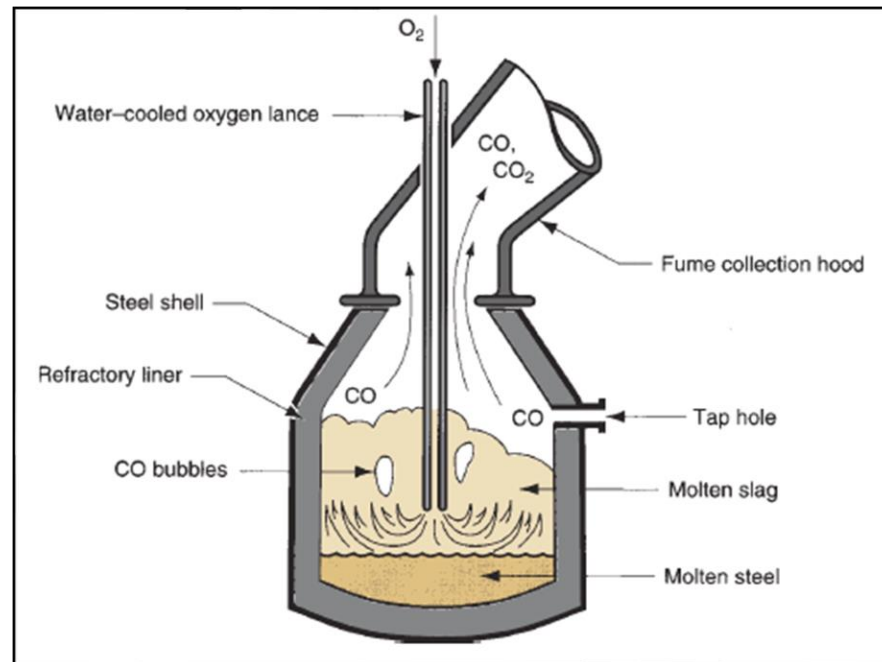


yang kemudian melakukan reduksi akhir FeO menjadi besi:



Besi cair menetes ke bawah, mengumpulkan di dasar tungku ledakan. Ini adalah disadap secara berkala ke dalam mobil sendok besi panas untuk dipindahkan ke pembuatan baja berikutnya operasi. Peran yang dimainkan oleh batu kapur dapat diringkas sebagai berikut. Pertama adalah batu kapur direduksi menjadi kapur (CaO) dengan memanaskan, sebagai berikut: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

Lime bergabung dengan pengotor seperti silika (SiO₂), belerang (S), dan alumina (Al₂O₃) dalam reaksi yang menghasilkan terak cair yang rata di atas setrika. Penting untuk dicatat bahwa diperlukan sekitar 7 ton bahan baku untuk menghasilkan 1 ton besi. Bahan-bahannya proporsional sekitar sebagai berikut: 2,0 ton bijih besi, 1,0 ton kokas, 0,5 ton batu kapur, dan (inilah statistik menakutkan) 3,5 ton gas. Proporsi produk sampingan yang signifikan didaur ulang. Setrika disadap dari dasar tanur tiup (disebut pig iron) lebih dari 4% C, ditambah pengotor lainnya: 0,3–1,3% Si, 0,5–2,0% Mn, 0,1–1,0% P, dan 0,02–0,08%. Penyempurnaan logam lebih lanjut diperlukan untuk besi tuang dan besi cor baja. Tungku yang disebut kubah. biasanya digunakan untuk mengubah babi besi menjadi besi cor kelabu. Untuk baja, komposisi harus lebih dikontrol dan kotoran dibawa ke tingkat yang jauh lebih rendah.

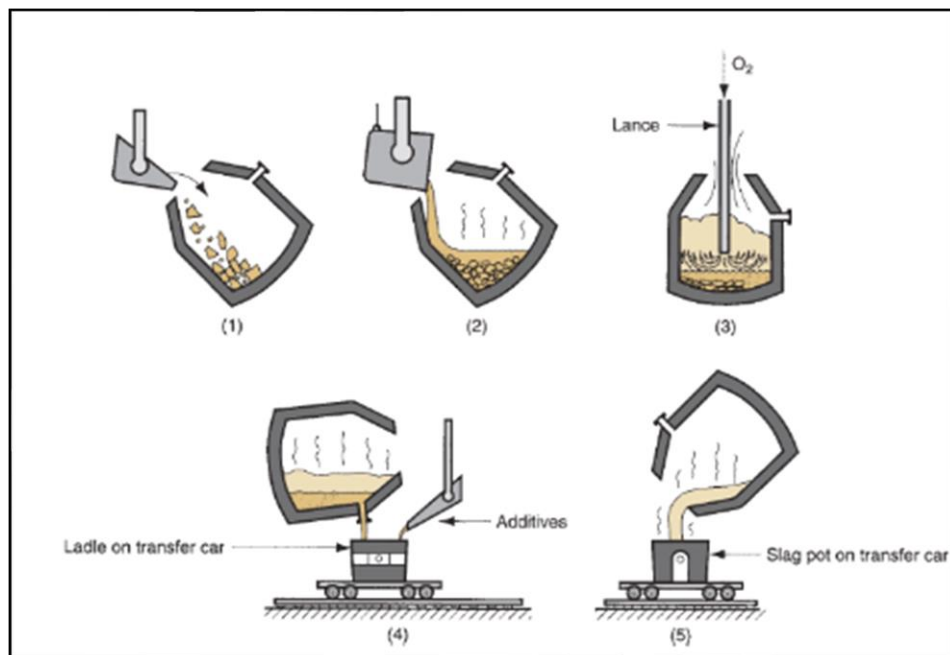


Gambar: 2.6 Dasar tungku oksigen menunjukkan kapal BOF selama pemrosesan Sebuah panas.

Gambar 2.6. Diagram skematik menunjukkan rincian operasi tanur tinggi. Gas untuk membersihkan dan memanaskan kembali Arah gerakan bahan muatan Arah gerakan gas panas Udara ledakan panas Terak Babi Molten. Tungku oksigen dasar menyumbang sekitar 70% dari produksi baja A.S. Itu BOF adalah adaptasi dari konverter *Bessemer*. Sedangkan proses *Bessemer* udara yang digunakan diledakkan melalui besi babi cair untuk membakar kotoran, oksigen dasar Prosesnya menggunakan oksigen murni. Diagram BOF konvensional selama pertengahan panas diilustrasikan pada Gambar 3.7. Kapal BOF yang khas adalah sekitar 5 m (16 kaki) diameter dalam dan dapat memproses 150 hingga 200 ton dalam panas. Urutan pembuatan baja BOF ditunjukkan pada Gambar 3.8. Pabrik baja terintegrasi mentransfer besi babi cair dari blast furnace ke BOF dalam mobil kereta api yang disebut mobil sendok besi panas. Dalam praktik modern, potongan baja ditambahkan ke besi kasar, akuntansi sekitar 30% dari biaya BOF biasa. Lime (CaO) juga ditambahkan. Setelah pengisian, tombak dimasukkan ke dalam bejana sehingga ujungnya sekitar 1,5 m (5 kaki) di atas permukaan besi cair. O₂ murni dihirup dengan kecepatan tinggi melalui tombak, menyebabkan pembakaran dan pemanasan di permukaan kolam cair. Karbon

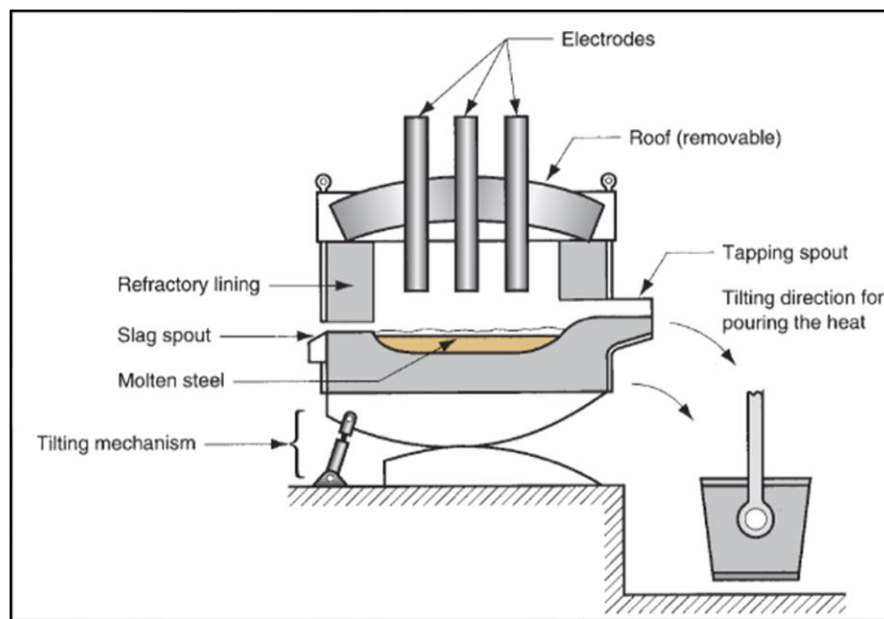
terlarut dalam besi dan kotoran lainnya seperti silikon, mangan, dan fosfor dioksidasi. Setelah *refining* ke tingkat yang diinginkan, baja cair disadap; paduan bahan dan aditif lainnya dituangkan ke dalam panas; kemudian terak dituang. Bisa menghasilkan 200 ton panas baja diproses dalam waktu sekitar 20 menit, meskipun seluruh waktu siklus (waktu ketuk ke ketuk) membutuhkan waktu sekitar 45 menit.

Kemajuan terbaru dalam teknologi proses oksigen dasar termasuk penggunaan nosel di bagian bawah bejana tempat oksigen disuntikkan ke dalam lelehan besi. Ini memungkinkan pencampuran yang lebih baik daripada tombak BOF konvensional, menghasilkan lebih pendek waktu pemrosesan (pengurangan sekitar 3 menit), kandungan karbon lebih rendah, dan lebih tinggi hasil panen.



Gambar: 2.7 Urutan BOF selama siklus pemrosesan: (1) pengisian memo dan (2) besi kasar; (3) hembusan; (4) mengetuk baja cair; dan (5) menuangkan terak.

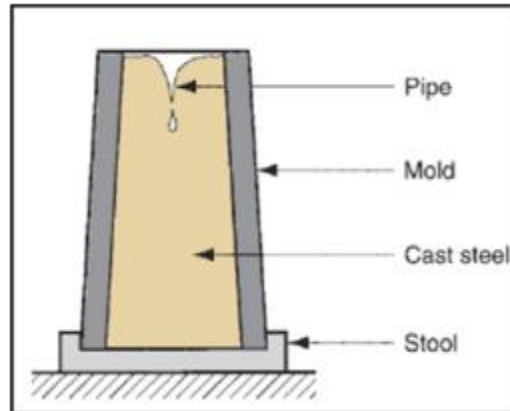
Tungku busur listrik menyumbang sekitar 30% dari produksi baja Amerika Serikat Meskipun besi kasar pada awalnya digunakan sebagai muatan dalam tungku jenis ini, skrap besi dan baja tua adalah bahan baku utama saat ini. Tungku busur listrik adalah tersedia dalam beberapa desain; tipe busur langsung yang ditunjukkan pada Gambar 3.8 saat ini adalah tipe paling ekonomis.



Gambar: 2.8 Listrik *arc furnace* untuk pembuatan baja.

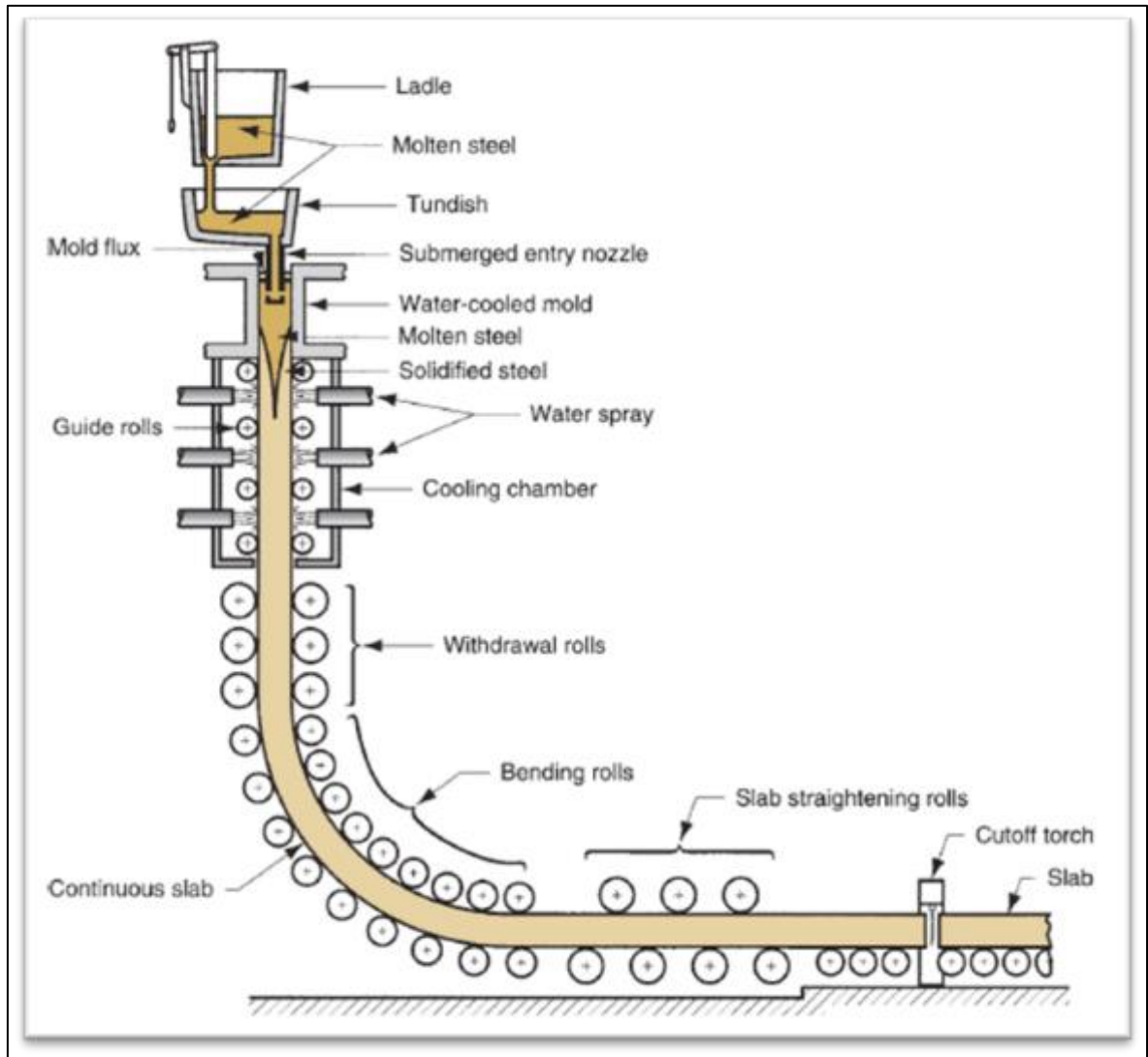
Tungku ini memiliki atap yang bisa dilepas untuk diisi daya atas; penyadapan dilakukan dengan memiringkan seluruh tungku. Besi tua dan baja dipilih untuk komposisi mereka, bersama-sama dengan bahan paduan dan batu kapur (*flux*), dimasukkan ke dalam tungku dan dipanaskan oleh busur listrik yang mengalir di antaranya elektroda besar dan logam muatan. Pencairan total membutuhkan sekitar 2 jam; waktu tap-to-tap adalah 4 jam. Kapasitas tungku listrik umumnya berkisar antara 25 dan 100 ton per panas. Tungku busur listrik dicatat untuk baja berkualitas lebih baik tetapi biaya per ton lebih tinggi, dibandingkan dengan BOF. Tungku busur listrik umumnya terkait dengan produksi baja paduan, baja perkakas, dan baja tahan karat.

Pengecoran Baja Ingot yang diproduksi oleh BOF atau tungku listrik dipadatkan pemrosesan selanjutnya baik sebagai cor ingot atau dengan *casting* kontinu. Ingot baja adalah coran diskrit besar dengan berat mulai dari 1 ton hingga sekitar 300 ton berat seluruh panas). Cetakan ingot terbuat dari besi karbon tinggi dan meruncing di bagian atas atau bawah untuk menghilangkan pengecoran padat. Cetakan *big end down* diilustrasikan pada Gambar 2.9.



Gambar: 2.9 Cetakan batangan besar dan bawah tipikal tipe yang digunakan dalam pembuatan baja.

Bagian melintang bisa persegi, persegi panjang, atau bulat, dan perimeter biasanya bergelombang untuk menambah luas permukaan agar pendinginan lebih cepat. Cetakan ditempatkan pada platform yang disebut bangku; setelah pemadatan kation cetakan diangkat, meninggalkan *casting* di bangku. Karena *ingot* adalah coran besar, maka waktu yang diperlukan untuk solidifikasi dan penyusutan yang terkait adalah signifikan. Porositas disebabkan oleh reaksi karbon dan oksigen untuk membentuk CO selama pendinginan dan pemadatan kation adalah masalah yang harus diatasi dalam pengecoran *ingot*. Gas-gas ini dibebaskan dari baja cair karena kelarutannya berkurang dengan menurun suhu. Baja tuang sering diperlakukan untuk membatasi atau mencegah evolusi gas CO. *Continuous casting* secara luas diterapkan dalam aluminium dan tembaga produksi, tetapi aplikasi yang paling penting adalah pembuatan baja. Prosesnya adalah mengganti *ingot casting* karena secara dramatis meningkatkan produktivitas. Pengecoran *ingot* adalah proses tersendiri. Karena cetakannya relatif besar, waktu kation sangat penting tidak bisa Untuk ingot baja besar, mungkin diperlukan 10 hingga 12 jam untuk *casting* untuk memadat. Penggunaan pengecoran kontinu mengurangi waktu kation dengan urutan besarnya. Proses pengecoran kontinu, juga disebut pengecoran untai, diilustrasikan dalam Gambar 2.10.



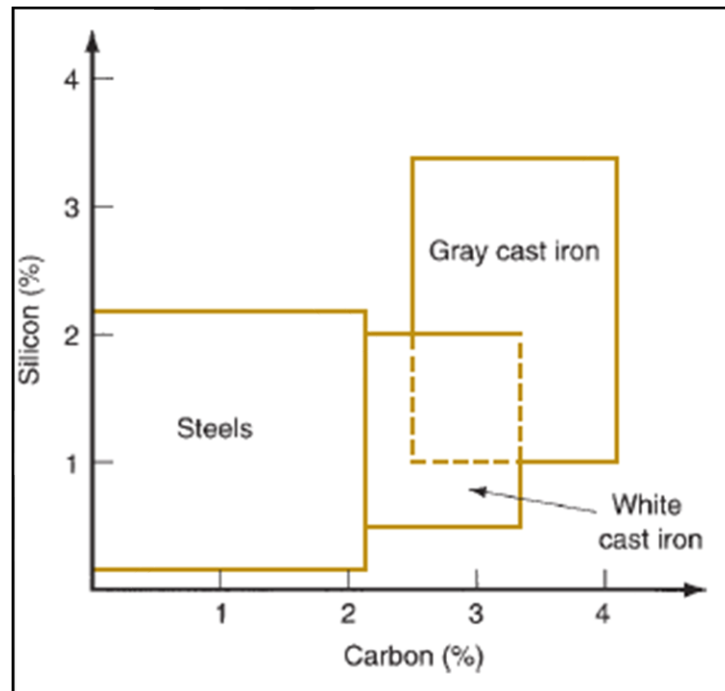
Gambar: 2.10 Pengecoran kontinyu

Baja cair dituang dari sendok ke wadah sementara yang disebut tundish, yang menyalurkan logam ke satu atau lebih cetakan *casting* kontinu. Itu baja mulai memadat di daerah luar saat bergerak turun melalui watercooled cetakan. Semprotan air mempercepat proses pendinginan. Saat masih panas dan plastik, logam ditebuk dari orientasi vertikal ke horizontal. Kemudian dipotong menjadi beberapa bagian atau diumpankan terus menerus ke gilingan bergulir di mana ia dibentuk menjadi pelat atau lembar saham atau bagian lintas lainnya.

c. Besi Cor

Besi cor adalah campuran besi yang mengandung 2,1% hingga sekitar 4% karbon dan dari 1% sampai 3% silikon. Komposisinya membuatnya sangat

cocok sebagai logam cor. Faktanya, tonase tuang besi cor beberapa kali dari semua bagian logam cor lainnya gabungan (tidak termasuk ingot cor yang dibuat selama pembuatan baja yang selanjutnya digulung menjadi batangan, pelat, dan stok sejenis). Keseluruhan tonase besi cor adalah yang kedua hanya untuk baja di antara logam.



Gambar: 3.11 Karbon dan silikon

Komposisi untuk besi cor, dengan perbandingan dengan baja (kebanyakan baja memiliki silikon yang relatif rendah isi - baja tuang memiliki konten Si lebih tinggi). Besi ulet dibentuk oleh peleburan khusus dan pengobatan menuangkan besi cor kelabu, dan besi lunak dibentuk oleh panas pengobatan besi cor putih. Ada beberapa jenis besi cor, yang paling penting adalah besi cor kelabu. Jenis lain termasuk besi ulet, besi cor putih, besi lunak, dan berbagai paduan membuang besi. Komposisi kimia khas dari besi cor kelabu dan putih diperlihatkan dalam Gambar 3.11, menunjukkan hubungannya dengan baja tuang. Setrika ulet dan lunak masing-masing memiliki kimia yang mirip dengan besi cor kelabu dan putih, tetapi hasilnya dari perawatan khusus untuk dijelaskan sebagai berikut. Tabel 3.1 menyajikan daftar kimia untuk jenis utama bersama dengan sifat mekanik.

Tabel 3.1 Komposisi dan sifat mekanis dari besi tuang terpilih.

Type	Typical Composition, %					Tensile Strength		
	Fe	C	Si	Mn	Other*	MPa	lb/in ²	Elongation, %
Gray cast irons								
ASTM Class 20	93.0	3.5	2.5	0.65		138	20,000	0.6
ASTM Class 30	93.6	3.2	2.1	0.75		207	30,000	0.6
ASTM Class 40	93.8	3.1	1.9	0.85		276	40,000	0.6
ASTM Class 50	93.5	3.0	1.6	1.0	0.67 Mo	345	50,000	0.6
Ductile irons								
ASTM A395	94.4	3.0	2.5			414	60,000	18
ASTM A476	93.8	3.0	3.0			552	80,000	3
White cast iron								
Low-C	92.5	2.5	1.3	0.4	1.5Ni, 1Cr, 0.5Mo	276	40,000	0
Malleable irons								
Ferritic	95.3	2.6	1.4	0.4		345	50,000	10
Pearlitic	95.1	2.4	1.4	0.8		414	60,000	10

sumber: (Groover, 2019)

Besi cor diidentifikasi oleh berbagai sistem. Tabel ini merupakan upaya untuk menunjukkan tingkat penggunaan besi tuang tertentu identifikasi paling umum untuk setiap jenis. Cast irons juga mengandung fosfor dan sulfur yang biasanya berjumlah kurang dari 0,3%. Besi Cor abu-abu menyumbang tonase terbesar di antara para pemain setrika. Ini memiliki komposisi dalam kisaran 2,5% hingga 4% karbon dan silikon 1% hingga 3%. Kimia ini menghasilkan pembentukan grafit (karbon) yang terdistribusi di seluruh produk cor setelah solidifikasi. Struktur tersebut menyebabkan permukaan logam memiliki warna abu-abu saat retak; maka dari itu namanya grey cast iron.

Produk yang terbuat dari besi cor kelabu termasuk blok mesin otomotif dan kepala, rumah motor, dan pangkalan alat mesin (Groover, 2019).

- 1) Besi ulet Ini adalah besi dengan komposisi besi abu-abu di mana lelehan logam diolah secara kimia sebelum dituang untuk menyebabkan pembentukan grafit spheroids daripada flakes. Ini menghasilkan besi yang lebih kuat dan lebih elastis namanya. Aplikasi termasuk komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi dan resistensi aus yang baik.
- 2) Besi Cor Putih, besi cor ini memiliki lebih sedikit karbon dan silikon dibandingkan besi cor kelabu. Itu dibentuk oleh pendinginan yang lebih cepat dari logam cair setelah penuangan, sehingga menyebabkan karbon untuk tetap dikombinasikan secara kimia dengan besi dalam bentuk sementit (Fe_3C), bukannya mempercepat solusi dalam bentuk flakes.

Ketika patah, itu permukaan memiliki penampilan kristal putih yang memberi nama besi. Karena semen, besi cor putih keras dan rapuh, dan ketahanan ausnya sangat baik. Kekuatannya bagus, dengan TS 276 MPa (40.000 lb / in²) menjadi tipikal. Sifat-sifat ini membuat besi cor putih cocok untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan aus. Sepatu rem kereta api adalah contohnya.

- 3) Besi Lunak ketika coran besi putih dipanaskan untuk memisahkannya karbon keluar dari larutan dan membentuk agregat grafit, logam yang dihasilkan disebut besi lunak. Mikrostruktur baru dapat memiliki keuletan yang substansial (hingga 20% elongation) sebuah perbedaan signifikan dari logam yang ditransformasikan. Produk-produk khas yang terbuat dari besi cor yang lunak termasuk pemasangan pipa dan sudut, pasti komponen mesin, dan bagian peralatan kereta api.
- 4) Paduan besi cor dapat dicampur untuk properti dan aplikasi khusus. besi cor ini diklasifikasikan sebagai berikut:
 - a) Jenis yang bisa diobati dengan panas itu dapat dikeraskan dengan pembentukan martensit.
 - b) Tipe tahan korosi, yang elemen paduan termasuk nikel dan kromium; dan
 - c) Tipe tahan panas mengandung proporsi nikel yang tinggi untuk kekerasan panas dan ketahanan terhadap yang tinggi oksidasi suhu.

C. LATIHAN SOAL/TUGAS

1. Apa itu logam dan kelompok utama nya ?
2. Jelaskan pengertian *alloys* ?
3. Apa pengertian dari besi Cor ?
4. Paduan besi cor dapat dicampur untuk properti dan aplikasi khusus Sebutkanlah klasifikasi pada paduan besi cor ?
5. Sebutkanlah yang termaksud dalam kelompok non logam ?

D. DAFTAR PUSTAKA

- Beeley, P. R. (2001) Foundry Technology. Butterworths- Heinemann, Oxford, England.
- Black, J, and Kohser, R. (2012) DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing, 11th ed., John WILEY
- Flinn, R. A. (2001) Fundamentals of Metal *Casting* American Foundrymen's Society, Des Plaines,
- Flinn, R. A., and Trojan, P. K. (1995). Engineering Materials and Their Applications, 5th ed. John Wiley & Sons, New York,
- Groover, M. P. (2019). Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems. USA: John Wiley & Sons, Inc
- Keefe, J., A *Brief Introduction to Precious Metals*," *The AMMTIAC Quarterly*, Vol. 2, No. 1, 2007.
- Richerson, D. W. (2006) Modern Ceramic Engineering: Properties, Processing, and Use in Design, 3rd ed. CRC Taylor & Francis, Boca Raton, Florida,

PERTEMUAN 3 METAL CASTING

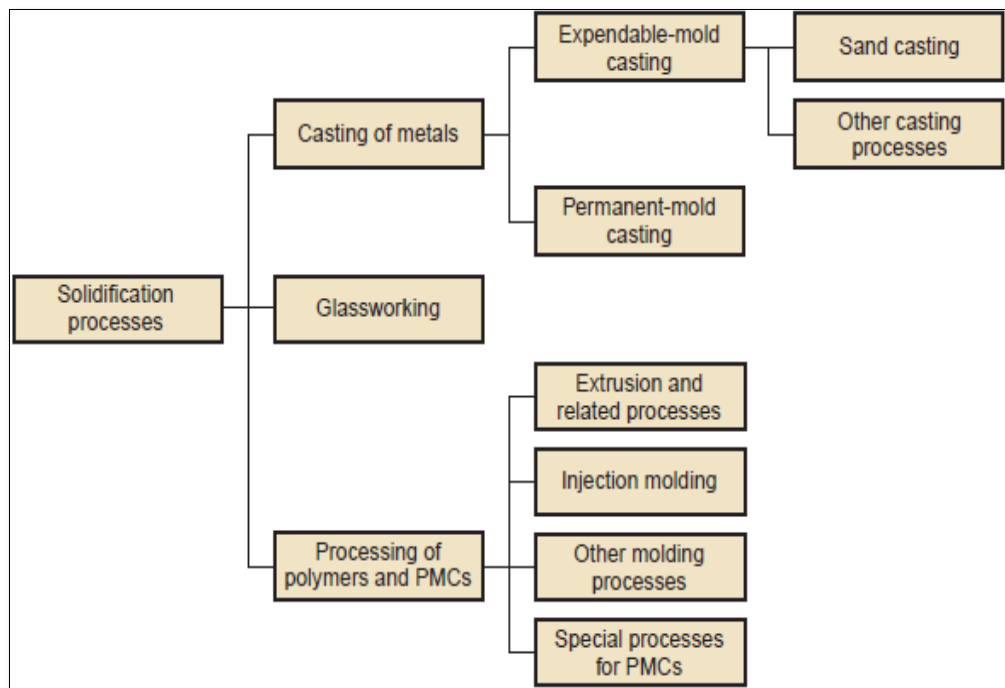
A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa mengetahui proses dasar dalam *metal casting* dilakukan, perubahan wujud material, titik *heater* material serta jenis penyusutan yang terjadi pada beberapa material logam, mahasiswa mengetahui Teknik dalam proses pembuatan *mold* dalam proses *casting* serta mampu mengetahui teknik dan teknologi yang dapat digunakan dalam melakukan *casting*

B. URAIAN MATERI

1. Definisi Fundamental *Casting* Logam

Mencakup pembuatan itu proses di mana bahan kerja awal adalah baik cairan atau dalam kondisi sangat plastik, dan sebagian dibuat melalui solidifikasi bahan. Pengecoran dan proses pencetakan mendominasi kategori ini membentuk operasi.



Gambar 3.1 Klasifikasi proses solidifikasi.

Dengan mengacu pada Gambar 3.1, proses *solidification* dapat diklasifikasi sesuai dengan bahan rekayasa yang diproses (Groover, 2013):

- a. logam,
- b. keramik, gelas
- c. polimer

Casting adalah proses dimana logam cair mengalir gravitasi atau gaya lain ke dalam cetakan di mana ia mengeras bentuk rongga cetakan. Istilah *casting* juga diterapkan pada bagian yang dibuat oleh proses ini. Itu satu dari proses pembentukan tertua, sejak 6000 tahun Prinsip *casting* sepertinya sederhana: melelehkan logam, tuangkan ke dalam cetakan, dan biarkan dingin dan kokoh; namun ada banyak faktor dan *variable* itu harus diperhatikan untuk mencapai operasi pengecoran yang sukses.

Casting termasuk *casting* ingot dan *casting* bentuk. Istilah ingot biasanya dikaitkan dengan industri logam primer; itu menggambarkan *casting* besar yang bentuknya sederhana dan ditujukan untuk pembentukan kembali selanjutnya oleh proses seperti penggulungan atau penempaan. bentuk melibatkan produksi yang lebih *kompleks geometri* yang jauh lebih dekat dengan bentuk akhir yang diinginkan dari bagian atau produk. Berbagai metode pengecoran bentuk tersedia, sehingga menjadikannya salah satu yang paling serbaguna dari semua proses manufaktur. Di antara kemampuan dan kelebihanannya adalah berikut (Groover, 2013):

- a. *Casting* dapat digunakan untuk membuat geometri bagian yang kompleks, termasuk keduanya eksternal dan bentuk internal.
- b. Beberapa proses pengecoran mampu menghasilkan komponen menjadi bentuk jaring. Tidak lanjut operasi manufaktur diperlukan untuk mencapai geometri dan dimensi bagian. Proses pengecoran lainnya mendekati bentuk jaring, untuk itu diperlukan beberapa pemrosesan bentuk tambahan (biasanya pemesinan) untuk mencapai dimensi dan detail yang akurat.
- c. *Casting* dapat digunakan untuk memproduksi komponen yang sangat besar. Coran dengan berat lebih dari 100 ton telah dibuat.
- d. Proses pengecoran dapat dilakukan pada logam apa saja yang dapat dipanaskan hingga keadaan cair.
- e. Beberapa metode pengecoran sangat cocok untuk produksi masal.

2. Teknologi Dalam Pengecoran

Sebagai proses produksi, pengecoran biasanya dilakukan di pengecoran. Pengecoran adalah pabrik dilengkapi untuk membuat cetakan, peleburan dan penanganan logam dalam bentuk cair, melakukan proses *casting*, dan membersihkan *casting* yang sudah selesai. Pekerja yang melakukan operasi pengecoran di pabrik-pabrik ini disebut pengecoran (Groover, 2013).

a. Proses Pencetakan

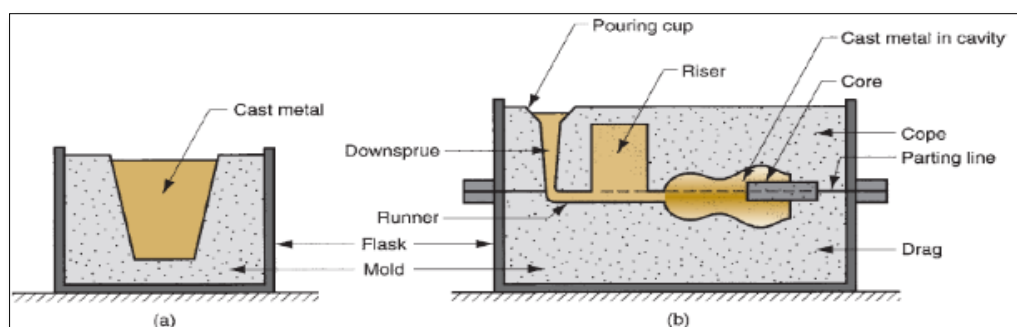
Diskusi pengecoran secara logis dimulai dengan cetakan. Cetakan berisi rongga yang geometri menentukan bentuk bagian cor. Ukuran dan bentuk sebenarnya dari rongga harus sedikit kebesaran untuk memungkinkan penyusutan yang terjadi di logam selama *kation* dan pendinginan. Logam yang berbeda mengalami jumlah yang berbeda penyusutan, sehingga rongga cetakan harus dirancang untuk logam tertentu yang akan dicetak jika akurasi dimensi sangat penting. Cetakan terbuat dari berbagai bahan, termasuk pasir, plester, keramik, dan logam. Berbagai proses *casting* sering diklasifikasi sesuai dengan berbagai jenis cetakan.

Untuk melakukan operasi pengecoran, logam pertama kali dipanaskan hingga suhu tinggi cukup untuk sepenuhnya mengubahnya menjadi keadaan cair. Itu kemudian dituangkan, atau sebaliknya diarahkan, ke dalam rongga cetakan. Dalam cetakan terbuka, cairan logam dituangkan begitu saja sampai memenuhi rongga yang terbuka. Dalam cetakan tertutup, lorong, yang disebut sistem gating, disediakan untuk memungkinkan logam cair mengalir dari luar cetakan ke dalam rongga. Cetakan tertutup jauh lebih penting.

Segara setelah logam cair berada dalam cetakan, ia mulai dingin. Saat suhu tetes secukupnya (misalnya, ke titik beku untuk logam murni), *kation* diperkuat dimulai. Solidifikasi kation melibatkan perubahan fase logam. Waktu diperlukan untuk selesaikan perubahan fase, dan panas yang cukup diberikan dalam proses. Ini selama langkah ini dalam proses bahwa logam mengasumsikan bentuk padat cetakan rongga dan banyak sifat dan karakteristik *casting* dibuat. Setelah cetakan telah cukup dingin, cetakan dikeluarkan dari cetakan. Tergantung pada metode *casting* dan logam yang digunakan, pemrosesan lebih lanjut mungkin diperlukan. Ini mungkin termasuk memotong logam berlebih dari bagian cor yang sebenarnya, membersihkan permukaan.

Memeriksa produk, dan perlakuan panas untuk meningkatkan sifat. Sebagai tambahan, pemesinan mungkin diperlukan untuk mencapai toleransi yang lebih dekat pada fitur bagian tertentu dan untuk menghapus permukaan *gips*. Proses *casting* dibagi menjadi dua kategori besar, sesuai dengan jenis cetakan digunakan: pengecoran cetakan dibuang dan pengecoran cetakan permanen. Cetakan yang bisa dibuang berarti bahwa cetakan di mana logam cair dipadatkan harus dihancurkan secara berurutan untuk menghapus *casting*. Cetakan ini terbuat dari pasir, plester, atau bahan serupa, yang bentuknya dipertahankan dengan menggunakan pengikat dari berbagai jenis. Pengecoran pasir adalah contoh paling menonjol dari proses cetakan dibuang. Dalam pengecoran pasir, itu logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang terbuat dari pasir. Setelah logam mengeras, cetakan harus dikorbankan untuk memulihkan *casting*.

Cetakan permanen adalah cetakan yang dapat digunakan berulang kali untuk menghasilkan banyak cetakan. Itu terbuat dari logam (atau, lebih jarang, bahan tahan api keramik) itu dapat menahan suhu tinggi dari operasi *casting*. Dalam cetakan permanen *casting*, cetakan terdiri dari dua (atau lebih) bagian yang dapat dibuka untuk memungkinkan penghapusan bagian yang telah selesai. *Die casting* adalah proses yang paling akrab di grup ini. *Geometri* pengecoran yang lebih rumit umumnya dimungkinkan dengan yang dapat dibuang proses cetakan. Bentuk bagian dalam proses cetakan permanen dibatasi oleh perlu membuka cetakan. Di sisi lain, beberapa proses cetakan permanen memiliki keuntungan ekonomi tertentu dalam operasi produksi tinggi.



Gambar 3.2 Dua bentuk cetakan: (a) cetakan terbuka, dan (b) cetakan ditutup

b. Pasir *Casting*

Pengecoran pasir sejauh ini merupakan proses pengecoran yang paling penting. Cetakan pengecoran pasir akan digunakan untuk menggambarkan fitur dasar cetakan. Banyak fitur dan ketentuan ini adalah umum untuk cetakan yang digunakan dalam proses pengecoran lainnya. Gambar 3.2 menunjukkan tampilan *cross-sectional* dari cetakan pengecoran pasir khas, menunjukkan beberapa *terminologi*. Cetakan terdiri dari dua bagian: mengatasi dan menyeret. *Cope* adalah bagian atas cetakan, dan hambatan adalah bagian bawah. Dua bagian cetakan ini terkandung dalam sebuah kotak, disebut sebagai bertanya, yang juga dibagi menjadi dua bagian, satu untuk mengatasi dan yang lainnya untuk *drag*. Dua bagian cetakan terpisah pada garis perpisahan.

Dalam pengecoran pasir (dan proses cetakan lainnya yang dapat dibuang) rongga cetakan terbentuk dengan pola, yang terbuat dari kayu, logam, plastik, atau bahan lainnya dan memiliki bentuk bagian yang akan dilemparkan. Rongga terbentuk dengan mengemas pasir di sekitar pola, sekitar setengah masing-masing dalam mengatasi dan menyeret, sehingga ketika pola dihapus, kekosongan yang tersisa memiliki bentuk yang diinginkan dari bagian cor. Polanya biasanya dibuat kebesaran untuk memungkinkan penyusutan logam saat dipadatkan dan didinginkan.

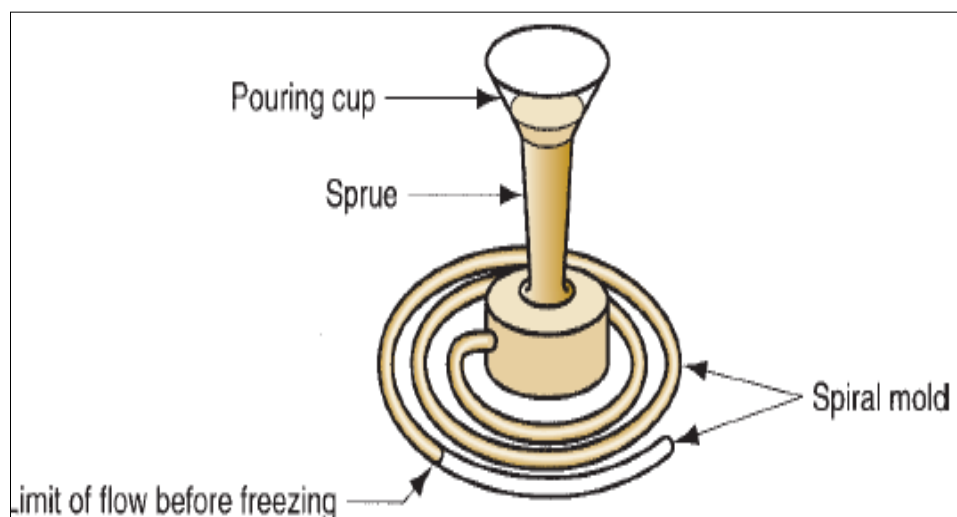
Pasir karena cetakannya lembab dan mengandung binder untuk mempertahankan bentuknya. Rongga dalam cetakan menyediakan permukaan luar dari bagian cetakan. Sebagai tambahan, *casting* mungkin memiliki permukaan internal. Permukaan ini ditentukan dengan cara inti, bentuk ditempatkan di dalam rongga cetakan untuk mendefinisikan geometri interior bagian. Dalam pengecoran pasir, inti umumnya terbuat dari pasir, meskipun bahan lain bisa dibuat digunakan, seperti logam, plester, dan keramik. Sistem *gating* dalam cetakan *casting* adalah saluran, atau jaringan saluran, oleh yang mengalir logam cair ke dalam rongga dari luar cetakan. Seperti yang ditunjukkan pada gambar, sistem *gating* biasanya terdiri dari *downsprue* (juga disebut hanya *sprue*), melalui mana logam memasuki pelari yang mengarah ke rongga utama. Di atas *downsprue*, gelas penuangan sering digunakan untuk meminimalkan percikan dan *turbulensi* sebagai logam mengalir ke *downsprue*. Ini ditulis dalam diagram sebagai kerucut sederhana corong. Beberapa gelas penuangan dirancang dalam bentuk wadah, dengan

saluran terbuka mengarah ke *downsprue*. Selain sistem *gating*, semua *casting* yang susutnya signifikan membutuhkan *riser* yang terhubung ke rongga utama. Riser adalah *reservoir* dalam cetakan itu bekerja sebagai sumber logam cair untuk *casting* untuk mengkompensasi penyusutan selama solidifikasi kation. Riser harus dirancang untuk membeku setelah pengecoran utama memenuhi fungsinya.

Saat logam mengalir ke cetakan, udara yang sebelumnya diletakkan rongga, sebagai serta gas panas yang terbentuk oleh reaksi logam cair, harus dievakuasi diselesaikan rupa logam akan kosong mengisi ruang kosong. Dalam pengecoran pasir, misalnya, alami porositas cetakan pasir memungkinkan udara dan gas keluar melalui dinding rongga. Dalam cetakan logam permanen, lubang instalasi kecil dibor ke dalam cetakan atau mesin ke garis perpisahan untuk memudahkan udara dan gas.

c. *Fluiditas* (Ketidakstabilan)

Karakteristik aliran logam cair sering digambarkan dengan istilah fluiditas, suatu ukuran dari kemampuan logam untuk mengalir masuk dan mengisi cetakan sebelum pembekuan. Fluiditas adalah kebalikan dari *viskositas* saat *viskositas* meningkat, cairan menurun. Standar metode pengujian tersedia untuk menilai *fluiditas*, termasuk tes cetakan spiral yang ditunjukkan di mana sifat cair ditunjukkan oleh panjang logam yang dipadatkan dalam saluran spiral.



Gambar 3.3 Spiral tes cetakan untuk cairan

Spiral cor yang lebih panjang berarti cairan yang lebih besar dari logam cair. Faktor-faktor yang mempengaruhi fluida meliputi suhu penuangan relatif terhadap titik leleh, komposisi logam, *viskositas* logam cair, dan perpindahan panas ke sekitarnya. Temperatur tuang yang lebih tinggi relatif terhadap titik beku logam meningkat waktu itu tetap dalam keadaan cair, memungkinkan untuk mengalir lebih jauh sebelum membeku. Ini cenderung memperburuk masalah pengecoran tertentu seperti pembentukan oksida, porositas gas, dan penetrasi logam cair ke ruang *interstitial* antara butir pasir membentuk cetakan.

Masalah terakhir ini menyebabkan permukaan *casting* mengandung partikel pasir yang tertanam, sehingga membuatnya lebih kasar dan lebih kasar dari biasanya. Komposisi juga memengaruhi cairan, khususnya yang berkaitan dengan solidifikasi logam - mekanisme *kation*. *Fluiditas* terbaik diperoleh dari logam yang membeku pada suhu konstan suhu (mis., logam murni dan paduan *eutektik*). Ketika solidifikasi terjadi pada kisaran suhu (sebagian besar paduan berada dalam kategori ini), bagian yang sebagian dipadatkan mengganggu aliran bagian cair, sehingga mengurangi fluida. Sebagai tambahan pada mekanisme pembekuan, komposisi logam juga menentukan panas *fusi* jumlah panas yang dibutuhkan untuk memadatkan logam dari keadaan cair. Panas lebih tinggi *fusi* cenderung meningkatkan *fluiditas* terukur dalam *casting*.

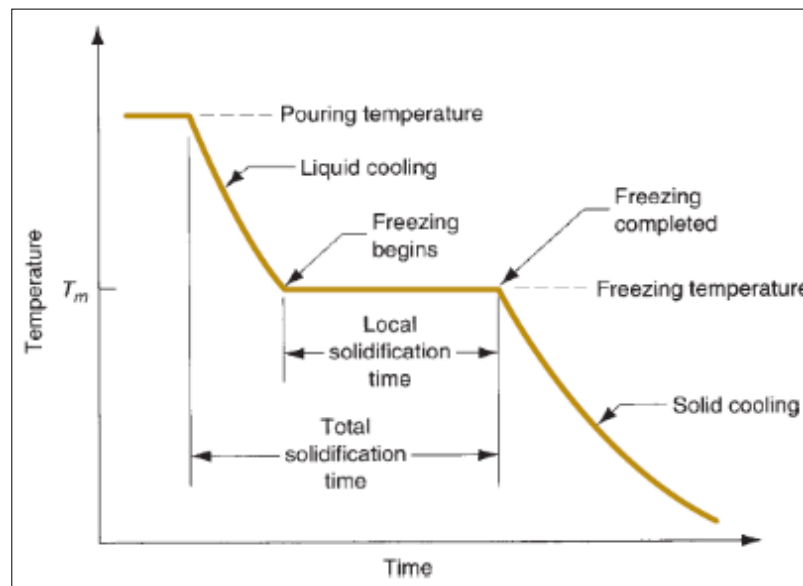
3. Solidifikasi dan Pendinginan

Setelah dituangkan ke dalam cetakan, logam cair mendingin dan membeku. Bagian ini meneliti mekanisme fisik dari kation yang terjadi selama pengecoran. Masalah terkait dengan kation solidifikasi termasuk waktu untuk logam membeku, susut, terarah kation solidifikasi, dan desain riser (Groover, 2013).

a. Padat Logam

Solidifikasi melibatkan transformasi logam cair kembali menjadi padat negara. Proses pembekuan berbeda tergantung pada apakah logamnya murni elemen atau paduan. Logam Murni Logam murni dipadatkan pada suhu konstan sama dengan titik pembekuannya, dengan titik leburnya. Titik lebur logam murni dikenal dan didokumentasikan Proses terjadi seiring waktu

seperti yang ditunjukkan dalam *plot* yang disebut kurva pendinginan. Pembekuan yang sebenarnya membutuhkan waktu.



Gambar 3.4 Pendinginan kurva untuk logam murni selama *casting*.

Waktu pemadatan lokal dalam *casting*, di mana panas laten logam fusi dilepaskan ke cetakan di sekitarnya. Total waktu *kation* adalah waktu yang dibutuhkan antara menuang dan menyelesaikan kation. Setelah *casting* selesai Dipadatkan, pendinginan berlanjut pada kecepatan yang ditunjukkan oleh kemiringan ke bawah kurva pendinginan. Karena aksi dingin dari dinding cetakan, awalnya kulit tipis dari logam padat terbentuk pada antarmuka segera setelah menuangkan. Ketebalan kulit meningkat menjadi membentuk cangkang di sekitar logam cair saat solidifikasi berlangsung ke arah dalam pusat rongga. Kecepatan pembekuan tergantung pada perpindahan panas ke dalam cetakan, serta sifat *termal* logam.

Sangat menarik untuk memeriksa pembentukan dan pertumbuhan butiran logam selama ini proses *solidifikasi kation*. Logam yang membentuk kulit awal telah dengan cepat didinginkan oleh ekstraksi panas melalui dinding cetakan. Tindakan pendinginan ini menyebabkan butiran di kulit untuk menjadi baik dan berorientasi secara acak. Saat pendinginan berlanjut, butir lebih lanjut pembentukan dan pertumbuhan terjadi dalam arah yang jauh dari perpindahan panas. Sejak perpindahan panas melalui dinding kulit dan kapang, butir tumbuh ke dalam sebagai jarum atau duri dari logam padat. Saat

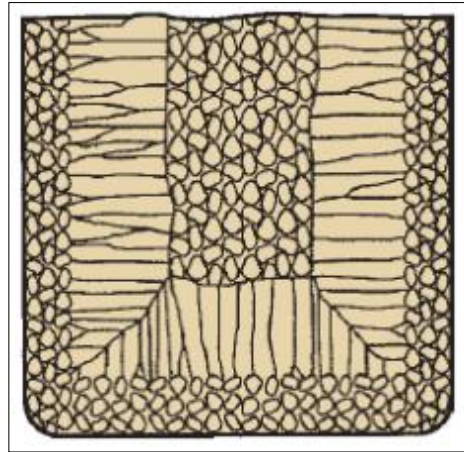
duri-duri ini membesar, cabang lateral terbentuk, dan seperti ini cabang tumbuh, cabang lebih jauh terbentuk di sudut kanan ke cabang pertama. Tipe ini pertumbuhan biji-bijian disebut sebagai pertumbuhan *dendritik*, dan itu terjadi tidak hanya dalam pembekuan dari logam murni tetapi paduan juga. Struktur seperti *tree* ini secara bertahap dilengkapi selama pembekuan, karena logam tambahan terus disimpan ke dendrit sampai *solidasi kation* lengkap telah terjadi. Butir yang dihasilkan dari pertumbuhan detik ini mengambil orientasi yang disukai, cenderung kasar, butir berbentuk kolom disejajarkan pusat *casting*.

Sebagian besar paduan membeku pada rentang suhu daripada pada satu suhu. Kisaran yang tepat tergantung pada sistem paduan dan komposisi tertentu. Solidifikasi kation suatu paduan menunjukkan diagram fase untuk sistem paduan tertentu dan kurva pendinginan untuk komposisi yang diberikan. Saat suhu turun, pembekuan dimulai pada suhu ditunjukkan oleh *liquidus* dan selesai ketika *solidus* tercapai. Awal pembekuan mirip dengan logam murni. Kulit tipis terbentuk di dinding cetakan karena *gradien* suhu yang besar di permukaan ini. Pembekuan kemudian berlangsung seperti sebelumnya melalui pembentukan *dendrit* yang tumbuh jauh dari dinding. Namun, karena penyebaran suhu antara *liquidus* dan *solidus*, sifat pertumbuhan *dendritik* sedemikian rupa sehingga terbentuk zona maju baik logam cair maupun padat hidup berdampingan. Bagian padat adalah struktur *dendrit* yang telah terbentuk cukup untuk menjebak pulau-pulau kecil logam cair dalam matriks. Ini daerah padat-cair memiliki konsistensi lunak yang telah memotivasi namanya sebagai lembek daerah. Tergantung pada kondisi pembekuan, zona lembek bisa relatif sempit, atau bisa ada di sebagian besar *casting*. Kondisi terakhir dipromosikan oleh faktor-faktor seperti perpindahan panas lambat dari logam panas dan perbedaan besar antara suhu *liquidus* dan *solidus*. Berangsur-angsur, pulau-pulau cair di Indonesia matriks dendrite memadat ketika suhu *casting* turun ke *solidus* untuk komposisi paduan yang diberikan.

Faktor lain yang menyulitkan pemadatan paduan adalah komposisi dendrit saat mereka mulai membentuk logam dengan titik leleh yang lebih tinggi. Sebagai pembekuan terus dan dendrit tumbuh, ada mengembangkan ketidakseimbangan dalam komposisi antara logam yang telah dipadatkan dan logam cair yang tersisa. Ini Ketidakseimbangan komposisi pada akhirnya

dimanifestasikan dalam pengecoran lengkap dalam bentuk pemisahan elemen. *Segregasi* terdiri dari dua jenis, *mikroskopis* dan *makroskopis*. Pada tingkat *mikroskopis*, komposisi kimianya bervariasi di setiap bagiannya gandum individu. Ini disebabkan oleh fakta bahwa tulang belakang awal masing-masing *dendrit* memiliki proporsi yang lebih tinggi dari salah satu elemen dalam paduan. Ketika *dendrit* tumbuh di dalamnya lokal sekitar, itu harus berkembang menggunakan sisa logam cair yang telah sebagian kehabisan komponen pertama. Akhirnya, logam terakhir yang membeku di setiap butir adalah itu yang telah terperangkap oleh cabang-cabang dendrit, dan komposisinya genap lebih lanjut tidak seimbang. Dengan demikian, ada variasi komposisi kimia dalam tunggal butiran *casting*.

Pada tingkat *makroskopik*, komposisi kimia bervariasi di seluruh keseluruhan pengecoran. Karena daerah *casting* yang pertama membeku (di luar dekat cetakan dinding) lebih kaya dalam satu komponen daripada yang lain, paduan lebur yang tersisa adalah kehilangan komponen itu pada saat pembekuan terjadi di interior. Jadi disana adalah segregasi umum melalui penampang *casting*, kadang-kadang disebut segregasi ingot, Paduan *eutektik* merupakan pengecualian untuk proses umum oleh yang paduan mengeras. Paduan eutektik adalah komposisi khusus dalam sistem paduan dimana *solidus* dan *liquidus* berada pada suhu yang sama. Karenanya, solidifikasi terjadi pada suhu konstan daripada pada kisaran suhu, seperti yang dijelaskan atas. Efeknya dapat dilihat pada diagram fase dari sistem timah-timah yang murni memiliki titik leleh 327°C (621°F), sedangkan timah murni meleleh di 232°C (450°F). Meskipun sebagian besar paduan timah-timah menunjukkan *solidus-liquidus* yang khas kisaran suhu, komposisi khusus timah 61,9% dan timah 38,1% memiliki titik leleh (beku) 183°C (362°F). Komposisi ini adalah komposisi eutektik dari sistem paduan timah-timah, dan 183°C adalah suhu *eutektiknya*. Timah-timah paduan tidak umum digunakan dalam pengecoran, tetapi komposisi Pb-Sn dekat eutektik digunakan untuk penyolderan listrik, di mana titik leleh rendah adalah keuntungan. Contoh-contoh paduan *eutektik* yang ditemukan dalam pengecoran termasuk aluminium-silikon (11,6%Si) dan besi tuang (4,3% C).



Gambar 3.5 Struktur butir karakteristik dalam paduan *casting*,

b. Waktu Solidifikasi

Apakah pengecorannya merupakan logam murni atau paduan, solidifikasi memerlukan waktu. Total solidifikasi waktu Solidifikasi adalah waktu yang diperlukan untuk *casting* untuk memadat setelah menuangkan. Kali ini tergantung pada ukuran dan bentuk *casting* oleh hubungan empiris yang dikenal sebagai aturan *Chvorinov*, yang menyatakan, Aturan *Chvorinov* menunjukkan bahwa *casting* dengan area volume-ke-permukaan lebih tinggi *Rasio* akan mendingin dan memadat lebih lambat dari satu dengan *rasio* yang lebih rendah. Prinsip ini digunakan dengan baik dalam mendesain riser dalam cetakan. Untuk melakukan fungsinya memberi makan logam cair ke rongga utama, logam di riser harus tetap dalam cairan *fase* lebih lama dari *casting*.

c. Penyusutan

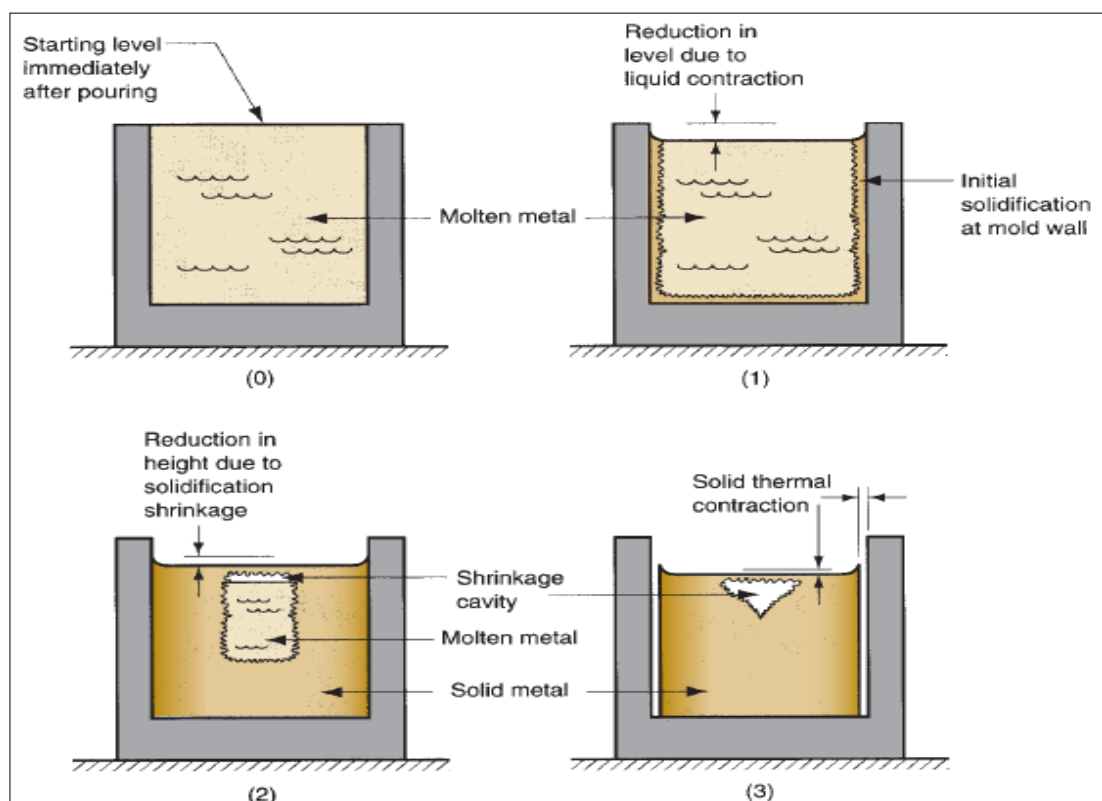
Diskusi tentang *solidifikasi* telah mengabaikan dampak penyusutan yang terjadi selama pendinginan dan pembekuan. Penyusutan terjadi dalam tiga langkah:

- 1) kontraksi cair selama pendinginan sebelum solidifikasi;
- 2) kontraksi selama fase berubah dari cairan ke padat, yang disebut penyusutan solidifikasi; dan kontraksi *termal* dari padatan *casting* selama pendinginan hingga suhu kamar.

Tiga langkah dapat dijelaskan dengan referensi ke coran *silindris* yang dibuat dalam cetakan terbuka, logam cair segera setelah dituang ditunjukkan

pada bagian (0) dari seri. Kontraksi dari logam cair selama pendinginan dari suhu penuangan ke suhu beku menyebabkan ketinggian cairan berkurang dari tingkat awal seperti pada:

- 1) *figure* Jumlah kontraksi cair ini biasanya sekitar 0,5% Solidifikasi penyusutan, terlihat pada bagian memiliki dua efek.
- 2) kontraksi menyebabkan pengurangan lebih lanjut di ketinggian *casting*. Kedua, jumlah logam cair yang tersedia untuk dimakan bagian tengah atas *casting* menjadi terbatas. Ini biasanya merupakan wilayah terakhir untuk membeku, dan tidak adanya logam menciptakan kekosongan dalam *casting* di lokasi ini. Ini rongga susut disebut pipa oleh pengecoran. Setelah diperkuat, pengalaman *casting* kontraksi lebih lanjut dalam tinggi dan diameter saat pendinginan.
- 3) Penyusutan ini ditentukan oleh *koefisien* ekspansi termal logam padat, yang dalam hal ini case diterapkan secara terbalik untuk menentukan kontraksi.



Gambar 3.6 Penyusutan dari pengecoran silinder selama solidifikasi kation dan pendinginan

Tabel 3.1 Nilai penyusutan linear tipikal untuk logam cor berbeda karena kontraksi termal yang solid.

Metal	Linear shrinkage	Metal	Linear shrinkage	Metal	Linear shrinkage
Aluminum alloys	1.3%	Magnesium	2.1%	Steel, chrome	2.1%
Brass, yellow	1.3%–1.6%	Magnesium alloy	1.6%	Tin	2.1%
Cast iron, gray	0.8%–1.3%	Nickel	2.1%	Zinc	2.6%
Cast iron, white	2.1%	Steel, carbon	1.6% – 2.1%		

Penyusutan solidifikasi terjadi di hampir semua logam karena fase padat memiliki kepadatan yang lebih tinggi dari fase cair. *Transformasi fase* yang menyertai solidifikasi kation menyebabkan pengurangan volume per satuan berat logam. Pengecualian adalah besi tuang yang mengandung kadar karbon tinggi, yang padatnya selama Tahap akhir dari pembekuan diperumit dengan periode *grafitisasi*, yang hasilnya dalam *ekspansi* yang cenderung menetralkan penurunan *volumetrik* yang terkait dengan perubahan. Kompensasi untuk susut solidifikasi dicapai dalam beberapa cara tergantung pada operasi *casting*. Dalam pengecoran pasir, logam cair disediakan ke rongga dengan cara bangun Dalam *die casting* logam cair diterapkan di bawah tekanan.

Pembuat pola bertanggung jawab atas kontraksi termal dengan membuat rongga cetakan terlalu besar. Jumlah dimana cetakan harus dibuat lebih besar relatif terhadap akhir Ukuran *casting* disebut pola penyusutan pola. Meskipun susutnya adalah *volumetrik*, dimensi *casting* diekspresikan secara linier, jadi kelonggarannya harus diterapkan sesuai. "Aturan menyusut" khusus dengan skala yang agak memanjang adalah digunakan untuk membuat pola dan cetakan lebih besar dari *casting* yang diinginkan oleh yang sesuai jumlah. Tabel 1.1 mencantumkan nilai tipikal susut linier untuk berbagai logam cor, nilai-nilai ini dapat digunakan untuk menentukan skala aturan menyusut.

d. Solidifikasi Langsung

Untuk meminimalkan efek penyusutan yang merusak, diinginkan untuk daerah *casting* yang paling jauh dari pasokan logam cair untuk membekukan pertama dan untuk solidifikasi untuk maju dari daerah-daerah terpencil ini ke arah riser. Di dalam cara, logam cair akan terus tersedia dari bangun untuk mencegah penyusutan rongga saat pembekuan. Istilah solidifikasi arah digunakan untuk menggambarkan aspek ini dari proses pembekuan dan metode yang dikontrolnya. Itu solidifikasi arah yang diinginkan dicapai dengan mematuhi aturan Chvorinov di desain *casting* itu sendiri, orientasinya di dalam cetakan, dan desain riser sistem yang memberinya makan. Misalnya, dengan menemukan bagian *casting* dengan V / A yang lebih rendah rasio jauh dari riser, pembekuan akan terjadi pertama di wilayah ini dan pasokan cairan logam untuk sisa *casting* akan tetap terbuka sampai bagian bulkier ini mengeras.

Cara lain untuk mendorong solidifikasi arah adalah dengan menggunakan kedinginan — *internal* atau *heat sink* eksternal yang menyebabkan pembekuan cepat di beberapa daerah *casting*.

Kedinginan internal adalah bagian logam kecil yang ditempatkan di dalam rongga sebelum menuangkannya logam cair akan mengeras terlebih dahulu di sekitar bagian ini. Seharusnya dinginnya internal komposisi kimia yang mirip dengan logam yang dituangkan, paling mudah dicapai oleh membuat dingin dari logam yang sama dengan *casting* itu sendiri. Menggigil eksternal adalah sisipan logam di dinding rongga cetakan yang dapat menghapus panas dari logam cair lebih cepat dari pasir sekitarnya mempromosikan solidifikasi. Mereka sering digunakan secara efektif di bagian *casting* yang sulit untuk diberi makan dengan logam cair, sehingga mendorong pembekuan cepat ini bagian sementara koneksi ke logam cair masih terbuka. menggambarkan kemungkinan aplikasi dingin eksternal dan kemungkinan menghasilkan pengecoran jika dingin tidak digunakan.

Sama pentingnya dengan memulai pembekuan di daerah rongga yang tepat, itu juga penting untuk menghindari pembekuan prematur di bagian cetakan terdekat bangun. Yang menjadi perhatian khusus adalah lorong antara riser dan rongga utama. Koneksi ini harus dirancang sedemikian rupa sehingga tidak membeku sebelum *casting*, yang akan mengisolasi *casting* dari logam cair di *riser*. Meskipun umumnya diinginkan untuk meminimalkan

volume pada sambungan (untuk mengurangi pemborosan logam), luas penampang harus memadai untuk menunda awal pembekuan. Ini Tujuan biasanya dibantu dengan membuat lorong pendek, sehingga menyerap panas dari logam cair di riser dan *casting* (Groover, 2013)

C. LATIHAN SOAL / TUGAS

1. Jelaskan apa itu Padat Logam?
2. Berikan Contoh Logam Pemanas untuk *Casting*?
3. Apa maksud dari Solidifikasi langsung?
4. Apa saja langkah langkah Penyusutan?

D. DAFTAR PUSTAKA

- Beeley, P. R. (2001) *Foundry Technology*. Butterworths- Heinemann, Oxford, England.
- Black, J, and Kohser, R. (2012) *DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing*, 11th ed., John WILEY
- Flinn, R. A. (2001) *Fundamentals of Metal Casting* American Foundrymen's Society, Des Plaines,
- Groover, M. P. (2019). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*, 7th ed. USA: John Wiley & Sons, Inc

PERTEMUAN 4

PROSES METAL CASTING

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa mengetahui dasar- dasar dalam melakukan proses *metal casting*, teknik dan alat yang dapat digunakan dalam melakukan proses *metal casting*, menentukan teknik berdasarkan materialnya, menentukan standar kualitas yang dapat diukur pada beberapa material dan bagaimana melakukan pengendalian kualitas *casting* yang dapat dilakukan.

B. URAIAN MATERI

1. Proses Pengecoran Logam

Proses pengecoran logam dibagi menjadi dua kategori, berdasarkan pada jenis cetakan (Groover, 2013):

- a. cetakan dibuang dan
- b. permanen cetakan.

Dalam operasi pengecoran cetakan yang dapat dibuang, cetakan dikorbankan untuk menghapus bagian *gips*. Sejak baru cetakan diperlukan untuk setiap pengecoran baru, tingkat produksi dalam proses pengeluaran cetakan sering dibatasi oleh waktu yang dibutuhkan untuk membuat cetakan daripada waktu untuk membuat *casting* itu sendiri. Namun, untuk bagian tertentu geometri, cetakan pasir dapat diproduksi dan coran dibuat dengan kecepatan 400 bagian per jam dan lebih tinggi. Secara permanen proses pengecoran cetakan, cetakan dibuat dari logam (atau bahan tahan lama lainnya) dan dapat digunakan berkali-kali membuat banyak coran. Dengan demikian, ini memiliki proses.

a. Pengecoran Pasir

Pengecoran pasir adalah proses pengecoran yang paling banyak digunakan, akuntansi untuk mayoritas yang signifikan dari total tonase Pemeran. Hampir semua *alloy casting* bisa berupa cetakan pasir; memang itu adalah salah satu dari beberapa proses yang dapat digunakan untuk logam dengan suhu leleh tinggi, seperti baja, nikel, dan titanium. Fleksibilitasnya

memungkinkan pengecoran bagian mulai dari ukuran kecil hingga sangat besar dan dalam produksi jumlah dari satu hingga jutaan.



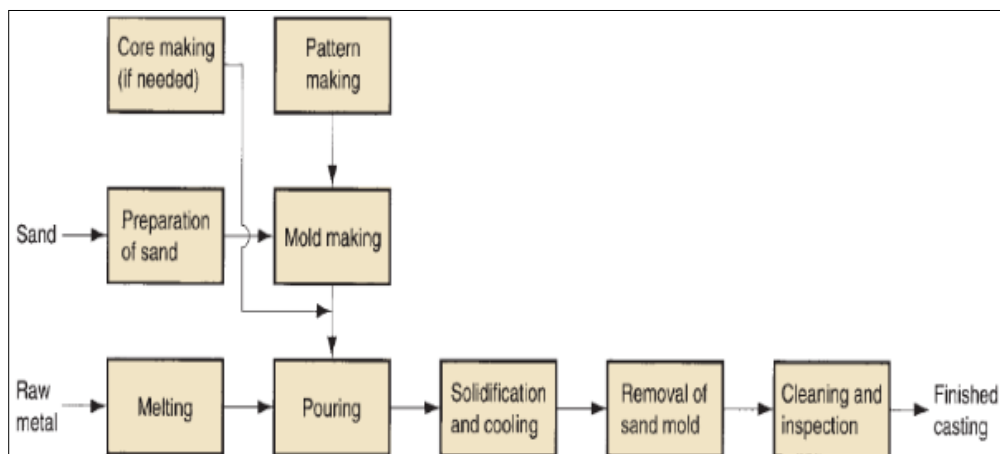
Gambar 4.1 Pasir *casting* untuk pompa industri

Gambar 4.1 menunjukkan pengecoran pasir besi cor dari rumah pompa yang telah sebagian mesin untuk membuat lubang dan permukaan yang akurat. Pengecoran pasir, juga dikenal sebagai pengecoran cetakan pasir, terdiri menuangkan logam cair ke dalam cetakan pasir, memungkinkan logam untuk mengeras, dan kemudian memecah cetakan hapus *casting*. Pengecoran kemudian harus dibersihkan dan diperiksa, dan kadang-kadang diperlukan perlakuan panas untuk meningkatkan sifat metalurgi. Rongga di cetakan pasir dibentuk oleh pengepakan pasir di sekitar pola (duplikat perkiraan bagian yang akan dilemparkan), dan kemudian menghapus pola dengan memisahkan cetakan menjadi dua bagian. Cetakannya juga berisi sistem gating dan riser. Selain itu, jika *casting* memiliki permukaan *internal* (misalnya, bagian berlubang atau bagian berlubang), inti harus dimasukkan dalam cetakan. Sejak cetakan dikorbankan untuk menghilangkan *casting*, cetakan pasir baru harus dibuat untuk setiap bagian itu diproduksi.

b. Pola Dan Cores

Pengecoran pasir membutuhkan pola — model ukuran penuh dari bagian itu, diperbesar untuk diperhitungkan untuk kelonggaran penyusutan

dan permesinan dalam pengecoran akhir. Bahan yang digunakan untuk membuat polanya termasuk kayu, plastik, dan logam. Kayu adalah bahan pola umum karena mudah dibentuk. Kerugiannya adalah bahwa ia cenderung melengkung, memang demikian terkikis oleh pasir yang dipadatkan di sekitarnya, sehingga membatasi berapa kali itu dapat digunakan kembali. Pola logam lebih mahal untuk dibuat, tetapi mereka bertahan lama lebih lama. Plastik mewakili kompromi antara kayu dan logam. Pemilihan bahan pola yang sesuai sangat tergantung pada jumlah total coran harus dibuat.

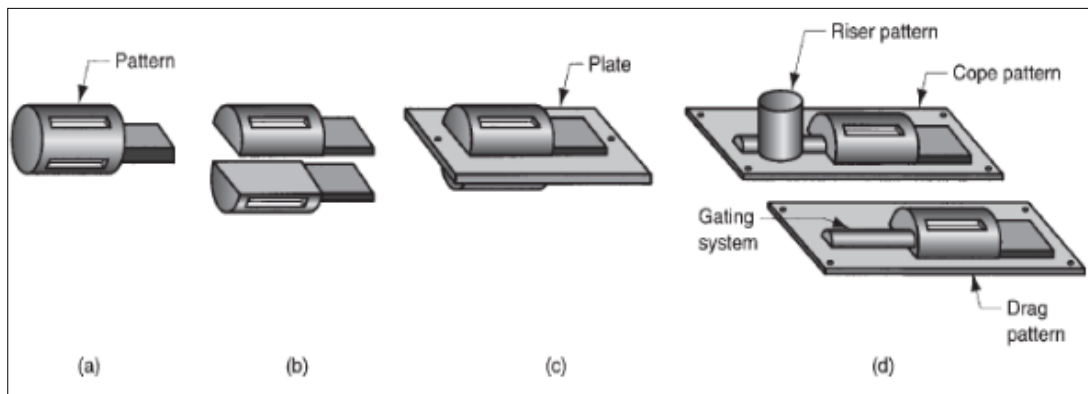


Gambar 4.2 Langkah-langkah dalam urutan produksi dalam penuangan pasir.

Ada berbagai jenis pola, seperti diilustrasikan dalam Gambar 4.3. Yang paling sederhana adalah terbuat dari satu bagian, disebut pola padat-geometri yang sama dengan *casting*, disesuaikan dalam ukuran untuk susut dan permesinan. Meskipun itu adalah pola termudah untuk dibuat, ini bukan cara termudah untuk membuat cetakan pasir. Menentukan lokasi garis pemisah antara dua bagian cetakan untuk pola padat bisa menjadi masalah, dan menggabungkan sistem gating dan sariawan ke cetakan diserahkan kepada penilaian dan keterampilan pekerja pengecoran. Akibatnya, pola solid umumnya terbatas untuk jumlah produksi yang sangat rendah.

Pola split terdiri dari dua bagian, membagi bagian di sepanjang pesawat bertepatan dengan garis perpishan cetakan. Pola *split* cocok untuk bagian yang kompleks geometri dan jumlah produksi sedang. Garis perpishan cetakan sudah ditentukan sebelumnya oleh dua pola, bukan oleh penilaian operator. Untuk jumlah produksi yang lebih tinggi, pola *match-plate* atau pola

cope-and-drag digunakan. Dalam pola lempeng korek api, dua bagian dari pola split terlampir ke sisi yang berlawanan dari pelat kayu atau logam. Lubang di piring memungkinkan bagian atas dan bagian bawah (mengatasi dan menarik) cetakan agar disejajarkan secara akurat.

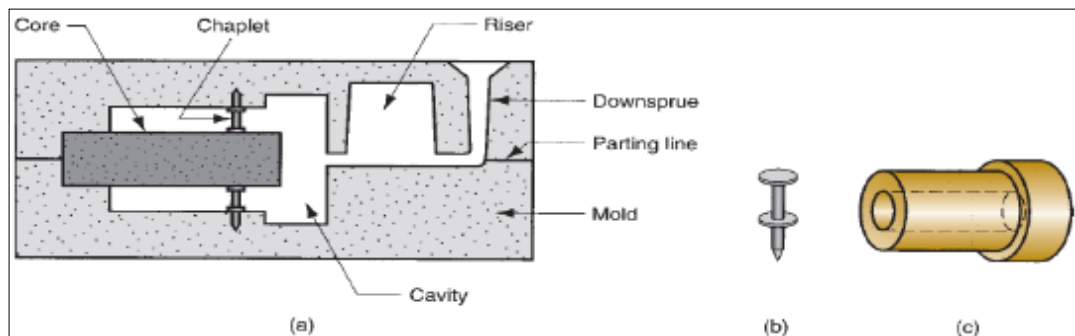


Gambar 4.3 Jenis pola yang digunakan dalam pengecoran pasir: (a) pola padat, (b) pola split, (c) pola pelat korek api, dan (d) mengatasi dan menarik pola

Cope-and-drag pola mirip dengan pola pelat-kecocokan kecuali bahwa separuh pola split adalah melekat pada pelat yang terpisah, sehingga dapat mengatasi dan menyeret bagian cetakan dibuat secara independen, alih-alih menggunakan perkakas yang sama untuk keduanya. Bagian dari Figur termasuk sistem *gating* dan *riser* dalam pola *cope-and-drag*. Pola menentukan bentuk eksternal dari bagian *gips*. Jika *casting* ingin memiliki internal permukaan, inti diperlukan. Inti adalah model skala penuh dari permukaan interior bagian itu. Itu dimasukkan ke dalam rongga cetakan sebelum menuangkan, sehingga cair logam akan mengalir dan memadat antara rongga cetakan dan inti untuk membentuk *casting* permukaan eksternal dan internal. Inti biasanya dibuat dari pasir, dipadatkan ke dalam bentuk yang diinginkan. Seperti halnya pola, ukuran sebenarnya dari inti harus disertakan tunjangan untuk susut dan permesinan. Tergantung pada geometri bagian tersebut, inti mungkin atau mungkin tidak memerlukan penyangga untuk menahannya dalam posisi di rongga cetakan saat menuangkan. Penyangga ini, disebut *chaplets*, terbuat dari logam dengan yang lebih tinggi suhu leleh dari logam cor. Sebagai contoh, kaplet baja akan digunakan untuk pengecoran besi cor.

Pada saat menuangkan dan mengukuhkan, kaplet menjadi terikat ke *casting*. Susunan inti yang mungkin dalam cetakan menggunakan *chaplets*

digambarkan pada Gambar 4.4. Bagian dari chaplet yang menonjol dari *casting* adalah selanjutnya terputus.



Gambar 4.4 (a) Inti tertahan di dalam rongga cetakan oleh kapel, (b) kemungkinan desain kapel, dan (c) *casting* dengan rongga internal.

c. Cetakan dan pembuatan cetakan

Pasir pengecoran adalah silika (SiO_2) atau silika yang dicampur dengan mineral lain. Seharusnya pasir memiliki sifat tahan api yang baik — kapasitas untuk berdiri di bawah suhu tinggi tanpa meleleh atau merendahkan. Fitur penting lainnya termasuk pasir ukuran butir, distribusi ukuran butir dalam campuran, dan bentuk individu butir. Ukuran butiran kecil memberikan permukaan yang lebih baik pada gips sebagian, tetapi ukuran butiran besar lebih permeabel (untuk memungkinkan keluarnya gas selama penuangan).

Cetakan yang terbuat dari butiran dengan bentuk tidak teratur cenderung lebih kuat dari pada cetakan butir bulat karena saling mengunci, namun saling mengunci cenderung membatasi permeabilitas. Dalam membuat cetakan, butiran pasir disatukan oleh campuran air dan ikatan tanah liat. Campuran khas (berdasarkan volume) adalah 90% pasir, 3% air, dan 7% tanah liat. Zat pengikat lainnya dapat digunakan sebagai pengganti tanah liat, termasuk resin *organic* (mis., *resin fenolik*) dan pengikat *anorganik* (mis., natrium silikat dan fosfat).

Selain pasir dan pengikat, aditif kadang-kadang dikombinasikan dengan campuran meningkatkan sifat seperti kekuatan dan / atau permeabilitas cetakan. Untuk membentuk rongga cetakan, metode tradisional adalah memadatkan cetakan pasir di sekitar pola untuk mengatasi dan menyeret dalam wadah. Itu proses pengepakan dilakukan dengan berbagai metode. Yang paling sederhana adalah serudukan tangan, dilakukan secara manual

oleh pekerja pengecoran. Selain itu, berbagai mesin miliki telah dikembangkan untuk memekanisasi prosedur pengemasan. Mesin ini beroperasi oleh salah satu dari beberapa mekanisme, termasuk:

- 1) Meremas pasir di sekitar pola oleh tekanan pneumatik;
- 2) Tindakan menyentak di mana pasir, terkandung dalam tanga dengan pola, dijatuhkan berulang kali untuk mengemasnya; dan
- 3) Tindakan *slinging*, di mana butiran pasir terkena terhadap pola di kecepatan tinggi.

Beberapa indikator digunakan untuk menentukan kualitas cetakan pasir:

- 1) Kekuatan — kemampuan cetakan mempertahankan bentuknya dan menahan erosi yang disebabkan oleh aliran logam cair; itu tergantung pada bentuk butir, kualitas perekat pengikat, dan faktor lainnya;
- 2) *Permeabilitas* — kapasitas cetakan untuk memungkinkan udara panas dan gas dari operasi *casting* untuk melewati rongga di pasir;
- 3) *Termal stabilitas* — kemampuan pasir pada permukaan rongga cetakan untuk menahan retak dan tertekuk saat kontak dengan logam cair;
- 4) *Kolapibilitas* — kemampuan cetakan untuk memberi jalan dan memungkinkan pengecoran menyusut tanpa memecahkan pengecoran; itu juga mengacu pada kemampuan untuk menghilangkan pasir dari *casting* selama pembersihan; Dan dapat digunakan kembali — dapatkah pasir dari cetakan yang pecah digunakan kembali untuk membuat yang lain cetakan? Langkah-langkah ini terkadang tidak sesuai; misalnya, cetakan dengan kekuatan yang lebih besar kurang bisa dilipat.

Cetakan pasir sering diklasifikasikan sebagai cetakan pasir hijau, pasir kering, atau kulit kering. Cetakan pasir hijau terbuat dari campuran pasir, tanah liat, dan air, kata *green* mengacu pada fakta bahwa cetakan mengandung uap air pada saat penuangan. *Greensand* cetakan memiliki kekuatan yang cukup untuk sebagian besar aplikasi, *kolapibilitas* yang baik, *permeabilitas* yang baik, *usabilitas* yang baik, dan paling murah dari cetakan. Mereka adalah jenis cetakan yang paling banyak digunakan, tetapi bukan tanpa masalah. Kelembaban masuk pasir dapat menyebabkan cacat pada beberapa coran, tergantung pada logam dan geometri bagian itu. Cetakan pasir kering dibuat menggunakan pengikat organik daripada tanah liat, dan

cetakan cetakan dipanggang dalam oven besar pada suhu mulai dari 200 ° C hingga 320 ° C (400 ° F– 600 ° F).

Oven memperkuat cetakan dan mengeraskan permukaan rongga sebuah cetakan pasir kering memberikan kontrol dimensi yang lebih baik dalam produk cor, dibandingkan untuk cetakan pasir hijau. Namun, cetakan pasir kering lebih mahal, dan produksinya Tingkat berkurang karena waktu pengeringan. Aplikasi umumnya terbatas pada coran menengah dan besar dalam tingkat produksi rendah hingga sedang. Dalam cetakan kulit kering, keuntungan dari cetakan pasir kering sebagian dicapai dengan mengeringkan permukaan cetakan pasir hijau hingga kedalaman 10 sampai 25 mm (0,4–1 in) pada permukaan rongga cetakan, menggunakan obor, lampu pemanas, atau cara lain. Bahan ikatan khusus harus ditambahkan ke campuran pasir untuk memperkuat permukaan rongga. Klasifikasi cetakan sebelumnya mengacu pada penggunaan pengikat konvensional yang terdiri baik tanah liat dan air atau yang membutuhkan pemanas untuk menyembuhkan. Sebagai tambahannya klasifikasi ini, cetakan terikat secara kimia telah dikembangkan yang tidak berdasarkan salah satu bahan pengikat tradisional ini. Beberapa bahan pengikat digunakan dalam sistem "tanpa bakar" ini termasuk *resin furan* (terdiri dari alkohol *furfural*, *urea*, dan *formaldehida*), fenolik, dan minyak *alkyd*. Cetakan tanpa panggang tumbuh popularitas karena kontrol dimensi yang baik dalam aplikasi produksi tinggi.

Tabel 4.1 Kepadatan paduan *casting* yang dipilih.

Metal	Density		Metal	Density	
	g/cm ³	lb/in ³		g/cm ³	lb/in ³
Aluminum (99% = pure)	2.70	0.098	Cast iron, gray ^a	7.16	0.260
Aluminum-silicon alloy	2.65	0.096	Copper (99% = pure)	8.73	0.317
Aluminum-copper (92% Al)	2.81	0.102	Lead (pure)	11.30	0.410
Brass ^a	8.62	0.313	Steel	7.82	0.284

d. Operasi *Casting*

Setelah inti diposisikan (jika ada yang digunakan) dan dua bagian cetakan dijepit bersama, kemudian *casting* dilakukan. Pengecoran terdiri dari penuangan, solidifikasi, dan pendinginan bagian gips. Sistem gating dan riser

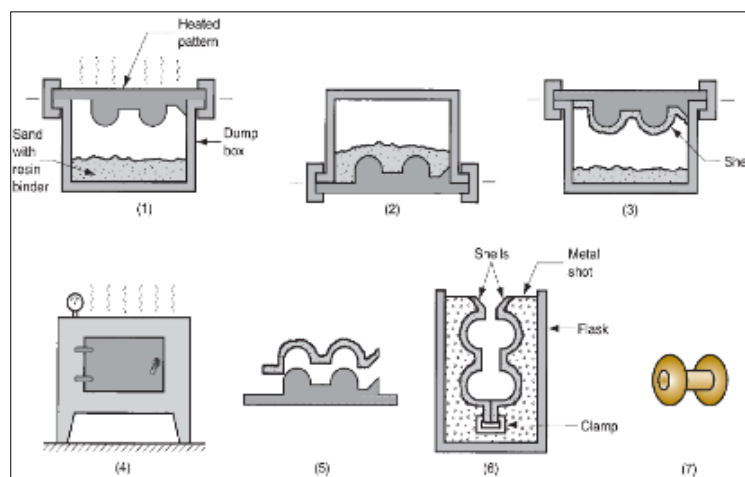
dalam cetakan harus dirancang untuk mengirimkan logam cair ke dalam rongga dan menyediakannya *reservoir* yang cukup dari logam cair selama penyusutan kation solidifikasi. Udara dan gas harus diizinkan untuk keluar. Salah satu bahaya selama penuangan adalah bahwa daya apung dari logam cair akan memindahkan inti. Daya apung dihasilkan dari berat logam cair yang dipindahkan pada intinya, sesuai dengan prinsip *Archimedes*. Gaya yang cenderung mengangkat inti adalah sama dengan berat cairan yang dipindahkan kurang dari berat inti itu sendiri.

2. Proses Pengecoran Cetakan yang Dapat Dihasilkan

Sama *fleksibelnya* dengan pengecoran pasir, ada beberapa proses pengecoran lain yang telah dilakukan dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan khusus. Perbedaan antara metode ini ada dalam komposisi bahan cetakan, atau cara pembuatan cetakan, atau cara polanya dibuat (Groover, 2013).

a. Cetakan *Shell*

Shell molding adalah proses pengecoran di mana cetakan adalah *shell* tipis (biasanya 9 mm atau 3/8 in) terbuat dari pasir yang disatukan oleh pengikat resin *termoseting*. Ada banyak keuntungan pada proses pembuatan cangkang. Permukaan rongga cangkang-cetakan lebih halus daripada cetakan pasir hijau *konvensional*, dan ini kehalusan memungkinkan aliran logam cair lebih mudah selama penuangan dan permukaan yang lebih baik Terakhir di *casting* terakhir.

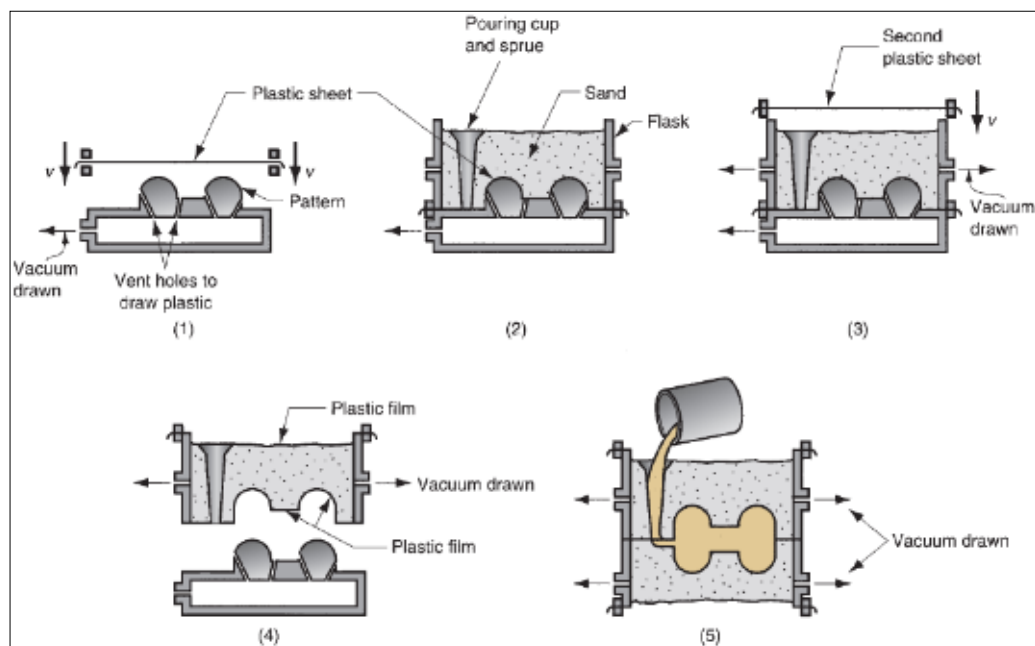


Gambar 4.5 Langkah-langkah dalam pembuatan cetakan kerang

Kerugian dari cetakan *shell* termasuk pola logam yang lebih mahal daripada pola yang sesuai untuk cetakan pasir hijau. Ini membuat cetakan *shell* sulit untuk benarkan untuk sejumlah kecil bagian. Cetakan *shell* dapat dimekanisasi untuk produksi massal dan sangat ekonomis untuk jumlah besar. Tampaknya sangat cocok pengecoran baja kurang dari 20 lembar. Contoh bagian yang dibuat menggunakan cetakan *shell* meliputi roda gigi, badan katup, busung, dan *camshafts*.

b. Vacuum Molding

Pencetakan vakum, juga disebut proses-V, dikembangkan di Jepang sekitar tahun 1970. Itu menggunakan cetakan pasir yang disatukan oleh tekanan vakum dan bukan oleh pengikat kimia. Dengan demikian, istilah vakum dalam proses ini mengacu pada pembuatan cetakan dari operasi *casting* itu sendiri. Langkah-langkah proses dijelaskan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Langkah-langkah dalam cetakan vakum

Karena tidak ada pengikat yang digunakan, pasir siap dipulihkan dalam cetakan vakum. Selain itu, pasir tidak memerlukan rekondisi mekanik yang luas yang biasanya dilakukan ketika pengikat digunakan dalam pasir cetak. Karena tidak ada air yang dicampur dengan pasir, cacat terkait kelembaban

tidak ada dari produk. Kekurangan dari proses-V adalah bahwa itu relatif lambat dan tidak mudah beradaptasi dengan mekanisasi.

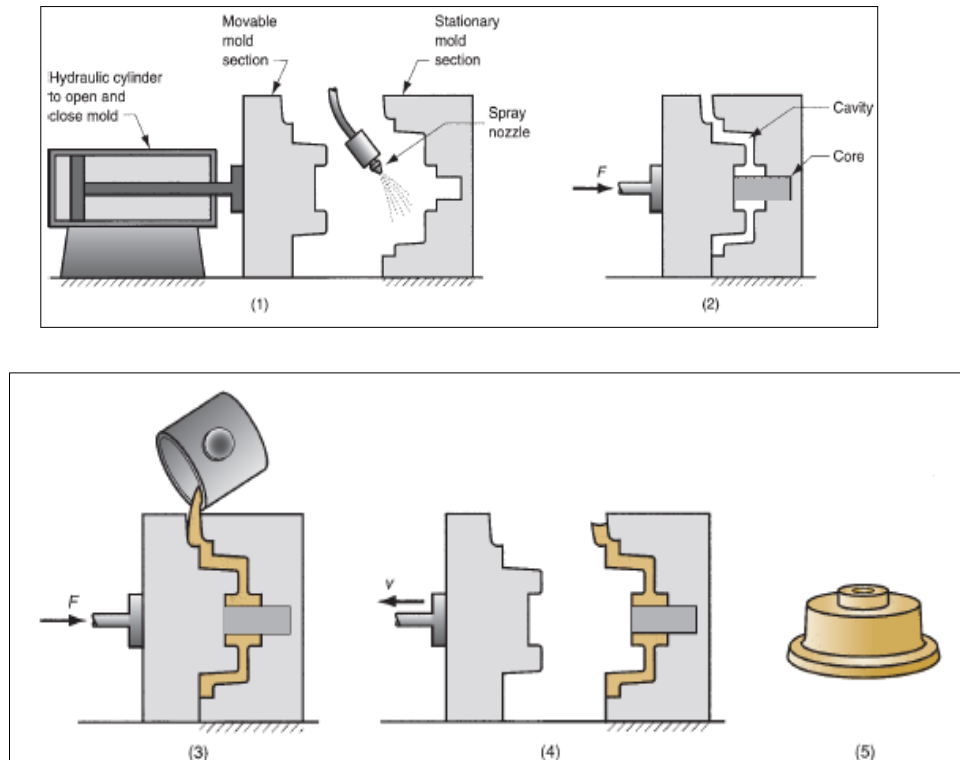
3. Proses Pengecoran Cetakan Permanen (*Permanent-Mold Casting Processes*)

Kerugian ekonomi dari salah satu proses cetakan dihabiskan adalah bahwa baru cetakan diperlukan untuk setiap *casting*. Dalam pengecoran cetakan-permanen, cetakan digunakan kembali berkali-kali. Pada bagian ini, pengecoran cetakan permanen diperlakukan sebagai proses dasar dalam kelompok proses pengecoran yang semuanya menggunakan cetakan logam yang dapat digunakan kembali. Anggota lain dari kelompok tersebut termasuk *die casting* dan *centrifugal casting* (Groover, 2013).

a. Proses Cetakan Permanen Dasar

Pengecoran cetakan permanen menggunakan cetakan logam yang dibangun dari dua bagian dirancang untuk pembukaan dan penutupan yang mudah, tepat. Cetakan ini biasanya terbuat dari baja atau besi tuang. Rongga, dengan sistem *gating* disertakan, dikerjakan menjadi dua untuk memberikan dimensi yang akurat dan permukaan yang bagus. Logam biasa dicetak dalam cetakan permanen termasuk *aluminium*, *magnesium*, paduan berbasis tembaga, dan besi cor. Namun, besi tuang membutuhkan suhu penuangan yang tinggi, 1250 ° C hingga 1500 ° C (2300 ° F – 2700 ° F), yang sangat memakan waktu cetakan. Suhu penuangannya sangat tinggi dari baja membuat cetakan permanen tidak cocok untuk logam ini, kecuali cetakan terbuat dari bahan tahan api.

Core dapat digunakan dalam cetakan permanen untuk membentuk permukaan interior pada produk cor. Inti dapat dibuat dari logam, tetapi bentuknya harus memungkinkan untuk dikeluarkan *casting* atau mereka harus secara mekanis dilipat untuk mengizinkan pemindahan. Jika penarikan dari inti logam akan sulit atau tidak mungkin, inti pasir dapat digunakan, dalam hal ini proses pengecoran sering disebut sebagai pengecoran semi permanen-cetakan. Langkah-langkah dalam proses pengecoran cetakan permanen dasar dijelaskan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Steps in permanent-mold casting:

Dalam persiapan untuk pengecoran, cetakan pertama kali dipanaskan dan satu atau lebih lapisan disemprotkan ke rongga. Pemanasan awal memfasilitasi aliran logam melalui sistem *gating* dan ke dalam rongga. Lapisan membantu pembuangan panas dan melumasi permukaan cetakan untuk memudahkan pemisahan produk cor. Setelah menuangkan, segera setelah logam membekukan, cetakan dibuka dan *casting* dihapus. Tidak seperti cetakan yang bisa dibuang, cetakan permanen tidak runtuh, sehingga cetakan harus dibuka sebelum cukup besar kontraksi pendinginan terjadi untuk mencegah retakan berkembang dalam *casting*.

Keuntungan dari pengecoran cetakan permanen termasuk permukaan yang baik dan dekat kontrol dimensi, seperti yang ditunjukkan sebelumnya. Selain itu, solidifikasi lebih cepat disebabkan oleh cetakan logam menghasilkan struktur butir serat, jadi coran yang lebih kuat diproduksi. Proses ini umumnya terbatas pada logam dengan titik leleh yang lebih rendah. Lain keterbatasan termasuk geometri bagian sederhana dibandingkan dengan pengecoran pasir (karena kebutuhan untuk membuka cetakan), dan biaya cetakan. Karena biaya cetakan sangat besar, proses ini paling cocok

untuk produksi volume tinggi dan dapat diotomatisasi demikian. Bagian-bagian tertentu termasuk piston otomotif, badan pompa, dan coran tertentu untuk pesawat terbang dan rudal.

b. Variasi Pencetakan Permanen

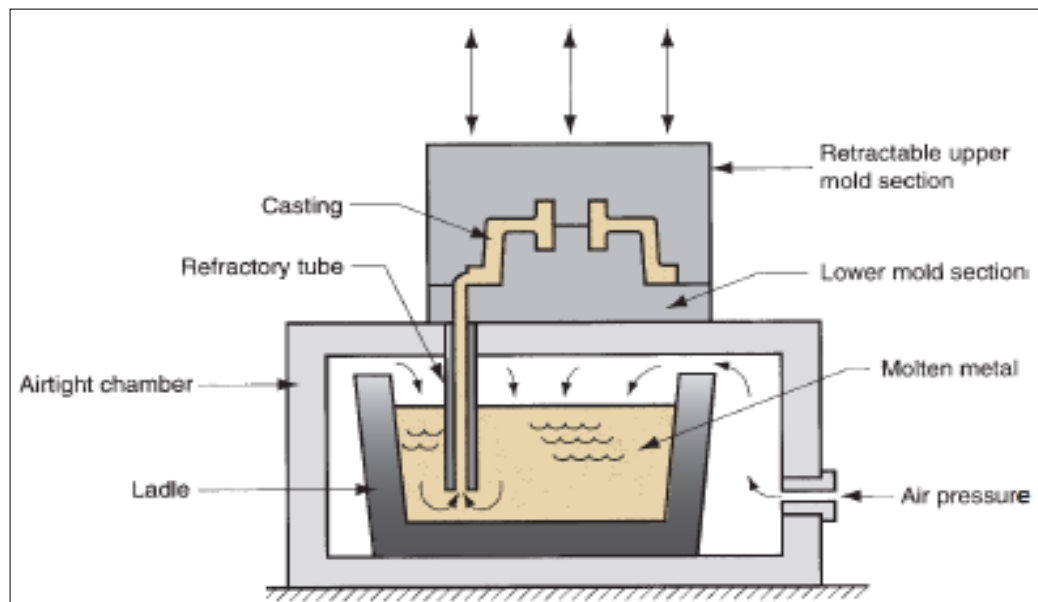
Beberapa proses pengecoran sangat mirip dengan metode cetakan permanen dasar. Ini termasuk pengecoran lumpur, pengecoran bertekanan rendah, dan pengecoran cetakan permanen vakum. *Casting Slush casting* adalah proses cetakan permanen di mana pengecoran berongga dibentuk dengan membalik cetakan setelah pembekuan parsial pada permukaan untuk mengalir keluar logam cair di tengah. Solidifikasi dimulai pada dinding cetakan karena mereka relatif dingin, dan berlangsung seiring waktu menuju tengah *casting*.

Ketebalan cangkang dikendalikan oleh lamanya waktu yang diizinkan sebelum pengeringan. *Slush casting* digunakan untuk membuat patung, alas lampu, dan mainan logam dengan titik leleh rendah seperti seng dan timah. Pada barang-barang ini, penampilan luarnya itu penting, tetapi kekuatan dan geometri interior *casting* itu kecil pertimbangan.

Casting Tekanan Rendah Dalam proses pengecoran cetakan permanen dasar dan dalam lumpur *casting*, aliran logam ke dalam rongga cetakan disebabkan oleh gravitasi. Dalam tekanan rendah pengecoran, logam cair dipaksa masuk ke rongga di bawah tekanan rendah — kira-kira 0,1 MPa (15 lb / in²) — dari bawah sehingga arus naik ke atas, seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 1.8. Keuntungan dari pendekatan ini dibandingkan dengan penuangan tradisional adalah bersih logam cair dari pusat sendok dimasukkan ke dalam cetakan dari logam yang telah terpapar udara.

Cacat porositas gas dan oksidasi adalah dengan demikian diminimalkan, dan sifat mekanik ditingkatkan. Pengecoran Vakum-Cetakan Permanen Tidak perlu bingung dengan cetakan vakum proses ini merupakan variasi dari *casting* bertekanan rendah di mana vakum digunakan untuk menarik logam cair ke dalam rongga cetakan. Konfigurasi umum dari proses pengecoran cetakan permanen vakum mirip dengan pengecoran tekanan rendah operasi. Perbedaannya adalah bahwa tekanan udara berkurang dari ruang hampa dalam cetakan digunakan untuk menarik logam cair ke dalam rongga, daripada memaksanya dengan udara positif tekanan dari bawah. Ada beberapa manfaat relatif dari teknik vakum untuk pengecoran bertekanan

rendah: porositas udara dan cacat terkait berkurang, dan lebih besar kekuatan diberikan kepada produk cor.



Gambar 4.8 Tekanan Rendah Pengecoran

4. Praktek Pengecoran

Dalam semua proses pengecoran, logam harus dipanaskan ke keadaan cair untuk dituang atau jika tidak dipaksa ke dalam cetakan. Pemanasan dan peleburan dilakukan dalam tungku. Bagian ini mencakup berbagai jenis tungku yang digunakan dalam pengecoran dan penuangan praktek untuk mengirimkan logam cair dari tungku ke cetakan. (Groover, 2013)

a. *Furnaces* (Tungku)

Jenis-jenis tungku yang paling umum digunakan dalam pengecoran adalah

- 1) Kubah,
- 2) Langsung tungku merah bahan bakar-fi,
- 3) Tungku wadah,
- 4) Tungku busur listrik, dan
- 5) Induksi

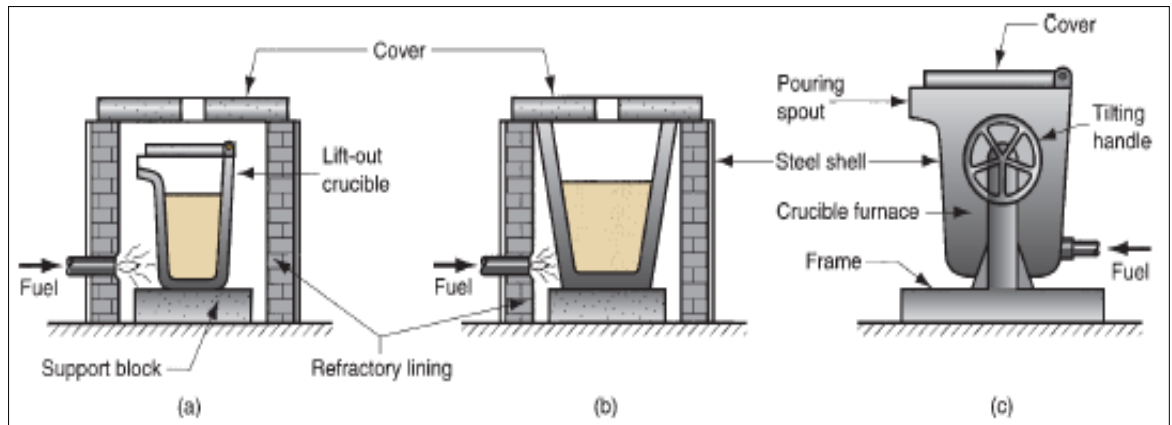
Pemilihan jenis tungku yang paling tepat tergantung pada faktor-faktor tersebut sebagai paduan *casting*; suhu leleh dan tuangnya; persyaratan kapasitas tungku; biaya investasi, operasi, dan pemeliharaan; dan lingkungan

pertimbangan polusi. Kubah A adalah tungku silinder vertikal yang dilengkapi dengan cerat penyadapan dekat pangkalannya. Kubah digunakan hanya untuk peleburan besi cor, dan meskipun tungku lainnya juga digunakan, tonase besi cor terbesar dicairkan dalam kubah. Umum fitur konstruksi dan operasi. Itu terdiri dari cangkang besar dari pelat baja yang dilapisi dengan refraktori. "Biaya," terdiri dari besi, kokas, *fluks*, dan kemungkinan elemen paduan, dimuat melalui pintu pengisian terletak kurang dari setengah ketinggian kubah. Setrika biasanya merupakan campuran besi kasar dan skrap (termasuk riser, *runner*, dan pohon cemara yang tersisa dari sebelumnya coran). *Coke* adalah bahan bakar yang digunakan untuk memanaskan tungku. Udara paksa dimasukkan melalui bukaan di dekat bagian bawah cangkang untuk pembakaran kokas. *Flux* adalah dasar senyawa seperti batu kapur yang bereaksi dengan abu kokas dan kotoran lainnya terbentuk terak. Terak berfungsi untuk menutupi lelehan, melindunginya dari reaksi dengan lingkungan di dalam cungkup dan mengurangi kehilangan panas. Saat campuran dipanaskan dan meleleh dari besi terjadi, tungku disadap secara berkala untuk menyediakan logam cair untuk menuangkan.

Tungku Berbahan Bakar Langsung Tungku merah bakar berbahan bakar langsung mengandung celah kecil perapian, di mana muatan logam dipanaskan oleh pembakar bahan bakar yang terletak di samping tungku. Atap tungku membantu aksi pemanasan dengan memantulkan api turun terhadap tuduhan. Bahan bakar khas adalah gas alam, dan produk pembakaran keluar dari tungku melalui tumpukan. Di bagian bawah perapian adalah lubang keran untuk melepaskan logam cair. Tungku berbahan bakar langsung umumnya digunakan dalam *casting* untuk peleburan logam nonferrous seperti paduan berbasis tembaga dan aluminium.

Crucible Furnace Tungku ini melebur logam tanpa kontak langsung dengan membakar campuran bahan bakar. Untuk alasan ini, mereka kadang-kadang disebut bahan bakar tidak langsung-merah. Tiga jenis tungku wadah digunakan dalam pengecoran:

- 1) Jenis *lift-out*,
- 2) Stasioner, dan
- 3) Miring,



Gambar 4.9 Tiga jenis tungku wadah: (a) wadah pengangkat, (b) pot stasioner, dan (c) tungku pot miring

Diilustrasikan pada Gambar 4.9. Mereka semua memanfaatkan wadah (*crucible*) terbuat dari bahan refraktori yang cocok (mis., campuran tanah liat-grafit) atau paduan baja suhu tinggi untuk menahan muatan. Di tungku pengangkat angkat, wadah ditempatkan di dalam tungku dan dipanaskan secukupnya untuk melelehkan muatan logam.

Minyak gas, atau bubuk batubara adalah bahan bakar khas untuk tungku ini. Ketika logam dilebur, maka wadah diangkat dari tungku dan digunakan sebagai sendok penuang. Dua jenis lainnya, kadang-kadang disebut sebagai tungku pot, memiliki tungku pemanas dan wadah sebagai satu unit integral. Dalam tungku pot stasioner, tungku stasioner dan cair logam diaduk keluar dari wadah. Di *tilting-pot furnace*, seluruh unit biasa dimiringkan untuk menuangkan. Tungku *Crucible* digunakan untuk logam *nonferrous* seperti perunggu, kuningan, dan paduan seng dan aluminium. Kapasitas tungku umumnya terbatas pada beberapa ratus *pound*.

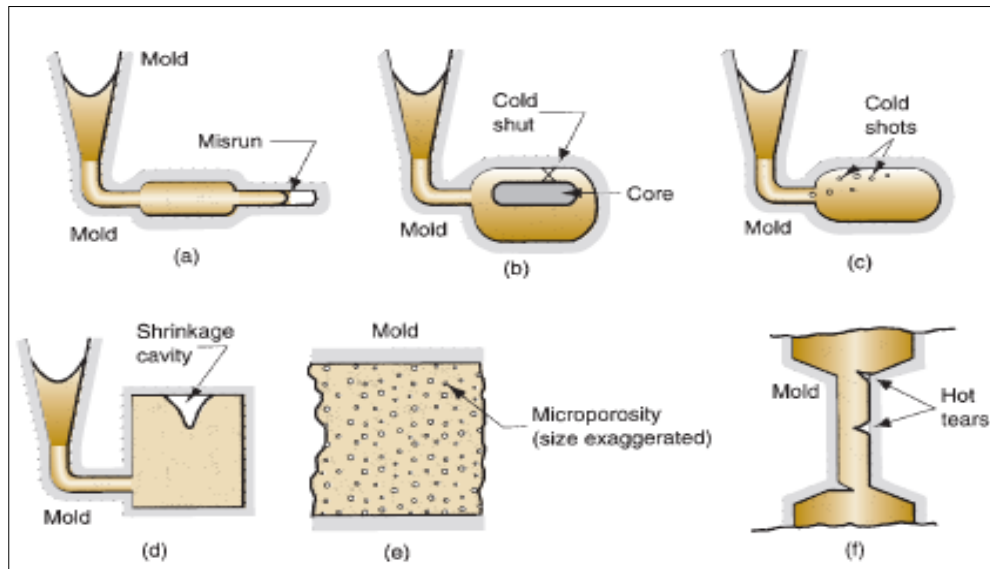
5. Kualitas *Casting*

Ada banyak peluang untuk kesalahan dalam operasi *casting*, mengakibatkan cacat kualitas pada produk cor. Di bagian ini, cacat umum yang terjadi dalam *casting* terdaftar, dan prosedur inspeksi untuk mendeteksi mereka ditunjukkan. Cacat Pengecoran Beberapa cacat umum terjadi pada semua proses pengecoran. Cacat ini diilustrasikan pada Gambar 4.10 dan penjelasan singkat yang dijelaskan sebagai berikut (Groover, 2013):

- a. *Misruns*, yang merupakan coran yang mengeras sebelum benar-benar

mengisi cetakan rongga. Penyebab umum termasuk:

- 1) Kekenyalan logam cair tidak mencukupi,
 - 2) Suhu penuangan terlalu rendah,
 - 3) Penuangan dilakukan terlalu lambat, dan / atau
 - 4) Silang Bagian rongga cetakan terlalu tipis.
- b. *Cold Shuts*, yang terjadi ketika dua bagian dari logam mengalir bersama tetapi ada adalah kurangnya perpaduan di antara mereka karena pembekuan dini. Penyebabnya mirip untuk orang-orang.
- c. Tembakan dingin, yang dihasilkan dari percikan selama penuangan, menyebabkan formasi dari butiran padat logam yang terperangkap dalam *casting*. Penuangan prosedur dan desain sistem gerbang yang menghindari percikan dapat mencegah hal ini cacat.
- d. Rongga penyusutan adalah depresi di permukaan atau kekosongan internal dalam *casting*, disebabkan oleh penyusutan kation yang membatasi jumlah logam cair tersedia di wilayah terakhir untuk dibekukan. Ini sering terjadi di dekat bagian atas *casting*, dalam hal ini disebut sebagai "pipa." Lihat Gambar 1.11 Masalahnya bias seringkali diselesaikan dengan desain riser yang tepat.
- e. *Mikroporositas* terdiri dari jaringan rongga kecil yang didistribusikan di seluruh pengecoran yang disebabkan oleh penyusutan kation solidifikasi lokal dari logam cair di Indonesia struktur dendritik. Cacat biasanya dikaitkan dengan paduan,
- f. Robek panas, juga disebut retak panas, terjadi ketika *casting* ditahan dari kontraksi oleh cetakan keras selama tahap akhir solidifikasi atau tahap awal pendinginan setelah solidifikasi. Cacat dimanifestasikan sebagai pemisahan dari logam (karenanya, istilah robek dan retak) pada titik tinggi tegangan tarik yang disebabkan oleh ketidakmampuan logam menyusut secara alami. Di pengecoran pasir dan proses cetakan-pengeluaran lainnya, itu dicegah dengan peracikan cetakan harus dilipat. Dalam proses cetakan permanen, sobek panas dikurangi dengan menghapus bagian dari cetakan segera setelah kation solidifikasi.



Gambar 4.10 Beberapa cacat umum di coran: (a) misrun, (b) kedinginan, (c) kedinginan tembakan, (d) susut rongga, (e) mikroporositas, dan (f) sobek panas.

Beberapa cacat terkait dengan penggunaan cetakan pasir, dan karenanya hanya terjadi dalam coran pasir. Pada tingkat yang lebih rendah, proses cetakan lainnya yang dapat dibuang juga rentan untuk masalah ini. Cacat yang ditemukan terutama di coran pasir dijelaskan di sini:

- a. Pasir pukulan adalah cacat yang terdiri dari rongga gas berbentuk balon yang disebabkan oleh pelepasan gas cetakan selama penuangan. Itu terjadi pada atau di bawah permukaan *casting* di dekat bagian atas *casting*. *Permeabilitas* rendah, ventilasi buruk, dan kelembaban tinggi isi cetakan pasir adalah penyebab biasa.
- b. Lubang kecil, juga disebabkan oleh pelepasan gas selama menuangkan, terdiri dari banyak kecil rongga gas terbentuk pada atau sedikit di bawah permukaan *casting*.
- c. Cuci pasir, yang merupakan ketidakteraturan pada permukaan tuangan yang dihasilkan dari *erosi* cetakan pasir selama penuangan, dan kontur erosi adalah terbentuk di permukaan bagian cetakan terakhir.
- d. Keropeng adalah daerah kasar di permukaan *casting* karena percikan pasir dan logam. Hal ini disebabkan oleh bagian permukaan cetakan yang lepas selama solidifikasi kation dan menjadi tertanam di permukaan *casting*.

- e. Penetrasi mengacu pada cacat permukaan yang terjadi ketika cairan dari cairan logam tinggi, dan menembus ke cetakan pasir atau inti pasir. Setelah beku, permukaan *casting* terdiri dari campuran butiran pasir dan logam. Pengepakan yang lebih sulit cetakan pasir membantu meringankan kondisi ini.
- f. Pergeseran cetakan mengacu pada cacat yang disebabkan oleh perpindahan cetakan ke samping mengatasi relatif terhadap hambatan, yang hasilnya adalah langkah dalam produk cor di garis perpisahan.
- g. Pergeseran inti mirip dengan pergeseran cetakan, tetapi itu adalah inti yang dipindahkan, dan perpindahan biasanya *vertikal*. Pergeseran inti dan pergeseran cetakan disebabkan oleh daya apung dari logam cair
- h. Retak cetakan terjadi ketika kekuatan cetakan tidak memadai, dan retakan berkembang dimana logam cair dapat meresap untuk membentuk “fi n” pada *casting* terakhir.

6. Logam untuk Pengecoran

Sebagian besar coran komersial terbuat dari paduan daripada logam murni. Paduan adalah umumnya lebih mudah dilemparkan, dan sifat-sifat produk yang dihasilkan lebih baik. Pengecoran paduan dapat diklasifikasikan sebagai besi atau *nonferrous*. Kategori besi dibagi menjadi besi cor dan baja tuang.

Ferrous Casting Alloys Steel Sifat mekanis dari baja membuatnya menjadi bahan teknik yang menarik, dan kemampuan untuk membuat geometri yang kompleks membuat *casting* menjadi proses yang menarik. Namun, kesulitan besar dihadapi oleh pengecoran yang mengkhususkan diri dalam baja. Pertama, titik lebur baja jauh lebih tinggi daripada untuk kebanyakan logam lain yang biasanya dituang. Kisaran solidifikasi untuk rendah baja karbon dimulai tepat di bawah 1540 ° C (2800 ° F). Ini artinya suhu penuangan yang dibutuhkan untuk baja sangat tinggi — sekitar 1650 ° C (3000 ° F).

Di suhu tinggi ini, baja secara kimia sangat reaktif. Ini mudah teroksidasi, sangat istimewa prosedur harus digunakan selama peleburan dan penuangan untuk mengisolasi logam cair dari udara. Selain itu, baja cair memiliki *fluidity* yang relatif buruk, dan ini membatasi desain bagian-bagian tipis dalam komponen yang dibuang dari baja. Beberapa karakteristik coran baja membuatnya sepadan dengan upaya untuk menyelesaikannya masalah. Kekuatan tarik lebih tinggi

daripada kebanyakan logam cor lainnya, berkisar ke atas dari sekitar 410 MPa (60.000 lb / in²). Coran baja memiliki ketangguhan yang lebih baik dari kebanyakan paduan *casting* lainnya. Sifat-sifat coran baja adalah isotropik; kekuatan hampir sama di semua arah. Sebaliknya, bagian yang terbentuk secara mekanis (misalnya., *rolling*, *forging*) menunjukkan *directionality* di properti mereka. Tergantung persyaratannya dari produk, perilaku *isotropik* material mungkin diinginkan. Lain Keuntungan dari coran baja adalah kemudahan pengelasan. Mereka dapat dengan mudah dilas tanpa kehilangan kekuatan secara signifikan, untuk memperbaiki *casting*, atau untuk membuat struktur dengan yang lain komponen baja.

Paduan *Casting Nonferrous* Logam pengecoran *nonferrous* termasuk paduan aluminium, magnesium, tembaga, timah, seng, nikel, dan titanium. Paduan aluminium umumnya dianggap sangat *castable*. Titik lebur aluminium murni adalah 660 ° C (1220 ° F), sehingga suhu penuangan untuk paduan *casting* aluminium lebih rendah dibandingkan untuk melemparkan besi dan baja. Properti mereka membuatnya menarik untuk *casting*: cahaya berat, berbagai sifat kekuatan yang dapat dicapai melalui perlakuan panas, dan kemudahan dari permesinan. Paduan magnesium adalah yang paling ringan dari semua logam cor. Properti lainnya termasuk ketahanan korosi, serta kekuatan *toweight* dan kekakuan *toweight* yang tinggi rasio. Paduan tembaga termasuk perunggu, kuningan, dan perunggu aluminium. Properti yang membuat mereka menarik termasuk ketahanan korosi, penampilan menarik, dan bantalan yang baik kualitas. Tingginya biaya tembaga adalah keterbatasan penggunaan paduannya. Aplikasi termasuk pemasangan pipa, baling-baling baling-baling laut, komponen pompa, dan ornament perhiasan.

Timah memiliki titik leleh terendah dari logam cor. Paduan berbasis timah adalah umumnya mudah dilemparkan. Mereka memiliki ketahanan korosi yang baik tetapi mekanis yang buruk kekuatan, yang membatasi aplikasi mereka untuk timah mug dan produk sejenis tidak membutuhkan kekuatan tinggi. Paduan seng umumnya digunakan dalam *die casting*. Seng memiliki titik leleh yang rendah dan cairan yang baik, membuatnya sangat mudah dicor. Kelemahan utamanya adalah kekuatan *creep* rendah, sehingga corannya tidak dapat mengalami stres tinggi yang berkepanjangan.

Paduan nikel memiliki kekuatan panas dan ketahanan korosi yang baik, yang membuatnya cocok untuk aplikasi suhu tinggi seperti mesin jet dan

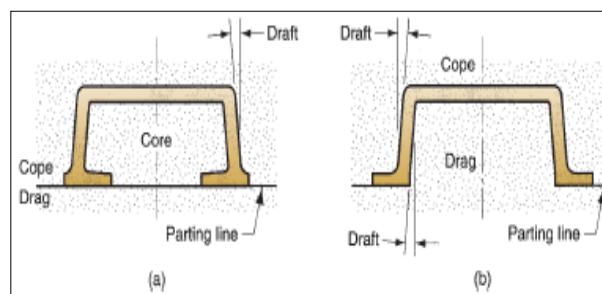
komponen roket, pelindung panas, dan komponen serupa. Paduan nikel juga memiliki titik leleh yang tinggi dan tidak mudah untuk dilemparkan. Paduan titanium untuk *casting* tahan korosi dan memiliki rasio kekuatan-terhadap-berat yang tinggi. Namun, titanium memiliki titik leleh yang tinggi, rendah cairan, dan kecenderungan untuk teroksidasi pada suhu tinggi. Properti ini membuatnya dan paduannya sulit untuk dilemparkan (Groover, 2013).

7. Pertimbangan Desain Produk

Jika *casting* dipilih oleh perancang produk sebagai proses manufaktur utama untuk komponen tertentu, maka pedoman tertentu harus diikuti untuk memfasilitasi produksi bagian dan menghindari banyak cacat yang disebutkan dalam Beberapa pedoman dan pertimbangan penting untuk *casting* disajikan di sini (Groover, 2013).

- a. Kesederhanaan *geometris*. Meskipun *casting* adalah proses yang dapat digunakan untuk menghasilkan geometri bagian yang rumit, menyederhanakan desain bagian akan meningkatkan kemampuan cast-nya. Menghindari kerumitan yang tidak perlu menyederhanakan pembuatan cetakan, mengurangi kebutuhan untuk *core*, dan meningkatkan kekuatan *casting*.
- b. Pojok. Sudut dan sudut yang tajam harus dihindari, karena merupakan sumber konsentrasi stres dan dapat menyebabkan robek dan retak panas dalam *casting*. *Fillet* yang murah hati harus dirancang di sudut dalam, dan tepi yang tajam harus dicampur.
- c. Ketebalan bagian. Ketebalan bagian harus seragam untuk menghindari rongga penyusutan. Bagian yang lebih tebal menciptakan *hot spot* di *casting*, karena volume yang lebih besar membutuhkan lebih banyak waktu untuk kation dan pendinginan. Ini adalah kemungkinan lokasi rongga susut.
- d. Draf. Bagian yang memproyeksikan ke dalam cetakan harus memiliki konsep atau lancip, sebagai didefinisikan pada Gambar 1.11. Dalam pengecoran cetakan yang dapat dibuang, tujuan dari konsep ini adalah untuk memfasilitasi penghapusan pola dari cetakan. Dalam pengecoran cetakan permanen, tujuannya adalah untuk membantu menghilangkan bagian dari cetakan. Kemiringan serupa harus diizinkan jika *core* padat digunakan dalam proses *casting*. Yang dibutuhkan *draft* hanya perlu sekitar 1° untuk pengecoran pasir dan 2° sampai 3° untuk cetakan permanen.

- e. Penggunaan inti. Perubahan kecil dalam desain bagian dapat mengurangi kebutuhan coring,
- f. Toleransi dimensi. Ada perbedaan signifikan dalam dimensi akurasi yang dapat dicapai dalam *casting*, tergantung pada proses mana yang digunakan.
- g. Kekasaran permukaan tipikal yang dicapai dalam pengecoran pasir adalah sekitar 6 mm (250 m-in). Demikian pula dengan ikan miskin diperoleh dalam cetakan *shell*, sementara cetakan plester dan pengecoran investasi menghasilkan nilai kekasaran yang jauh lebih baik: 0,75 mm (30 m-in). Di antara proses cetakan permanen, *die casting* dicatat untuk permukaan yang bagus sekitar 1 mm (40 m-in).
- h. Tunjangan pemesinan. Toleransi dapat dicapai dalam banyak proses *casting* tidak mampu memenuhi kebutuhan fungsional dalam banyak aplikasi. Pengecoran pasir contoh paling menonjol dari defisiensi ini. Dalam kasus ini, bagian dari *casting* harus dikerjakan dengan dimensi yang diperlukan. Hampir semua pasir coran harus dikerjakan mesin sampai batas tertentu agar bagian yang akan dibuat fungsional. Oleh karena itu, bahan tambahan, yang disebut tunjangan pemesinan, adalah dibiarkan pada *casting* untuk pemesinan permukaan yang diperlukan. Pemesinan khas tunjangan untuk pengecoran pasir berkisar antara 1,5 mm dan 3 mm (1/16 in dan 1/4 in).



Gambar 4.11 Rancangan ubah untuk menggunakan inti: (a) desain asli dan (B) mendesain ulang.

Tabel 4.2 Toleransi dimensi tipikal untuk berbagai proses pengecoran

Casting Process	Part Size	Tolerance		Casting Process	Part Size	Tolerance	
		mm	in			mm	in
Sand casting				Permanent mold			
Aluminum*	Small	±0.5	±0.020	Aluminum*	Small	±0.25	±0.010
Cast iron	Small	±1.0	±0.040	Cast iron	Small	±0.8	±0.030
	Large	±1.5	±0.060	Copper alloys	Small	±0.4	±0.015
Copper alloys	Small	±0.4	±0.015	Steel	Small	±0.5	±0.020
Steel	Small	±1.3	±0.050	Die casting			
	Large	±2.0	±0.080	Aluminum*	Small	±0.12	±0.005
Shell molding				Copper alloys	Small	±0.12	±0.005
Aluminum*	Small	±0.25	±0.010	Investment			
Cast iron	Small	±0.5	±0.020	Aluminum*	Small	±0.12	±0.005
Copper alloys	Small	±0.4	±0.015	Cast iron	Small	±0.25	±0.010
Steel	Small	±0.8	±0.030	Copper alloys	Small	±0.12	±0.005
Plaster mold	Small	±0.12	±0.005	Steel	Small	±0.25	±0.010
	Large	±0.4	±0.015				

C. LATIHAN SOAL / TUGAS

1. Apasaja Kategori Proses Pengecoran Logam?
2. Sebutkan fitur penting pembuatan cetakan?
3. Apasaja indicator yang digunakan untuk menentukan kualitas?
4. Sebutkan arti dari operasi *casting*?
5. Apa yang dimaksud dengan vacuum molding?

D. DAFTAR PUSTAKA

- Beeley, P. R. (2001) *Foundry Technology*. Butterworths- Heinemann, Oxford, England.
- Black, J, and Kohser, R. (2012) *DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing*, 11th ed., John WILEY
- Flinn, R. A. (2001) *Fundamentals of Metal Casting* American Foundrymen's Society, Des Plaines,
- Groover, M. P. (2013). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. USA: John Wiley & Sons, Inc

PERTEMUAN 5

DASAR-DASAR PENGELASAN (*WELDING*)

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa dapat mengetahui jenis dan sifat dasar dalam pengelasan serta mampu merancang struktur design dan teknik dalam pengelasan yang lebih efektif dalam pengelasan material Fe maupun non Fe.

B. URAIAN MATERI

1. Tinjauan Teknologi Pengelasan

Pengelasan melibatkan penggabungan lokal atau bergabung bersama dari dua bagian logam pada permukaan *faying*-nya. Permukaan *faying* adalah bagian permukaan yang bersentuhan atau berdekatan yang akan disambung. Pengelasan biasanya dilakukan pada bagian yang terbuat dari logam yang sama, tetapi beberapa operasi pengelasan dapat digunakan untuk menggabungkan logam yang berbeda. (Cary, 2005)

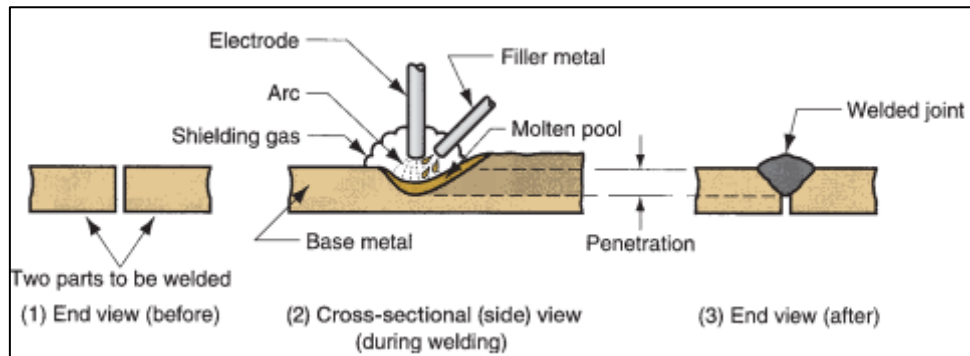
a. Jenis Proses Pengelasan

Sekitar 50 jenis operasi pengelasan telah dikatalogkan oleh Amerika *Welding Society*. Mereka menggunakan berbagai jenis atau kombinasi energi untuk menyediakan daya yang dibutuhkan. Proses pengelasan dapat dibagi menjadi dua kelompok utama:

- 1) Pengelasan kondisi cair (*fusion welding*)
- 2) Pengelasan kondisi padat (*solid-state welding*)
- 3) Pengelasan kondisi cair (*fusion welding*)

Proses pengelasan kondisi cair menggunakan panas untuk melelehkan logam dasar. Dalam banyak operasi pengelasan kondisi cair, logam pengisi ditambahkan ke kolam cair untuk memfasilitasi proses dan memberikan curah dan kekuatan pada sambungan las. Operasi pengelasan kondisi cair yang tidak menambahkan logam pengisi disebut sebagai pengelasan *autogenous*. Kategori kondisi cair mencakup proses pengelasan yang paling banyak digunakan, yang dapat diatur ke dalam kelompok umum berikut:

- 1) *Arc welding* (AW). Pengelasan busur mengacu pada sekelompok proses pengelasan di mana pemanasan logam dilakukan dengan busur listrik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.1. Beberapa operasi pengelasan busur juga memberikan tekanan selama proses tersebut dan sebagian besar menggunakan logam pengisi.



Sumber: (Cary, 2005)

Gambar 5.1 Dasar-dasar pengelasan busur: sebelum pengelasan; (2) selama pengelasan (logam dasar dilebur dan logam pengisi ditambahkan ke kolam cair); dan (3) pengelasan yang telah selesai. Ada banyak variasi dari proses pengelasan busur.

- 2) *Resistance Welding* (RW). Pengelasan resistansi mencapai koalesensi menggunakan panas dari hambatan listrik ke aliran arus yang lewat antara permukaan faying dari dua bagian yang disatukan di bawah tekanan.
- 3) *Oxyfuel Gas Welding* (OFW). Proses penggabungan ini menggunakan gas oxyfuel, seperti campuran oksigen dan asetilen, untuk menghasilkan nyala api yang panas untuk melebur logam dasar dan logam pengisi, jika digunakan.
- 4) Proses pengelasan fusi lainnya. Proses pengelasan lain yang menghasilkan fusi logam yang digabungkan termasuk pengelasan berkas elektron dan pengelasan sinar laser.

Proses bahan bakar busur dan oksigen tertentu juga digunakan untuk memotong logam.

b. Pengelasan Kondisi Padat (*solid-state welding*)

Pengelasan status padat mengacu pada proses penggabungan di mana penggabungan dihasilkan dari penerapan tekanan saja atau kombinasi panas dan tekanan. Jika panas digunakan, suhu dalam proses di bawah titik leleh logam yang dilas. Tidak ada logam pengisi yang digunakan. Proses pengelasan representatif dalam kelompok ini termasuk:

- 1) *Diffusion welding* (DFW). Dua permukaan disatukan di bawah tekanan pada suhu tinggi dan bagian-bagiannya menyatu dengan difusi padat.
- 2) *Friction welding* (FRW). Koalesensi dicapai dengan panas gesekan antara dua permukaan.
- 3) *Ultrasonic welding* (USW). Tekanan sedang diterapkan antara dua bagian dan gerakan osilasi pada frekuensi ultrasonik digunakan dalam arah yang sejajar dengan permukaan yang bersentuhan. Kombinasi gaya normal dan getaran menghasilkan tegangan geser yang menghilangkan film permukaan dan mencapai ikatan atom pada permukaan.

Berbagai proses pengelasan dijelaskan secara lebih rinci dalam. Survei sebelumnya harus memberikan kerangka kerja yang memadai untuk diskusi tentang terminologi dan prinsip pengelasan dalam bab ini. (Placeholder1)

c. Pengelasan Sebagai Operasi Komersil

Aplikasi utama pengelasan adalah (1) konstruksi, seperti bangunan dan jembatan; (2) perpipaan, bejana tekan, boiler, dan tangki penyimpanan; (3) pembuatan kapal; (4) pesawat terbang dan dirgantara; dan (5) otomotif dan kereta api. Pengelasan dilakukan di berbagai lokasi dan di berbagai industri. Karena keserbagunaannya sebagai teknik perakitan untuk produk komersial, banyak operasi pengelasan dilakukan di pabrik. Namun, beberapa proses tradisional, seperti pengelasan busur dan pengelasan gas *oxyfuel*, menggunakan peralatan yang dapat dengan mudah dipindahkan, sehingga pengoperasian ini tidak terbatas di pabrik. Mereka dapat dilakukan di lokasi konstruksi, di galangan kapal, di pabrik pelanggan, dan di bengkel otomotif.

Sebagian besar operasi pengelasan padat karya. Misalnya, pengelasan busur biasanya dilakukan oleh pekerja terampil, yang disebut tukang las, yang mengontrol secara manual jalur atau penempatan las untuk menggabungkan

bagian-bagian individu menjadi unit yang lebih besar. Di pabrik operasi di mana pengelasan busur dilakukan secara manual, tukang las sering bekerja dengan pekerja kedua, yang disebut seorang tukang cat. Ini adalah tugas pertama untuk mengatur individu komponen untuk tukang las sebelum melakukan pengelasan. Perlengkapan dan pengatur posisi pengelasan digunakan untuk tujuan ini. Perlengkapan pengelasan adalah alat untuk menjepit dan menahan komponen pada posisi tetap untuk pengelasan. Ini dibuat khusus untuk geometri lasan tertentu dan oleh karena itu harus dibenarkan secara ekonomis berdasarkan jumlah rakitan yang akan diproduksi. Pengatur posisi pengelasan adalah perangkat yang menahan bagian-bagian dan juga memindahkan rakitan ke posisi yang diinginkan untuk pengelasan. Ini berbeda dengan fikstur pengelasan yang hanya menahan bagian-bagian dalam satu posisi tetap. Posisi yang diinginkan biasanya di mana jalur pengelasan datar dan horizontal.

Safety Issue Welding secara inheren berbahaya bagi pekerja manusia. Tindakan pencegahan keamanan yang ketat harus dilakukan oleh mereka yang melakukan operasi ini. Suhu tinggi logam cair dalam pengelasan jelas merupakan bahaya. Dalam pengelasan gas, bahan bakar (misalnya. Asetilena) merupakan bahaya kebakaran. Sebagian besar proses menggunakan energi tinggi untuk meleburnya permukaan bagian yang akan disambung. Dalam banyak proses pengelasan, tenaga listrik merupakan sumber energi panas, sehingga dapat menimbulkan bahaya sengatan listrik bagi pekerja. Proses pengelasan tertentu memiliki bahaya tersendiri. Dalam pengelasan busur, misalnya, radiasi ultraviolet yang dipancarkan membahayakan penglihatan manusia. Helm khusus yang memiliki jendela penglihatan gelap harus dipakai oleh tukang las. Jendela ini menyaring radiasi berbahaya tetapi sangat gelap sehingga membuat tukang las hampir buta, kecuali jika busur terkena. Percikan api, percikan logam cair, asap, dan asap menambah risiko yang terkait dengan operasi pengelasan. Fasilitas ventilasi harus digunakan untuk membuang asap berbahaya yang dihasilkan oleh beberapa *fluks* dan logam cair yang digunakan dalam pengelasan. Jika operasi dilakukan di area tertutup, diperlukan setelan ventilasi khusus atau tudung. Otomasi dalam Pengelasan Karena bahaya pengelasan manual, dan dalam upaya untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas produk, berbagai

bentuk mekanisasi dan otomasi telah dikembangkan. Kategori tersebut meliputi pengelasan mesin, pengelasan otomatis, dan pengelasan robotik.

Pengelasan mesin dapat didefinisikan sebagai pengelasan mekanis dengan peralatan yang melakukan operasi di bawah pengawasan terus menerus dari operator. Biasanya dilakukan dengan kepala pengelasan yang digerakkan dengan cara mekanis relatif terhadap pekerjaan stasioner, atau dengan memindahkan pekerjaan relatif ke kepala pengelasan stasioner. Pekerja manusia harus terus mengamati dan berinteraksi dengan peralatan untuk mengontrol operasi. operator manusia, ini disebut sebagai pengelasan otomatis. Seorang pekerja manusia biasanya hadir untuk mengawasi proses dan mendeteksi variasi dari kondisi normal. Yang membedakan pengelasan otomatis dari pengelasan mesin adalah pengontrol siklus pengelasan untuk mengatur pergerakan busur dan pemosisian benda kerja tanpa perhatian manusia yang berkelanjutan. Pengelasan otomatis membutuhkan perlengkapan pengelasan dan / atau pengatur posisi ke posisi pekerjaan relatif terhadap kepala pengelasan. Ini juga membutuhkan tingkat konsistensi dan akurasi yang lebih tinggi pada bagian komponen yang digunakan dalam pengelasan. Karena alasan ini, pengelasan otomatis hanya dapat dilakukan untuk produksi dalam jumlah besar.

Dalam pengelasan robotik digunakan robot industri atau manipulator yang dapat deprogram secara otomatis mengontrol pergerakan kepala pengelasan relatif terhadap pekerjaan. Jangkauan serbaguna dari lengan robot memungkinkan penggunaan perlengkapan yang relatif sederhana, dan kapasitas robot untuk diprogram ulang untuk konfigurasi bagian baru memungkinkan bentuk otomatisasi ini dapat dibenarkan untuk jumlah produksi yang relatif rendah. Sel las busur robotik tipikal terdiri dari dua perlengkapan pengelasan dan manusia yang pas untuk memuat dan membongkar bagian saat robot mengelas. Selain pengelasan busur, robot industri juga digunakan di pabrik perakitan akhir mobil untuk melakukan pengelasan titik resistansi pada badan mobil. (Kalpakjian, 2009)

2. Sambungan las

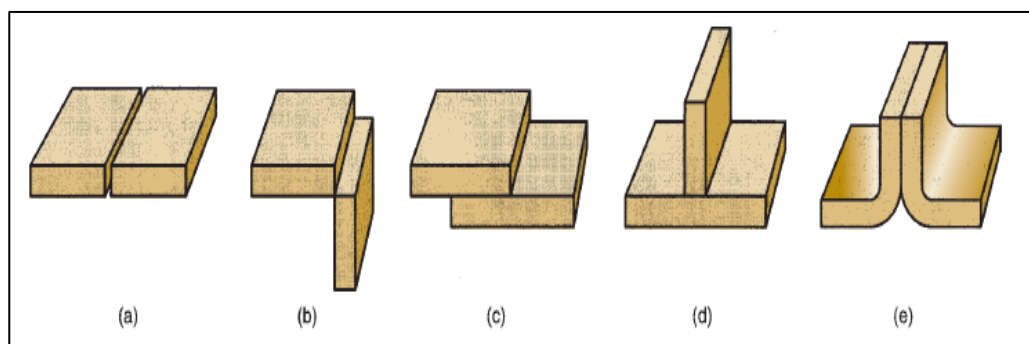
Pengelasan menghasilkan sambungan yang kokoh antara dua bagian, yang disebut sambungan las. Sambungan las adalah persimpangan tepi atau permukaan bagian yang telah disambung dengan pengelasan. Bagian ini mencakup dua klasifikasi yang berkaitan dengan sambungan las: (1) jenis

sambungan dan (2) jenis las yang digunakan untuk menyambungkan potongan yang membentuk sambungan

a. Jenis Sambungan

Ada lima jenis sambungan dasar untuk menyatukan dua bagian untuk disambungkan. Itu lima jenis sambungan tidak terbatas pada pengelasan; mereka berlaku untuk penyambungan dan pengikatan lainnya teknik juga. Dengan mengacu pada Gambar 5.2, lima jenis sambungan dapat didefinisikan sebagai berikut:

- 1) Sendi pantat. Dalam tipe sambungan ini, bagian-bagiannya terletak pada bidang yang sama dan disambungkan tepinya.
- 2) Sambungan sudut. Bagian-bagian dalam sambungan sudut membentuk sudut siku-siku dan disambung di sudut sudut.
- 3) Sambungan putaran. Sambungan ini terdiri dari dua bagian yang saling tumpang tindih.
- 4) Sambungan tee. Dalam sambungan tee, perkiraan satu bagian tegak lurus ke bagian lainnya bentuk huruf "T."
- 5) Sambungan tepi. Bagian-bagian dalam sambungan tepi sejajar dengan setidaknya salah satu tepinya kesamaan, dan sambungan dibuat di tepi yang sama.

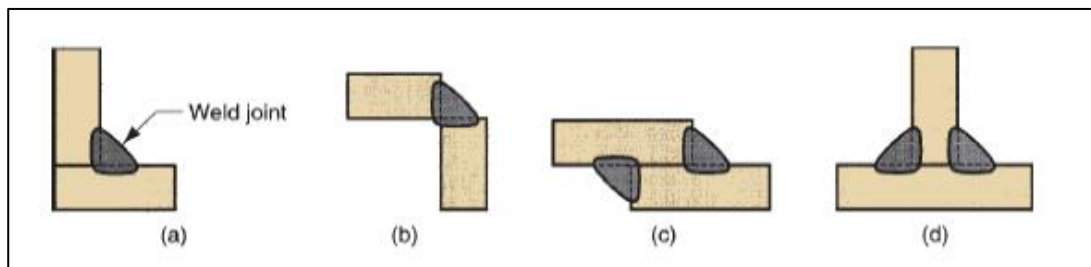


Sumber: (Groover, 2019)

Gambar 5.2 Lima tipe dasar sambungan: (a) pantat (b) sudut, (c) putaran, (d) tee, dan (e) tepi.

1) Jenis las

Setiap sambungan sebelumnya dapat dibuat dengan pengelasan. Ini tepat untuk dibedakan antara jenis sambungan dan cara pengelasannya — jenis pengelasan. Perbedaan antara jenis lasan terletak pada geometri (jenis sambungan) dan proses pengelasan.



Sumber: (Groover, 2019)

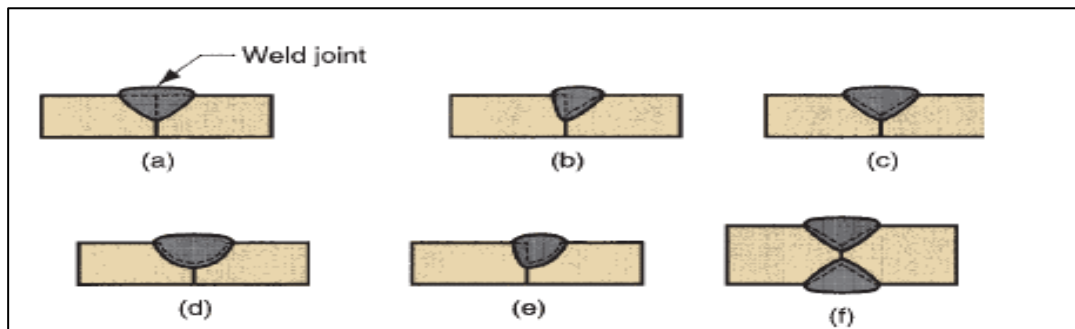
Gambar 5.3 Berbagai bentuk las fillet: (a) di dalam sambungan sudut fillet tunggal; (b) di luar sambungan sudut fillet tunggal; (c) sambungan pangkuan fillet ganda; dan (d) sambungan tee fillet ganda. Garis putus-putus menunjukkan tepi bagian asli.

Lasan *fillet* digunakan untuk mengisi tepi pelat yang dibuat oleh sudut, putaran, dan *tee* sambungan, seperti pada Gambar 5.3. *Filler* metal digunakan untuk memberikan perkiraan penampang bentuk segitiga siku-siku. Ini adalah jenis pengelasan yang paling umum dalam pengelasan busur dan oxyfuel karena membutuhkan persiapan tepi minimum — digunakan tepi persegi dasar dari bagian-bagian tersebut. Pengelasan fillet dapat tunggal atau ganda (yaitu, dilas pada satu sisi atau keduanya) dan dapat kontinu atau intermiten (yaitu, dilas sepanjang sambungan atau dengan ruang yang tidak dilas sepanjang sambungan).

Pengelasan alur biasanya mengharuskan tepi bagian dibentuk menjadi alur untuk memfasilitasi penetrasi pengelasan. Bentuk berlekuk termasuk persegi, kemiringan, V, U, dan J, dalam sisi tunggal atau ganda, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.4. Logam pengisi digunakan untuk mengisi sambungan, biasanya dengan las busur atau *oxyfuel*. Persiapan tepi bagian di luar tepi persegi dasar, meskipun memerlukan pemrosesan tambahan, sering kali dilakukan untuk meningkatkan kekuatan sambungan las atau di tempat yang akan dilas dengan bagian yang lebih tebal. Meskipun paling erat terkait dengan sambungan pantat,

pengelasan alur digunakan pada semua jenis sambungan kecuali putaran.

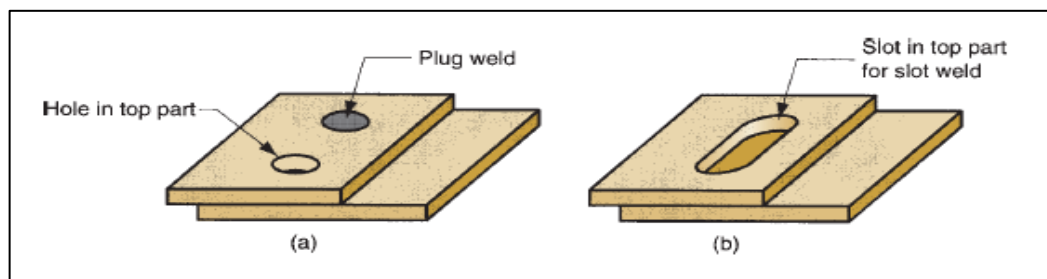
Las plug dan las slot digunakan untuk memasang pelat datar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.5, dengan menggunakan satu atau lebih lubang atau slot di bagian atas dan kemudian diisi dengan logam pengisi untuk menyatukan kedua bagian tersebut.



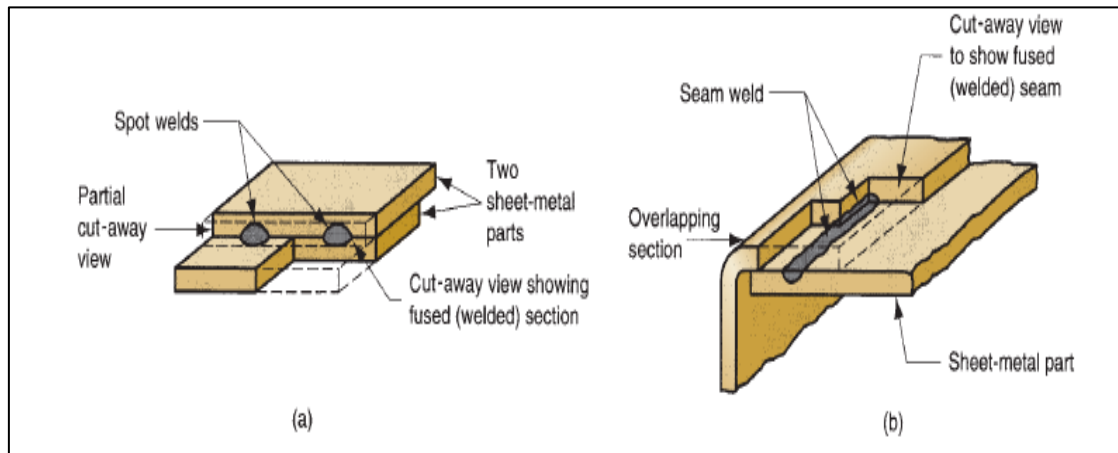
Sumber: (Groover, 2019)

Gambar 5.4 Beberapa las alur yang umum: (a) las alur persegi, satu sisi; (b) bevel tunggal alur las; (c) las V-groove tunggal; (d) lajang Lasan U-groove; (e) las J-groove tunggal; (f) las V-groove ganda agar lebih tebal bagian garis putus-putus menunjukkan bagian aslinya tepi.

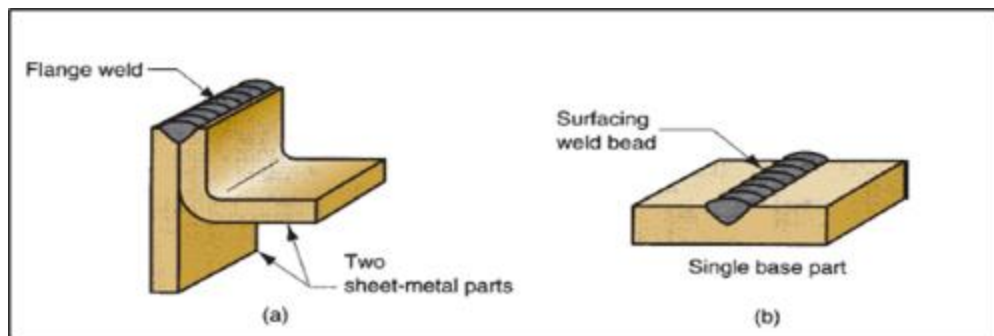
Sumber: (Groover, 2019)



Gambar 5.5 (a) Las busi dan (b) las celah.



Gambar 5.6 (a) Pengelasan titik dan (b) Pengelasan jahitan.



Gambar 5.7 (a) Las sayap dan (b) las permukaan.

Pengelasan titik dan pengelasan jahitan, yang digunakan untuk sambungan pangkuan, digambarkan pada Gambar 5.6. Lasan titik adalah bagian kecil yang menyatu antara permukaan dua lembaran atau pelat. Pengelasan titik ganda biasanya diperlukan untuk menggabungkan bagian-bagiannya. Ini paling erat kaitannya dengan pengelasan resistansi. Pengelasan jahitan mirip dengan las titik kecuali terdiri dari bagian yang menyatu secara terus menerus antara dua lembar atau pelat. Las sayap dan las permukaan ditunjukkan pada Gambar 5.7. Pengelasan sayap dibuat di tepi dua (atau lebih) bagian, biasanya lembaran logam atau pelat tipis, paling tidak satu bagian diberi sayap seperti pada Gambar 5.7 (a). Pengelasan permukaan tidak digunakan untuk menyambung bagian, melainkan untuk menyimpan logam penyaring ke permukaan bagian dasar dalam satu atau lebih manik las. Manik-manik las dapat

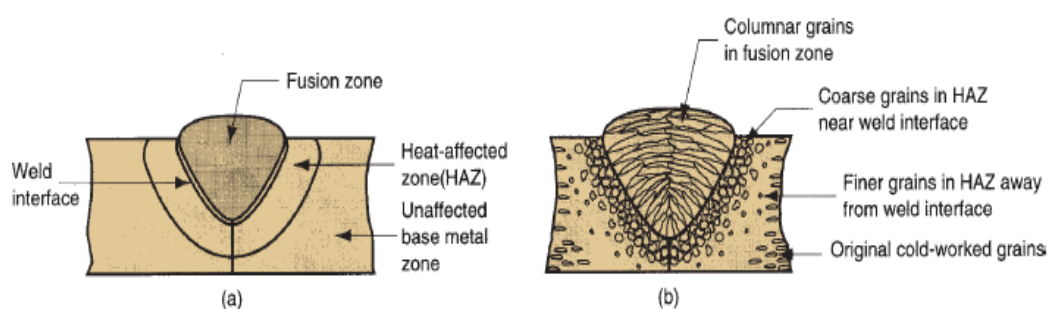
dibuat dalam serangkaian lintasan paralel yang tumpang tindih, sehingga menutupi area yang luas dari bagian alas. Tujuannya untuk menambah ketebalan pelat atau untuk memberikan lapisan pelindung pada permukaan.

3. Fitur dari Sambungan Las Fusi

Sebagian besar sambungan las dilas fusi. Seperti yang diilustrasikan dalam tampilan penampang Gambar 5.8 (a), sambungan las-fusi tipikal di mana logam pengisi telah ditambahkan terdiri dari beberapa zona: (1) zona fusi, (2) antarmuka las, (3) zona yang terkena panas, dan (4) zona logam dasar tidak terpengaruh.

Zona fusi terdiri dari campuran logam pengisi dan logam dasar yang telah melebur sempurna. Zona ini dicirikan dengan tingkat homogenitas yang tinggi di antara komponen logam yang telah meleleh selama pengelasan. Pencampuran komponen ini sebagian besar dimotivasi oleh konveksi di kolam las cair. Solidifikasi di zona fusi memiliki kemiripan dengan proses pengecoran. Dalam pengelasan, cetakan dibentuk oleh tepi atau permukaan yang tidak meleleh dari komponen yang sedang dilas. Perbedaan yang signifikan antara solidifikasi dalam pengecoran dan pengelasan adalah bahwa pertumbuhan butir epitaxial terjadi pada pengelasan. Pembaca mungkin ingat bahwa dalam pengecoran, butiran logam terbentuk dari lelehan dengan nukleasi partikel padat di dinding cetakan, diikuti oleh pertumbuhan butir. Sebaliknya, dalam pengelasan, tahap nukleasi pemadatan dihindari dengan mekanisme pertumbuhan butir epitaxial, di mana atom-atom dari kolam cair mengeras di lokasi kisi yang sudah ada sebelumnya dari logam dasar padat yang berdekatan. Akibatnya, struktur butir di zona fusi dekat zona yang terpengaruh panas cenderung meniru orientasi kristalografi dari zona yang terpengaruh panas di sekitarnya. Lebih jauh ke zona fusi, orientasi yang lebih disukai berkembang di mana butiran kira-kira tegak lurus dengan batas-batas antarmuka las. Struktur yang dihasilkan dalam zona fusi yang dipadatkan cenderung menampilkan butiran kolumnar kasar, seperti yang digambarkan pada Gambar 5.8 (b). Struktur butir bergantung pada berbagai faktor, termasuk proses pengelasan, logam yang dilas (misalnya, logam identik vs. logam yang berbeda yang dilas), apakah logam pengisi digunakan, dan kecepatan pengumpanan saat pengelasan dilakukan. Sebuah diskusi rinci tentang metalurgi pengelasan berada di luar cakupan teks ini, dan pembaca yang tertarik dapat melihat salah satu dari beberapa referensi.

Zona kedua di sambungan las adalah antarmuka las, batas sempit yang memisahkan zona fusi dari zona yang terpengaruh panas. Antarmuka terdiri dari pita tipis logam dasar yang dilebur atau sebagian meleleh (peleburan lokal di dalam butiran) selama proses pengelasan tetapi kemudian segera dipadatkan sebelum pencampuran dengan logam di zona fusi. Oleh karena itu, komposisi kimianya identik dengan logam dasar. Zona ketiga dalam las fusi tipikal adalah zona terpengaruh panas (HAZ). Logam di zona ini pernah mengalami suhu di bawah titik lelehnya. (Atabaki, 2013)



Sumber: (Atabaki, 2013)

Gambar 5.8 Penampang melintang dari sambungan las fusi yang khas: (a) zona utama dalam sambungan dan (b) struktur butir yang khas.

Cukup tinggi untuk menyebabkan perubahan mikrostruktur pada logam padat. Komposisi kimiawi pada zona yang terkena panas sama dengan logam dasar, namun pada daerah ini telah dilakukan heat treatment akibat suhu pengelasan sehingga sifat dan strukturnya telah berubah. Jumlah kerusakan metalurgi di HAZ tergantung pada faktor-faktor seperti jumlah masukan panas dan suhu puncak yang dicapai, jarak dari zona fusi, lamanya logam mengalami suhu tinggi, laju pendinginan, dan sifat termal logam. Efek pada sifat mekanik di zona yang terkena panas biasanya negatif, dan di daerah sambungan las inilah kegagalan pengelasan sering terjadi.

Dengan bertambahnya jarak dari zona fusi, zona logam dasar yang tidak terpengaruh akhirnya tercapai, di mana tidak terjadi perubahan metalurgi. Namun demikian, logam dasar yang mengelilingi HAZ kemungkinan besar berada dalam keadaan tegangan sisa yang tinggi, akibat penyusutan di zona fusi. (Atabaki, 2013)

C. LATIHAN SOAL/TUGAS

1. Setelah mempelajari dasar-dasar pengelasan, bagaimana pandangan anda mengenai dasar-dasar pengelasan dari industri?
2. Dari Materi modul ini terdapat beberapa jenis proses pengelasan, sebutkan dan jelaskan?
3. Sebutkan dan jelaskan macam-macam jenis sambungan?
4. Sebutkan dan jelaskan macam-macam jenis las?
5. Apa saja yang termasuk fisika pengelasan?

D. DAFTAR PUSTAKA

Cary, H. B., and Helzer, S. C. (2005). *Modern Welding Technology*, 6th ed. Pearson/Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Groover. (2019). *Fundamental Of Modern Manufacturing 7th ed.*. New york: John Wiley & Sons.

Atabaki M et al, 2013. *Welding of aluminum alloys to steels: an overview*. OMB No. 0704-0188

Kalpakjian, S. dan Schmid, S.R. 2009. *Manufacturing Engineering and Technology*. Sixth Edition, Pentice Hall, New York

PERTEMUAN 6

PROSES PENGELASAN (*WELDING*)

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa mampu mengembangkan design dan Teknik dari material yang ada dalam proses pengelasan yang lebih efektif serta mampu menghitung struktur proses pengelasan dalam pengelasan material Fe maupun non Fe.

B. URAIAN MATERI

1. Proses Pengelasan

Proses pengelasan dibagi menjadi dua kategori utama:

- a. Pengelasan fusi, di mana peleburan dilakukan dengan melebur dua bagian permukaan yang akan disambung, dalam beberapa kasus menambahkan logam pengisi ke sambungan; dan
- b. Pengelasan keadaan padat, di mana panas dan / atau tekanan digunakan untuk mencapai peleburan, tetapi tidak terjadi peleburan logam dasar dan tidak ada logam pengisi yang ditambahkan.

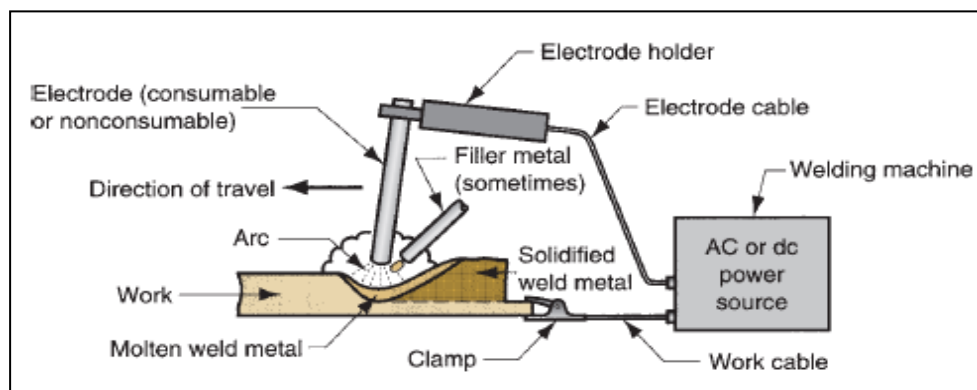
Pengelasan fusi sejauh ini merupakan kategori yang lebih penting. Ini mencakup:

- a. Pengelasan busur,
- b. Pengelasan resistansi,
- c. Pengelasan gas oxyfuel, dan
- d. Proses pengelasan fusi lainnya.

Proses yang tidak dapat diklasifikasikan sebagai salah satu dari tiga jenis pertama. Proses pengelasan fusi dibahas dalam empat bagian pertama dari bab ini mencakup pengelasan keadaan padat. Dan di tiga bagian terakhir dari bab ini, masalah umum untuk semua operasi pengelasan diperiksa: kualitas pengelasan, kemampuan las, dan desain pengelasan.

a. Pengelasan Busur / *Arc Welding (AW)*

Pengelasan busur adalah proses pengelasan fusi di mana peleburan logam dicapai dengan panas busur listrik antara elektroda dan benda. Proses dasar yang sama juga digunakan dalam pemotongan busur. Proses pengelasan busur generik ditunjukkan pada Gambar 6.1. Busur listrik adalah pelepasan arus listrik melintasi celah dalam suatu rangkaian. Hal ini didukung oleh adanya kolom gas yang terionisasi secara termal (disebut plasma) yang melaluinya arus mengalir. Untuk memulai busur dalam proses pengelasan busur, elektroda disentuhkan dengan pekerjaan dan kemudian dengan cepat dipisahkan darinya dengan jarak pendek. Energi listrik dari busur yang terbentuk menghasilkan suhu 5500 °C (10.000 °F) atau lebih tinggi, cukup panas untuk melelehkan logam apa pun. Kolam logam cair, yang terdiri dari logam dasar dan logam penyaring (jika digunakan) dibentuk di dekat ujung elektroda. Pada kebanyakan proses pengelasan busur, logam pengisi ditambahkan selama operasi untuk meningkatkan volume dan kekuatan sambungan las. Saat elektroda digerakkan di sepanjang sambungan, kolam las cair mengeras setelahnya.



Gambar 6.1 Konfigurasi dasar dan sirkuit listrik dari proses pengelasan busur.

Pergerakan elektroda relatif terhadap pekerjaan dilakukan baik dengan tukang las manusia (pengelasan manual) atau dengan cara mekanis (yaitu, pengelasan mesin, pengelasan otomatis, atau pengelasan robotik). Salah satu aspek yang merepotkan dari pengelasan busur manual adalah bahwa kualitas sambungan las tergantung pada keterampilan dan etos kerja tukang las manusia. Produktivitas juga menjadi masalah. Ini sering diukur sebagai

waktu busur (juga disebut waktu busur) proporsi jam kerja yang dilakukan pengelasan busur:

$$\text{Waktu busur} = (\text{busur waktu aktif})/(\text{jam kerja})$$

Definisi ini dapat diterapkan ke tukang las individu atau ke stasiun kerja mekanis. Untuk pengelasan manual, waktu busur biasanya sekitar 20%. Waktu istirahat yang sering dibutuhkan oleh tukang las untuk mengatasi kelelahan pada pengelasan busur manual, yang membutuhkan koordinasi mata tangan dalam kondisi stres. Waktu busur meningkat menjadi sekitar 50% (lebih atau kurang, tergantung pada operasi) untuk pengelasan mesin, otomatis, dan robotik.

1) *General Tecknology Of Arc Welding*

Sebelum menjelaskan proses individu, ada instruksi untuk memeriksa beberapa masalah teknis umum yang berlaku untuk proses ini. Elektroda yang digunakan dalam proses AW diklasifikasikan sebagai elektroda yang dapat dikonsumsi atau tidak dapat dikonsumsi. Elektroda yang dapat dikonsumsi menyediakan sumber logam pengisi dalam pengelasan busur. Elektroda ini tersedia dalam dua bentuk utama: batang (juga disebut tongkat) dan kawat. Masalah dengan batang las yang dapat dikonsumsi, setidaknya dalam operasi pengelasan produksi, adalah bahwa batang tersebut harus diganti secara berkala, sehingga mengurangi waktu busur bagi tukang las. Kawat las yang dapat dikonsumsi memiliki keunggulan yaitu dapat terus menerus dimasukkan ke dalam kolam las dari gulungan yang berisi kawat panjang, sehingga menghindari gangguan yang sering terjadi saat menggunakan tongkat las. Dalam bentuk batang dan kawat, elektroda dikonsumsi oleh busur selama proses pengelasan dan ditambahkan ke sambungan las sebagai logam pengisi.

Elektroda yang tidak dapat dikonsumsi terbuat dari tungsten (atau karbon, jarang), yang tahan terhadap peleburan oleh busur. Terlepas dari namanya, elektroda yang tidak dapat dikonsumsi secara bertahap habis selama proses pengelasan (penguapan adalah mekanisme utama), analog dengan keausan bertahap dari alat pemotong dalam operasi pemesinan. Untuk proses AW yang menggunakan elektroda yang tidak dapat dikonsumsi, dan logam pengisi yang digunakan dalam operasi

harus disuplai melalui kabel terpisah yang dimasukkan ke dalam kolam las. Pelindung Busur Pada suhu tinggi dalam pengelasan busur, logam yang bergabung secara kimiawi reaktif terhadap oksigen, nitrogen, dan hidrogen di udara. Sifat mekanis sambungan las dapat sangat rusak oleh reaksi ini. Dengan demikian, beberapa cara untuk melindungi busur dari udara sekitarnya disediakan di hampir semua proses AW. Pelindung busur dilakukan dengan menutupi ujung elektroda, busur, dan kolam las meleleh dengan selimut gas atau *fluks*, atau keduanya, yang menghambat pemaparan logam las ke udara. Gas pelindung yang umum termasuk argon dan helium, keduanya bersifat inert. Dalam pengelasan logam besi dengan proses AW tertentu, oksigen dan karbon dioksida digunakan, biasanya dalam kombinasi dengan Ar dan/atau He, untuk menghasilkan atmosfer pengoksidasi atau untuk mengontrol bentuk lasan.

Fluks adalah zat yang digunakan untuk mencegah pembentukan oksida dan kontaminan lain yang tidak diinginkan, atau untuk melarutkannya dan memfasilitasi pembuangan. Selama pengelasan, *fluks* meleleh dan menjadi cairan terak, menutupi operasi dan melindungi logam las yang meleleh. Terak mengeras saat didinginkan dan harus dibuang nanti dengan *chipping* atau brushing. *Fluks* biasanya diformulasikan untuk melayani beberapa fungsi tambahan: (1) memberikan atmosfer pelindung untuk pengelasan, (2) menstabilkan busur, dan (3) mengurangi percikan. Metode penerapan *fluks* berbeda untuk setiap proses. Teknik pengiriman meliputi (1) menuangkan *fluks* granular ke dalam operasi pengelasan, (2) menggunakan elektroda tongkat yang dilapisi dengan bahan *fluks* di mana lapisan meleleh selama pengelasan untuk menutupi operasi, dan (3) menggunakan elektroda tubular yang mengandung *fluks* di inti dan dilepaskan saat elektroda dikonsumsi. Teknik-teknik ini dibahas lebih lanjut dalam deskripsi proses AW individu.

Power Source in Arc Welding Arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC) digunakan dalam pengelasan busur. Mesin AC lebih murah untuk dibeli dan dioperasikan, tetapi umumnya terbatas pada pengelasan logam besi. Peralatan DC dapat digunakan pada semua logam dengan hasil yang baik dan umumnya dikenal memiliki kontrol busur yang lebih baik. Dalam semua proses pengelasan busur, daya untuk menggerakkan

operasi adalah produk dari arus I yang melewati busur dan tegangan E yang melewatinya. Tenaga ini diubah menjadi panas, tetapi tidak semua panas ditransfer ke permukaan pekerjaan. Konveksi, konduksi, radiasi, dan percikan merupakan kerugian yang mengurangi jumlah panas yang dapat digunakan. Pengaruh kerugian dinyatakan oleh faktor perpindahan panas f_1 . Beberapa nilai perwakilan f_1 untuk beberapa proses AW diberikan pada Tabel 6.1. Faktor perpindahan panas lebih besar untuk proses AW yang digunakan.

Tabel 6.1 Faktor perpindahan panas untuk beberapa proses pengelasan busur

Arc-Welding Process	Typical Heat Transfer Factor f_1
Shielded metal arc welding	0.9
Gas metal arc welding	0.9
Flux-cored arc welding	0.9
Submerged arc welding	0.95
Gas tungsten arc welding	0.7

Elektroda yang dapat dikonsumsi karena sebagian besar panas yang dikonsumsi dalam peleburan elektroda kemudian ditransfer ke pekerjaan sebagai logam cair. Proses dengan nilai f_1 terendah pada Tabel 6.1 adalah pengelasan busur gas tungsten, yang menggunakan elektroda tidak dapat dikonsumsi. Faktor lebur f_2 selanjutnya mengurangi panas yang tersedia untuk pengelasan. Keseimbangan daya yang dihasilkan dalam pengelasan busur ditentukan oleh:

$$R_{Hw} = f_1 f_2 I E = U_m A_w v$$

Dimana E = tegangan, V; I = arus, A; dan Satuan R_{Hw} adalah watt (arus dikalikan dengan tegangan), yang sama besarnya J/dtk. Ini dapat diubah menjadi Btu/dtk dengan memanggil kembali 1 Btu=1055 J, dan dengan demikian 1 Btu/dtk 1055 watt.

Contoh 1.1 Kekuatan dalam pengelasan busur

Pengelasan busur gas tungsten dilakukan pada arus 300 A dan tegangan 20 V. Faktor leleh $f_2 = 0,5$, dan satuan energi leleh untuk logam $U_m = 10 \text{ J/mm}^3$. Tentukan (a) daya dalam operasi, (b) laju pembentukan panas pada pengelasan, dan (c) laju volume logam yang dilas.

Solusi:

a) Daya dalam operasi pengelasan busur ini adalah

$$P = IE(300 \text{ A})(20 \text{ V}) = 6000 \text{ W}$$

Dari Tabel 6.1, faktor perpindahan panas $f_1 = 0,7$. Tingkat panas yang digunakan untuk pengelasan diberikan oleh:

$$R_{HW} = f_1 f_2 IE = (0,7)(0,5)(6000) = 2100 \text{ W} = 2100 \text{ J/s}$$

b) Laju volume logam yang dilas adalah

$$R_{vw} = (2100 \text{ J/s}) / (10 \text{ J/mm}^3) = 210 \text{ mm}^3/\text{s}$$

2) *AW Processes Consumable Electrodes*

Sejumlah proses pengelasan busur penting menggunakan elektroda yang dapat dikonsumsi. Simbol untuk proses pengelasan adalah yang digunakan oleh American Welding Society. *Shielded Metal Arc Welding* adalah proses AW yang menggunakan elektroda habis pakai yang terdiri dari batang logam pengisi yang dilapisi dengan bahan kimia yang memberikan *fluks* dan pelindung. Prosesnya diilustrasikan pada Gambar 6.2 dan 6.3. Tongkat las (kadang-kadang disebut pengelasan tongkat) biasanya berukuran panjang 225 sampai 450 mm (9-18 in) dan diameter 2,5 sampai 9,5 mm (3 / 32–3 / 8 in). Logam pengisi yang digunakan pada batang harus sesuai dengan logam yang akan dilas, komposisinya biasanya sangat dekat dengan logam tidak mulia. Lapisan ini terdiri dari bubuk selulosa (yaitu kapas dan serbuk kayu) yang dicampur dengan oksida, karbonat, dan bahan lainnya, disatukan oleh pengikat silikat. Serbuk logam juga kadang-kadang dimasukkan dalam pelapis untuk menambah jumlah logam pengisi dan untuk ditambahkan elemen paduan. Panas dari proses pengelasan melelehkan lapisan untuk

memberikan atmosfer pelindung dan terak untuk operasi pengelasan. Ini juga membantu menstabilkan busur dan mengatur laju peleburan elektroda.



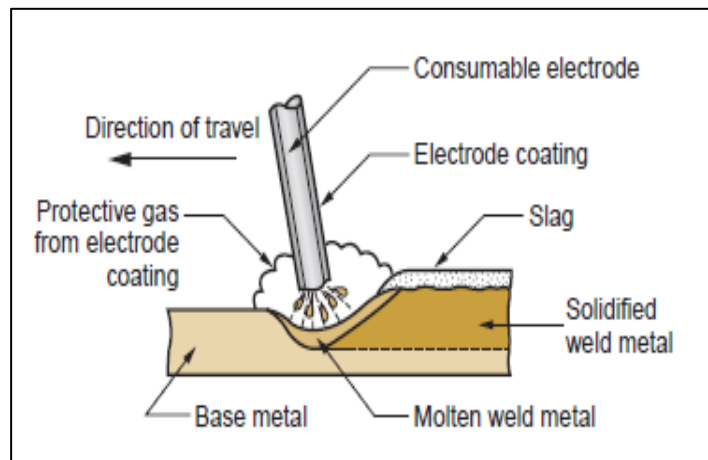
Sumber: (Stotler, 2009)

Gambar 6.2 Pengelasan busur logam berpelindung (pengelasan tongkat) dilakukan oleh operator las (manusia).

Selama operasi, ujung logam telanjang dari tongkat las (berlawanan dengan ujung pengelasan) dijepit diudukan elektroda yang terhubung ke sumber listrik. Dudukannya memiliki pegangan berinsulasi sehingga bisa dipegang dan dimanipulasi oleh manusia tukang las. Arus yang biasanya digunakan berkisar antara 30 dan 300 A pada tegangan 15 hingga 45 V. Pemilihan parameter daya yang tepat tergantung pada logam yang dilas, jenis dan panjang elektroda, serta kedalaman penetrasi las yang diperlukan. Catu daya, kabel penghubung, dan pemegang elektroda dapat dibeli dengan harga beberapa ribu dolar.

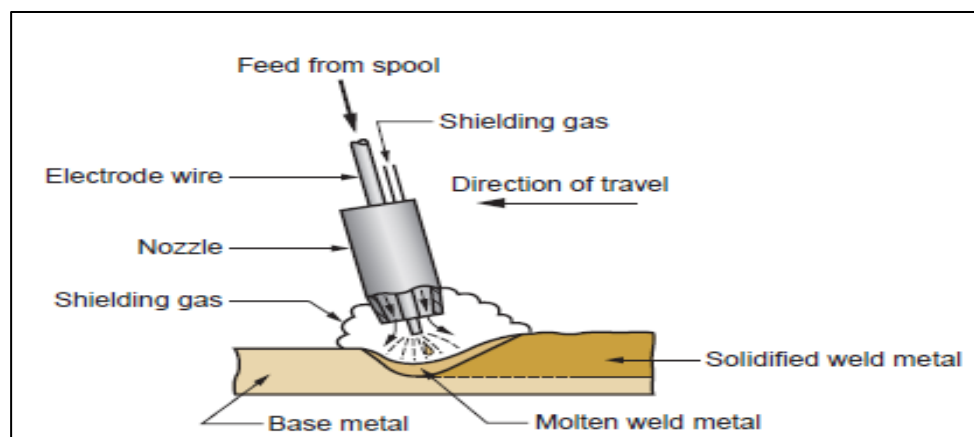
Pengelasan busur logam terlindung biasanya dilakukan secara manual. Aplikasi umum meliputi konstruksi, jaringan pipa, struktur permesinan, pembuatan kapal, fabrikasi bengkel kerja, dan pekerjaan perbaikan. Lebih disukai daripada pengelasan oxyfuel untuk bagian yang lebih tebal di atas 5 mm (3 / 16in), karena kepadatan dayanya lebih tinggi. Peralatannya portabel dan berbiaya rendah, sangat serbaguna dan mungkin proses AW yang paling banyak digunakan. Logam dasar termasuk baja, baja tahan karat, besi tuang, dan paduan nonferrous tertentu. Itu tidak digunakan atau jarang digunakan untuk aluminium dan paduannya, paduan tembaga, dan titanium.

Kerugian dari pengelasan busur logam berpelindung sebagai operasi produksi adalah penggunaan tongkat elektroda habis pakai. Saat tongkat habis, mereka harus secara berkala.



Sumber: (Stotler, 2009)

Gambar 6.3 Pengelasan busur logam berpelindung



Sumber: (Stotler, 2009)

Gambar 6.4 Pengelasan busur logam gas.

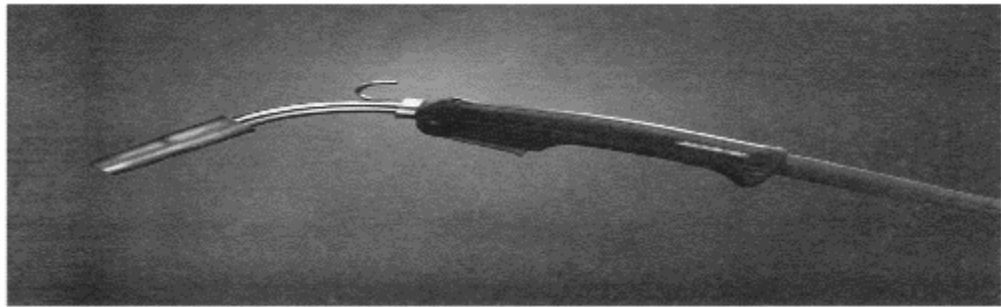
Hal Ini mengurangi waktu busur dengan proses pengelasan ini. Batasan lain adalah level arus yang dapat digunakan. Karena panjang elektroda bervariasi selama operasi dan panjang ini mempengaruhi pemanasan resistansi elektroda, level arus harus dijaga dalam kisaran yang aman atau lapisan akan terlalu panas dan meleleh sebelum waktunya saat memulai tongkat las baru. Beberapa proses AW lainnya

mengatasi keterbatasan panjang tongkat las dengan menggunakan elektroda kawat yang diumpankan secara kontinyu.

Gas Metal Arc Welding adalah proses AW di mana elektroda merupakan kawat logam kosong habis pakai, dan pelindung dilakukan dengan membanjiri busur dengan gas. Kabel telanjang diumpankan secara terus menerus dan otomatis dari spul melalui las gun, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 6.4. Pistol las ditunjukkan pada Gambar 6.5. Diameter kawat mulai dari 0,8 hingga 6,5 mm ($1/32$ – $1/4$ in.) digunakan di pengelasan busur logam gas, ukurannya tergantung pada ketebalan bagian yang disambung dan tingkat deposisi yang diinginkan. Gas yang digunakan untuk perisai termasuk gas lembam seperti argon dan helium, dan gas aktif seperti karbon dioksida. Pemilihan gas (dan campuran gas) tergantung pada logam yang dilas, serta faktor lainnya. Lembam gas digunakan untuk pengelasan paduan aluminium dan baja tahan karat, sedangkan CO₂ umumnya digunakan digunakan untuk mengelas baja karbon rendah dan sedang. Kombinasi telanjang kawat elektroda dan gas pelindung menghilangkan penutup terak pada manik las dan dengan demikian menghalangi kebutuhan untuk menggiling dan membersihkan terak secara manual. Oleh karena itu, proses ini ideal untuk membuat beberapa lintasan pengelasan pada sambungan yang sama. (Jeffus, 2007).

Berbagai logam yang digunakan dalam pengelasan busur logam gas dan variasi proses itu sendiri telah memunculkan berbagai nama untuk pengelasan busur logam gas. Saat proses itu pertama kali diperkenalkan pada akhir 1940-an, itu diterapkan pada pengelasan aluminium menggunakan inert gas (argon) untuk pelindung busur. Nama yang diterapkan untuk proses ini adalah pengelasan MIG (untuk pengelasan gas inert logam). Ketika proses pengelasan yang sama diterapkan pada baja, itu benar menemukan bahwa gas inert mahal dan CO₂ digunakan sebagai penggantinya. Oleh karena itu istilah pengelasan CO₂ diterapkan. Perbaikan di pengelasan busur logam gas untuk pengelasan baja telah menyebabkan penggunaan campuran gas,

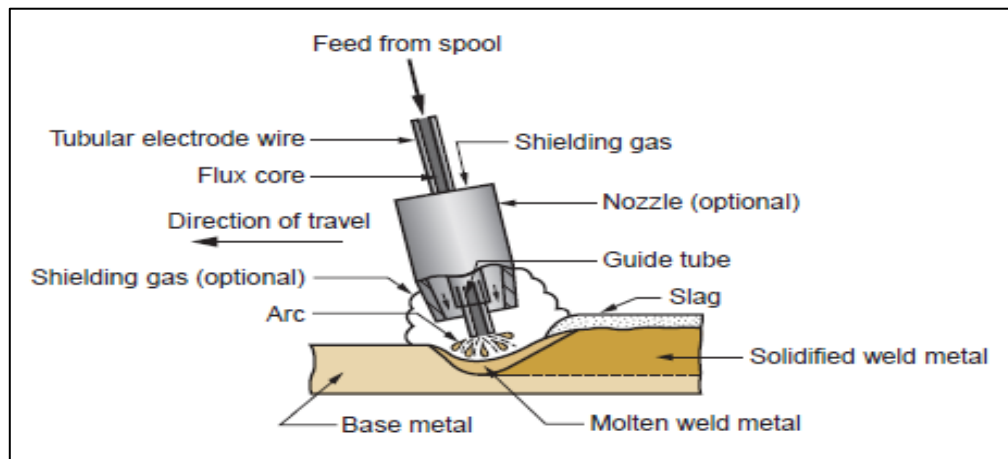
termasuk CO₂ dan argon, dan bahkan oksigen dan argon (Groover, 2019).



Gambar 6.5 Pistol las untuk pengelasan busur logam gas

- 3) Sehingga pemanfaatan material elektroda lebih tinggi dengan dalam pengelasan busur logam gas. Fitur lain dari dalam pengelasan busur logam gas termasuk penghapusan slag removal (karena tidak ada *fluks* yang digunakan), tingkat deposisi yang lebih tinggi dari dalam pengelasan busur logam terlindung, dan keserbagunaan yang baik.
- 4) Flux-Cored Arc Welding Proses pengelasan busur ini dikembangkan pada awal 1950-an sebagai adaptasi dari pengelasan busur logam berpelindung untuk mengatasi keterbatasan yang diberlakukan oleh penggunaan elektroda tongkat. Pengelasan Busur Beralur Fluks adalah proses pengelasan busur di mana elektroda adalah pipa konsumsi berkelanjutan yang mengandung fluks dan bahan lain di intinya. Bahan lain mungkin termasuk deoxidizer dan elemen paduan. "Kawat" inti fluks tubular bersifat fleksibel dan oleh karena itu dapat disuplai dalam bentuk kumparan untuk diumpankan secara kontinu melalui senapan las busur. Ada dua versi Pengelasan Busur Beralur Fluks: (1) berpelindung diri dan (2) berpelindung gas. Dalam versi pertama Pengelasan Busur Beralur Fluks yang akan dikembangkan, pelindung busur disediakan oleh inti fluks, sehingga mengarah ke nama pengelasan busur inti fluks pelindung diri. Inti dalam bentuk pengelasan busur beralur fluks ini tidak hanya mencakup fluks tetapi juga bahan yang menghasilkan gas pelindung untuk melindungi busur. Versi kedua pengelasan busur beralur fluks, yang dikembangkan terutama untuk baja las, memperoleh pelindung busur dari gas yang disuplai dari luar, mirip dengan pengelasan busur logam gas. Versi ini disebut las busur berinti fluks berpelindung gas. Karena menggunakan elektroda yang mengandung *fluksnya* sendiri

bersama dengan gas pelindung terpisah, ini dapat dianggap sebagai hibrida dari pengelasan busur logam berpelindung dan pengelasan busur logam gas. Gas pelindung yang biasanya digunakan adalah karbon dioksida untuk baja ringan atau campuran argon dan karbon dioksida.



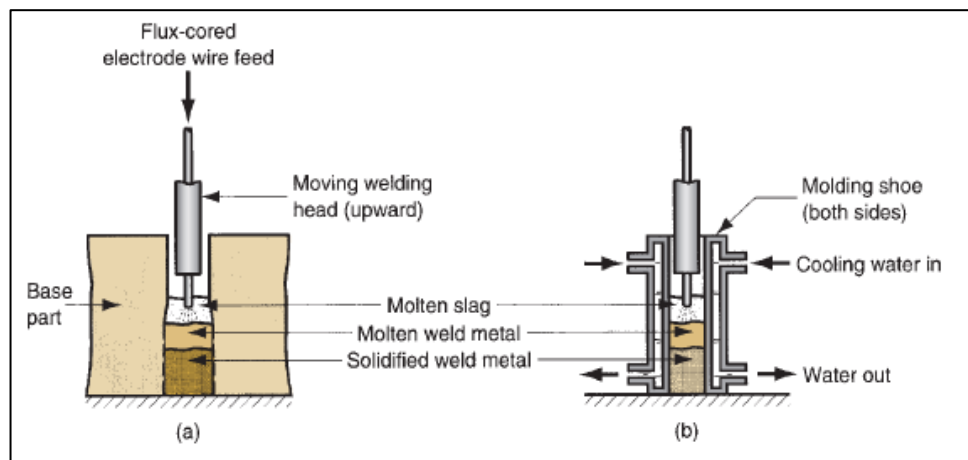
Gambar 6.6 Pengelasan busur berinti *fluks*

Gambar 6.6 mengilustrasikan proses pengelasan busur beralur *fluks*, dengan gas (opsional) yang membedakan kedua jenis tersebut. pengelasan busur beralur *fluks* memiliki keunggulan yang mirip dengan pengelasan busur logam gas, karena pengumpanan elektroda yang terus menerus. Ini digunakan terutama untuk pengelasan baja dan baja tahan karat pada berbagai ketebalan stok. Ia terkenal karena kemampuannya untuk menghasilkan sambungan las berkualitas sangat tinggi yang halus dan seragam.

Electrogas Welding merupakan proses AW yang menggunakan elektroda habis pakai kontinu (baik kabel berinti *fluks* atau kabel telanjang dengan eksternal gas pelindung yang disediakan) dan sepatu cetakan untuk menampung logam cair. Proses ini terutama diterapkan pada pengelasan butt vertikal, seperti yang digambarkan pada Gambar 6.7. Jika kabel elektroda berinti *fluks* digunakan, tidak ada gas eksternal yang disuplai, dan prosesnya dapat dianggap sebagai aplikasi khusus berpelindung mandiri. Ketika kawat elektroda telanjang digunakan dengan gas pelindung dari sumber eksternal, itu dianggap sebagai kasus khusus pengelasan busur logam gas. Sepatu cetakan didinginkan dengan

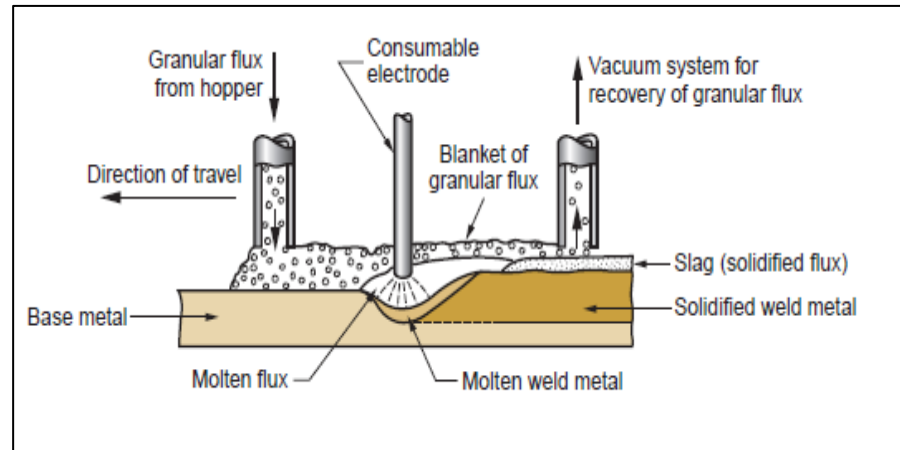
air untuk mencegahnya ditambahkan ke kolam las. Bersama dengan tepi bagian yang dilas, sepatu membentuk wadah, hampir seperti rongga cetakan, di mana logam cair dari elektroda dan bagian dasar ditambahkan secara bertahap. Proses ini dilakukan secara otomatis, dengan kepala las yang bergerak bergerak vertikal ke atas untuk mengisi rongga dalam sekali jalan. (Jeffus, 2007).

Aplikasi utama pengelasan elektrogas adalah baja (karbon rendah dan sedang, paduan rendah, dan baja tahan karat tertentu) dalam konstruksi tangki penyimpanan besar.



Sumber: (Jeffus, 2007)

Gambar 6.7 Pengelasan elektrogas menggunakan kawat elektroda



Sumber: (Jeffus, 2007)

Gambar 6.8 Pengelasan busur terendam

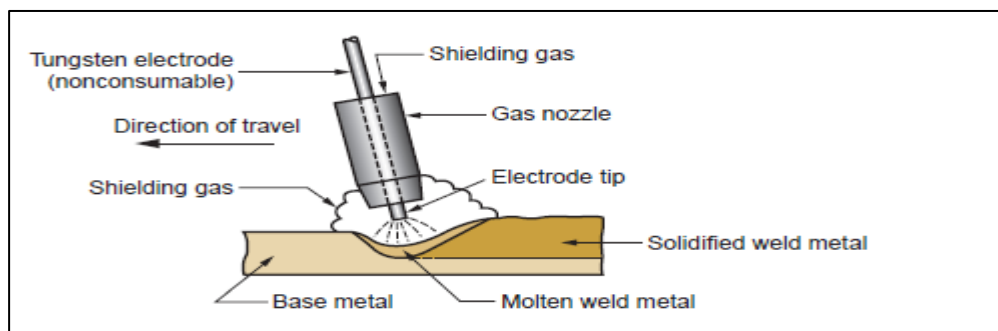
Submerged Arc Welding Proses ini, yang dikembangkan selama tahun 1930-an, adalah salah satu proses AW pertama yang diotomatiskan. Pengelasan busur terendam adalah proses pengelasan busur yang menggunakan elektroda kawat telanjang yang dapat dikonsumsi secara kontinu, dan pelindung busur disediakan oleh penutup *fluks* granular. Kabel elektroda diumpankan secara otomatis dari koil ke busur. *Fluks* dimasukkan ke dalam sambungan sedikit di depan busur las oleh gravitasi dari hopper, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.8. Selimut *fluks* granular benar-benar merendam operasi pengelasan, mencegah percikan api, percikan, dan radiasi yang sangat berbahaya dalam proses AW lainnya. Dengan demikian, operator pengelasan tidak perlu memakai pelindung wajah yang agak rumit yang diperlukan dalam operasi lain (kacamata pengaman dan sarung tangan pelindung, tentu saja, diperlukan). Bagian *fluks* yang paling dekat dengan busur dilelehkan, dicampur dengan logam las cair untuk menghilangkan kotoran dan kemudian mengeras di atas sambungan las untuk membentuk terak seperti kaca. Butiran terak dan *fluks* yang tidak terpakai di bagian atas memberikan perlindungan yang baik dari atmosfer dan isolasi termal yang baik untuk area pengelasan, menghasilkan pendinginan yang relatif lambat dan sambungan las berkualitas tinggi, terkenal karena ketangguhan dan keuletannya. Seperti yang digambarkan dalam sketsa, *fluks* yang tidak terpakai yang tersisa setelah pengelasan dapat

dipulihkan dan digunakan kembali. Terak padat yang menutupi lasan harus dikupas, biasanya dengan cara manual.

Pengelasan busur terendam banyak digunakan dalam fabrikasi baja untuk bentuk struktural (misalnya, balok I yang dilas); jahitan longitudinal dan keliling untuk diameter besar pipa, tangki, dan tekanan pembuluh; dan komponen yang dilas untuk mesin berat. Dalam aplikasi semacam ini, pelat baja dengan ketebalan 25 mm (1,0 inci) dan lebih berat adalah secara rutin dilas oleh proses ini. Baja rendah karbon, paduan rendah, dan tahan karat dapat segera dilas dengan pengelasan busur berpelindung; tetapi bukan baja karbon tinggi, baja perkakas, dan kebanyakan nonferrous logam. Karena umpan gravitasi dari *fluks* butiran, bagian-bagiannya harus selalu dalam a orientasi horizontal, dan pelat cadangan sering kali diperlukan di bawah sambungan selama operasi pengelasan. (Jeffus, 2007)

5) AW Processes – Nonconsumable Electrodes

Proses AW yang dibahas di atas menggunakan elektroda yang dapat dikonsumsi. Pengelasan busur tungsten gas, pengelasan busur plasma, dan beberapa proses lainnya menggunakan elektroda yang tidak dapat dikonsumsi.



Gambar 6.9 Gas pengelasan busur tungsten

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) adalah proses AW yang menggunakan elektroda tungsten yang tidak dapat dikonsumsi dan gas inert untuk pelindung busur. Istilah pengelasan TIG (pengelasan gas inert tungsten) sering digunakan untuk proses ini (di Eropa, pengelasan WIG adalah istilahnya — simbol kimia untuk tungsten adalah W, untuk Wolfram). GTAW dapat diimplementasikan dengan atau tanpa logam pengisi. Gambar 29.9 menggambarkan kasus terakhir. Ketika logam

pengisi digunakan, itu ditambahkan ke kolam las dari batang atau kawat terpisah, dilelehkan oleh panas busur daripada ditransfer melintasi busur seperti dalam proses AW elektroda habis pakai. Tungsten adalah bahan elektroda yang baik karena titik lelehnya yang tinggi yaitu 3410°C (6170°F). Khas gas pelindung termasuk argon, helium, atau campuran elemen gas ini.

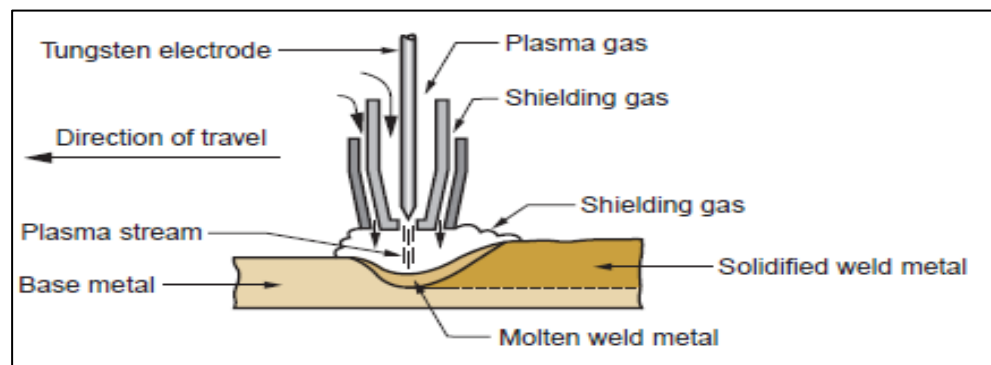
GTAW berlaku untuk hampir semua logam dalam berbagai ketebalan stok. Ini juga dapat digunakan untuk menggabungkan berbagai kombinasi logam yang berbeda. Aplikasi yang paling umum adalah untuk aluminium dan baja tahan karat. Besi tuang, besi tempa, dan tentu saja tungsten sulit dilas oleh GTAW. Dalam aplikasi pengelasan baja, GTAW umumnya lebih lambat dan lebih mahal daripada elektroda AW yang dapat dikonsumsi proses, kecuali jika bagian tipis terlibat dan diperlukan pengelasan dengan kualitas sangat tinggi. Ketika lembaran tipis dilas TIG untuk menutup toleransi, logam pengisi biasanya tidak ditambahkan. Prosesnya dapat dilakukan secara manual atau dengan mesin dan otomatis metode untuk semua jenis sambungan. Keuntungan GTAW dalam aplikasi yang sesuai mencakup pengelasan berkualitas tinggi, tidak ada percikan las karena tidak ada logam pengisi yang ditransfer melintasi busur, dan sedikit atau tidak ada pembersihan pasca-las karena tidak ada *fluks* yang digunakan.

Plasma Arc Welding (PAW) adalah bentuk khusus dari pengelasan busur tungsten gas di mana busur plasma terbatas diarahkan ke area las. Dalam PAW, elektroda tungsten terkandung dalam nosel dirancang khusus yang memfokuskan kecepatan tinggi aliran gas inert (misalnya, argon atau campuran argon-hidrogen) ke dalam wilayah busur untuk membentuk aliran busur plasma yang sangat panas dan berkecepatan tinggi, seperti pada Gambar 29.10. Argon, argon-hidrogen, dan helium digunakan sebagai gas pelindung busur.

Suhu dalam pengelasan busur plasma mencapai 17.000°C (30.000°F) atau lebih, cukup panas untuk melelehkan logam yang diketahui. Alasan mengapa suhu sangat tinggi di PAW (secara signifikan lebih tinggi daripada di GTAW) berasal dari penyempitan busur. Meskipun tingkat daya tipikal yang digunakan dalam PAW di bawah yang digunakan

di GTAW, daya tersebut sangat terkonsentrasi untuk menghasilkan jet plasma berdiameter kecil dan kepadatan daya yang sangat tinggi.

Pengelasan busur plasma diperkenalkan sekitar tahun 1960 tetapi lambat untuk diketahui. Baru-baru ini tahun penggunaannya meningkat sebagai pengganti GTAW dalam aplikasi seperti subassemblies mobil, lemari logam, kusen pintu dan jendela, dan peralatan rumah tangga. Karena fitur khusus PAW, kelebihanannya dalam aplikasi ini termasuk busur yang bagus.



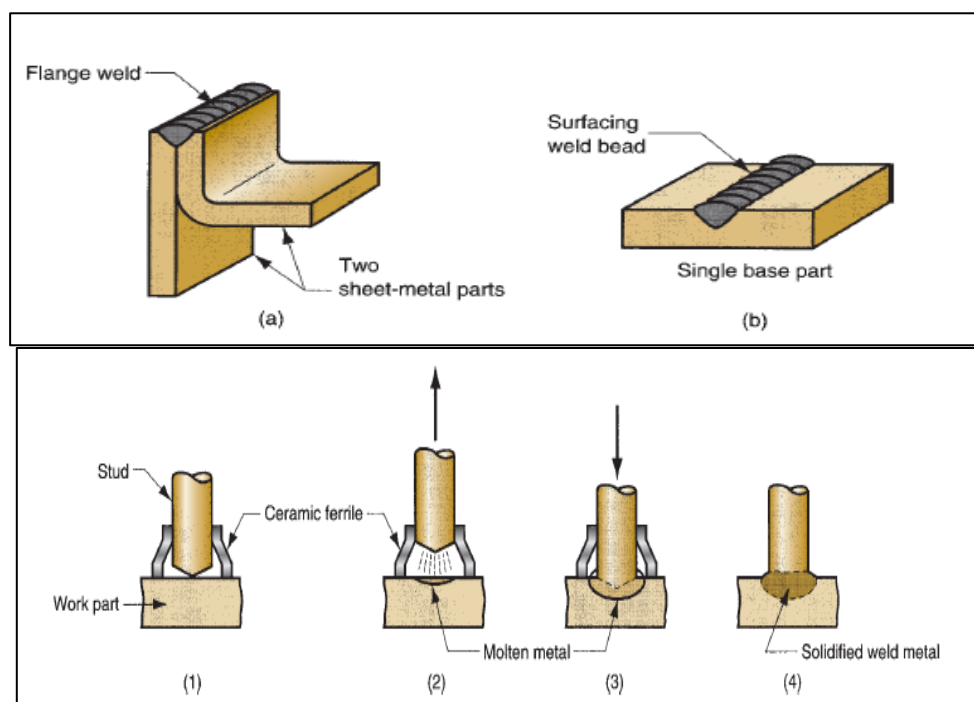
Gambar 6.10 Pengelasan Busur Plasma

Proses ini dapat digunakan untuk mengelas hampir semua logam, termasuk tungsten. Logam yang sulit dilas dengan PAW termasuk perunggu, besi tuang, timbal, dan magnesium. Batasan lain termasuk biaya peralatan yang tinggi dan ukuran obor yang lebih besar daripada operasi AW lainnya, yang cenderung membatasi akses di beberapa konfigurasi sambungan.

Other Arc-Welding and Related Processes Terkait Proses AW sebelumnya adalah yang paling penting secara komersial. Ada beberapa kasus lain yang harus disebutkan, yaitu kasus khusus atau variasi proses AW utama. *Carbon arc welding (CAW)* adalah proses pengelasan busur yang menggunakan elektroda karbon (grafit) yang tidak dapat dikonsumsi. Ini memiliki kepentingan historis karena ini adalah proses pengelasan busur pertama yang dikembangkan, tetapi kepentingan komersialnya saat ini praktis tidak ada. Proses busur karbon digunakan sebagai sumber panas untuk mematri dan untuk memperbaiki tuang besi. Ini juga dapat digunakan dalam beberapa aplikasi untuk menyimpan

bahan tahan aus pada permukaan. Elektroda grafit untuk pengelasan sebagian besar telah digantikan oleh tungsten (dalam GTAW dan PAW).

Stud welding (SW) adalah proses AW khusus untuk menyambungkan stud atau komponen serupa ke bagian dasar. Operasi SW tipikal diilustrasikan pada Gambar 6.11, di mana pelindung diperoleh dengan menggunakan ferrule keramik. Untuk memulainya, stud dilemparkan ke dalam pistol las khusus yang secara otomatis mengontrol waktu dan parameter daya dari langkah-langkah yang ditunjukkan dalam urutan. Pekerja hanya harus menempatkan pistol dilokasi yang tepat terhadap bagian pekerjaan dasar tempat tiang akan dipasang dan



Gambar 6.11 Pengelasan busur stud (1) stud diposisikan; (2) arus mengalir dari pistol, dan tiang ditarik dari dasar untuk membentuk busur dan membuat kolam cair; (3) tiang dicelupkan ke dalam kolam cair; dan (4) ferrule keramik dihilangkan setelah pemadatan.

2. Pengelasan Resistensi / *Resistance Welding* (RW)

Resistance Welding (RW) adalah sekelompok proses pengelasan fusi yang menggunakan kombinasi panas dan tekanan untuk mencapai koalesensi, panas yang dihasilkan oleh hambatan listrik terhadap aliran arus di persimpangan yang akan dilas. Komponen utama dalam pengelasan resistansi ditunjukkan pada Gambar 6.12 untuk operasi pengelasan titik resistansi, proses yang paling banyak digunakan dalam grup. Komponen tersebut meliputi bagian kerja yang

akan dilas (biasanya bagian lembaran logam), dua elektroda yang berlawanan, alat untuk memberikan tekanan untuk menekan bagian di antara elektroda, dan catu daya AC yang darinya arus yang dikendalikan dapat diterapkan. Hasil operasi di zona menyatu antara dua bagian, yang disebut nugget las dalam pengelasan titik.

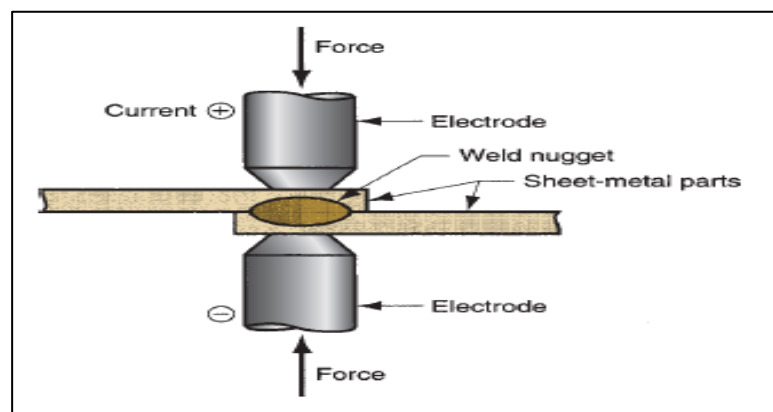
Di bandingkan dengan pengelasan busur, pengelasan resistansi tidak menggunakan gas pelindung, *fluks*, atau logam pengisi; dan elektroda yang menghantarkan tenaga listrik ke proses tidak dapat dikonsumsi. RW diklasifikasikan sebagai pengelasan fusi karena panas yang diterapkan hampir selalu menyebabkan melelehnya permukaan faying. Namun, ada pengecualian. Beberapa operasi pengelasan berdasarkan pemanasan resistansi menggunakan suhu di bawah titik leleh logam dasar, sehingga fusi tidak terjadi.

a. Power Source In Resistance Welding

Energi panas yang disuplai ke operasi pengelasan tergantung pada aliran arus, resistansi rangkaian, dan lamanya waktu arus diterapkan. Ini bisa diungkapkan dengan persamaan:

$$H = I^2 R t$$

Di mana H = panas dihasilkan, J (untuk mengubah ke Btu bagi dengan 1055); I = arus, A; R = hambatan listrik, Ω ; dan t = waktu, s.



Gambar 6.12. *Resistance Welding (RW)*, menunjukkan komponen dalam pengelasan titik, proses utama dalam kelompok RW.

Arus yang digunakan dalam operasi pengelasan resistansi sangat tinggi (biasanya 5000-20.000 A), meskipun tegangannya relatif rendah (biasanya di

bawah 10V). Durasit arus pendek di sebagian besar proses, mungkin berlangsung 0,1 hingga 0,4 detik dalam pengelasan spot yang khas operasi.

Alasan mengapa arus setinggi itu digunakan di RW adalah karena (1) istilah kuadrat dalam Persamaan (29.3) memperkuat efek arus, dan (2) resistansi sangat rendah (sekitar $0,0001\Omega$). Resistansi pada rangkaian pengelasan merupakan penjumlahan dari (1) resistansi elektroda, (2) resistansi bagian kerja, (3) resistansi kontak antara elektroda dan bagian kerja, dan (4) resistansi kontak permukaan *faying*. Jadi, panas dihasilkan di semua daerah hambatan listrik ini. Situasi yang ideal adalah untuk permukaan *faying* menjadi resistansi terbesar dalam jumlah tersebut, karena ini adalah lokasi pengelasan yang diinginkan. Hambatan elektroda diminimalkan dengan menggunakan logam dengan resistivitas sangat rendah, seperti tembaga. Selain itu, elektroda sering kali didinginkan dengan air untuk menghilangkan panas yang dihasilkan di sana. Hambatan bagian kerja merupakan fungsi dari resistivitas logam dasar dan ketebalan bagian. Hambatan kontak antara elektroda dan bagian ditentukan oleh bidang kontak (yaitu, ukuran dan bentuk elektroda) dan kondisi permukaan (misalnya, kebersihan permukaan kerja dan skala pada elektroda). Akhirnya, resistansi pada permukaan *faying* tergantung pada permukaan akhir, kebersihan, area kontak, dan tekanan. Tidak boleh ada cat, minyak, kotoran, atau kontaminan lain yang memisahkan permukaan yang bersentuhan.

Contoh 3 Pengelasan resistansi

Operasi pengelasan titik resistansi yang dilakukan pada dua potong baja lembaran setebal 2,5 mm menggunakan 12.000 amp untuk durasi 0,20 detik. Elektroda berukuran 6 mm diameter pada permukaan kontak. Tahanan diasumsikan $0,0001\Omega$, dan nugget las yang dihasilkan berdiameter 6 mm dan ketebalan rata-rata 3 mm. Satuan energi leleh untuk logam U_m 12.0J /mm³. Berapa bagian dari panas yang dihasilkan digunakan untuk membentuk nugget las, dan bagian apa yang dihamburkan ke logam kerja, elektroda, dan udara sekitarnya.

Solusi: Panas yang dihasilkan dalam operasi diberikan oleh Persamaan (29.3) sebagai $H = (12.000)^2 (0.0001) (0.2) = 2880 \text{ J}$

Volume nugget las (diasumsikan berbentuk cakram) adalah

$$V = 3.0 \frac{\pi(6)^2}{4} 84,8 \text{ mm}^3.$$

Panas yang dibutuhkan untuk melelehkan volume logam ini adalah $H_w = 84.8 (12.0) = 1018\text{J}$.

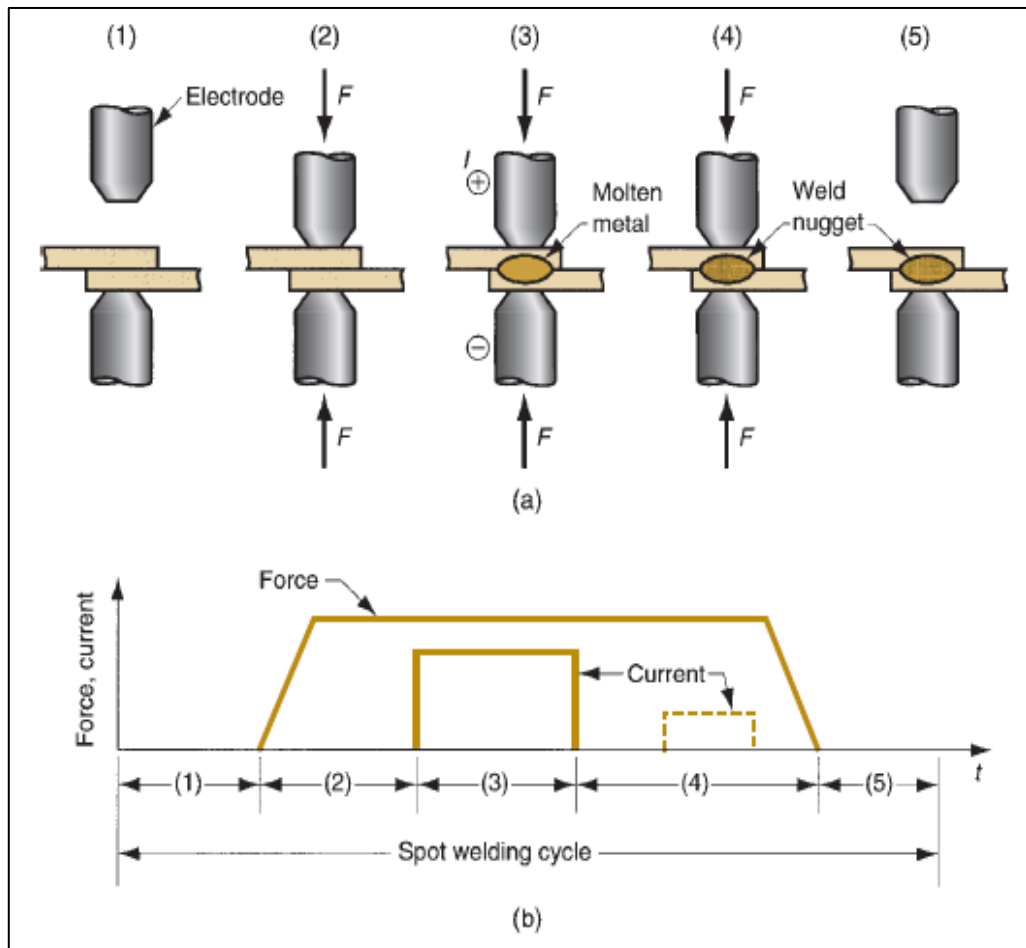
Panas yang tersisa, $2880 - 1018 = 1862 \text{ J}$ (64,7% dari total), hilang ke logam kerja, elektroda, dan udara di sekitarnya. Akibatnya, kehilangan ini mewakili efek gabungan dari faktor perpindahan panas f_1 dan faktor leleh f_2 . Keberhasilan dalam pengelasan resistansi tergantung pada tekanan serta panas. Fungsi utama dari tekanan di RW adalah untuk (1) memaksa kontak antara elektroda dan bagian kerja dan antara dua permukaan kerja sebelum menerapkan arus, dan (2) menekan permukaan faying bersama-sama untuk mencapai penggabungan saat yang tepat suhu pengelasan telah tercapai.

Keuntungan umum dari pengelasan resistansi termasuk (1) tidak diperlukan logam pengisi, (2) tingkat produksi yang tinggi dimungkinkan, (3) cocok untuk mekanisasi dan otomatisasi, (4) tingkat keterampilan operator lebih rendah dari yang diperlukan untuk pengelasan busur, dan (5) pengulangan dan keandalan yang baik. Kekurangannya adalah (1) biaya peralatan tinggi — biasanya jauh lebih tinggi daripada kebanyakan operasi pengelasan busur, dan (2) jenis sambungan yang dapat dilas terbatas pada sambungan lap untuk sebagian besar proses RW.

b. Resistance Welding Processes

Proses pengelasan resistansi yang paling penting secara komersial adalah pengelasan titik, jahitan, dan proyeksi. Pengelasan Titik Resistensi Pengelasan titik resistansi sejauh ini merupakan proses utama dalam grup ini. Ini banyak digunakan dalam produksi massal mobil, peralatan, furnitur logam, dan produk lain yang terbuat dari lembaran logam. Jika seseorang menganggap bahwa bodi mobil biasa memiliki sekitar 10.000 titik las individu, dan itu tahunan produksi mobil di seluruh dunia diukur dalam puluhan juta unit, kepentingan ekonomi pengelasan titik resistensi dapat dihargai. Pengelasan titik resistansi (RSW) adalah proses RW di mana fusi permukaan faying dari sambungan lap dicapai di satu lokasi dengan elektroda berlawanan. Proses ini digunakan untuk menyambungkan bagian lembaran-logam dengan ketebalan 3 mm (0,125 inci) atau kurang, menggunakan serangkaian pengelasan titik, dalam situasi di mana perakitan kedap udara tidak diperlukan. Ukuran dan bentuk titik las ditentukan oleh ujung elektroda, bentuk elektroda yang paling umum adalah bulat, tetapi bentuk heksagonal, persegi,

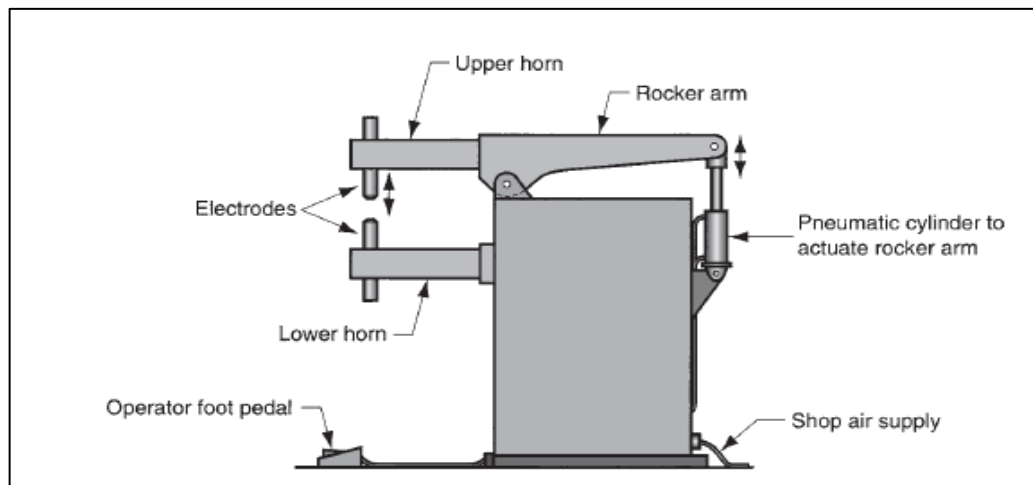
dan lainnya juga digunakan. Nugget las yang dihasilkan biasanya berdiameter 5 sampai 10 mm (0,2-0,4 in), dengan zona yang terkena panas memanjang sedikit di luar nugget ke dalam logam dasar. Jika pengelasan dilakukan dengan benar, kekuatannya akan sebanding dengan logam di sekitarnya. Langkah-langkah dalam siklus pengelasan spot digambarkan pada Gambar 6.13.



Sumber: (Stotler, 2009)

Gambar 6.13 (a) Langkah-langkah dalam pengelasan titik resistansi (RSW) siklus, dan (b) plot gaya dan arus pemerasan selama siklus.

Urutannya adalah: (1) bagian-bagian disisipkan di antara elektroda terbuka, (2) elektroda menutup dan gaya diterapkan, (3) waktu pengelasan arus dinyalakan, (4) arus dimatikan tetapi gaya dipertahankan atau ditingkatkan (arus yang berkurang kadang-kadang diterapkan di dekat akhir langkah ini untuk menghilangkan stres di wilayah pengelasan), dan (5) elektroda dibuka, dan rakitan yang dilas dilepas. (Stotler, 2009)



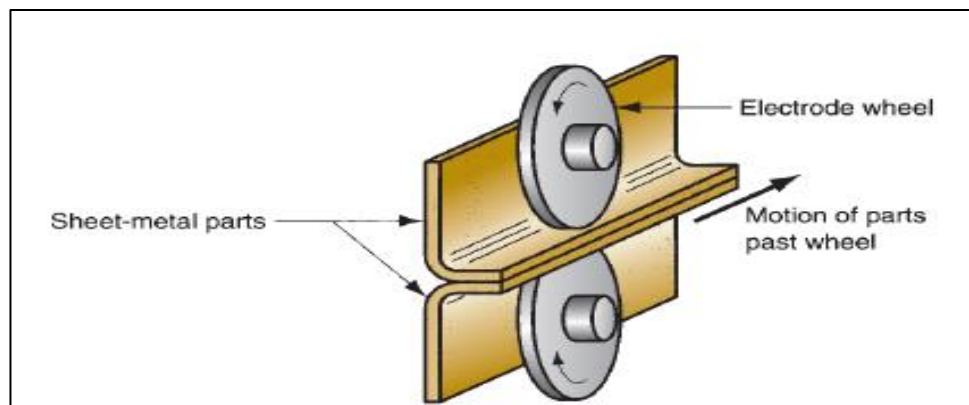
Gambar 6.14 Mesin las tempat lengan rocker

Bahan yang digunakan untuk elektroda RSW terdiri dari dua kelompok utama: (1) paduan berbasis tembaga dan (2) komposisi logam tahan api seperti kombinasi tembaga dan tungsten. Kelompok kedua terkenal karena ketahanan aus yang superior. Seperti pada kebanyakan proses manufaktur, perkakas dalam pengelasan titik secara bertahap akan aus saat digunakan. Jika memungkinkan, elektroda dirancang dengan lorong internal untuk pendinginan air. Karena penggunaan industri yang meluas, berbagai mesin dan metode tersedia untuk melakukan operasi pengelasan titik. Peralatan tersebut termasuk lengan ayun dan mesin las spot tipe tekan, dan senjata las spot portabel. Tukang las tempat lengan rock, yang ditunjukkan pada Gambar 6.14, memiliki elektroda bawah yang tidak bergerak dan elektroda atas yang dapat digerakkan yang dapat dinaikkan dan diturunkan untuk memuat dan membongkar pekerjaan. Elektroda atas dipasang pada lengan ayun (oleh karena itu namanya) yang gerakannya dikendalikan oleh pedal kaki yang dioperasikan oleh pekerja. Mesin modern dapat diprogram untuk mengontrol gaya dan arus selama siklus pengelasan.

Dua jenis mesin sebelumnya sama-sama merupakan tukang las spot stasioner, di mana pekerjaan dibawa ke mesin. Untuk pekerjaan besar dan berat, sulit untuk memindahkan dan memposisikan komponen ke dalam mesin stasioner. Untuk kasus ini, senapan las titik portabel tersedia dalam berbagai ukuran dan konfigurasi. Perangkat ini terdiri dari dua elektroda berlawanan yang terdapat dalam mekanisme penjepit. Setiap unit memiliki bobot yang

ringan sehingga dapat dipegang dan dimanipulasi oleh pekerja manusia atau robot industri. Pistol dihubungkan ke daya dan sumber kontrolnya sendiri melalui kabel listrik dan selang udara yang fleksibel. Pendingin air untuk elektroda, jika diperlukan, juga dapat disediakan melalui selang air. Senjata spot-welding portabel banyak digunakan di pabrik perakitan akhir mobil untuk melihat badan mobil las. Beberapa dari senjata ini dioperasikan oleh manusia, tetapi robot industri telah menjadi teknologi yang disukai, diilustrasikan pada Gambar 6.16.

Resistance Seam Welding (RSEW), berbentuk stickelektroda dalam pengelasan titik diganti dengan roda yang berputar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.15, dan serangkaian pengelasan titik yang tumpang tindih dibuat di sepanjang sambungan putaran. Proses tersebut mampu menghasilkan sambungan kedap udara, dan aplikasi industrinya meliputi produksi tangki bensin, muffler mobil, dan berbagai fabrikasi lainnya.



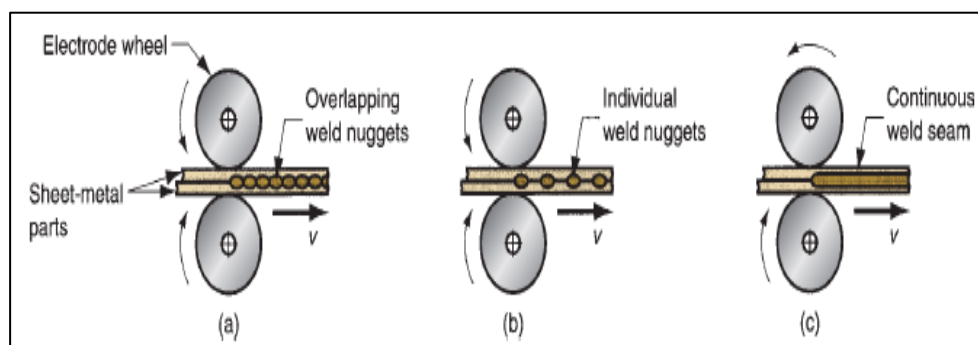
Sumber: (Stotler, 2009)

Gambar 6.15 Pengelasan jahitan resistansi

Wadah lembaran logam secara teknis, RSEW sama dengan pengelasan titik, hanya saja elektroda roda memperkenalkan kerumitan tertentu. Karena operasi biasanya dilakukan terus menerus, sambungan harus berada di sepanjang garis lengkung yang lurus atau seragam. Sudut tajam dan diskontinuitas serupa sulit ditangani. Selain itu, pembengkokan bagian menjadi lebih dari faktor dalam pengelasan jahitan resistansi, dan perlengkapan diperlukan untuk menahan pekerjaan pada posisinya dan meminimalkan distorsi.

Jarak antara *nugget* las dalam pengelasan jahitan resistansi tergantung pada gerakan roda elektroda relatif terhadap penerapan arus las. Dalam metode operasi biasa, yang disebut pengelasan gerak kontinu, roda diputar terus-menerus dengan kecepatan konstan, dan arus dihidupkan pada interval waktu yang konsisten dengan jarak yang diinginkan antara pengelasan titik di sepanjang jahitan. Frekuensi pelepasan arus biasanya diatur sehingga bintik-bintik las yang tumpang tindih dihasilkan. Tapi jika frekuensinya dikurangi secara memadai, maka akan ada ruang antara titik-titik pengelasan, dan metode ini disebut pengelasan tempat gulungan. Dalam variasi lain, arus pengelasan tetap pada tingkat yang konstan (bukan berdenyut) sehingga lapisan pengelasan yang benar-benar kontinu dihasilkan. Variasi ini digambarkan pada Gambar 6.16.

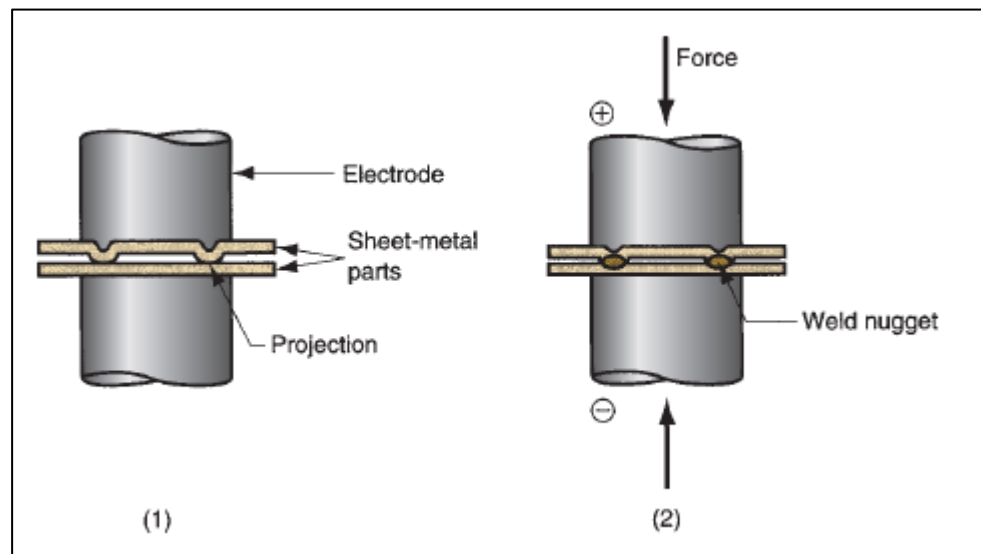
Alternatif untuk pengelasan gerak kontinu adalah pengelasan gerak intermiten, di mana roda elektroda dihentikan secara berkala untuk membuat pengelasan titik. Jumlah putaran roda antar perhentian menentukan jarak antara titik las sepanjang jahitan, menghasilkan pola yang mirip dengan (a) dan (b) pada Gambar 6.16. Mesin las jahitan mirip dengan tukang las spot tipe tekan kecuali elektroda itu roda digunakan daripada elektroda berbentuk tongkat biasa. Pendinginan pekerjaan dan roda sering kali diperlukan di RSEW, dan ini dilakukan dengan mengarahkan air di bagian atas dan bawah permukaan bagian kerja di dekat roda elektroda. (Stotler, 2009)



Sumber: (Stotler, 2009)

Gambar 6.16 Berbagai jenis sambungan yang dihasilkan oleh roda elektroda:

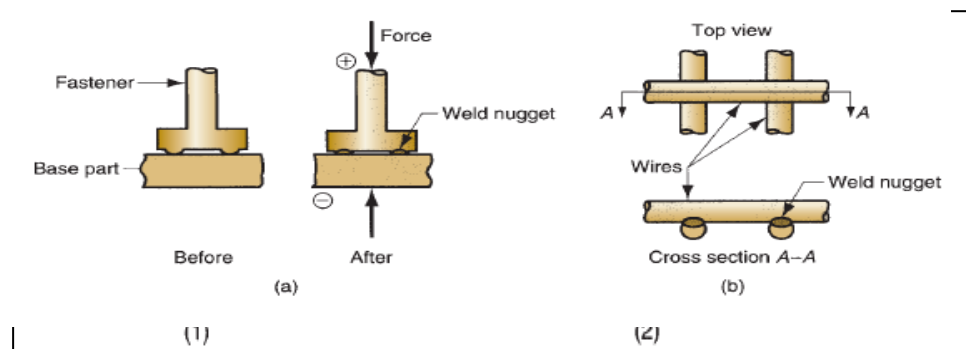
- 1) Pengelasan sambungan resistansi konvensional, di mana bintik bintik tumpang tindih dihasilkan;
- 2) Pengelasan tempat gulungan; dan
- 3) Jahitan resistansi kontinu.



Gambar 6.17 *Resistance Projection Welding* (RPW):(1) pada awal operasi, kontak antar bagian berada pada proyeksi; dan (2) ketika arus diterapkan, nugget las yang serupa dengan yang ada pada pengelasan spot terbentuk pada proyeksi.

Resistance Projection Welding (RPW) adalah proses RW di mana koalesensi terjadi pada satu atau lebih titik kontak yang relatif kecil pada bagian-bagiannya. Titik kontak ini ditentukan oleh desain bagian yang akan dibuat bergabung, dan mungkin terdiri dari proyeksi, embos, atau persimpangan lokal dari bagian-bagian tersebut. Kasus tipikal di mana dua bagian lembaran logam dilas bersama-sama dijelaskan pada Gambar 6.17. Bagian di atas telah dibuat dengan dua titik timbul untuk menghubungkan bagian lain pada awal proses. Dapat dikatakan bahwa operasi pengembosan meningkatkan biaya suku cadang, tetapi peningkatan ini mungkin lebih dari diimbangi dengan penghematan biaya pengelasan. Ada variasi pengelasan proyeksi resistansi, dua di antaranya ditunjukkan pada Gambar 6.18. Dalam satu variasi, pengencang dengan proyeksi mesin atau yang dibentuk dapat disambungkan secara permanen ke lembaran atau pelat dengan RPW, memfasilitasi operasi perakitan selanjutnya. Variasi lain, yang disebut pengelasan kawat silang, digunakan untuk membuat produk kawat las seperti pagar kawat, kereta belanja, dan pemanggang kompor. Dalam proses ini, permukaan kontak dari kabel bundar berfungsi sebagai proyeksi untuk melokalisasi resistansi panas untuk pengelasan.

Other Resistance-Welding Operations Selain proses RW utama yang dijelaskan di atas, beberapa proses tambahan dalam grup ini harus diidentifikasi: flash, gangguan, perkusi, dan pengelasan resistansi frekuensi tinggi. Dalam *flash welding* (FW), biasanya digunakan untuk sambungan pantat, dua permukaan yang akan disambung dibawa ke kontak atau kontak dekat dan arus listrik.



Gambar 6.19 *Flash welding* (FW): (1) pemanasan dengan hambatan listrik; dan (2) mengecewakan bagian-bagian dipaksakan bersama.

Kedua langkah tersebut diuraikan pada Gambar 6.19. Selain pemanasan resistansi, beberapa busur api juga terjadi (disebut *flashing*, itulah nama proses pengelasan), tergantung pada tingkat kontak antara permukaan faying, sehingga pengelasan flash terkadang diklasifikasikan dalam kelompok pengelasan busur. Arus biasanya berhenti selama mengganggu. Beberapa logam, serta kontaminan pada permukaan, diperas keluar dari sambungan dan selanjutnya harus dikerjakan untuk menghasilkan sambungan dengan ukuran yang seragam

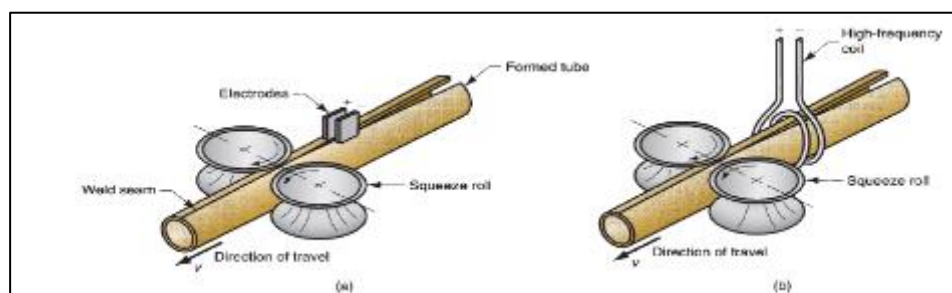
Aplikasi pengelasan flash termasuk pengelasan butt strip baja dalam operasi rolling-mill, menghubungkan ujung kawat pada penarikan kawat, dan pengelasan bagian tubular. Ujung yang akan disambung harus memiliki penampang melintang yang sama. Untuk jenis produksi tinggi aplikasi, pengelasan flash cepat dan ekonomis, tetapi peralatannya mahal.

Upset welding (UW) mirip dengan pengelasan flash kecuali bahwa di UW permukaan faying ditekan bersama selama pemanasan dan gangguan. Dalam pengelasan flash, langkah pemanasan dan penekanan dipisahkan selama siklus. Pemanasan di UW selesai seluruhnya oleh hambatan listrik pada permukaan kontak; tidak ada busur yang terjadi. Ketika permukaan faying telah dipanaskan hingga suhu yang sesuai di bawah titik lebur, gaya

yang menekan bagian-bagian tersebut bersama-sama meningkat untuk menyebabkan gangguan dan penggabungan di daerah kontak. Dengan demikian, pengelasan yang terganggu bukanlah proses pengelasan fusi dalam arti yang sama seperti proses pengelasan lain yang dibahas. Aplikasi UW mirip dengan pengelasan flash: menyambung ujung kabel, pipa, tabung, dan sebagainya.

Percussion welding (PEW) juga mirip dengan pengelasan flash, hanya saja durasi siklus pengelasan sangat singkat, biasanya hanya berlangsung 1 hingga 10 ms. Pemanasan cepat dilakukan dengan pelepasan cepat energi listrik antara dua permukaan yang akan disambung, diikuti segera dengan perkusi satu bagian ke bagian lainnya untuk membentuk lasan. Pemanasan sangat terlokalisasi, membuat proses ini menarik untuk aplikasi elektronik yang dimensinya sangat kecil dan komponen di sekitarnya mungkin sensitif terhadap panas.

High-frequency resistance welding (HFRW) adalah proses pengelasan resistansi di mana arus bolak-balik berfrekuensi tinggi digunakan untuk pemanasan, diikuti dengan penerapan gaya yang mengganggu secara cepat untuk menyebabkan koalesensi, seperti pada Gambar 6.20 (a). Frekuensinya adalah 10 hingga 500kHz, dan elektroda melakukan kontak dengan pekerjaan di sekitar sambungan las. Dalam variasi proses, yang disebut pengelasan induksi frekuensi tinggi (HFIW), arus pemanas diinduksi di bagian-bagiannya oleh kumparan induksi frekuensi tinggi, seperti pada Gambar 6.20 (b). Kumparan tidak melakukan kontak fisik dengan pekerjaan. Aplikasi utama dari HFRW dan HFIW adalah pengelasan butt kontinyu pada sambungan longitudinal pipa dan tabung logam.



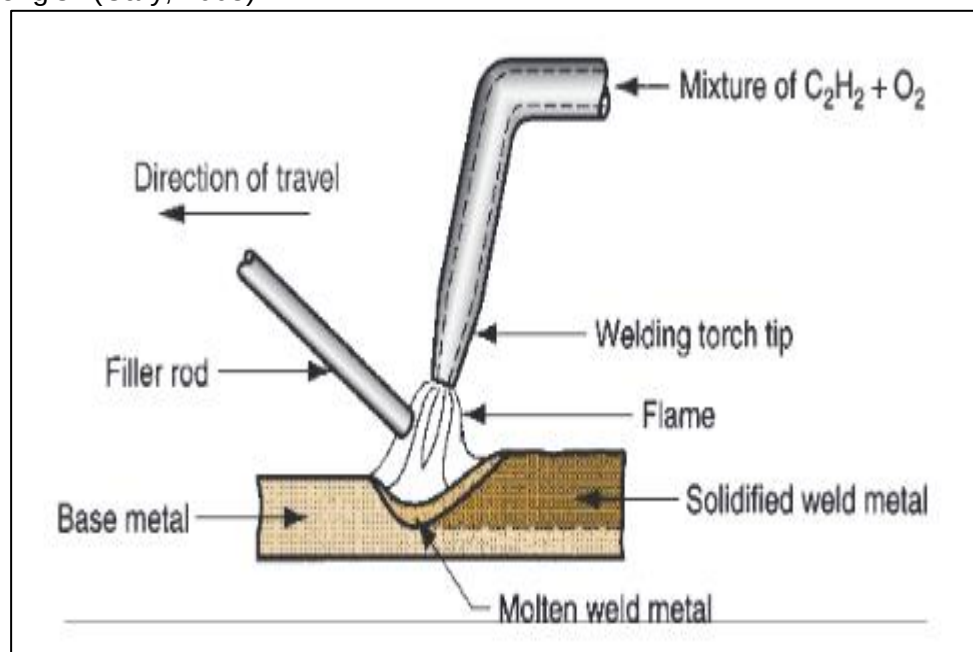
Gambar 6.20 Pengelasan lapisan tabung dengan: (a) pengelasan resistansi frekuensi tinggi, dan (b) pengelasan induksi frekuensi tinggi

3. Pengelasan Gas Oxyfuel / Oxyfuel Gas Welding (OFW)

Oxyfuel gas welding (OFW) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kelompok operasi FW yang membakar berbagai bahan bakar yang dicampur dengan oksigen untuk melakukan pengelasan. proses OFW menggunakan beberapa jenis gas, yang merupakan perbedaan utama di antara anggota kelompok ini. Gas oxyfuel juga biasa digunakan dalam memotong obor untuk memotong dan memisahkan pelat logam dan bagian lainnya. Proses OFW yang paling penting adalah pengelasan oksiasetilen. (Cary, 2005)

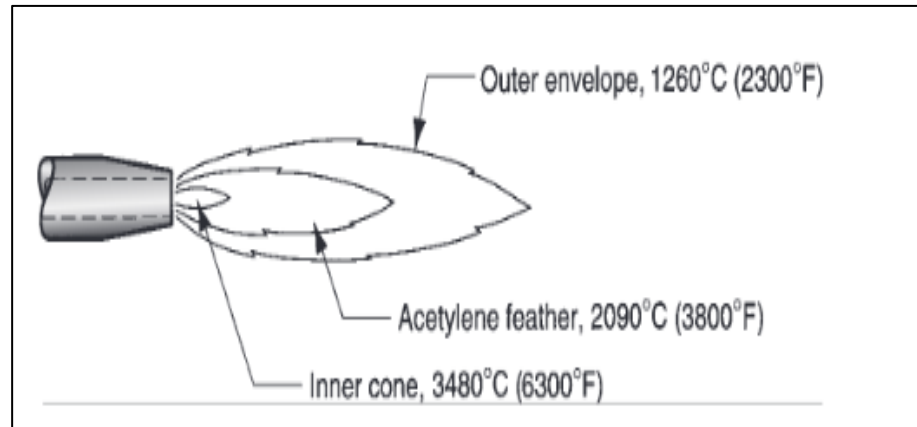
a. Oxyacetylene Welding

Oxyacetylene Welding (OAW) adalah proses pengelasan fusi yang dilakukan dengan api bersuhu tinggi dari pembakaran asetilen dan oksigen. Nyala api diarahkan oleh obor las. Logam pengisi kadang-kadang ditambahkan, dan tekanan kadang-kadang diterapkan dalam OAW antara permukaan bagian yang bersentuhan. Operasi OAW yang khas dibuat sketsa pada Gambar 6.21. Jika logam pengisi digunakan, biasanya dalam bentuk batang dengan diameter antara 1,6 hingga 9,5 mm (1 / 16–3 / 8 in). Komposisi pengisi. (Cary, 2005)



Sumber: (Cary, 2005)

Gambar 6.21 Operasi pengelasan oksiasetilen biasa.



Sumber: (Cary, 2005)

Gambar 6.22 Api netral dari obor oksiasetilen, menunjukkan suhu yang dicapai

Pengisi sering dilapisi dengan *fluks* yang membantu membersihkan permukaan dan mencegah oksidasi, sehingga menghasilkan sambungan las yang lebih baik. (Cary, 2005). Asetilena (C_2H_2) adalah bahan bakar paling populer di antara kelompok OFW karena mampu menghasilkan suhu yang lebih tinggi daripada yang lain hingga $3480^{\circ}C$ ($6300^{\circ}F$). Nyala api di OAW dihasilkan oleh reaksi kimia asetilena dan oksigen dalam dua tahap. Tahap pertama ditentukan oleh reaksi produk keduanya mudah terbakar, yang mengarah ke reaksi tahap kedua.

Kedua tahap pembakaran terlihat dalam nyala api oksiasetilen yang dipancarkan dari obor. Ketika campuran asetilen dan oksigen berada pada perbandingan 1:1, Maka nyala netral yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 6.22. Reaksi tahap pertama terlihat sebagai kerucut bagian dalam nyala api (yang berwarna putih terang), sedangkan reaksi tahap kedua ditunjukkan oleh selubung luar (yang hampir tidak berwarna tetapi dengan semburat mulai dari biru hingga oranye). Suhu maksimum nyala api tercapai di ujung kerucut bagian dalam; suhu tahap kedua agak lebih rendah dari suhu kerucut bagian dalam. Selama pengelasan, selubung luar menyebar dan menutupi permukaan kerja yang disambung, sehingga melindunginya dari atmosfer sekitarnya. Total panas yang dibebaskan selama dua tahap pembakaran adalah 55106 J / m^3 (1470 Btu / ft^3) asetilena. Namun, karena distribusi suhu dalam nyala api, cara api menyebar ke permukaan kerja, dan kehilangan udara, kepadatan daya dan faktor perpindahan panas dalam pengelasan oksiasetilen relatif rendah; f1 0,10 hingga 0,30.

Contoh 3.3 Pembangkitan panas dalam pengelasan oksiasetilen

Obor oksiasetilen memasok 0,3 m³ asetilen per jam dan laju volume oksigen yang sama untuk operasi OAW pada baja setebal 4,5 mm. Panas yang dihasilkan oleh pembakaran dipindahkan ke permukaan kerja dengan faktor perpindahan panas f_1 0,20. Jika 75% panas dari nyala api terkonsentrasi di area melingkar pada permukaan kerja yang berdiameter 9,0 mm, cari (a) laju panas yang dibebaskan selama pembakaran, (b) laju panas yang ditransfer ke permukaan kerja, dan (c) rapat daya rata-rata di area lingkaran. (Cary, 2005)

Solusi:

- 1) Laju kalor yang dihasilkan oleh obor adalah hasil kali laju volume asetilena dikalikan kalor pembakaran:

$$R_H = (0.3 \text{ m}^3/\text{hr})(55 \times 10^6 \text{ J/m}^3) = 16.5 \times 10^6 \text{ J/hr or } 4583 \text{ J/s}$$

- 2) Dengan faktor perpindahan panas f_1 0,20, laju panas yang diterima di permukaan kerja adalah:

$$f_1 R_H = 0.20(4583) = 917 \text{ J/s}$$

- 3) luas lingkaran tempat 75% panas nyala api terkonsentrasi adalah:

$$A = \frac{\pi(9)^2}{4} = 63.6 \text{ mm}^2.$$

Kerapatan daya dalam lingkaran ditemukan dengan membagi panas yang tersedia dengan luas lingkaran:

$$PD = \frac{0.75(917)}{63.6} = 10.8 \text{ W/mm}^2$$

b. Alternative Gases For Oxyfuel Welding

Sebagian besar bahan bakar alternatif tercantum dalam Tabel 6.2, bersama dengan suhu pembakaran dan panas pembakarannya. Sebagai perbandingan, asetilen termasuk dalam daftar. Meskipun oksiasetilen adalah bahan bakar OFW yang paling umum, masing-masing gas lainnya dapat

digunakan dalam aplikasi tertentu biasanya terbatas pada pengelasan lembaran logam dan logam dengan suhu leleh rendah, dan mematri. Selain itu, beberapa pengguna lebih memilih gas alternatif ini karena alasan keamanan. Bahan bakar yang bersaing paling dekat dengan asetilen dalam suhu pembakaran dan nilai kalor adalah metilasetilena-propadiena. Ketika hidrogen dibakar dengan oksigen sebagai bahan bakar, prosesnya disebut pengelasan oxyhy-drogen (OHW). Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.2, suhu pengelasan di OHW. (Cary, 2005)

Tabel 6.2 Gas yang digunakan dalam pengelasan dan / atau pemotongan *oxyfuel*, dengan suhu nyala api dan panas hasil pembakaran.

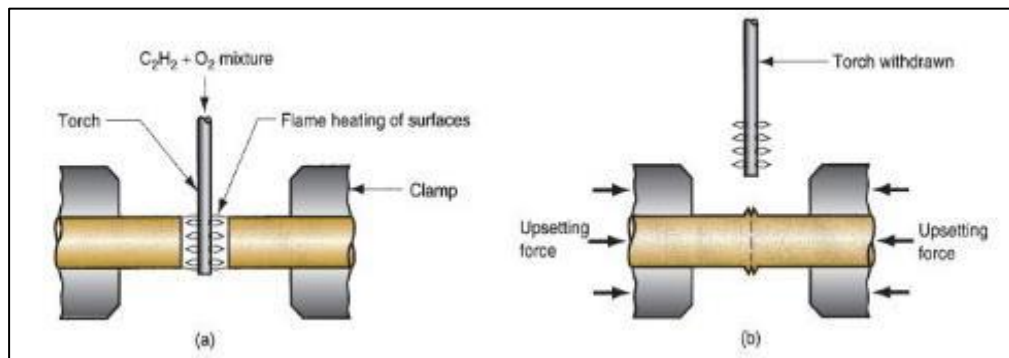
Fuel	Temperature ^a		Heat of Combustion	
	°C	°F	MJ/m ³	Btu/ft ³
Acetylene (C ₂ H ₂)	3087	5589	54.8	1470
MAPP ^b (C ₃ H ₄)	2927	5301	91.7	2460
Hydrogen (H ₂)	2660	4820	12.1	325
Propylene ^c (C ₃ H ₆)	2900	5250	89.4	2400
Propane (C ₃ H ₈)	2526	4579	93.1	2498
Natural gas ^d	2538	4600	37.3	1000

Sumber: (Cary, 2005)

- 1) Temperatur nyala netral dibandingkan karena ini adalah nyala api yang paling sering digunakan untuk pengelasan.
- 2) *Propylene* digunakan terutama dalam pemotongan api.
- 3) Data didasarkan pada gas metana (CH₄); gas alam terdiri dari etana (C₂H₆) serta metana; suhu nyala api dan panas pembakaran bervariasi dengan komposisinya.

Bahan bakar lain yang digunakan dalam OFW termasuk propana dan gas alam. Propana (C₃H₈) lebih erat kaitannya dengan operasi mematri, penyolderan, dan pemotongan dibandingkan dengan pengelasan. Gas alam sebagian besar terdiri dari etana (C₂H₆) dan metana (CH₄). Ketika dicampur dengan oksigen, ia mencapai api suhu tinggi dan menjadi lebih umum di bengkel las kecil. (Cary, 2005)

Pressure Gas Welding Ini adalah proses OFW khusus, dibedakan berdasarkan jenis aplikasinya daripada bahan bakar gas. Pengelasan gas bertekanan (PGW) adalah proses pengelasan fusi di mana koalesensi diperoleh di seluruh permukaan kontak dari dua bagian dengan memanaskannya dengan campuran bahan bakar yang sesuai (biasanya gas oksiasetilen) dan kemudian menerapkan tekanan untuk mengikat permukaan. Aplikasi tipikal diilustrasikan pada Gambar 6.23



Sumber: (Cary, 2005)

Gambar 6.23 Penerapan pengelasan gas bertekanan: (a) memanaskan dua bagian, dan (b) menerapkan tekanan untuk membentuk las.

4. **Weldability Kemampuan Las**

Kemampuan las adalah kapasitas logam atau kombinasi logam yang akan dilas menjadi sebuah struktur yang dirancang dengan tepat, dan sambungan las yang dihasilkan memiliki sifat metalurgi yang disyaratkan untuk bekerja secara memuaskan dalam layanan yang dimaksudkan. Kemampuan las yang baik ditandai dengan kemudahan proses pengelasan, tidak adanya cacat las, dan kekuatan, keuletan, dan ketangguhan yang dapat diterima pada sambungan las. Faktor-faktor yang mempengaruhi kemampuan las antara lain (1) proses pengelasan, (2) sifat logam dasar, (3) logam pengisi, dan (4) kondisi permukaan. Proses pengelasan itu penting. Beberapa logam atau kombinasi logam yang dapat dengan mudah dilas dengan satu proses adalah sulit untuk dilas oleh orang lain. Misalnya, baja tahan karat dapat dengan mudah dilas oleh sebagian besar orang Proses AW, tetapi dianggap sebagai logam yang sulit untuk pengelasan oxyfuel.

Sifat logam dasar mempengaruhi kinerja pengelasan. Properti penting termasuk titik leleh, konduktivitas termal, dan koefisien muai panas. Orang mungkin berpikir bahwa titik leleh yang lebih rendah berarti pengelasan yang

lebih mudah. Namun, beberapa logam meleleh terlalu mudah untuk pengelasan yang baik (misalnya, aluminium). Logam dengan tinggi konduktivitas termal cenderung mentransfer panas dari zona las, yang bisa membuatnya sulit untuk dilas (misalnya, tembaga). Ekspansi dan kontraksi termal yang tinggi logam menyebabkan masalah distorsi pada perakitan yang dilas.

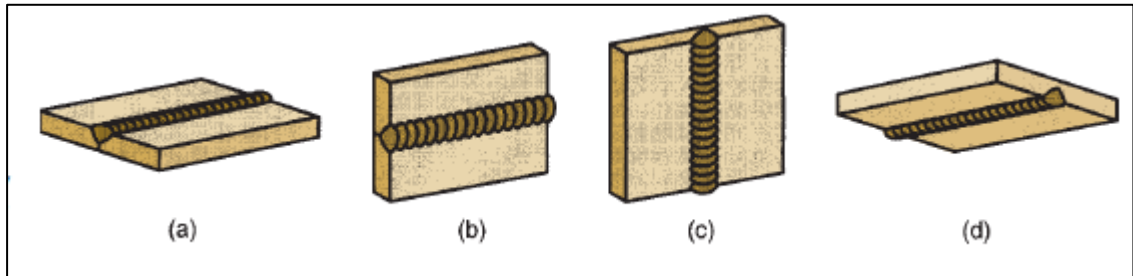
Logam yang berbeda menimbulkan masalah khusus dalam pengelasan jika bersifat fisik dan / atau sifat mekanik sangat berbeda. Perbedaan suhu leleh adalah masalah yang jelas. Perbedaan kekuatan atau koefisien muai panas dapat menyebabkan tegangan sisa tinggi yang dapat menyebabkan keretakan. Jika logam pengisi digunakan, itu harus kompatibel dengan logam dasar. Secara umum, unsur-unsur yang bercampur dalam keadaan cair yang membentuk larutan padat pada pemadatan tidak akan menimbulkan masalah. Penggetasan pada sambungan las dapat terjadi jika batas kelarutan terlampaui. Kondisi permukaan logam tidak mulia dapat mempengaruhi pengoperasian. Untuk Misalnya, kelembaban dapat menyebabkan porositas di zona fusi. Oksida dan zat padat lainnya lapisan tipis pada permukaan logam dapat mencegah terjadinya kontak dan fusi yang memadai.

5. Pertimbangan Desain dalam Pengelasan

Jika perakitan akan dilas secara permanen, desainer harus mengikuti pedoman tertentu (dikumpulkan dari [2], [3], dan sumber lain):

- a. Desain untuk pengelasan. Pedoman paling dasar adalah produk itu harus dirancang dari awal sebagai perakitan yang dilas, dan bukan sebagai pengecoran atau penempaan atau bentuk bentuk lainnya.
- b. Bagian minimum. Rakitan yang dilas harus terdiri dari jumlah bagian yang paling sedikit bisa jadi. Misalnya, biasanya lebih hemat biaya untuk melakukan pembengkokan sederhana operasi pada bagian daripada mengelas rakitan dari pelat datar dan lembaran. Panduan berikut berlaku untuk pengelasan busur:
- c. Peningkatan yang baik pada bagian yang akan dilas penting untuk menjaga kontrol dimensi dan meminimalkan distorsi. Pemesinan terkadang diperlukan untuk mencapai hasil yang memuaskan memperlengkapi.
- d. Perakitan harus menyediakan ruang akses untuk memungkinkan pistol las mencapai area pengelasan.

- e. Jika memungkinkan, desain perakitan harus memungkinkan pengelasan datar dilakukan, karena ini adalah posisi pengelasan tercepat dan ternyaman. Posisi pengelasan yang mungkin ditentukan pada Gambar 6.24. Posisi overhead adalah yang paling sulit.



Gambar 6.24 Posisi pengelasan (didefinisikan di sini untuk pengelasan alur):
(a) datar, (b) horizontal, (c) vertikal, dan (d) overhead.

Panduan desain berikut berlaku untuk pengelasan titik resistansi:

- Baja lembaran rendah karbon hingga 3,2 mm (0,125 in) adalah logam yang ideal untuk ketahanan pengelasan tempat.
- Kekuatan dan kekakuan tambahan dapat diperoleh pada komponen lembaran logam datar yang besar dengan: (1) bagian penguat pengelasan spot ke dalamnya, atau (2) membentuk flense dan embos ke dalamnya.
- Rakitan spot-welded harus menyediakan akses elektroda untuk mencapai area pengelasan.
- Diperlukan tumpang tindih yang memadai dari bagian lembaran-logam untuk ujung elektroda ke membuat kontak yang tepat dalam pengelasan spot. Misalnya, untuk baja lembaran karbon rendah, jarak tumpang tindih harus berkisar dari sekitar enam kali ketebalan stok untuk tebal lembaran dengan ketebalan 3,2 mm (0,125 inci) hingga sekitar 20 kali tebal untuk lembaran tipis, seperti 0,5 mm (0,020 inci).

C. LATIHAN SOAL TUGAS

1. Setelah mempelajari proses pengelasan, sebutkan kategori proses pengelasan?
2. Jelaskan apa yang di maksud pengelasan busur/ *arc welding*?
3. Jelaskan apa yang di maksud *resistance welding*?
4. Jelaskan apa yang di maksud *solid state welding welding*?
5. Jsebutkan macam-macam cacat pada proses pengelasan?

D. DAFTAR PUSTAKA

- Cary, H. B., and Helzer S. C. (2005). *Modern Welding Technology*, 6th ed. Pearson/Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Groover. (2013). *Fundamental Of Modern Manufacturing*. New york: John Wiley & Sons.
- Jeffus, L. F., (2007). *Welding: Principles and Applications*, 6th ed. Delmar Cengage Learning, Clifton Park, New York.
- Stotler, T., and Bernath, J., (2009). "Friction Stir *Welding Advances*," *Advanced Materials and Processes*. pp 35–37

PERTEMUAN 7

PROSES DEFORMASI Pengerjaan LOGAM

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Memahami dan menjabarkan tentang konsep deformasi pada material dalam pengerjaan logam, mampu mengidentifikasi material, mesin dan teknologi yang dapat digunakan dalam pengerjaan logam serta mahasiswa mampu menelusuri *case study* pada manufaktur dalam proses deformasi pada pengerjaan logam.

B. URAIAN MATERI

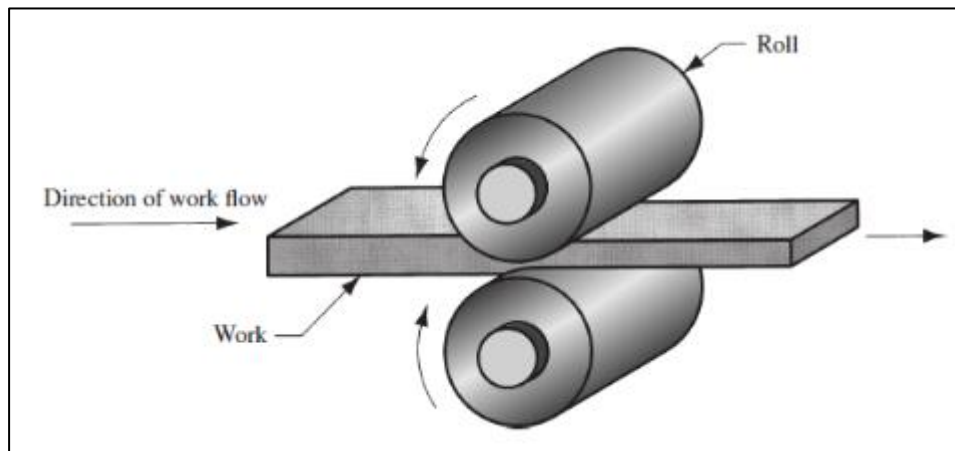
Proses deformasi ini mencapai perubahan bentuk yang signifikan pada bagian logam yang bentuk awalnya lebih besar daripada lembaran. Bentuk mulai mencakup bar silinder dan *billet*, *billet* persegi panjang dan lembaran, dan geometri dasar yang sama. Proses deformasi memperhalus bentuk awal, terkadang meningkatkan sifat mekanik, dan selalu menambahkan nilai komersial. Proses deformasi bekerja dengan memberi tekanan pada logam secukupnya untuk membuatnya mengalir secara plastik ke bentuk yang diinginkan.

1. *Rolling*

Rolling adalah proses deformasi di mana ketebalan pekerjaan dikurangi dengan gaya tekan yang diberikan oleh dua gulungan yang berlawanan. Gulungan berputar seperti yang diilustrasikan pada Gambar 7.1 untuk menarik dan secara bersamaan peras pekerjaan di antara mereka. Proses dasar yang ditunjukkan pada gambar adalah penggulangan datar, digunakan untuk mengurangi ketebalan penampang persegi panjang. Proses yang terkait erat adalah penggulangan bentuk, di mana penampang persegi dibentuk menjadi bentuk seperti balok I.

Sebagian besar proses rolling sangat padat modal, membutuhkan peralatan besar, yang disebut rolling mills, untuk melakukannya. Biaya investasi yang tinggi mengharuskan pabrik digunakan untuk produksi barang standar dalam jumlah besar seperti lembaran dan pelat. Kebanyakan pengerolan dilakukan dengan pengerjaan panas, yang disebut pengerolan panas, karena banyaknya deformasi yang dibutuhkan. Logam yang di-*hotroll* umumnya bebas dari tegangan sisa, dan sifatnya isotropik. Kerugian dari pengerolan panas

adalah bahwa produk tidak dapat ditahan untuk mendekati toleransi, dan permukaannya memiliki skala oksida yang khas.



(Sumber : Groover, 2020)

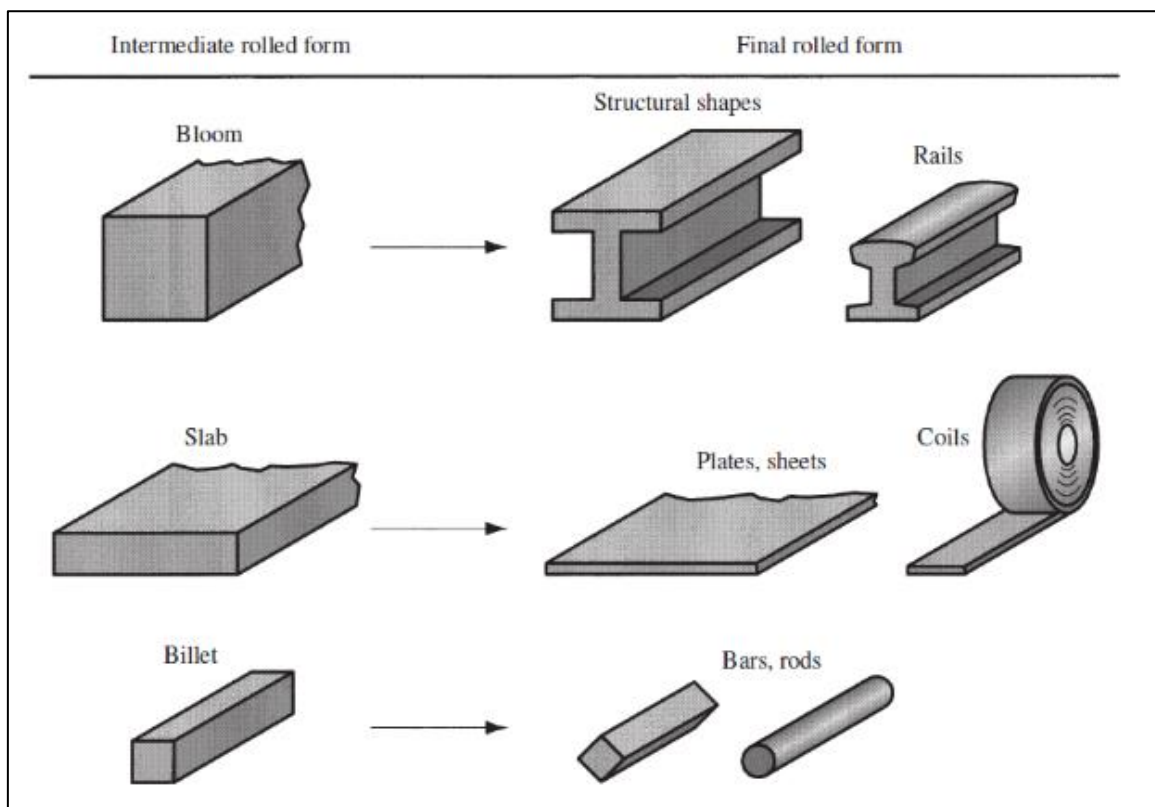
Gambar 7.1 Proses *Rolling*

Pembuatan baja menyediakan aplikasi yang paling umum dari operasi pabrik penggilingan. Urutan langkah - langkah di pabrik penggilingan baja menggambarkan variasi produk yang dibuat. Langkah serupa terjadi di industri logam dasar lainnya. Pekerjaan dimulai sebagai ingot baja tuang yang baru saja mengeras. Saat masih panas, ingot ditempatkan di tungku di mana ia bertahan selama berjam-jam sampai mencapai suhu seragam seluruhnya, sehingga logam akan mengalir secara konsisten selama penggulangan. Untuk baja, suhu yang diinginkan untuk pengerolan adalah sekitar 1200° C (2200° F). Operasi pemanasan disebut perendaman, dan tungku tempat dilakukannya disebut lubang perendaman.

Dari perendaman, *ingot* dipindahkan ke *rolling mill*, di mana ia digulung menjadi salah satu dari tiga bentuk perantara yang disebut *bloom*, *billet*, atau *slab*. *Blooms* memiliki penampang persegi 150 mm × 150 mm (6 inci × 6 inci) atau lebih besar. Sebuah lempengan digulung dari ingot atau bloom dan memiliki penampang persegi panjang dengan lebar 250 mm (10 in) atau lebih dan ketebalan 40 mm (1,5 in) atau lebih. *Billet* digulung dari mekarnya dan berbentuk persegi dengan dimensi 40 mm (1,5 in) di satu sisi atau lebih besar. Bentuk antara ini kemudian digulung menjadi bentuk produk akhir.

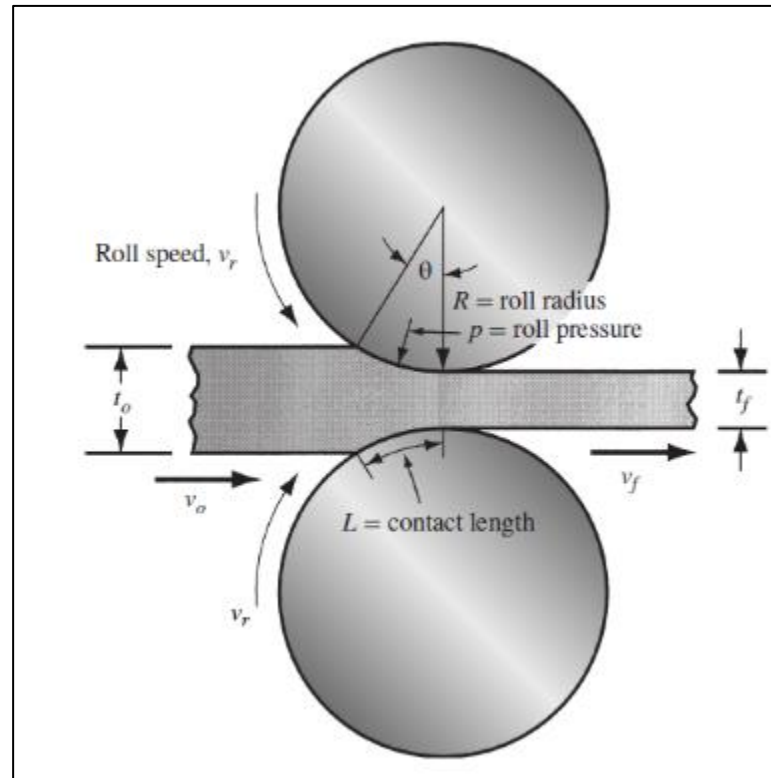
Blooms digulung menjadi bentuk struktural dan rel untuk rel kereta api. *Billet* digulung menjadi batangan dan batangan. Bentuk-bentuk ini adalah bahan

mentah untuk pemesian, penarikan kawat, penempaan, dan proses pengerjaan logam lainnya. Lembaran digulung menjadi pelat, lembaran, dan strip. Pelat canai panas digunakan dalam pembuatan kapal, jembatan, boiler, struktur yang dilas untuk berbagai mesin berat, tabung dan pipa, dan banyak produk lainnya. Gambar 7.2 menunjukkan beberapa produk baja canai ini. Perataan pelat dan lembaran canai panas lebih lanjut sering kali dilakukan dengan pengerolan dingin, untuk mempersiapkannya untuk tahap selanjutnya operasi lembaran logam. Penggulungan dingin memperkuat logam dan memungkinkan toleransi yang lebih ketat terhadap ketebalan. Selain itu, permukaan lembaran canai dingin bebas dari kerak dan umumnya lebih unggul dari produk canai panas yang sesuai. Karakteristik ini membuat lembaran, strip, dan gulungan canai dingin ideal untuk stempel, panel eksterior, dan bagian produk lainnya mulai dari mobil hingga peralatan dan perabot kantor.



(Sumber: Groover, 2020)

Gambar 7.2 Beberapa Produk Baja Dibuat di *Rolling Mill*



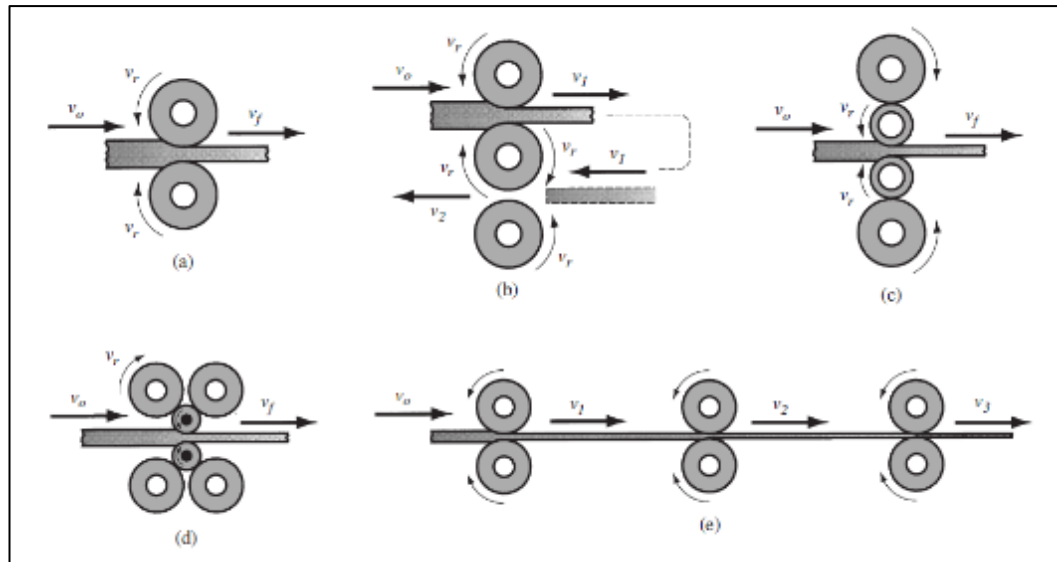
(Sumber: Groover, 2020)

Gambar 7.3 Tampilan samping dari *Flat Rolling*

Flat Rolling diilustrasikan pada Gambar 7.1 dan 7.3. Ini melibatkan penggulangan pelat, strip, lembaran, dan pelat — bagian kerja penampang persegi panjang yang lebarnya lebih besar dari ketebalan. Dalam bentuk penggulangan, pekerjaan dideformasi menjadi penampang berkontur. Produk yang dibuat dengan penggulangan bentuk meliputi bentuk konstruksi seperti balok-I, balok-L, dan saluran-U; rel untuk rel kereta api; dan batang dan batang bulat dan persegi (lihat Gambar 7.2). Prosesnya dilakukan dengan melewati pekerjaan melalui gulungan yang memiliki kebalikan dari bentuk yang diinginkan.

Sebagian besar prinsip yang diterapkan dalam penggulangan datar juga berlaku untuk penggulangan bentuk. Membentuk gulungan lebih rumit, dan pekerjaan, biasanya dimulai sebagai bentuk persegi, memerlukan transformasi bertahap melalui beberapa gulungan untuk mencapai penampang akhir. Mendesain urutan bentuk antara dan gulungan yang sesuai disebut desain *roll-pass*. Tujuannya adalah untuk mencapai deformasi seragam di seluruh penampang di setiap reduksi. Jika tidak, bagian pekerjaan tertentu berkurang lebih banyak dari yang lain, menyebabkan pemanjangan yang lebih besar di

bagian ini. Konsekuensi dari reduksi yang tidak seragam dapat berupa produk yang digulung melengkung dan retak. Gulungan horizontal dan vertikal digunakan untuk mencapai pengurangan material kerja yang konsisten.



(Sumber: Groover, 2020)

Gambar 7.4 Berbagai Konfigurasi *Rolling Mills*

Berbagai konfigurasi *rolling mill* tersedia untuk menangani berbagai aplikasi dan masalah teknis dalam proses *rolling*. Penggilingan dasar terdiri dari dua gulungan berlawanan dan disebut sebagai penggilingan dua tinggi, ditunjukkan pada Gambar 7.4 (a). Gulungan di pabrik ini memiliki diameter dalam kisaran 0,6 m hingga 1,4 m (2,0 kaki hingga 4,5 kaki). Konfigurasi dua-tinggi dapat berupa pembalikan atau non-pembalikan. Di pabrik non-pembalik, gulungan selalu berputar ke arah yang sama, dan pekerjaan selalu melewati dari sisi yang sama. Pabrik pembalik memungkinkan arah rotasi gulungan dibalik, sehingga pekerjaan dapat dilalui di kedua arah. Ini memungkinkan serangkaian pengurangan harus dilakukan melalui rangkaian gulungan yang sama, cukup dengan melewati pekerjaan dari arah berlawanan beberapa kali. Kerugian dari konfigurasi pembalikan adalah momentum sudut signifikan yang dimiliki oleh gulungan berputar besar dan masalah teknis terkait yang terlibat dalam pembalikan arah.

Beberapa pengaturan alternatif diilustrasikan pada Gambar 7.4. Pada konfigurasi tiga-tinggi, Gambar 7.4 (b), terdapat tiga gulungan dalam kolom vertikal, dan arah rotasi setiap gulungan tetap tidak berubah. Untuk mencapai

serangkaian pengurangan, pekerjaan dapat dilalui dari kedua sisi dengan menaikkan atau menurunkan strip setelah setiap lintasan. Peralatan pada *rolling mill* tiga tinggi menjadi lebih rumit, karena dibutuhkan mekanisme elevator untuk menaikkan dan menurunkan pekerjaan.

Untuk mencapai tingkat produksi yang lebih tinggi dalam produk standar, *rolling mill* tandem sering digunakan. Konfigurasi ini terdiri dari serangkaian *rolling stand*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.4 (e). Meskipun hanya tiga tegakan yang ditampilkan dalam sketsa, *rolling mill* tandem biasanya memiliki delapan atau 10 dudukan, masing-masing membuat pengurangan ketebalan atau penyempurnaan dalam bentuk pekerjaan yang lewat. Dengan setiap langkah penggulangan, kecepatan kerja meningkat, dan masalah sinkronisasi kecepatan gulungan di setiap penyangga adalah masalah yang signifikan.

Rolling mill tandem modern sering kali dipasok langsung oleh operasi pengecoran berkelanjutan. Pengaturan ini mencapai integrasi tingkat tinggi di antara proses yang diperlukan untuk mengubah bahan mentah awal menjadi produk jadi. Keuntungannya meliputi penghapusan lubang perendaman, pengurangan ruang lantai, dan waktu tunggu produksi yang lebih singkat. Keunggulan teknis ini diterjemahkan ke dalam manfaat ekonomi untuk pabrik yang dapat melakukan pengecoran dan penggulangan berkelanjutan.

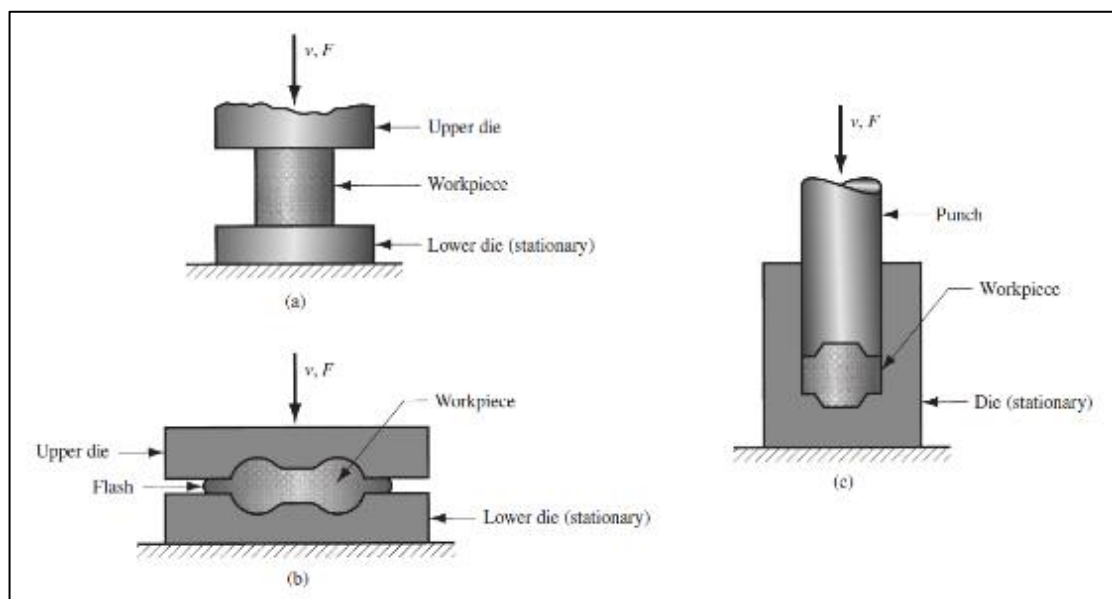
2. *Forging*

Forging (penempaan) adalah proses deformasi di mana pekerjaan dikompresi di antara dua cetakan yang berlawanan, menggunakan benturan atau tekanan bertahap untuk membentuk bagian. Ini adalah operasi pembentukan logam tertua, yang berasal dari sekitar 5000 SM. Saat ini, penempaan adalah proses industri penting yang digunakan untuk membuat berbagai komponen berkekuatan tinggi untuk otomotif, ruang angkasa, dan aplikasi lainnya. Komponen ini termasuk poros engkol mesin dan batang penghubung, roda gigi, komponen struktur pesawat terbang, dan bagian turbin mesin jet. Selain itu, industri baja dan logam dasar lainnya menggunakan penempaan untuk membentuk bentuk dasar dari komponen besar yang selanjutnya dikerjakan dengan mesin ke bentuk dan dimensi akhir (misalnya gulungan untuk *rolling mills*).

Forging dilakukan dengan berbagai cara. Salah satu cara untuk mengklasifikasikan operasi adalah dengan suhu kerja. Sebagian besar operasi penempaan dilakukan panas atau hangat, karena deformasi signifikan yang

diminta oleh proses dan kebutuhan untuk mengurangi kekuatan dan meningkatkan keuletan logam kerja. Namun, penempaan dingin juga sangat umum untuk produk tertentu. Keuntungan dari *forging* dingin adalah peningkatan kekuatan yang dihasilkan dari pengerasan regangan komponen.

Baik benturan atau tekanan bertahap digunakan dalam penempaan. Perbedaan tersebut lebih berasal dari jenis peralatan yang digunakan daripada perbedaan dalam teknologi proses. Mesin tempa yang menerapkan beban benturan disebut palu tempa, sedangkan mesin yang menerapkan tekanan bertahap disebut mesin penempaan.



(Sumber: Groover, 2020)

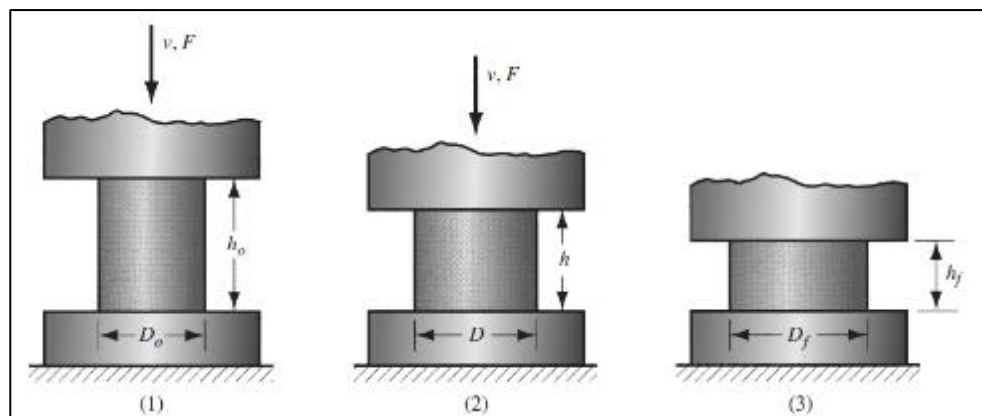
Gambar 7.5 Tipe-Tipe Operasi *Forging*

Perbedaan lain di antara operasi penempaan adalah sejauh mana aliran logam kerja dibatasi oleh cetakan. Dengan klasifikasi ini, ada tiga jenis operasi penempaan, yang ditunjukkan pada Gambar 7.5: (a) *open-die forging*, (b) *impression-die forging*, dan (c) penempaan tanpa flash. Dalam *open-die forging*, pekerjaan dikompresi antara dua cetakan datar (atau hampir datar), sehingga memungkinkan logam mengalir tanpa kendala ke arah lateral relatif terhadap permukaan cetakan. Dalam *impression-die forging*, permukaan cetakan mengandung rongga atau cetakan yang diberikan ke pekerjaan selama kompresi, sehingga membatasi aliran logam ke tingkat yang signifikan. Pada jenis operasi ini, beberapa benda kerja logam mengalir di luar cetakan die

membentuk *flash*, seperti yang ditunjukkan pada gambar. *Flash* adalah logam berlebih yang harus dipangkas nanti. Dalam penempaan tanpa *flash*, pekerjaan sepenuhnya dibatasi di dalam cetakan dan tidak ada lampu kilat berlebih yang dihasilkan.

a. *Open-Die Forging*

Kasus paling sederhana dari penempaan cetakan terbuka melibatkan kompresi bagian kerja penampang silinder antara dua cetakan datar. Operasi penempaan ini, yang dikenal sebagai penempaan yang mengganggu atau *upsetting-forging*, mengurangi ketinggian pekerjaan dan meningkatkan diameternya.



(Sumber: Groover, 2020)

Gambar 7.6 Deformasi Homogen Dalam Operasi Open-Die Forging

Jika penempaan cetakan terbuka dilakukan dalam kondisi ideal tanpa gesekan antara permukaan kerja dan permukaan cetakan, maka terjadi deformasi homogen dan aliran radial material seragam di seluruh ketinggiannya, seperti yang digambarkan pada Gambar 7.6. Di bawah kondisi ideal ini, regangan sebenarnya yang dialami oleh pekerjaan selama proses dapat ditentukan dengan

$$\varepsilon = \ln \frac{h_o}{h}$$

Di mana h_o = tinggi awal pekerjaan; dan h = ketinggian di beberapa titik tengah dalam proses. Pada akhir langkah kompresi, h = nilai akhirnya h_f , dan regangan sebenarnya mencapai nilai maksimumnya. Perkiraan kekuatan

untuk melakukan gangguan dapat dihitung. Gaya yang diperlukan untuk melanjutkan kompresi pada ketinggian tertentu h selama proses dapat diperoleh dengan mengalikan luas penampang yang sesuai dengan tegangan aliran:

$$F = Y_f A$$

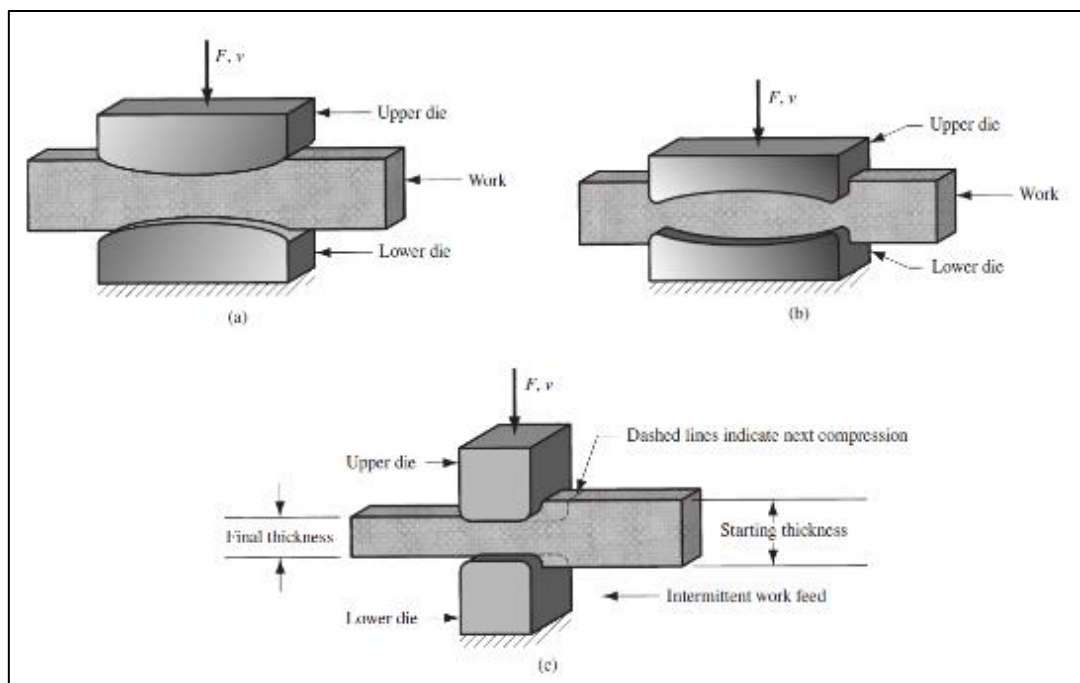
Dimana F = gaya, N (lb); A = luas penampang bagian; dan Y_f = tegangan aliran yang sesuai dengan regangan. Area A terus bertambah selama pengoperasian saat ketinggian dikurangi. Tegangan aliran Y_f juga meningkat sebagai akibat dari pengerasan kerja, kecuali jika logam benar-benar plastik (misalnya, dalam pengerjaan panas). Dalam hal ini, eksponen pengerasan regangan $n = 0$, dan tegangan aliran Y_f sama dengan kuat luluh logam Y pada suhu kerja. Gaya mencapai nilai maksimum pada akhir kayuhan tempa, ketika tegangan luas dan aliran berada pada nilai tertingginya.

Operasi pemotongan yang sebenarnya tidak terjadi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.6 karena gesekan melawan aliran keluar logam kerja pada permukaan cetakan. Ketika dilakukan sebagai pekerjaan panas dengan cetakan dingin, efek laras bahkan lebih terasa. Hal ini dihasilkan dari koefisien gesekan yang lebih tinggi yang biasa terjadi pada kerja panas dan perpindahan panas pada dan dekat permukaan cetakan, yang mendinginkan logam dan meningkatkan ketahanannya terhadap deformasi. Logam yang lebih panas di bagian tengah mengalir lebih cepat daripada logam yang lebih dingin di ujungnya. Efek ini lebih signifikan karena rasio diameter-tinggi dari bagian kerja meningkat, karena area kontak yang lebih besar pada antarmuka *work-die*.

Penempaan panas cetakan terbuka adalah proses industri yang penting. Bentuk yang dihasilkan oleh operasi *open-die* sederhana; contohnya termasuk poros, cakram, dan cincin. Dalam beberapa aplikasi, cetakan memiliki permukaan yang sedikit berkontur yang membantu membentuk pekerjaan. Selain itu, karya tersebut harus sering dimanipulasi (misalnya, diputar dalam langkah-langkah) untuk mengubah bentuk yang diinginkan. Keterampilan operator manusia merupakan faktor keberhasilan operasi ini. Contoh penempaan cetakan terbuka di industri baja adalah pembentukan ingot kotak besar menjadi penampang bulat. Operasi penempaan cetakan

terbuka menghasilkan bentuk kasar, dan operasi selanjutnya diperlukan untuk menyempurnakan bagian menjadi geometri dan dimensi akhir.

Operasi yang terkait dengan penempaan cetakan terbuka termasuk pengerjaan penuh, tepi, dan pengikatan, diilustrasikan pada Gambar 7.7. *Fullering* adalah operasi penempaan yang dilakukan untuk mengurangi penampang dan mendistribusikan kembali logam di bagian pekerjaan sebagai persiapan untuk penempaan bentuk selanjutnya. Ini dilakukan dengan cetakan dengan permukaan cembung. Rongga cetakan *fullering* sering dirancang menjadi cetakan cetakan multikavitas, sehingga batang awal dapat dibentuk kasar sebelum pembentukan akhir. Tepi mirip dengan pemenuhan, kecuali bahwa cetakan memiliki permukaan cekung.



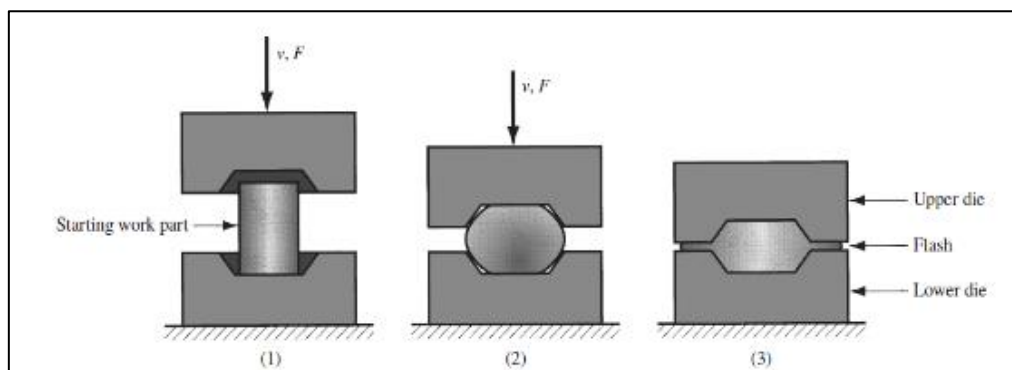
(Sumber: Groover, 2020)

Gambar 7.7 Beberapa Operasi Penempaan Cetakan Terbuka

Operasi *cogging* terdiri dari urutan kompresi tempa cetakan terbuka di sepanjang benda kerja untuk mengurangi penampang dan menambah panjang. Ini digunakan dalam industri baja untuk menghasilkan mekar dan lempengan dari ingot cor menggunakan cetakan terbuka dengan permukaan datar atau sedikit berkontur. Istilah penempaan tambahan terkadang digunakan untuk proses ini.

b. *Impression-Die Forging*

Impression-Die Forging dilakukan dengan cetakan yang mengandung kebalikan dari bentuk bagian yang diinginkan. Proses tersebut diilustrasikan dalam urutan tiga langkah pada Gambar 7.8. Benda kerja mentah ditampilkan sebagai bagian silinder yang mirip dengan yang digunakan dalam operasi cetakan terbuka sebelumnya. Saat cetakan mendekati posisi akhirnya, flash dibentuk oleh logam yang mengalir di luar rongga cetakan dan masuk ke celah kecil antara cetakan atas dan bawah. Meskipun flash ini harus dipotong dari bagian tersebut dalam operasi pemangkasan berikutnya, flash ini memiliki fungsi penting selama penempaan cetakan. Saat flash mulai terbentuk di celah cetakan, gesekan menahan aliran logam yang berkelanjutan ke dalam celah, sehingga membatasi sebagian besar bahan kerja untuk tetap berada di rongga cetakan. Dalam penempaan panas, aliran logam selanjutnya dibatasi karena kilatan tipis mendingin dengan cepat terhadap pelat cetakan, sehingga meningkatkan ketahanannya terhadap deformasi. Pembatasan aliran logam di celah menyebabkan tekanan kompresi pada bagian tersebut meningkat secara signifikan, sehingga memaksa material untuk mengisi detail rongga cetakan yang terkadang rumit untuk memastikan produk berkualitas tinggi.



(Sumber: Groover, 2020)

Gambar 7.8 Urutan dalam Impression-Die Forging

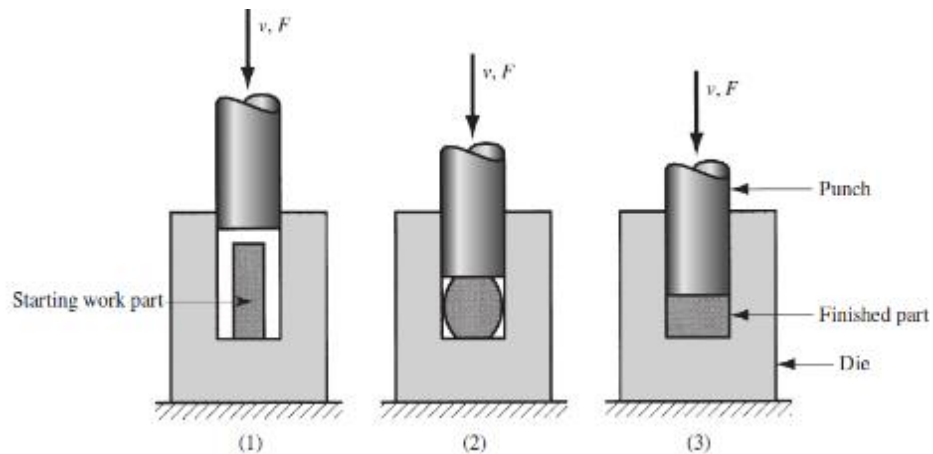
Beberapa langkah pembentukan sering diperlukan dalam penempaan cetakan cetakan untuk mengubah blanko awal menjadi geometri akhir yang diinginkan. Rongga terpisah pada cetakan diperlukan untuk setiap langkah.

Langkah awal dirancang untuk mendistribusikan kembali logam pada bagian kerja untuk mencapai deformasi seragam dan struktur metalurgi yang diinginkan pada langkah selanjutnya. Langkah terakhir membawa bagian ke geometri akhirnya. Selain itu, saat penempaan jatuh digunakan, beberapa pukulan palu mungkin diperlukan untuk setiap langkah. Ketika penempaan jatuhkan cetakan cetakan dilakukan secara manual, seperti yang sering terjadi, keterampilan operator yang cukup diperlukan dalam kondisi buruk untuk mencapai hasil yang konsisten.

Impression-Die Forging tidak mampu melakukan toleransi yang dekat, dan pemesinan sering kali diperlukan untuk mencapai akurasi yang dibutuhkan. Geometri dasar bagian diperoleh dari proses penempaan, dengan pemesinan dilakukan pada bagian bagian yang memerlukan penyelesaian presisi (misalnya lubang, ulir, dan permukaan yang berpasangan dengan komponen lain). Keuntungan penempaan, dibandingkan dengan pengerjaan bagian seluruhnya, adalah tingkat produksi yang lebih tinggi, konservasi logam, kekuatan yang lebih besar, dan orientasi butir yang disukai dari logam yang dihasilkan dari penempaan.

c. Penempaan Tanpa Flash

Impression-Die Forging kadang-kadang disebut penempaan cetakan tertutup dalam terminologi industri. Namun, ada perbedaan teknis *Impression-Die Forging* dan tempa cetakan tertutup yang sebenarnya. Perbedaannya adalah bahwa dalam penempaan cetakan tertutup yang sebenarnya, benda kerja mentah sepenuhnya terkandung dalam rongga cetakan selama kompresi, dan tidak ada flash yang terbentuk. Urutan proses diilustrasikan pada Gambar 7.9 Istilah penempaan tanpa *flash* cocok untuk mengidentifikasi proses ini.



(Sumber: Groover, 2020)

Gambar 7.10 Penempaan Tanpa Flash

Penempaan tanpa *flash* memerlukan persyaratan pada kontrol proses yang lebih menuntut daripada penempaan cetakan cetakan. Yang terpenting adalah bahwa volume kerja harus sama dengan volume rongga cetakan dalam toleransi yang sangat dekat. Jika blanko awal terlalu besar, tekanan yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan pada die atau press. Jika blanko terlalu kecil, rongga tidak akan terisi. Karena tuntutan khusus ini, penempaan tanpa flash paling cocok untuk geometri bagian yang sederhana dan simetris, dan untuk mengerjakan bahan seperti aluminium dan magnesium serta paduannya. Penempaan tanpa flash sering diklasifikasikan sebagai proses penempaan presisi.

3. Ekstrusi

Ekstrusi adalah proses kompresi dimana material kerja dipaksa mengalir melalui bukaan cetakan untuk menghasilkan bagian dengan bentuk penampang yang sama dengan bentuk bukaan cetakan. Prosesnya bisa diibaratkan seperti memeras pasta gigi dari tabung pasta gigi. Ekstrusi berasal dari sekitar tahun 1800. Ada beberapa keuntungan dari proses modern:

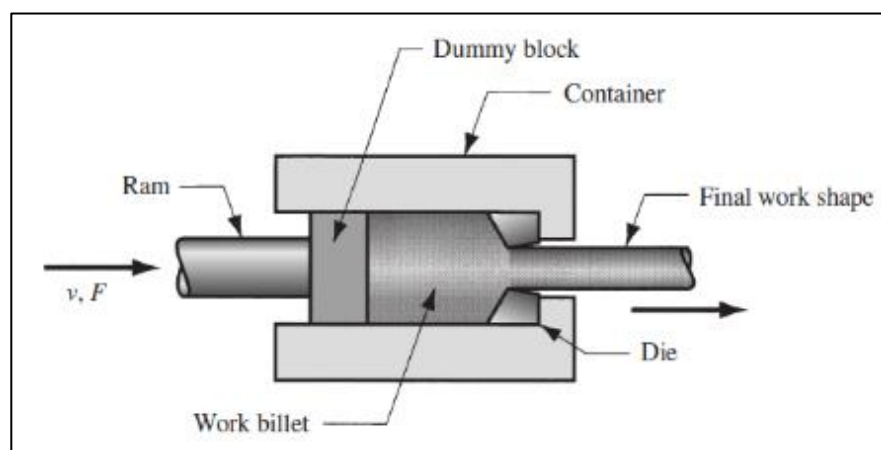
- Berbagai bentuk dimungkinkan, terutama dengan ekstrusi panas;
- Struktur butir dan sifat kekuatan ditingkatkan dalam ekstrusi dingin dan hangat
- Toleransi yang cukup dekat dimungkinkan, terutama dalam ekstrusi dingin
- Dalam beberapa operasi ekstrusi, sedikit atau tidak ada material yang terbuang yang dibuat.

Namun, batasannya adalah bahwa penampang bagian yang diekstrusi harus seragam di sepanjang panjangnya.

a. Jenis Ekstrusi

Ekstrusi dilakukan dengan berbagai cara. Salah satu perbedaan penting adalah antara ekstrusi langsung dan ekstrusi tidak langsung. Klasifikasi lain adalah dengan suhu kerja: ekstrusi dingin, hangat, atau panas. Akhirnya, ekstrusi dilakukan sebagai proses berkelanjutan atau proses diskrit.

Ekstrusi langsung (juga disebut ekstrusi maju) ditunjukkan pada Gambar 7.10. Billet silinder logam dimuat ke dalam wadah, dan ram memaksa material untuk mengalir melalui lubang cetakan di ujung wadah. Saat domba jantan mendekati dadu, sebagian kecil dari billet tetap ada yang tidak dapat dipaksa melalui lubang dadu. Porsi ekstra ini, yang disebut bokong, dipisahkan dari produk dengan memotongnya tepat di luar pintu keluar cetakan.



(Sumber: Groover, 2020)

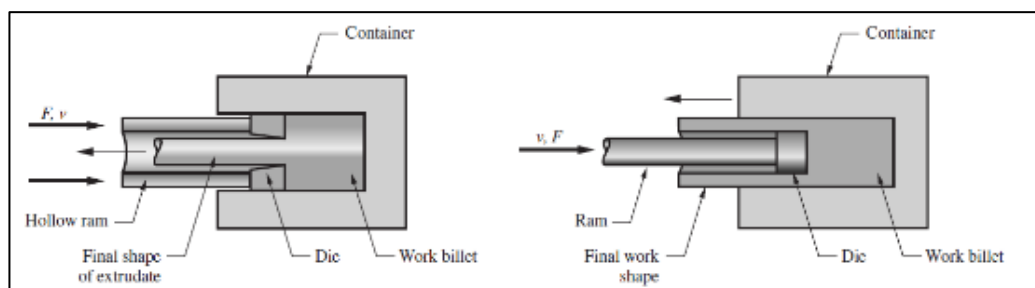
Gambar 7.10 Ekstrusi langsung

Salah satu masalah dalam ekstrusi langsung adalah gesekan signifikan yang terjadi antara permukaan kerja dan dinding wadah karena billet dipaksa untuk meluncur ke arah bukaan cetakan. Gesekan ini meningkatkan gaya ram yang dibutuhkan dalam ekstrusi langsung. Dalam ekstrusi panas, masalah gesekan diperparah dengan adanya lapisan oksida pada permukaan billet. Lapisan oksida ini dapat menyebabkan cacat pada produk yang diekstrusi. Untuk mengatasi masalah ini, sering digunakan blok dummy antara ram dan

work billet. Diameter balok tiruan sedikit lebih kecil dari diameter balok, sehingga cincin logam kerja yang sempit (kebanyakan lapisan oksida) tertinggal di dalam wadah, menyisakan produk akhir bebas oksida.

Bagian berongga (misalnya, tabung) dimungkinkan dalam ekstrusi langsung dengan pengaturan proses. *Billet* awal disiapkan dengan lubang sejajar dengan porosnya. Ini memungkinkan lewatnya mandrel yang terpasang ke blok boneka. Saat *billet* dikompresi, material dipaksa untuk mengalir melalui celah antara mandrel dan bukaan cetakan. Penampang yang dihasilkan berbentuk tabung. Bentuk penampang semihollow biasanya diekstrusi dengan cara yang sama. *Billet* awal dalam ekstrusi langsung biasanya berbentuk bulat dalam penampang, tetapi bentuk akhir ditentukan oleh bentuk bukaan cetakan. Jelas, dimensi terbesar dari bukaan cetakan harus lebih kecil dari diameter billet.

Dalam ekstrusi tidak langsung, juga disebut ekstrusi mundur dan ekstrusi terbalik. Saat ram menembus ke dalam pekerjaan, logam dipaksa untuk mengalir melalui jarak bebas ke arah yang berlawanan dengan gerakan ram. Karena billet tidak dipaksa untuk bergerak relatif terhadap kontainer, tidak ada gesekan pada dinding kontainer, dan gaya ram karena itu lebih rendah daripada ekstrusi langsung. Batasan ekstrusi tidak langsung disebabkan oleh kekakuan yang lebih rendah dari ram berlubang dan kesulitan dalam mendukung produk yang diekstrusi saat keluar dari cetakan.



(Sumber: Groover, 2020)

Gambar 7.11 Ekstrusi tidak langsung

Ekstrusi tidak langsung dapat menghasilkan penampang berongga (tubular), seperti pada Gambar 7.11. Dalam metode ini, *ram* ditekan ke dalam *billet*, memaksa material mengalir di sekitar ram dan mengambil bentuk cangkir. Ada batasan praktis tentang panjang bagian yang diekstrusi yang

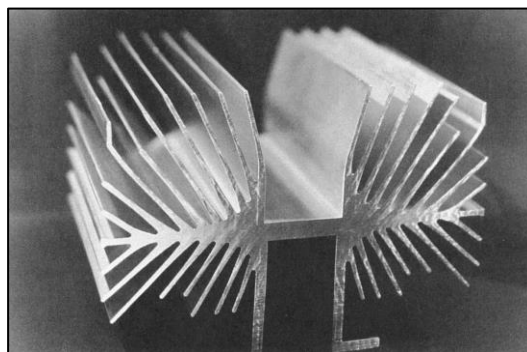
dapat dibuat dengan metode ini. Dukungan ram menjadi masalah seiring bertambahnya lama kerja. Ekstrusi dapat dilakukan baik panas atau dingin, tergantung pada logam kerja dan jumlah regangan yang dikenakan selama deformasi. Logam yang biasanya diekstrusi panas termasuk aluminium, tembaga, magnesium, seng, timah, dan paduannya. Logam yang sama ini terkadang diekstrusi dingin. Paduan baja biasanya diekstrusi panas, meskipun nilai yang lebih lembut dan lebih ulet terkadang diekstrusi dengan dingin (misalnya, baja karbon rendah dan baja tahan karat). Aluminium mungkin merupakan logam yang paling ideal untuk ekstrusi (panas dan dingin), dan banyak produk aluminium komersial dibuat dengan proses ini (bentuk struktural, kusen pintu dan jendela, dll.).

Ekstrusi panas melibatkan pemanasan sebelumnya dari billet ke suhu di atas suhu rekristalisasi. Hal ini mengurangi kekuatan dan meningkatkan keuletan logam, memungkinkan pengurangan ukuran yang lebih ekstrim dan bentuk yang lebih kompleks dapat dicapai dalam proses tersebut. Keuntungan tambahan termasuk pengurangan gaya *ram*, peningkatan kecepatan ram, dan pengurangan karakteristik aliran butir dalam produk akhir. Pendinginan billet saat bersentuhan dengan dinding kontainer merupakan masalah, dan ekstrusi isothermal kadang-kadang digunakan untuk mengatasi masalah ini. Pelumasan sangat penting dalam ekstrusi panas untuk logam tertentu (misalnya baja), dan pelumas khusus telah dikembangkan yang efektif dalam kondisi yang keras dalam ekstrusi panas. Kaca terkadang digunakan sebagai pelumas dalam ekstrusi panas; selain mengurangi gesekan, ini juga memberikan isolasi termal yang efektif antara *billet* dan wadah ekstrusi.

Ekstrusi dingin dan ekstrusi hangat umumnya digunakan untuk menghasilkan bagian-bagian terpisah, seringkali dalam bentuk jadi (atau hampir jadi). Istilah ekstrusi benturan digunakan untuk menunjukkan ekstrusi dingin berkecepatan tinggi. Beberapa keuntungan penting dari ekstrusi dingin adalah peningkatan kekuatan karena pengerasan regangan, toleransi yang ketat, permukaan akhir yang lebih baik, tidak adanya lapisan oksida, dan tingkat produksi yang tinggi. Ekstrusi dingin pada suhu kamar juga menghilangkan kebutuhan untuk memanaskan billet awal.

b. Cetakan, Mesin *Press*, dan Cacat dalam Ekstrusi

Faktor penting dalam cetakan ekstrusi adalah sudut cetakan dan bentuk lubang. Untuk sudut rendah, luas permukaan cetakan besar, menyebabkan peningkatan gesekan pada antarmuka cetakan dadu. Gesekan yang lebih tinggi menghasilkan gaya ram yang lebih besar. Di sisi lain, sudut cetakan yang besar menyebabkan lebih banyak pekerjaan mubazir dalam aliran logam selama reduksi, meningkatkan gaya ram yang diperlukan. Jadi, efek sudut cetakan pada gaya ram adalah fungsi berbentuk U. Ada sudut cetakan yang optimal, seperti yang disarankan oleh plot hipotetis. Sudut optimal bergantung pada berbagai faktor (misalnya, bahan kerja, suhu *billet*, dan pelumasan) dan oleh karena itu sulit untuk ditentukan untuk pekerjaan ekstrusi tertentu. Desainer cetakan mengandalkan aturan praktis dan penilaian untuk memutuskan sudut yang sesuai.



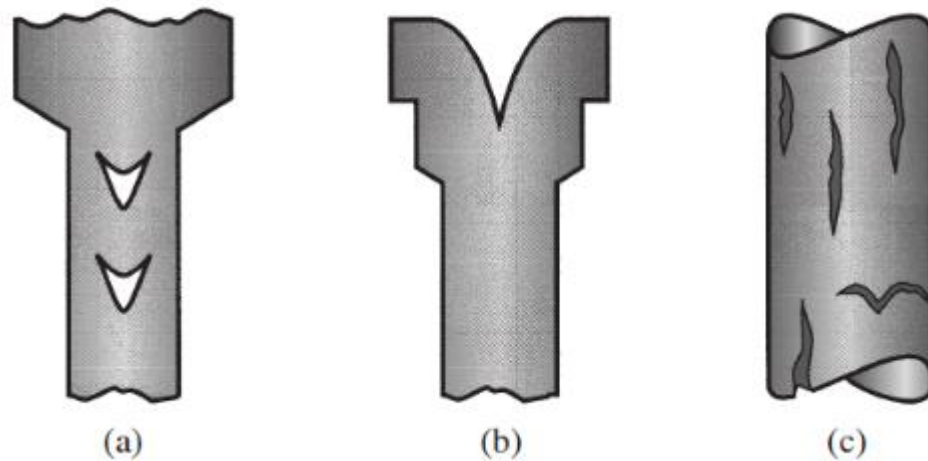
Gambar 7.12 Penampang Yang Diekstrusi Kompleks Untuk Heat Sink

Bentuk lubang cetakan mempengaruhi tekanan ram yang diperlukan untuk melakukan operasi ekstrusi. Penampang melintang yang kompleks, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.12, membutuhkan tekanan yang lebih tinggi dan gaya yang lebih besar daripada bentuk lingkaran. Efek bentuk lubang cetakan dapat dinilai dengan faktor bentuk cetakan, yang didefinisikan sebagai rasio tekanan yang diperlukan untuk mengekstrusi penampang melintang dari bentuk yang diberikan relatif terhadap tekanan ekstrusi untuk penampang melintang di area yang sama.

Mesin *press* ekstrusi bisa horizontal atau vertikal, ditentukan oleh orientasi sumbu kerja. Tipe horizontal lebih umum. Pengepres biasanya digerakkan secara hidrolik, yang khususnya cocok untuk produksi

semikontinyu dari bagian panjang, seperti pada ekstrusi langsung. Penggerak mekanis sering digunakan untuk ekstrusi dingin dari masing-masing bagian, seperti pada ekstrusi tumbukan.

Karena deformasi yang terkait dengan ekstrusi, cacat dapat terjadi pada produk yang diekstrusi. Cacat dapat diklasifikasikan ke dalam kategori berikut:



(Sumber: Groover, 2020)

Gambar 7.13 Beberapa Cacat Umum Dalam Ekstrusi

Cacat *Centerburst* (a) adalah retakan internal yang berkembang sebagai akibat dari tegangan tarik di sepanjang garis tengah bagian kerja selama ekstrusi. Meskipun tegangan tarik mungkin tampak tidak mungkin dalam proses kompresi seperti ekstrusi, mereka cenderung terjadi dalam kondisi yang menyebabkan deformasi besar di daerah pekerjaan yang jauh dari sumbu pusat. Pergerakan material yang signifikan di wilayah luar ini meregangkan material di sepanjang pusat pekerjaan. Jika tekanan cukup besar, ledakan terjadi. Kondisi yang mendorong *centerburst* adalah sudut mati yang tinggi, rasio ekstrusi yang rendah, dan pengotor pada logam kerja yang berfungsi sebagai titik awal untuk cacat retak. Aspek yang sulit dari *centerburst* adalah pendeteksiannya. Ini adalah cacat internal yang biasanya tidak terlihat oleh pengamatan visual. Nama lain yang kadang-kadang digunakan untuk cacat ini termasuk patah kepala panah, retak tengah, dan retak *Chevron*.

Piping (b) adalah cacat yang terkait dengan ekstrusi langsung. Seperti pada gambar, ini adalah pembentukan lubang wastafel di ujung billet. Penggunaan blok tiruan yang diameternya sedikit lebih kecil dari billet membantu menghindari pemipaan. Nama lain yang diberikan untuk cacat ini adalah *tailpipe* dan *fishtailing*.

Retak permukaan (c) diakibatkan oleh suhu bagian kerja yang tinggi yang menyebabkan timbulnya retakan di permukaan. Hal ini sering terjadi ketika kecepatan ekstrusi terlalu tinggi, yang menyebabkan laju regangan tinggi dan menghasilkan panas yang terkait. Faktor lain yang berkontribusi terhadap retak permukaan adalah gesekan tinggi dan pendinginan permukaan billet suhu tinggi dalam ekstrusi panas.

C. LATIHAN SOAL/TUGAS

1. Sebutkan dan jelaskan 4 proses dasar pada deformasi massal?
2. Jelaskan kerugian dari proses pengerolan panas?
3. Jelaskan arti dari *open-die forging*?
4. Sebutkan dan jelaskan jenis-jenis cacat yang terjadi pada proses ekstruksi?
5. Jelaskan mesin yang digunakan pada proses gambar batang?

D. DAFTAR PUSTAKA

- Cary, H. B., and Helzer S. C. (2005). *Modern Welding Technology*, 6th ed. Pearson/Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Groover. (2013). *Fundamental Of Modern Manufacturing*. New york: John Wiley & Sons.
- Groover, M. (2020). *Fundamental of Modern Manufacturing : Materials, Processes, and Systems* (7th ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Jeffus, L. F., (2007). *Welding: Principles and Applications*, 6th ed. Delmar Cengage Learning, Clifton Park, New York.
- Stotler, T., and Bernath, J., (2009). "Friction Stir *Welding* Advances," *Advanced Materials and Processes*. pp 35–37

PERTEMUAN 8

PERMESINAN

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

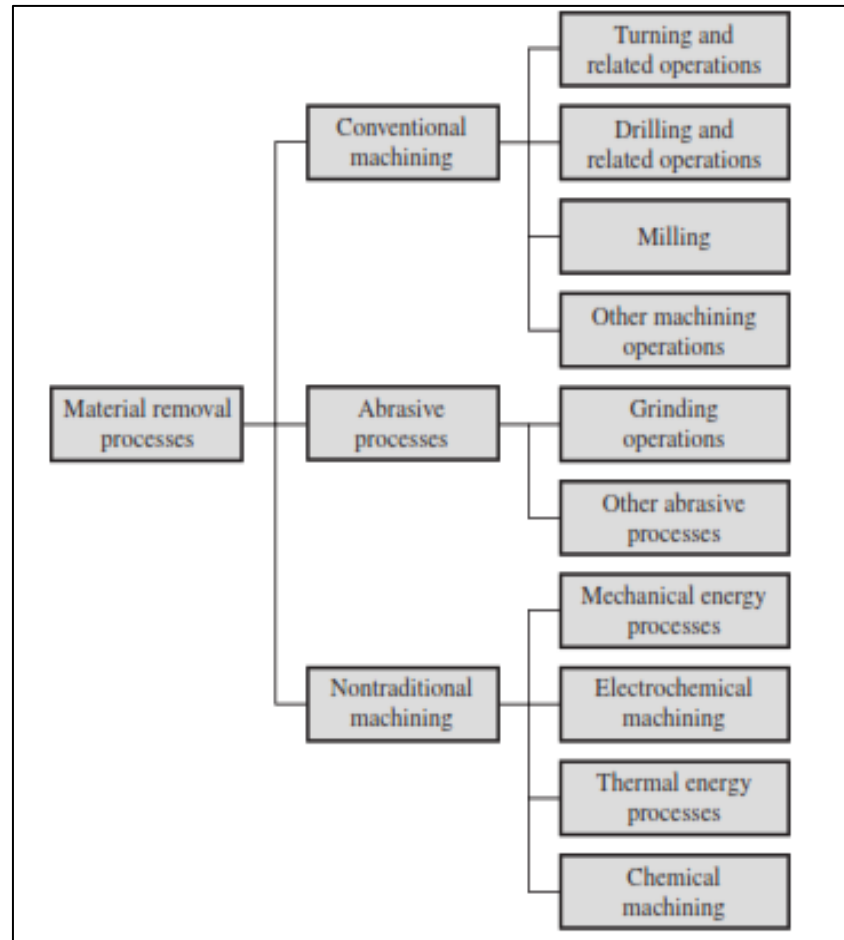
Memahami dan mengidentifikasi dan menyesuaikan material dalam melakukan proses permesinan dalam manufaktur, mengetahui dan menggunakan alat dan teknologi yang digunakan dalam proses permesinan, serta mengetahui dan merancang perubahan bentuk material dalam proses permesinan.

B. URAIAN MATERI

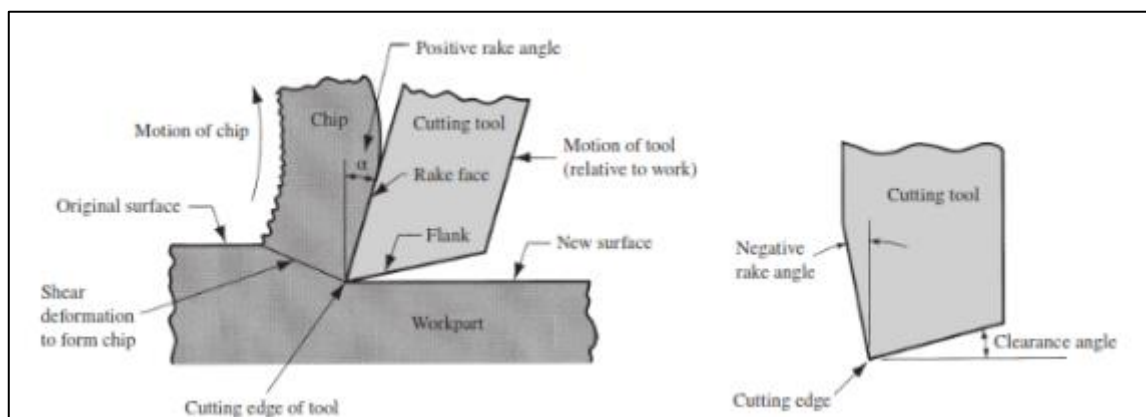
1. Teori Permesinan Logam

Tindakan pemotongan utama dalam permesinan adalah deformasi geser material kerja untuk membentuk sebuah *chip*; saat *chip* dilepas oleh ujung tajam pahat, permukaan baru akan terlihat. Mesin adalah paling sering diterapkan pada logam. Permesinan adalah salah satu proses manufaktur terpenting. Revolusi Industri dan pertumbuhan ekonomi berbasis manufaktur di dunia dapat ditelusuri sebagian besar ke perkembangan berbagai operasi permesinan. Permesinan itu penting secara komersial dan teknologi karena beberapa alasan:

- a. Ragam bahan kerja. Permesinan dapat diterapkan pada berbagai macam bahan kerja. Hampir semua logam padat dapat dikerjakan dengan mesin. Plastik dan komposit plastik juga dapat dipotong dengan mesin.
- b. Ragam bentuk bagian dan fitur geometris. Permesinan dapat digunakan untuk membuat geometri biasa, seperti bidang datar, lubang bundar, dan silinder. Dengan memperkenalkan variasi dalam bentuk pahat dan jalur pahat, geometri tidak beraturan dapat dibuat, seperti ulir sekrup dan gigi roda gigi. Dengan menggabungkan beberapa operasi permesinan secara berurutan, bentuk dengan kompleksitas dan variasi yang hampir tidak terbatas dapat dihasilkan.



Gambar 8.1 Klasifikasi proses pemindahan material



Gambar 8.2 (a) Tampilan penampang proses permesinan. (b) Alat dengan sudut rake negatif; bandingkan dengan sudut rake positif di (a). Clearance angle juga dikenal sebagai Relief angle.

- c. Akurasi dimensi. Permesinan dapat menghasilkan dimensi dengan toleransi yang sangat dekat. Beberapa proses permesinan dapat mencapai toleransi $\pm 0,025$ mm ($\pm 0,001$ in), jauh lebih akurat daripada kebanyakan proses lainnya.
- d. Permukaan akhir yang bagus. Permesinan mampu menghasilkan permukaan akhir yang sangat halus. Nilai kekasaran kurang dari 0,4 mikron ($16 \mu\text{-in}$) dapat dicapai dalam operasi permesinan konvensional. Beberapa proses abrasif dapat mencapai hasil akhir yang lebih baik.

Di sisi lain, kerugian tertentu terkait dengan permesinan dan proses pemindahan material lainnya:

- 1) Boros material. Permesinan pada dasarnya boros material. *Chip* yang dihasilkan dalam operasi permesinan adalah material yang terbuang. Meskipun *chip* ini biasanya dapat didaur ulang, mereka mewakili limbah dalam operasi unit.
- 2) Membuang-buang waktu. Operasi permesinan umumnya membutuhkan lebih banyak waktu untuk membentuk bagian tertentu daripada proses pembentukan alternatif seperti pengecoran atau penempaan.

Permesinan biasanya dilakukan setelah proses manufaktur lain seperti pengecoran atau deformasi massal (misalnya, penempaan, penggambaran batang), yang dikenal sebagai proses dasar; mereka membuat bentuk awal dari bagian pekerjaan. Permesinan adalah proses sekunder yang menghasilkan geometri, dimensi, dan penyelesaian akhir.

2. Teknologi Permesinan

Permesinan bukan hanya satu proses; itu adalah sekelompok proses. Ciri umum adalah penggunaan alat potong untuk membentuk *chip* yang dikeluarkan dari bagian pekerjaan. Untuk melakukan operasi, relative gerakan diperlukan antara alat dan pekerjaan. Gerakan relatif ini dicapai di sebagian besar operasi permesinan dengan menggunakan gerakan primer, yang disebut kecepatan potong, dan gerakan sekunder, disebut pakan. Bentuk alat dan penembusannya ke permukaan kerja, dikombinasikan dengan gerakan-gerakan ini, menghasilkan geometri yang diinginkan dari permukaan kerja yang dihasilkan.

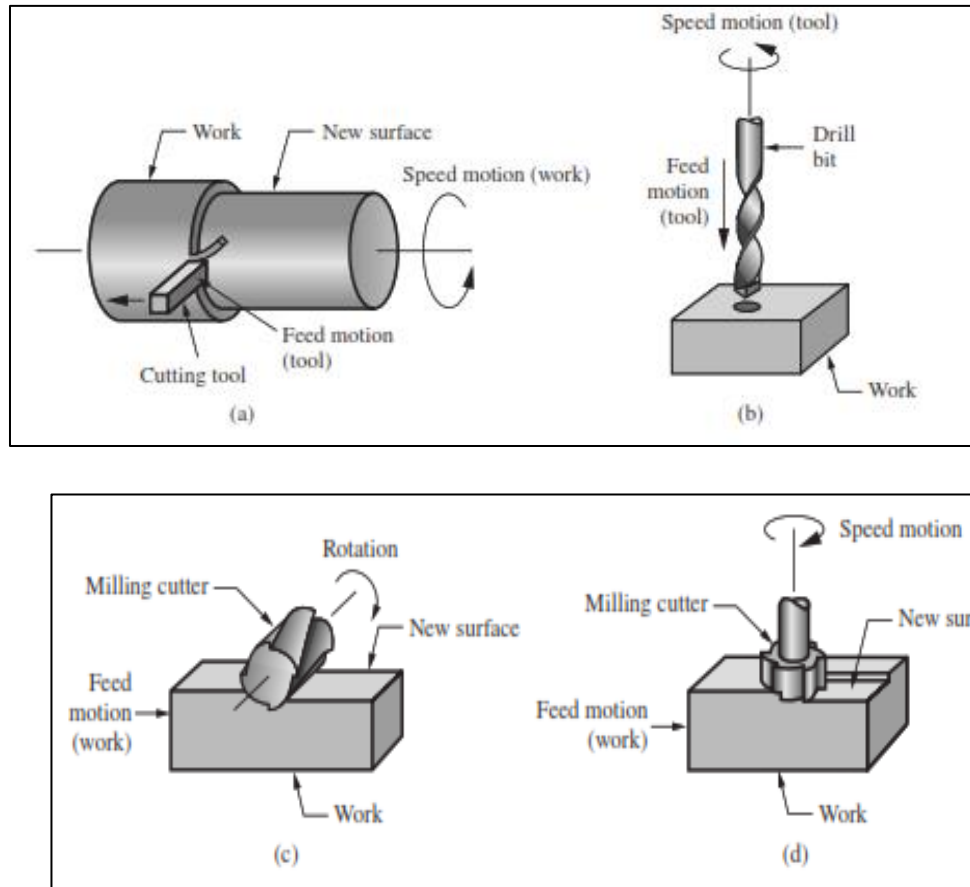
a. Jenis Operasi Mesin

Ada banyak jenis operasi permesinan, yang masing-masing mampu menghasilkan geometri bagian dan tekstur permukaan tertentu. Gerak kecepatan dalam berbelok disediakan oleh bagian kerja yang berputar, dan gerak umpan dicapai dengan pahat potong yang bergerak perlahan dalam arah yang sejajar dengan sumbu perputaran benda kerja. Pengeboran digunakan untuk membuat lubang bundar, menggunakan alat putar yang diumpankan ke arah yang sejajar dengan sumbu rotasinya ke dalam pekerjaan, Alat yang disebut mata bor, Biasanya memiliki dua ujung tajam. Dalam penggerindaan, alat berputar dengan banyak *cutting edge* diumpankan perlahan di seluruh material kerja untuk menghasilkan bidang atau permukaan lurus. Arah gerakan umpan tegak lurus dengan sumbu rotasi pahat. Gerakan kecepatan disediakan oleh pemotong penggerindaan berputar. Dua bentuk dasar dari *milling* adalah *peripheral milling* dan *face milling*.

Operasi permesinan konvensional lainnya termasuk pembentukan, perencanaan, pemotongan, dan penggergajian. Selain itu, penggerindaan dan operasi abrasif serupa sering kali dimasukkan dalam kategori permesinan. Proses abrasif biasanya mengikuti permesinan konvensional dan digunakan untuk mencapai hasil akhir permukaan yang unggul pada bagian kerja.

b. Alat Pemotong

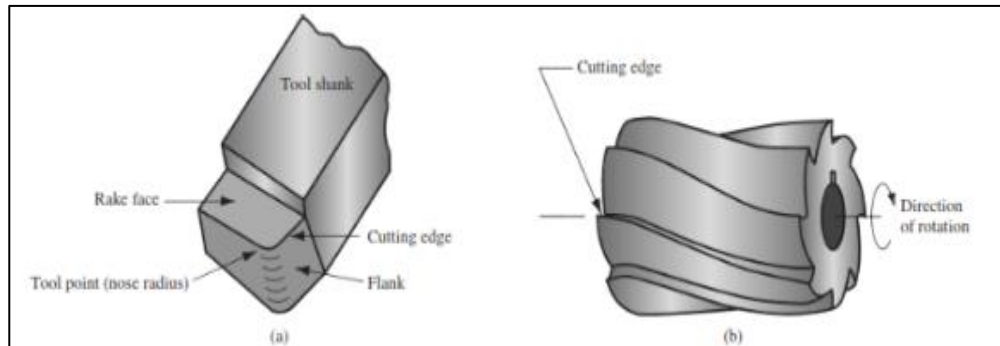
Sebuah alat potong memiliki satu atau lebih ujung potong yang tajam dan terbuat dari bahan yang lebih keras dari bahan kerja. *Cutting edge* berfungsi untuk memisahkan sebuah *chip* dari material pekerjaan induknya, seperti pada Gambar 8.3. Terhubung ke tepi tajam adalah dua permukaan pahat: permukaan penggaruk dan sisi samping. *Rake face*, yang mengarahkan aliran *chip* yang baru dibentuk, \ diorientasikan pada a



Gambar 8.3 Tiga jenis proses permesinan yang paling umum: (a) pembubutan, (b) pengeboran, dan dua bentuk milling: (c) milling perifer dan (d) milling muka.

Sudut tertentu disebut sudut rake α . Ini diukur relatif terhadap bidang yang tegak lurus dengan permukaan kerja. Sudut penggaruk bisa positif, seperti pada Gambar 8.3 (a), atau negatif, seperti pada (b). Sisi pahat memberikan jarak antara pahat dan permukaan kerja yang baru dibuat, sehingga melindungi permukaan dari abrasi, yang akan menurunkan hasil akhir. Permukaan sayap ini diorientasikan pada suatu sudut

Disebut sudut *clearance*, juga dikenal sebagai sudut relief. Kebanyakan *cutting tool* dalam praktiknya memiliki geometri yang lebih kompleks daripada yang ada di Gambar 8.3. Ada dua tipe dasar, contohnya diilustrasikan pada Gambar 8.4: (a) perkakas titik tunggal dan (b) perkakas *multi-cutting-edge*. Perkakas titik tunggal memiliki satu ujung tajam dan digunakan untuk pengoperasian



Gambar 8.4 (a) Pahat satu titik menunjukkan permukaan rake, sisi, dan titik pahat; dan (b) pemotong penggerindaan heliks.

Seperti berputar. Selain fitur pahat yang ditunjukkan pada Gambar 8.3, ada satu titik pahat yang menjadi asal nama pahat ini. Selama permesinan, titik pahat menembus di bawah permukaan pekerjaan asli dari bagian tersebut. Titik tersebut biasanya dibulatkan ke radius tertentu yang disebut radius hidung. Perkakas *multi-cutting-edge* memiliki lebih dari satu *cutting edge* dan biasanya dapat digunakan gerakan mereka relatif terhadap bagian pekerjaan dengan memutar. Pengeboran dan penggerindaan menggunakan alat mutakhir multipel yang berputar. Gambar 8.4 (b) menunjukkan pemotong penggerindaan *heliks* yang digunakan dalam penggerindaan *periferal*. Meskipun bentuknya sangat berbeda dari pahat titik tunggal, banyak elemen geometri pahat serupa.

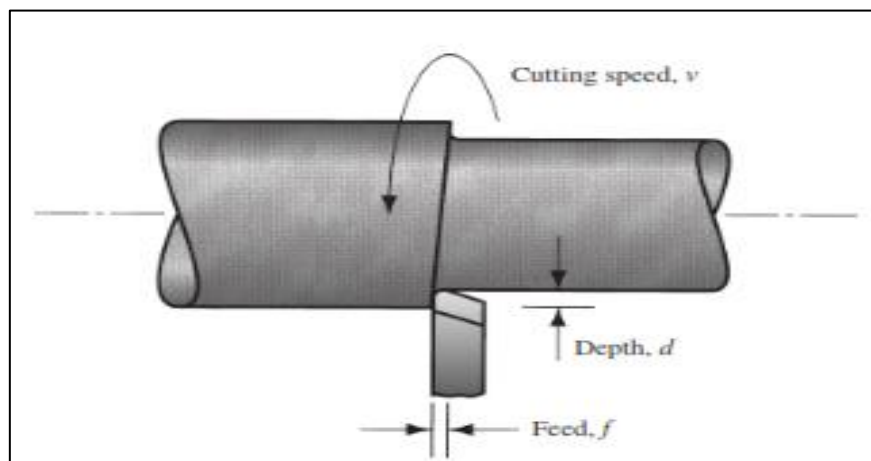
c. Kondisi Pemotongan

Gerakan relatif diperlukan antara alat dan pekerjaan untuk melakukan operasi permesinan. Gerakan utama dilakukan pada kecepatan potong tertentu v . Selain itu, pahat harus digerakkan secara menyamping di seluruh pekerjaan. Ini adalah gerakan yang jauh lebih lambat, yang disebut umpan f . Itu Dimensi potongan yang tersisa adalah penetrasi alat potong di bawah permukaan pekerjaan asli, yang disebut kedalaman potong d . Secara kolektif, kecepatan, umpan, dan kedalaman potong disebut kondisi pemotongan. Mereka membentuk tiga dimensi proses permesinan, dan untuk operasi tertentu (misalnya, sebagian besar operasi pahat titik tunggal) mereka dapat digunakan untuk menghitung tingkat pemindahan material untuk proses tersebut:

$$R_{MR} = vfd$$

Di mana tingkat pemindahan material RMR, mm³ / s (dalam 3 / menit); v = kecepatan potong, m / s (ft / min), yang diubah menjadi mm / s (in / min); f = umpan, mm (in); dan d = kedalaman potong, mm (in). Kondisi pemotongan untuk operasi pembubutan digambarkan pada Gambar 8.85. Satuan tipikal untuk kecepatan potong adalah m / s atau m / min (ft / min). Umpan dalam belokan dinyatakan dalam mm / rev (in / rev), dan kedalaman pemotongan dinyatakan dalam mm (in). Dalam operasi permesinan lainnya, interpretasi pemotongan kondisi mungkin berbeda.

Operasi permesinan biasanya dibagi menjadi dua kategori, dibedakan berdasarkan tujuan dan kondisi pemotongan: pemotongan kasar dan pemotongan akhir. Potongan kasar digunakan untuk menghilangkan banyak bahan dari bagian pekerjaan awal secepat mungkin, untuk menghasilkan bentuk yang mendekati bentuk yang diinginkan, tetapi meninggalkan beberapa bahan pada bagian tersebut untuk operasi penyelesaian selanjutnya. Pemotongan akhir digunakan untuk menyelesaikan bagian dan mencapai dimensi akhir, toleransi, dan permukaan akhir. Dalam pekerjaan permesinan produksi, satu atau lebih pemotongan kasar biasanya dilakukan pada pekerjaan, diikuti dengan satu atau dua pemotongan akhir.



Gambar 8.5 Kecepatan potong, umpan, dan kedalaman potong.

Mengingat material kerja dan tooling, pemilihan kondisi tersebut sangat berpengaruh dalam menentukan keberhasilan suatu operasi permesinan.

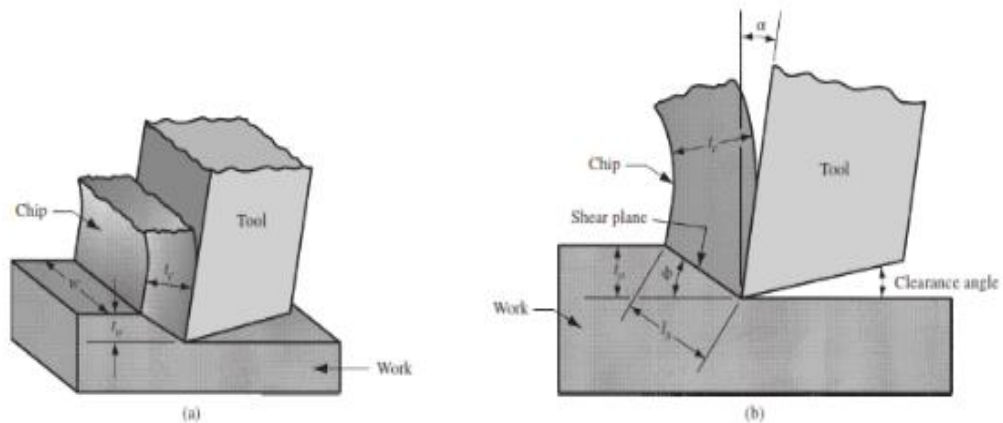
d. Peralatan Mesin

Alat mesin digunakan untuk menahan bagian kerja, memposisikan alat relatif terhadap pekerjaan, dan memberikan tenaga untuk proses permesinan pada kecepatan, umpan, dan kedalaman yang telah ditetapkan. Dengan mengontrol kondisi perkakas, pekerjaan, dan pemotongan, peralatan mesin memungkinkan suku cadang dibuat dengan akurasi dan pengulangan yang tinggi, dengan toleransi 0,025 mm (0,001 in) dan lebih baik. Istilah perkakas mesin berlaku untuk mesin yang digerakkan daya yang melakukan operasi permesinan, termasuk penggerindaan. Istilah ini juga diterapkan pada mesin yang melakukan operasi pembentukan logam.

Peralatan mesin tradisional yang digunakan untuk melakukan pembubutan, pengeboran, dan penggerindaan masing-masing adalah mesin bubut, mesin bor, dan mesin *milling*. Perkakas mesin konvensional biasanya dirawat oleh operator manusia, yang memuat dan membongkar bagian-bagian pekerjaan, mengganti alat pemotong, dan mengatur kondisi pemotongan.

3. Teori Pembentukan *Chip* dalam Permesinan Logam

Geometri dari sebagian besar operasi permesinan praktis agak rumit. Model permesinan yang disederhanakan tersedia yang mengabaikan banyak kompleksitas geometris, namun menjelaskan mekanika prosesnya cukup baik. Ini disebut model pemotongan ortogonal, Gambar 8.6. Meskipun proses permesinan sebenarnya adalah tiga dimensi, model ortogonal hanya memiliki dua dimensi itu memainkan peran aktif dalam analisis.



Gambar 8.6 Pemotongan ortogonal: (a) sebagai proses tiga dimensi dan (b) bagaimana pemotongan menjadi dua dimensi pada tampilan samping.

a. Model Pemotongan *Orthogonal*

Menurut definisi, pemotongan ortogonal menggunakan perkakas berbentuk baji yang ujung potongnya tegak lurus dengan arah Kecepatan potong. Saat pahat dipaksa masuk ke dalam material, *chip* dibentuk oleh deformasi geser di sepanjang bidang yang disebut bidang geser, yang diorientasikan pada sudut ϕ dengan permukaan benda kerja. Hanya pada ujung tajam alat yang terjadi kegagalan material, yang mengakibatkan pemisahan *chip* dari bahan induk. Sepanjang bidang geser, di mana energi mekanik dikonsumsi dalam permesinan, material mengalami deformasi plastis.

Perkakas pada pemotongan ortogonal hanya memiliki dua elemen geometri: (1) sudut rake dan (2) sudut jarak bebas. Seperti yang ditunjukkan sebelumnya, file sudut rake α menentukan arah arus *chip* saat terbentuk dari bagian kerja; dan sudut jarak memberikan jarak kecil antara sisi alat dan permukaan kerja yang baru dibuat. Selama pemotongan, tepi pemotongan pahat ditempatkan pada jarak tertentu di bawah permukaan pekerjaan asli. Ini sesuai dengan ketebalan *chip* sebelum pembentukan *chip*, ke. Saat *chip* terbentuk di sepanjang bidang geser, ketebalannya meningkat menjadi t_c . Rasio terhadap t_c disebut rasio ketebalan *chip* (atau hanya rasio *chip*) r :

$$r = \frac{t_e}{t_c}$$

Karena ketebalan *chip* setelah pemotongan selalu lebih besar dari ketebalan yang sesuai sebelum pemotongan, rasio *chip* akan selalu kurang dari 1,0. Selain itu, potongan ortogonal memiliki dimensi lebar w , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.6 (a), meskipun dimensi ini tidak memberikan banyak kontribusi untuk analisis dalam pemotongan ortogonal.

Geometri model pemotongan ortogonal memungkinkan hubungan penting untuk ditentukan antara rasio ketebalan *chip*, sudut rake, dan sudut bidang geser. Misalkan l_s adalah panjang bidang geser. Substitusi berikut dapat dilakukan: $ke = l_s \sin \phi$, dan $t_c = l_s \cos (\phi - \alpha)$. Jadi,

$$r = \frac{l_s \sin \phi}{l_s \cos(\phi - \alpha)} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)}$$

Ini dapat diatur ulang untuk menentukan ϕ sebagai berikut:

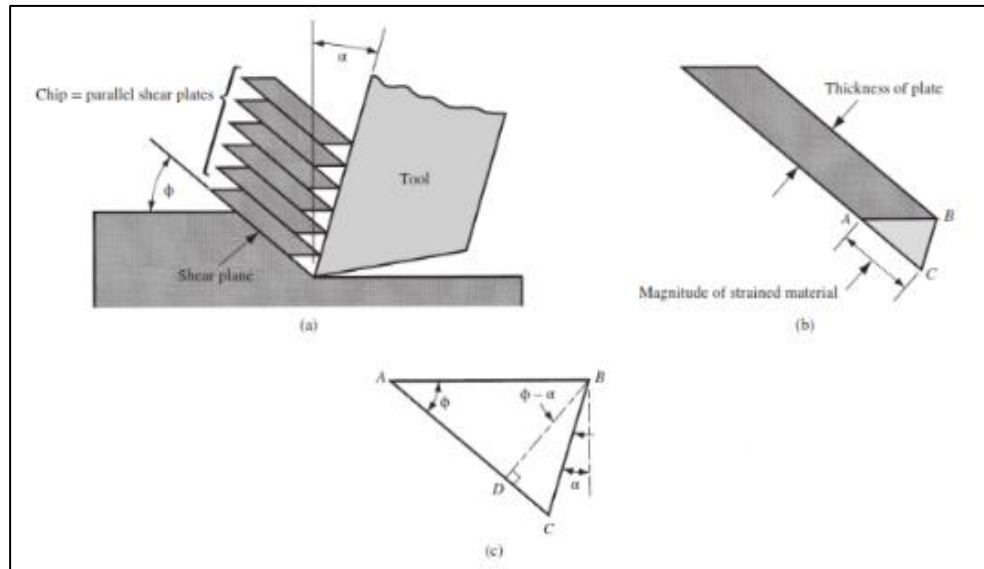
$$\tan \phi = \frac{r \cos \alpha}{1 - r \sin \alpha}$$

Regangan geser yang terjadi sepanjang bidang geser dapat diperkirakan dengan melihat Gambar 8.7. Bagian (a) menunjukkan deformasi geser yang didekati dengan serangkaian pelat sejajar yang bergeser terhadap satu yang lain untuk membentuk *chip*. Konsisten dengan definisi regangan geser (Bagian 3.1.4), setiap pelat mengalami regangan geser yang ditunjukkan pada Gambar 8.7 (b). Mengacu pada bagian (c), ini dapat dinyatakan sebagai

$$\gamma = \frac{AC}{BD} = \frac{AD + DC}{BD}$$

yang dapat direduksi menjadi definisi regangan geser berikut dalam pemotongan logam

$$\gamma = \tan(\phi - \alpha) + \cot \phi$$



Gambar 8.7 Regangan geser selama pembentukan chip: (a) pembentukan chip digambarkan sebagai rangkaian relatif geser pelat parallel satu sama lain, (b) salah satu pelat diisolasi untuk menggambarkan definisi regangan geser berdasarkan model pelat sejajar ini, dan (c) segitiga regangan geser digunakan untuk menurunkan Persamaan

Contoh 20.1 Pemotongan Ortogonal

Dalam operasi permesinan yang mendekati pemotongan ortogonal, pahat memiliki sudut rak = 10° . Ketebalan serpihan sebelum pemotongan $t = 0,50$ mm dan tebal serpihan setelah dipotong $t_c = 1,125$ mm. Hitung sudut bidang geser dan regangan geser dalam operasi tersebut.

Solusi: Rasio ketebalan *chip* dapat ditentukan dari Persamaan (20.2):

$$r = \frac{0.50}{1.125} = 0.444$$

Sudut bidang geser diberikan oleh Persamaan (20.3):

$$\tan \phi = \frac{0.444 \cos 10}{1 - 0.444 \sin 10} = 0.4738$$

$$\phi = 25.4^\circ$$

Akhirnya, regangan geser dihitung dari Persamaan (20.4):

$$\gamma = \tan(25.4 - 10) + \cot 25.4$$
$$\gamma = 0.275 + 2.111 = 2.386$$

b. Formasi *Chip* Sebenarnya

Perlu dicatat bahwa ada perbedaan antara model ortogonal dan proses permesinan yang sebenarnya. Pertama, proses deformasi geser tidak terjadi di sepanjang bidang, tetapi dalam zona berhingga ketebalan, disebut zona geser primer. Agar geser terjadi melintasi bidang dengan ketebalan nol, ini berarti bahwa aksi geser terjadi secara instan saat melewati bidang tersebut, daripada selama periode waktu yang terbatas (meskipun singkat). Agar material berperilaku realistis, deformasi geser harus terjadi dalam zona tipis ini. Model deformasi geser yang lebih realistis Proses dalam permesinan diilustrasikan pada Gambar 8.8. Percobaan pemotongan logam telah menunjukkan bahwa ketebalan zona geser hanya sekitar 0,1 mm (0,004 in). Karena zona geser sangat tipis, tidak ada kehilangan akurasi yang besar dengan menyebutnya sebagai bidang.

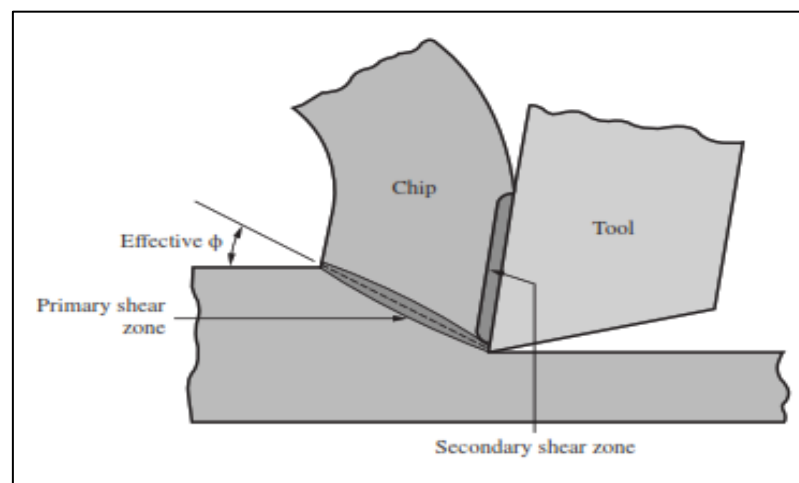
Kedua, selain deformasi geser yang terjadi pada zona geser primer, aksi geser lain terjadi pada *chip* setelah terbentuk. Geser tambahan ini disebut sebagai geser sekunder yang dihasilkan dari gesekan saat *chip* bergeser ke permukaan penggaruk pahat. Efeknya meningkat dengan meningkatnya gesekan antara pahat dan *chip*. Zona geser sekunder dapat dilihat pada Gambar 8.8.

Ketiga, pembentukan *chip* tergantung pada jenis material yang dikerjakan dan kondisi pemotongan operasi. Empat tipe dasar *chip* dapat dibedakan, ditunjukkan pada Gambar 8.9:

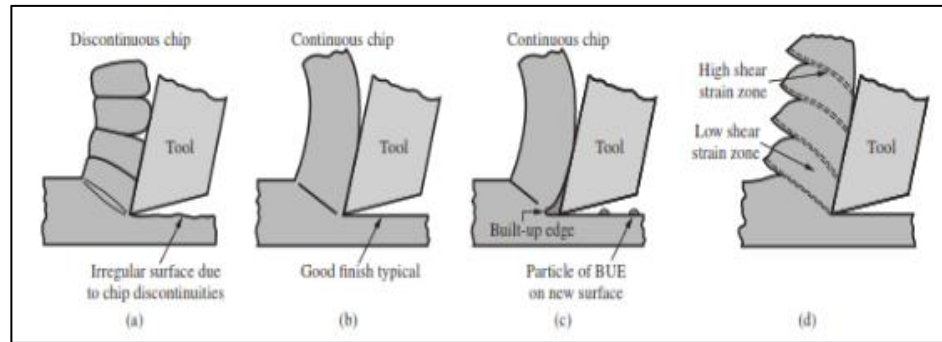
- 1) *Chip* terputus-putus. Ketika bahan yang relatif rapuh (mis., Besi tuang) dikerjakan dengan kecepatan potong rendah, serpihan cenderung terbentuk menjadi segmen terpisah (kadang-kadang terpasang longgar). Ini cenderung memberikan tekstur yang tidak teratur ke permukaan mesin. Gesekan alat-*chip* yang tinggi dan umpan yang besar serta kedalaman potongan mendorong pembentukan jenis *chip* ini.
- 2) *Chip* berkelanjutan. Ketika bahan kerja ulet dipotong pada kecepatan tinggi dan umpan dan kedalaman kecil, *chip* kontinu panjang akan

terbentuk. Hasil akhir permukaan yang baik biasanya dihasilkan saat jenis *chip* ini terbentuk. Pinggiran tajam pada pahat dan gesekan pahat-*chip* yang rendah mendorong pembentukan *chip* yang berkelanjutan. *Chip* yang panjang dan terus menerus (seperti saat memutar) dapat menyebabkan masalah terkait *chip* pembuangan dan / atau kekusutan tentang alat. Untuk mengatasi masalah ini, perkakas belok sering kali dilengkapi dengan pemutus *chip*

- 3) *Chip* berkelanjutan dengan *edge built-up*. Saat mengerjakan material ulet dengan kecepatan potong rendah hingga sedang, gesekan antara tool dan *chip* cenderung menyebabkan bagian material kerja menempel permukaan penggaruk pahat di dekat tepi tajam. Formasi ini disebut *built-up edge* (BUE). Pembentukan BUE bersifat siklus; itu terbentuk dan tumbuh, kemudian menjadi tidak stabil dan putus. Banyak BUE yang terlepas terbawa bersama *chip*, terkadang mengambil bagian dari permukaan penggaruk pahat dengan itu, yang mengurangi umur pahat. Bagian dari BUE yang terlepas yang tidak terbawa dengan *chip* menjadi tertanam di permukaan kerja yang baru dibuat, menyebabkan permukaan tersebut menjadi kasar.



Gambar 8.8 Tampilan formasi chip yang lebih realistis, menunjukkan zona geser daripada bidang geser. Juga diperlihatkan adalah zona geser sekunder yang dihasilkan dari gesekan pahat-*chip*..



Gambar 8.9 Empat jenis pembentukan chip dalam pemotongan logam: (a) terputus-putus, (b) kontinu, (c) kontinu dengan built-up tepi, (d) bergerigi.

Jenis *chip* sebelumnya pertama kali diklasifikasikan oleh Ernst pada akhir 1930-an. Sejak saat itu, logam yang tersedia yang digunakan dalam permesinan, material perkakas pemotong, dan kecepatan potong semuanya meningkat, dan jenis *chip* keempat telah diidentifikasi:

- 4) *Chip* bergerigi (juga disebut *chip* geser-terlokalisasi). *Chip* ini semi-kontinu dalam arti bahwa mereka memiliki tampilan gigi gergaji yang dihasilkan oleh pembentukan *chip* siklis dari regangan geser tinggi bergantian diikuti oleh regangan geser rendah. Jenis *chip* keempat ini paling erat kaitannya dengan logam tertentu yang sulit dikerjakan seperti paduan titanium, superalloy berbasis nikel, dan baja tahan karat austenitik saat dikerjakan dengan mesin pada kecepatan potong yang lebih tinggi. Namun, fenomena ini juga ditemukan pada logam kerja yang lebih umum (misalnya baja) ketika mereka dipotong dengan kecepatan tinggi.

c. Hubungan Paksa Dan Persamaan Dagang

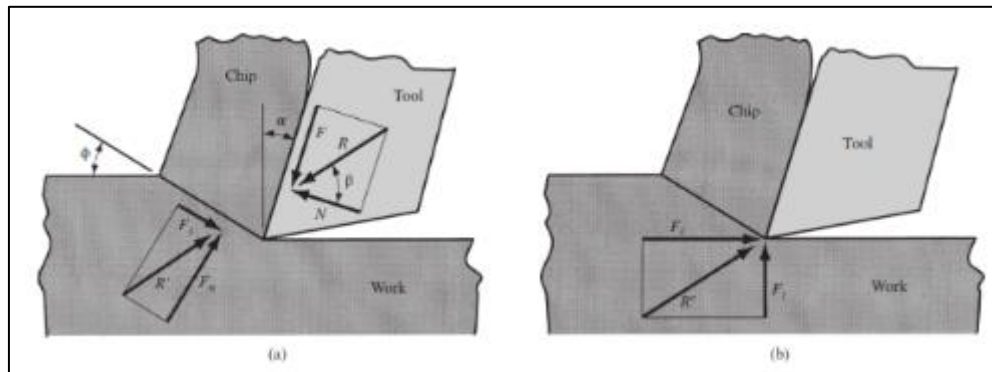
Beberapa gaya dapat ditentukan relatif terhadap model pemotongan ortogonal. Berdasarkan gaya-gaya ini, tegangan geser, koefisien gesekan, dan hubungan tertentu lainnya dapat dibentuk.

d. Gaya Dalam Pemotongan Logam

Pertimbangkan gaya yang bekerja pada *chip* selama pemotongan ortogonal pada Gambar 8.810 (a). Gaya yang diterapkan pada *chip* oleh alat dapat dipisahkan menjadi dua komponen yang saling tegak lurus: gaya gesek F , yaitu gaya gesek yang menahan aliran *chip* di sepanjang permukaan

penggaruk pahat, dan gaya normal terhadap gesekan N , yang tegak lurus dengan gaya gesek. Kedua komponen ini tentukan koefisien gesekan antara alat dan *chip*:

$$\mu = \frac{F}{N}$$



Gambar 8.10 Gaya dalam pemotongan logam: (a) gaya yang bekerja pada chip dalam pemotongan ortogonal dan (b) gaya yang bekerja pada pahat yang dapat diukur.

Gaya gesek dan gaya normalnya dapat ditambahkan secara vektor untuk membentuk gaya resultan R , yang diorientasikan pada sudut β , disebut sudut gesekan. Sudut gesekan berhubungan dengan koefisien gesekan sebagai

$$\mu = \tan \beta$$

Selain gaya pahat yang bekerja pada *chip*, ada dua komponen gaya yang diterapkan benda kerja pada *chip*: gaya geser F_s , yaitu gaya yang menyebabkan terjadinya deformasi geser pada bidang geser, dan gaya normal untuk geser F_n , yang tegak lurus dengan gaya geser. Tegangan geser yang bekerja sepanjang bidang geser antara pekerjaan dan *chip* didefinisikan sebagai

$$\tau = \frac{F_s}{A_s}$$

dimana A_s = luas bidang geser, yang dihitung sebagai berikut:

$$A_s = \frac{t_o w}{\sin \phi}$$

Tegangan geser dalmewakili tingkat tegangan yang diperlukan untuk melakukan operasi permesinan. Oleh karena itu, tegangan ini sama dengan kekuatan geser material kerja (S) pada kondisi saat pemotongan terjadi.

Penambahan vektor dari dua komponen gaya F_s dan F_n menghasilkan resultan gaya R' . Agar gaya yang bekerja pada *chip* seimbang, resultan R' ini harus sama besarnya, berlawanan arah, dan bertabrakan dengan resultan R .

4. Perkiraan Mengubah Dengan Pemotongan Orthogonal

Model ortogonal dapat digunakan untuk memperkirakan putaran dan operasi permesinan titik tunggal tertentu lainnya selama pengumpanan dalam operasi ini relatif kecil terhadap kedalaman pemotongan. Dengan demikian, sebagian besar pemotongan akan dilakukan searah dengan umpan, dan pemotongan pada titik pahat akan diabaikan. *Gambar 8.13* menunjukkan konversi dari satu geometri pemotongan ke geometri lainnya.

Interpretasi kondisi pemotongan berbeda dalam dua kasus. Ketebalan *chip* sebelum pemotongan ke dalam pemotongan ortogonal sesuai dengan umpan f dalam belokan, dan lebar potongan dalam pemotongan ortogonal sesuai dengan kedalaman pemotongan d dalam belokan. Selain itu, gaya dorong F_t dalam model ortogonal sesuai dengan gaya umpan F_f dalam belokan. Kecepatan potong dan gaya potong memiliki arti yang sama dalam dua kasus. Tabel 8.1 merangkum konversi.

Tabel 8.1 Kunci konversi: operasi pembubutan vs. pemotongan ortogonal.

Turning Operation	Orthogonal Cutting Model
Feed $f =$	Chip thickness before cut t_o
Depth $d =$	Width of cut w
Cutting speed $v =$	Cutting speed v
Cutting force $F_c =$	Cutting force F_c
Feed force $F_f =$	Thrust force F_t

5. Suhu Pemotongan

Jika total energi yang dikonsumsi dalam permesinan, hampir semuanya (~98%) diubah menjadi panas. Panas ini dapat menyebabkan suhu menjadi

sangat tinggi pada antarmuka alat-*chip* — lebih dari 600 ° C (1100 ° F) tidak sual. Energi yang tersisa (~2%) dipertahankan sebagai energi elastis dalam *chip*.

Suhu pemotongan penting karena suhu tinggi (1) mengurangi masa pakai pahat, (2) menghasilkan serpihan panas yang menimbulkan bahaya keselamatan bagi pekerja, dan (3) dapat menyebabkan ketidakakuratan pada dimensi bagian karena untuk ekspansi termal dari bahan kerja. Bagian ini membahas tentang perhitungan dan pengukuran suhu dalam permesinan.

C. SOAL – SOAL / LATIHAN

1. Apa Tujuan dari permesinan?
2. Sebutkan hasil geometri yang diinginkan dari hasil permukaan kerja?
3. Apa yang Di maksud dengan *Chip* terputus-putus?
4. Apa yang dimaksud dengan Model orthogonal?
5. Sebutkan dan Jelaskan Perkiraan Mengubah Dengan Pemotongan Orthogonal?

D. DAFTAR PUSTAKA

- Black, J., and Kohser, R. DeGarmo's. (2012). *Materials and Processes in Manufacturing, 11th ed.*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- Boothroyd, G., and Knight, W. A. (2006). *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools, 3rd ed.* CRC Taylor and Francis, Boca Raton, Florida.
- Groover, M. (2020). *Fundamental of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems (7th ed.)*. John Wiley & Sons, Inc
- Groover. (2013). *Fundamental Of Modern Manufacturing*. New york: John Wiley & Sons.
- Kalpakjian, S., and Schmid, S. (2007). *Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th ed.* Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Shaw, M. C. (2005). *Metal Cutting Principles, 2nd ed.* Oxford University Press, Oxford, UK.
- Trent, E. M., and Wright, P. K. *Metal Cutting*, 4th ed. Butterworth Heinemann, Boston, 2000.

PERTEMUAN 9

PENGERJAAN LOGAM LEMBARAN

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Memahami dan menjabarkan tentang proses pengerjaan logam lembaran , material, alat, mesin dan sumber daya yang digunakan, tahapan proses, dan mencari beberapa literature pendukung yang bisa digunakan dalam proses pengerjaan logam lembaran.

B. URAIAN MATERI

Pengerjaan logam lembaran meliputi operasi pemotongan dan pembentukan yang dilakukan pada lembaran logam yang relatif tipis. Ketebalan lembaran logam tipikal adalah antara 0,4 mm (1/64 in) dan 6 mm (1/4 in). Ketika ketebalan melebihi sekitar 6 mm, stok biasanya disebut sebagai pelat, bukan lembaran. Lembaran logam yang paling umum digunakan adalah baja karbon rendah (tipikal 0,06% hingga 0,15% C). Biaya rendah dan sifat mampu bentuknya yang baik dikombinasikan dengan kekuatan yang cukup untuk sebagian besar aplikasi produk membuatnya ideal sebagai bahan awal. Kepentingan komersial dari pengerjaan logam lembaran adalah signifikan. Pertimbangkan jumlah produk konsumen dan industri yang mencakup komponen lembaran atau pelat logam: badan dan rangka mobil dan truk, pesawat terbang, gerbong kereta api, lokomotif, peralatan pertanian dan konstruksi, perkakas, perabot kantor, dan banyak lagi. Meskipun contoh ini mencolok karena memiliki eksterior lembaran logam, banyak komponen internalnya juga terbuat dari stok pelat atau lembaran. Bagian lembaran logam umumnya dicirikan oleh akurasi dimensi yang baik kekuatan tinggi, permukaan akhir yang baik dan biaya yang relatif rendah. Untuk komponen yang harus dibuat dalam jumlah besar, operasi produksi massal yang ekonomis dapat dirancang untuk memproses suku cadang. Kaleng minuman aluminium adalah contoh utama. (Michigan, 2010)

Pengolahan lembaran logam biasanya dilakukan pada suhu kamar (pengerjaan dingin). Pengecualiannya adalah bila stoknya tebal, logamnya rapuh, atau deformasi yang signifikan. Ini biasanya kasus kerja hangat daripada kerja panas. Sebagian besar operasi lembaran logam dilakukan pada peralatan mesin yang disebut pengepres dan operasi tersebut dikenal sebagai pengerjaan logam lembaran. Istilah stamping press digunakan untuk membedakan penekan ini dari penempaan dan

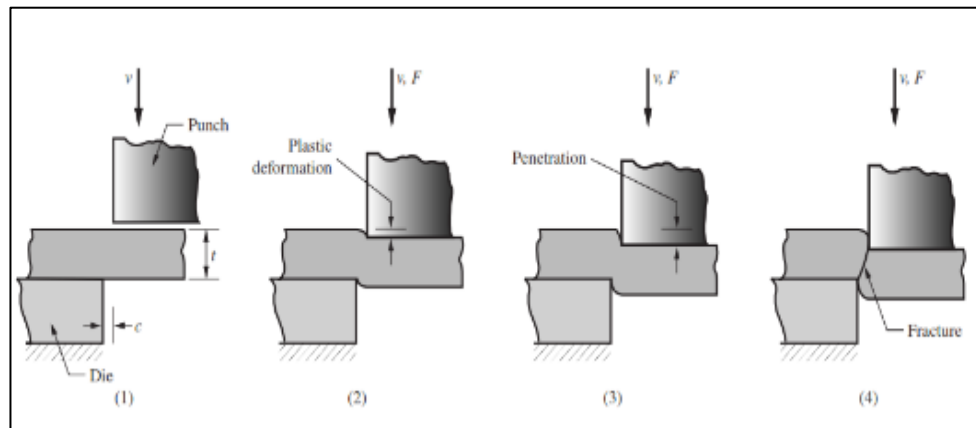
pengekstrusi. Perkakas yang digunakan untuk melakukan pengerjaan logam lembaran disebut punch dan die, istilah stamping die juga digunakan. Produk lembaran logam disebut stempel. Untuk memfasilitasi produksi massal, lembaran logam sering disajikan kepada pers sebagai strip atau gulungan panjang. Tiga kategori utama proses lembaran logam adalah (1) pemotongan, (2) pembengkokan, dan (3) menggambar. Pemotongan digunakan untuk memisahkan lembaran-lembaran besar menjadi potongan-potongan yang lebih kecil, memotong sebagian perimeter, dan membuat lubang di beberapa bagian. Pembengkokan dan gambar digunakan untuk membentuk bagian lembaran logam menjadi bentuk yang diinginkan.

1. Operasi Pemotongan

Pemotongan lembaran logam dilakukan dengan tindakan pemotongan antara dua ujung tajam. Tindakan pemotongan digambarkan dalam empat sketsa tindakan berhenti pada Gambar 9.1, dimana tepi pemotongan atas (pukulan) menyapu melewati tepi pemotongan bawah yang tidak bergerak (cetakan). Saat pukulan mulai mendorong ke dalam pekerjaan, deformasi plastik terjadi pada permukaan lembaran. Saat pukulan bergerak ke bawah, penetrasi terjadi di mana pukulan menekan lembaran dan memotong logam. Zona penetrasi ini umumnya sekitar sepertiga ketebalan lembaran. Saat pukulan terus berjalan ke dalam pekerjaan, fraktur dimulai pada pekerjaan di dua tepi tajam. Jika jarak antara pukulan dan cetakan benar, kedua garis patahan bertemu sehingga menghasilkan pemisahan yang bersih dari pekerjaan menjadi dua bagian. Tepi geser lembaran memiliki ciri khas seperti pada Gambar 9.2. Di bagian atas permukaan potongan adalah daerah yang disebut rollover. Ini sesuai dengan depresi yang dibuat oleh pukulan dalam pekerjaan sebelum pemotongan. Di sinilah deformasi plastis awal terjadi dalam pekerjaan. Tepat di bawah rollover adalah daerah yang relatif mulus yang disebut burnish. Ini hasil dari penetrasi pukulan ke dalam pekerjaan sebelum patah tulang dimulai. Di bawah burnish adalah zona retak, permukaan yang relatif kasar dari tepi potong di mana gerakan pukulan terus ke bawah menyebabkan patahnya logam. Akhirnya, di bagian bawah tepi ada duri, sudut menonjol tajam di tepi yang disebabkan oleh pemanjangan logam selama pemisahan akhir dari dua bagian. (Verly C, De Smet Y 2013)

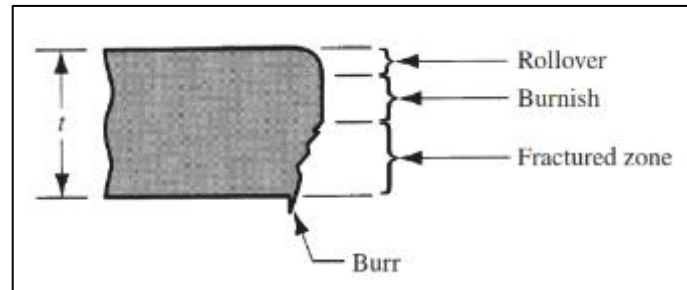
a. *Shearing, Blanking, dan Punching*

Tiga operasi terpenting dalam pengerjaan tekan yang memotong logam dengan mekanisme geser yang baru saja dijelaskan adalah menggeser, mengosongkan, dan meninju.

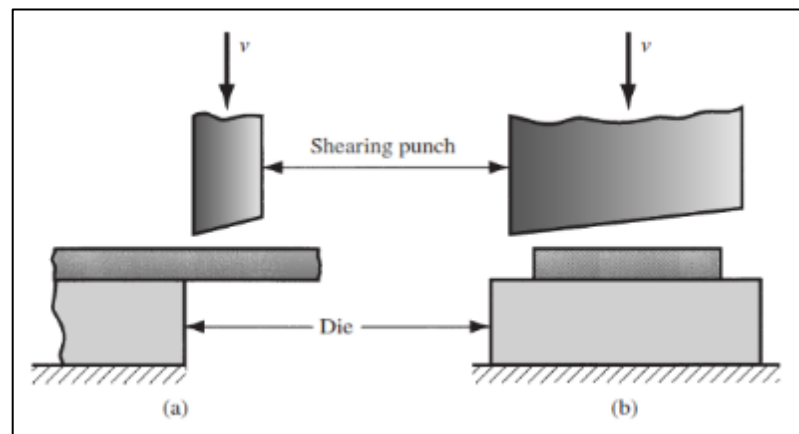


Gambar 9. 1 Pemotongan lembaran logam antara dua ujung tajam

Simbol v dan F menunjukkan gerakan dan gaya yang diterapkan, masing-masing, t = ketebalan stok, c = jarak bebas.



Gambar 9. 2 Karakteristik tepi geser pekerjaan



Gambar 9. 3 Operasi geser

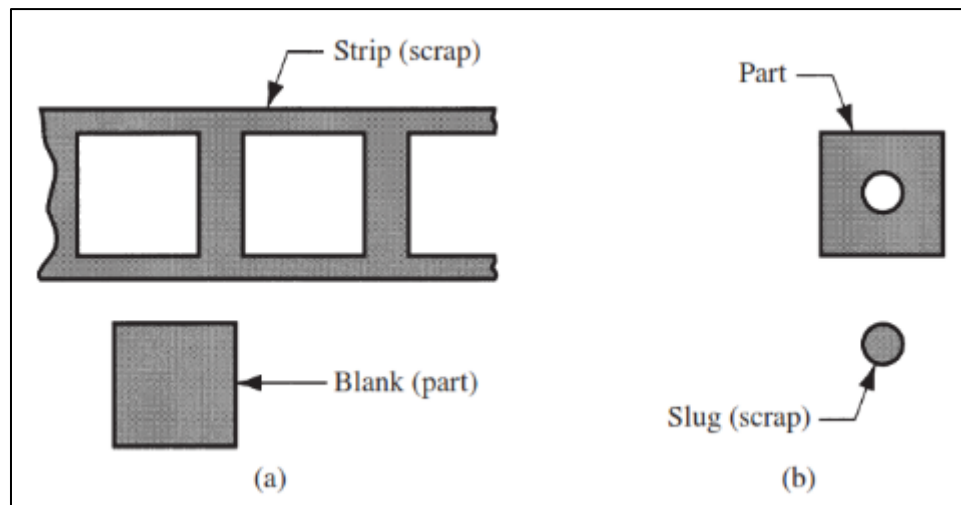
Pemotongan adalah operasi pemotongan lembaran logam sepanjang garis lurus antara dua tepi pemotongan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.3 (a). Pemotongan biasanya digunakan untuk memotong lembaran besar menjadi beberapa bagian yang lebih kecil untuk operasi pengerjaan tekan selanjutnya. Ini dilakukan pada mesin yang disebut power shears atau squaring shears. Bilah atas power shear sering dimiringkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.3 (b), untuk mengurangi gaya potong yang diperlukan. Kosong melibatkan pemotongan lembaran logam sepanjang garis tertutup dalam satu langkah untuk memisahkan potongan dari stok sekitarnya seperti pada Gambar 9.4 (a). Bagian yang dipotong adalah produk yang diinginkan dalam operasi tersebut dan disebut blank. Punching mirip dengan blanking kecuali menghasilkan lubang dan bagian yang dipisahkan adalah scrap yang disebut siput, sisa stok adalah bagian yang diinginkan. Perbedaannya diilustrasikan pada Gambar 9.4 (b).

b. Analisis Pemotongan Lembaran Logam

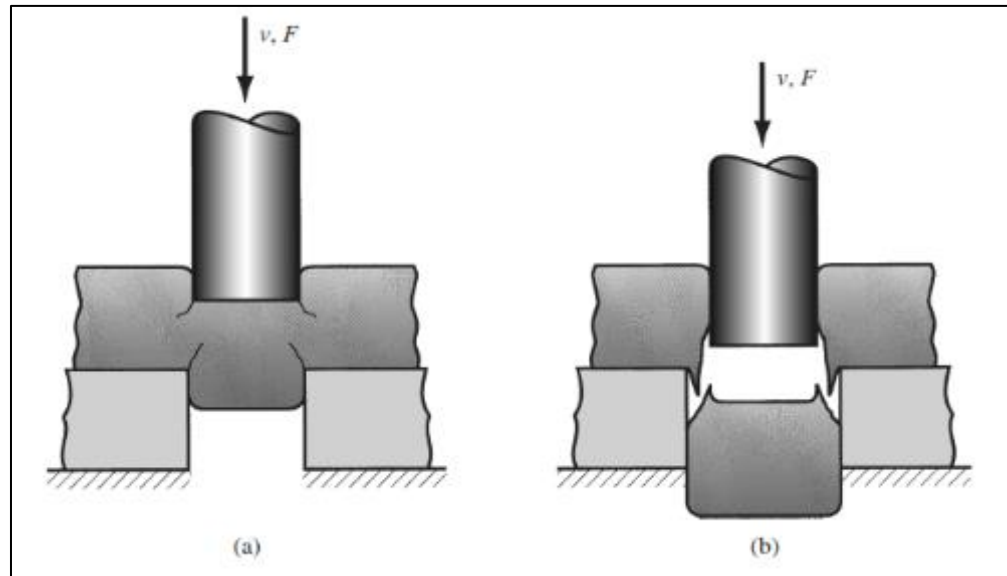
Parameter proses dalam pemotongan lembaran logam adalah jarak antara tepi tajam pukulan dan jenis ketebalan stok cetakan logam serta kekuatan dan panjang pemotongannya.

1) Jarak ruangan

Jarak bebas c dalam operasi geser adalah jarak antara pukulan dan cetakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.1 (a). Jarak bebas tipikal dalam pekerjaan tekan konvensional berkisar antara 4% dan 8% dari ketebalan lembaran logam t . Efek dari jarak yang tidak tepat diilustrasikan pada Gambar 9.5. Jika jarak bebas terlalu kecil, maka garis rekahan cenderung melewati satu sama lain yang menyebabkan pembakaran ganda dan gaya potong yang lebih besar. Jika jarak bebas terlalu besar, logam menjadi terjepit di antara pinggiran tajam dan hasil gerinda yang berlebihan. Dalam operasi khusus yang membutuhkan tepi yang sangat lurus seperti pencukuran dan pengosongan halus, jarak bebas hanya sekitar 1% dari ketebalan stok.



Gambar 9. 4 (a) Blanking dan (b) Punching



Gambar 9. 5 Efek Jarak Bebas

Jarak bebas yang benar tergantung pada jenis dan ketebalan lembaran logam. Izin yang direkomendasikan dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$c = A_c t$$

Dimana c = jarak bebas, mm (in): A_c = kelonggaran jarak dan t = tebal stok, mm (in). Tunjangan izin ditentukan sesuai dengan jenis logam. Untuk memudahkan, logam diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok dengan nilai penyisihan terkait untuk setiap kelompok. Nilai jarak bebas yang dihitung ini dapat diterapkan pada operasi blanking dan pelubang kertas konvensional untuk menentukan ukuran pukulan dan cetakan yang tepat. Bukaan cetakan harus selalu lebih besar dari ukuran pukulan. Apakah akan menambahkan nilai jarak ke ukuran cetakan atau menguranginya dari ukuran pukulan tergantung pada apakah bagian yang dipotong kosong atau siput seperti yang diilustrasikan pada Gambar 9.6 untuk bagian melingkar. Karena geometri tepi geser, dimensi luar bagian yang dipotong lembaran akan lebih besar dari ukuran lubang. Dengan demikian, ukuran pukulan dan cetakan untuk blanko bulat berdiameter D_b ditentukan sebagai

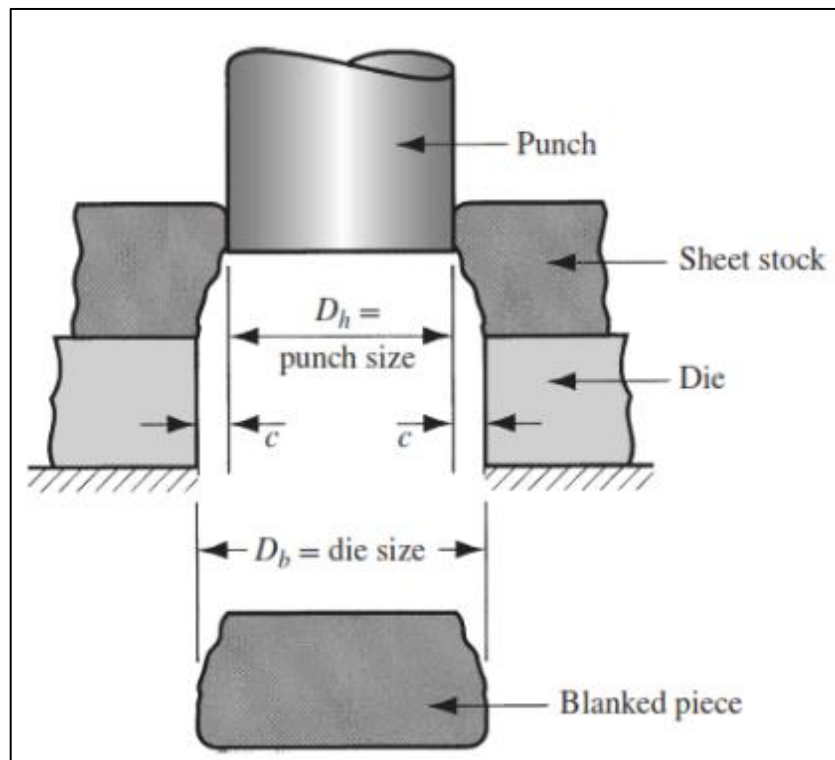
Diameter pukulan blanking = $D_b - 2c$

Diameter cetakan blanking = D_b

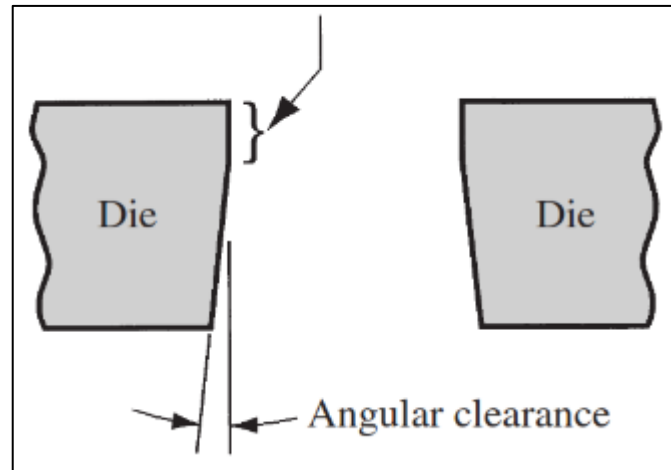
Ukuran pukulan dan die untuk diameter lubang bundar D_h ditentukan sebagai

Diameter lubang pukulan = D_h

Diameter lubang mati = $D_h + 2c$



Gambar 9. 6 Ukuran cetakan menentukan ukuran kosong D ; ukuran pukulan menentukan ukuran lubang D ; c = jarak ruang



Gambar 9. 7 Jarak Sudut

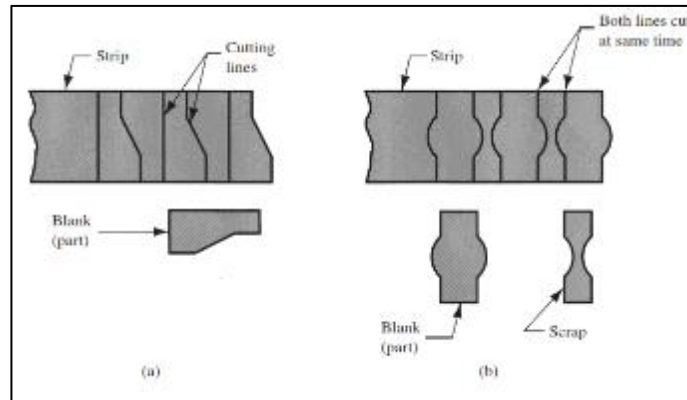
Agar siput atau blanko jatuh melalui cetakan, lubang cetakan harus memiliki jarak sudut (lihat Gambar 9.7) $0,25^\circ$ hingga $1,5^\circ$ di setiap sisi.

c. Operasi Pemotongan Lembaran Logam Lainnya

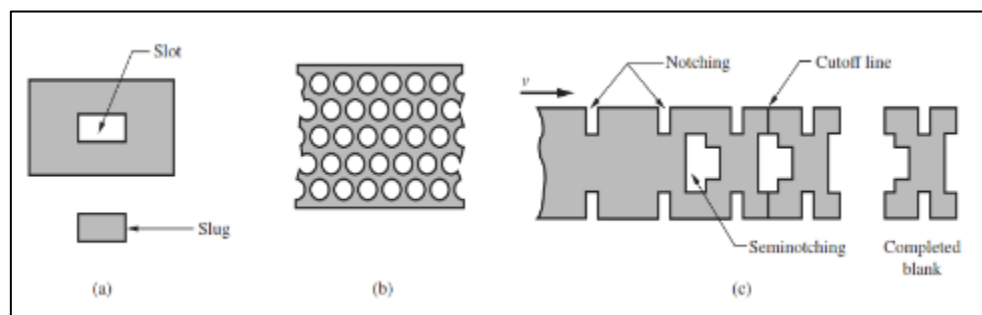
Selain memotong, mengosongkan, dan meninju, ada beberapa operasi pemotongan lainnya dalam pengerjaan tekan. Mekanisme pemotongan dalam setiap kasus melibatkan tindakan pemotongan yang sama seperti yang dibahas di atas.

1) *cutoff* dan *Parting*

Cutoff adalah operasi pemotongan di mana blanko dipisahkan dari strip lembaran logam dengan memotong sisi berlawanan dari bagian secara berurutan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8(a). Dengan setiap potongan, bagian baru diproduksi. Ciri-ciri operasi pemotongan yang membedakannya dari operasi pemotongan konvensional adalah (1) tepi pemotongan tidak harus lurus dan (2) bagian yang kosong dapat disarangkan pada strip sedemikian rupa sehingga serpihan dapat dihindari. *Perpisahan* melibatkan pemotongan lembaran logam strip dengan pukulan dengan dua tepi tajam yang cocok dengan sisi berlawanan dari kosong, seperti yang ditunjukkan pada Gambar.9.8(b) Ini mungkin diperlukan karena bagian



Gambar 9. 8 (a) Cutoff dan (b) Perpisahan



Gambar 9. 9 slotting, (b) perforasi, (c) dan seminotching

Garis luar memiliki bentuk tidak beraturan yang menghalangi penumpukan sempurna dari tempat kosong pada strip. Perpisahan kurang efisien daripada cutoff dalam arti menghasilkan material yang terbuang percuma.

2) *Slotting, Perforating, Dan Notching*

Slotting adalah istilah yang kadang-kadang digunakan untuk operasi meninju yang memotong lubang memanjang atau persegi panjang, seperti pada Gambar 9.9 (a). Perforasi melibatkan pelubangan secara bersamaan dari pola lubang pada lembaran logam, seperti pada Gambar 9.9 (b). Pola lubang biasanya untuk tujuan dekoratif, atau untuk memungkinkan lewatnya cahaya, gas, atau cairan. Untuk mendapatkan garis bentuk blank yang diinginkan, bagian lembaran logam sering kali dihilangkan dengan bentuk dan seminotch. Bentuk melibatkan pemotongan sebagian logam dari sisi lembaran atau strip. Seminotching

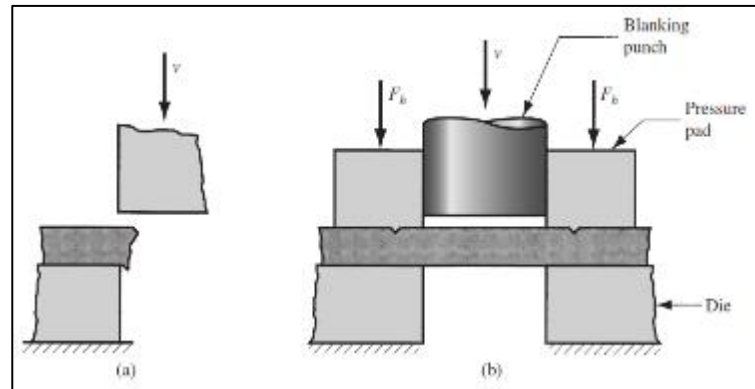
menghilangkan sebagian logam dari bagian dalam lembaran Operasi ini digambarkan pada Gambar 9.9 (c). Bagi pembaca, *Seminotching* mungkin sama dengan operasi pelubangan atau slotting. Perbedaannya adalah bahwa logam yang dihilangkan dengan *seminotching* menciptakan bagian dari garis luar kosong, sementara meninju dan membuat lubang membuat lubang di bagian yang kosong.

3) *Trimming, Shaving, Dan Fine Blanking*

Pemotongan adalah operasi pemotongan yang dilakukan pada bagian yang terbentuk untuk menghilangkan logam berlebih dan menetapkan ukuran. Contoh tipikal dalam pengerjaan logam lembaran adalah memotong bagian atas cangkir yang ditarik dalam untuk meninggalkan ukuran yang diinginkan pada cangkir.

a) *Shaving* adalah operasi pemotongan yang dilakukan dengan jarak bebas yang sangat kecil untuk mendapatkan dimensi yang akurat dan tepi potong yang mulus dan lurus, seperti yang digambarkan pada Gambar 9.10 (a). Pencukuran biasanya dilakukan sebagai operasi sekunder atau penyelesaian pada bagian yang telah dipotong sebelumnya.

b) *Finr blanking* adalah operasi pemotongan yang digunakan untuk mengosongkan bagian lembaran logam dengan toleransi rapat dan tepi lurus dan halus dalam satu langkah, seperti pada Gambar 9.10 (b). Pada awal siklus, bantalan tekanan dengan proyeksi berbentuk menerapkan gaya penahan F terhadap pekerjaan yang berdekatan dengan pukulan untuk menekan logam dan mencegah distorsi. Pukulan kemudian turun dengan kecepatan yang lebih lambat dari normal dan jarak yang lebih kecil untuk memberikan dimensi yang diinginkan dan tepi potong. Proses ini biasanya dilakukan untuk ketebalan stok yang relatif kecil.



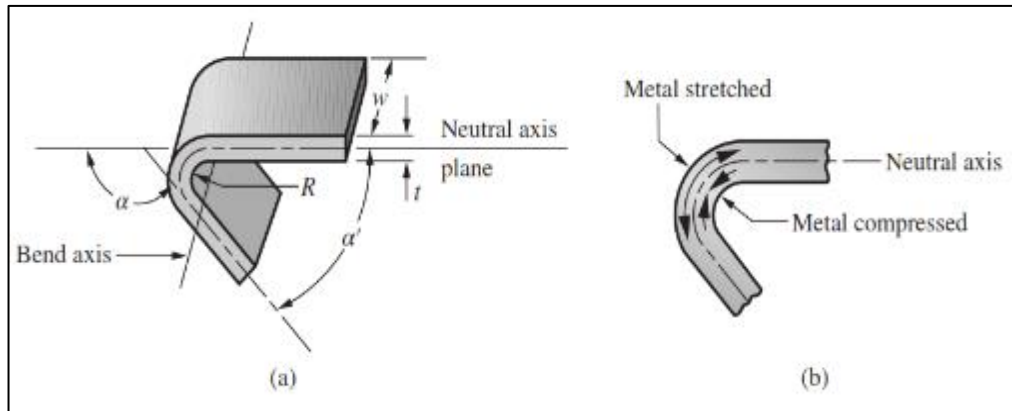
Gambar 9. 10 (a) Mencukur dan (b) blanking halus, Simbol v = gerak pukulan,
 F_h = gaya menahan kosong

2. Operasi Pembengkokan

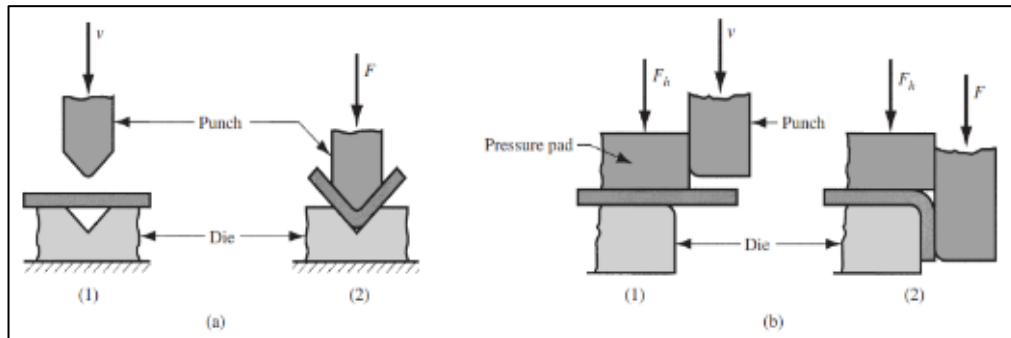
Pembengkokan dalam pekerjaan logam lembaran didefinisikan sebagai regangan logam di sekitar sumbu lurus seperti pada Gambar 9.11(a). Selama operasi pembengkokan, logam di bagian dalam bidang netral dikompresi sementara logam di bagian luar bidang netral diregangkan. Kondisi regangan ini dapat dilihat pada Gambar 9.11 (b). Logam ini mengalami deformasi plastis sehingga lengkungan menjadi permanen setelah menghilangkan tekanan yang menyebabkannya. Sebagian besar operasi pembengkokan menghasilkan sedikit atau tidak ada perubahan ketebalan lembaran logam.

a. V-Bending dan Edge Bending

Operasi pembengkokan dilakukan dengan menggunakan perkakas *punch and die*. Dua metode pembengkokan umum dan perkakas terkait adalah pembengkokan-V yang dilakukan dengan cetakan-V dan pembengkokan tepi yang dilakukan dengan cetakan penyeka. Metode ini diilustrasikan pada Gambar 9.12. Dalam pembengkokan V, lembaran logam dibengkokkan di antara pukulan berbentuk V dan cetakan. Sudut yang disertakan mulai dari sangat tumpul hingga sangat tajam dapat dibuat dengan V die. Pembengkokan V umumnya digunakan untuk operasi produksi rendah. Hal ini sering dilakukan dengan rem pers dan die V terkait relatif sederhana dan murah



Gambar 9. 11 (a) Pembekokan lembaran logam (b) baik kompresi maupun perpanjangan tarik logam terjadi pada pembengkokan



Gambar 9. 12 Dua metode pembengkokan umum

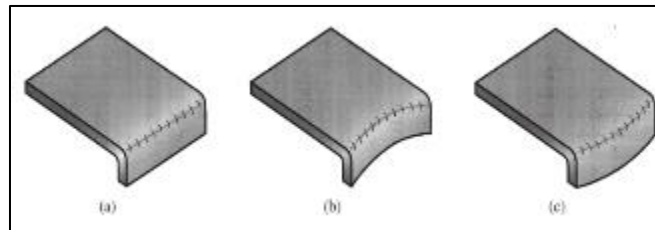
Menekuk tepi melibatkan pemuatan kantilever dari lembaran logam. Bantalan tekanan digunakan untuk menerapkan gaya F_h untuk menahan bagian dasar terhadap dadu, sementara pukulan memaksa bagian tersebut untuk menyerah dan menekuk di tepi dadu. Dalam konfigurasi yang ditunjukkan pada Gambar 9.12 (b), tekukan tepi dibatasi pada tikungan 90° atau kurang. Wiping dies yang lebih rumit dapat dirancang untuk sudut lengkung yang lebih besar dari 90° . Karena bantalan tekanan, *wiping dies* lebih rumit dan mahal daripada *V-dies* dan umumnya digunakan untuk pekerjaan produksi tinggi. (Michigan, 2010)

b. Operasi Pembengkokan dan Pembentukan Lainnya

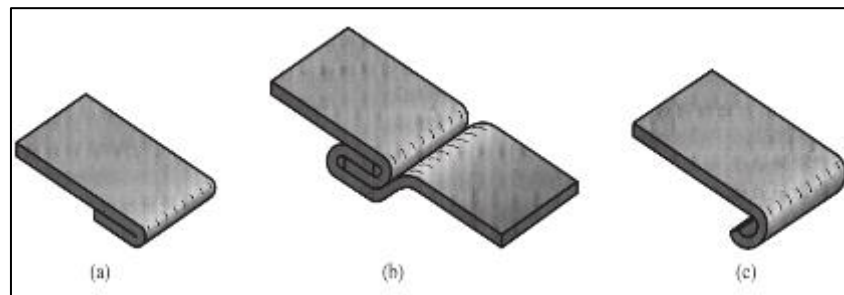
Beberapa operasi lembaran logam melibatkan pembengkokan pada sumbu lengkung daripada sumbu lurus atau mereka memiliki fitur lain yang membedakannya dari operasi pembengkokan yang dijelaskan di atas.

1) Operasi *Bending* Lain-Lain

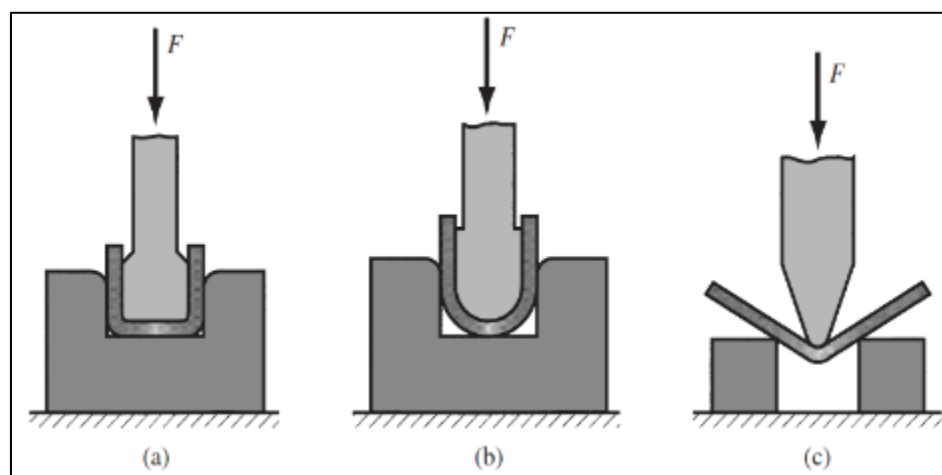
Berbagai operasi pembengkokan lainnya digambarkan pada Gambar 9.13 untuk mengilustrasikan berbagai bentuk yang dimungkinkan. Sebagian besar operasi ini dilakukan dalam cetakan yang relatif sederhana mirip dengan cetakan V.

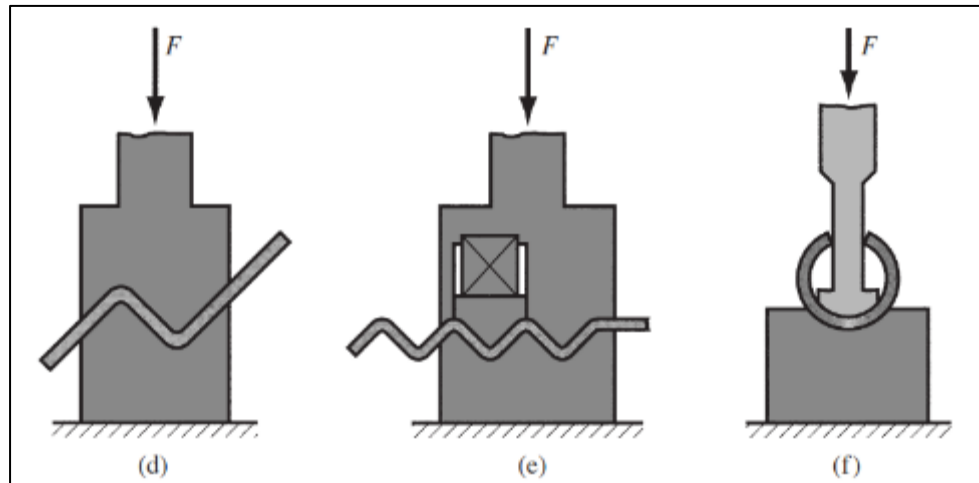


Gambar 9. 13 Flanging: (a) Flang lurus, (b) Flang regang, dan (c) Flens menyusut



Gambar 9. 14 (a) Hemming, (b) Seaming, dan (c) Curling





Gambar 9. 15 Berbagai Operasi Tekukan

3. Peralatan dan Ekonomi untuk *Pressworking* Lembaran-Logam

Bagian ini mensurvei pengepres dan perkakas khusus yang digunakan untuk melakukan proses lembaran-logam konvensional yang dibahas dalam liputan sebelumnya. Ini juga mencakup pengantar ekonomi pengerjaan press lembaran-logam.

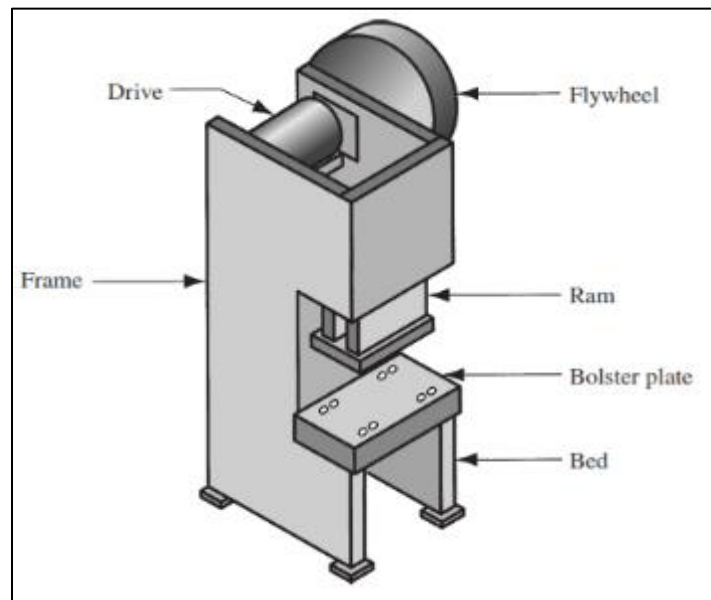
a. Menekan

Mesin pres yang digunakan untuk pengerjaan logam lembaran adalah perkakas mesin dengan alas stasioner dan ram bertenaga (atau slide) yang dapat didorong ke arah dan menjauhi alas untuk melakukan berbagai operasi pemotongan dan pembentukan. Mesin pres tipikal dengan komponen utama berlabel digambarkan pada Gambar 9.16. Posisi relatif dari unggun dan ram ditentukan oleh rangka dan ram digerakkan oleh tenaga mekanis atau hidrolik. Ketika set die dipasang di pers, dudukan pelubang dipasang ke ram dan dudukan cetakan dipasang ke pelat guling dari tempat tidur pers. Mesin press tersedia dalam berbagai kapasitas, sistem tenaga, dan jenis rangka. Kapasitas mesin press adalah kemampuannya untuk menghantarkan gaya dan energi yang dibutuhkan menyelesaikan operasi pengepakan yang diukur dalam kN (ton). Ini ditentukan oleh ukuran fisik pers dan oleh sistem tenaganya. Sistem tenaga mengacu pada apakah tenaga mekanis atau hidrolik digunakan dan jenis sistem penggerak apa yang mentransmisikan daya ke ram. Kecepatan tekan adalah aspek penting dari kapasitas yang biasanya diukur sebagai gerakan per menit. Bingkai pers mengacu pada

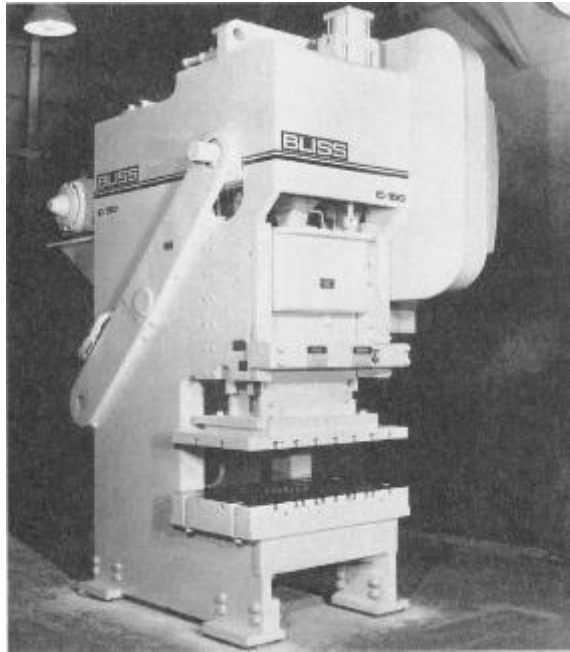
konstruksi fisik pers. Ada dua jenis bingkai yang umum digunakan bingkai celah dan bingkai sisi lurus. (Li S 2010)

1) Tekanan Bingkai Kesenjangan

Bingkai celah memiliki konfigurasi umum huruf C dan sering disebut bingkai C. Penekan bingkai celah memberikan akses yang baik ke cetakan dan biasanya terbuka di bagian belakang untuk memungkinkan pengeluaran cap atau skrap yang mudah dikeluarkan. Jenis utama dari pers bingkai celah meliputi (a) bingkai celah padat, (b) punggung terbuka miring, (c) rem tekan, dan (d) tekan turet. Bingkai celah padat (kadang-kadang disebut hanya pers celah) memiliki konstruksi satu bagian, seperti pada Gambar 9.18. Mesin press dengan bingkai ini kaku, namun bentuk C memungkinkan akses yang nyaman dari



Gambar 9. 16 Komponen mesin press (penggerak mekanis) tipikal



Gambar 9. 17 Press bingkai celah untuk pengerjaan logam lembaran.

Kapasitas = 1350 kN (150 ton)

Sisi untuk memberi makan strip atau coil stock. Mereka tersedia dalam berbagai ukuran dengan kapasitas hingga sekitar 9000 kN (1000 ton). Model yang ditunjukkan pada Gambar 9.17 memiliki kapasitas 1350 kN (150 ton). Mesin pres miring dengan punggung terbuka memiliki rangka-C yang dipasang ke alas sedemikian rupa sehingga rangka dapat dimiringkan kembali ke berbagai sudut sehingga stempel jatuh melalui bukaan belakang karena gravitasi. Kapasitas pengepres OBI berkisar antara 9 kN (1 ton) dan sekitar 2250 kN (250 ton). Mereka dapat dioperasikan dengan kecepatan tinggi hingga sekitar 1000 pukulan per menit. Rem pers adalah pers bingkai celah dengan tempat tidur yang sangat lebar yang ditunjukkan pada Gambar 9.18. Hal ini memungkinkan sejumlah cetakan terpisah (cetakan pembengkokan V sederhana adalah tipikal) untuk dipasang di tempat tidur sehingga sejumlah kecil stempel dapat dibuat secara ekonomis. Jumlah suku cadang yang rendah ini terkadang membutuhkan banyak tikungan pada sudut yang berbeda memerlukan operasi manual. Untuk bagian yang memerlukan serangkaian tekukan, operator memindahkan bagian awal lembaran logam melalui urutan cetakan tekukan yang diinginkan dengan

menggerakkan pers pada setiap cetakan untuk menyelesaikan pekerjaan yang diperlukan.

Sementara rem tekan disesuaikan dengan baik untuk operasi tekukan, mesin press turret cocok untuk situasi di mana urutan pelubangan, takik, dan operasi pemotongan terkait harus diselesaikan pada bagian lembaran logam seperti pada Gambar 9.19. Mesin press turret memiliki rangka-C, meskipun konstruksi ini tidak terlihat jelas pada Gambar 9.20. Ram dan pukulan konvensional diganti dengan menara yang berisi banyak pukulan dengan berbagai ukuran dan bentuk. Turret bekerja dengan mengindeks (memutar) ke posisi menahan pukulan untuk melakukan operasi yang diperlukan. Di bawah menara pukulan adalah menara mati yang sesuai yang memposisikan lubang cetakan untuk setiap pukulan. Antara pukulan dan cetakan adalah lembaran logam kosong yang dipegang oleh sistem penentuan posisi $x - y$ yang beroperasi dengan kontrol numerik komputer. Kosong dipindahkan ke posisi koordinat yang diperlukan untuk setiap operasi pemotongan.

2) Tekanan *Frame* Lurus

Untuk pekerjaan yang membutuhkan tonase tinggi, diperlukan rangka tekan dengan kekakuan struktural yang lebih besar. Mesin press sisi lurus memiliki sisi penuh, membuatnya seperti kotak



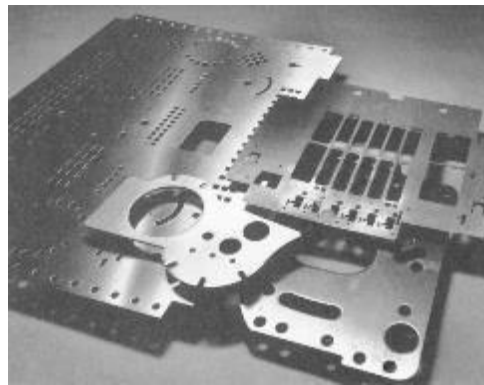
Gambar 9.18 Tekan Frame Lurus

Tampilan seperti pada Gambar 9.20. Konstruksi ini meningkatkan kekuatan dan kekakuan rangka. Hasilnya, kapasitas hingga 35.000 kN (4000 ton) tersedia dalam pengepres sisi lurus untuk pengerjaan logam lembaran. Tekanan besar dari jenis bingkai ini digunakan untuk penempaan. Dalam semua tekanan ini, ukuran bingkai celah dan bingkai sisi lurus berkorelasi erat dengan kapasitas tonase. Pengepres yang lebih besar dibuat untuk menahan gaya yang lebih tinggi dalam pengerjaan pengepresan. Ukuran pers juga terkait dengan kecepatan operasinya. Pengepres yang lebih kecil umumnya mampu menghasilkan laju produksi yang lebih tinggi daripada pengepres yang lebih besar. (Li S 2010)

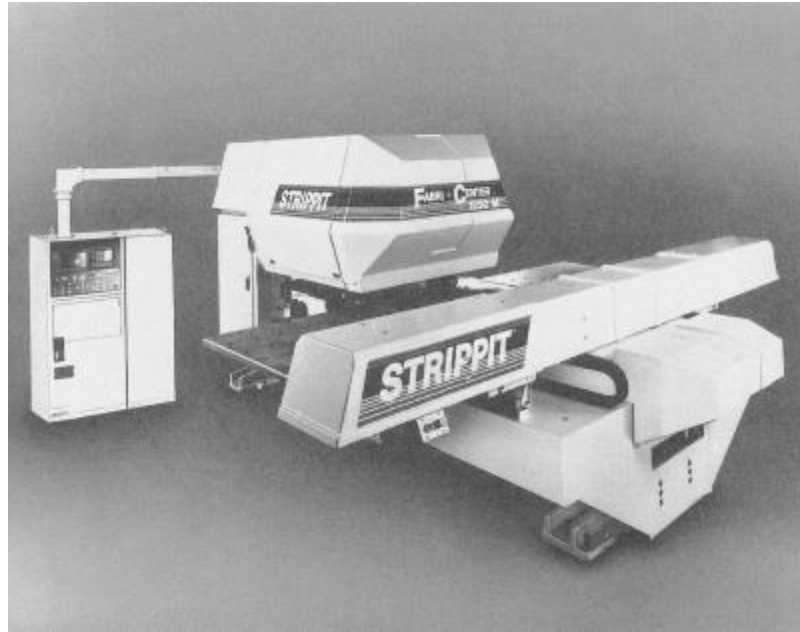
3) Sistem Daya Dan *Drive*

Sistem tenaga pada mesin press bersifat hidrolik atau mekanis. Pengepres hidrolik menggunakan piston dan silinder besar untuk menggerakkan ram. Sistem tenaga ini biasanya memberikan pukulan ram yang lebih lama daripada penggerak mekanis dan dapat mengembangkan gaya tonase penuh di seluruh langkah. Namun, ini lebih lambat. Penerapannya untuk lembaran logam biasanya terbatas pada penarikan dalam dan operasi pembentukan lainnya di mana karakteristik

beban-stroke ini menguntungkan. Penekan ini tersedia dengan satu atau beberapa slide yang dioperasikan secara independen, yang disebut aksi tunggal (slide tunggal), aksi ganda (dua slide), dan seterusnya. Penekanan aksi ganda berguna dalam operasi gambar dalam di mana diperlukan untuk mengontrol gaya pukulan dan gaya penahan kosong secara terpisah. Ada beberapa jenis mekanisme penggerak yang digunakan pada pengepres mekanis. Ini termasuk sambungan eksentrik, poros engkol, dan buku jari, diilustrasikan pada Gambar 19.21. Mereka mengubah gerakan rotasi motor penggerak menjadi gerakan linier ram. Roda gila digunakan untuk menyimpan energi motor penggerak untuk digunakan dalam operasi stamping. Pengepresan mekanis menggunakan penggerak ini mencapai sangat tinggi. (Li S 2010)



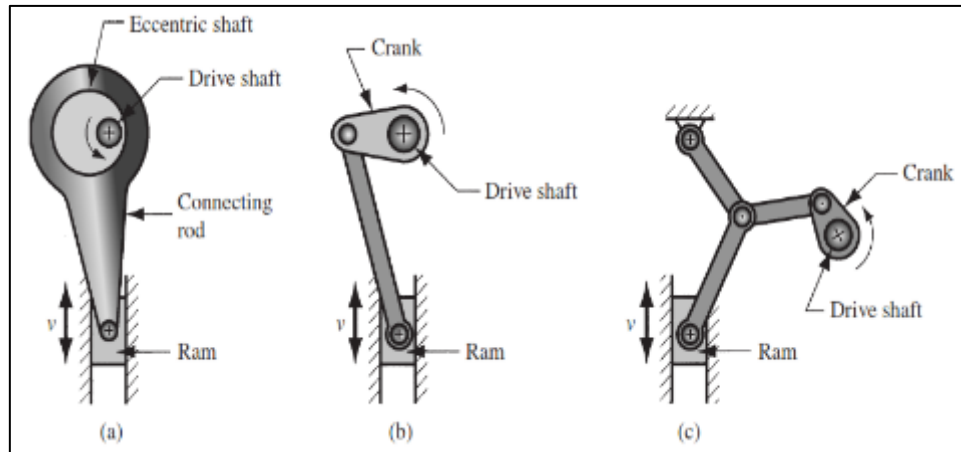
Gambar 9.19 Beberapa bagian lembaran logam yang dihasilkan pada mesin press turret, menunjukkan berbagai kemungkinan bentuk lubang



Gambar 9.20 Mesin press turret kontrol numerik computer



Gambar 9.21 Press bingkai sisi lurus



Gambar 9.2213 Jenis penggerak untuk pengepres lembaran logam:
(a) eksentrik, (b) poros engkol, dan (c) sambungan buku jari

Kekuatan di dasar pukulan mereka, dan oleh karena itu cukup cocok untuk operasi blanking dan punching. Sendi buku jari memberikan gaya yang sangat tinggi saat berada di bagian bawah, dan oleh karena itu sering digunakan dalam operasi penggabungan (Cascales & Lamata 2012).

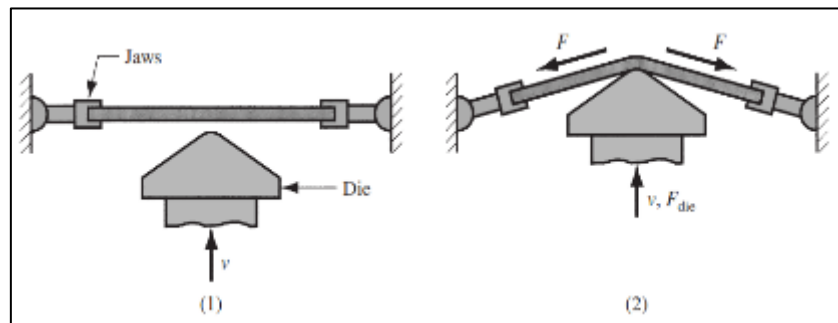
4. Operasi Lembaran-Logam Tidak Dilakukan pada Mesin Press

Sejumlah operasi lembaran logam tidak dilakukan pada mesin cetak konvensional. Bagian ini membahas beberapa dari proses ini: (1) pembentukan regangan, (2) pembengkokan dan pembentukan gulungan, (3) pemintalan, dan (4) proses pembentukan laju energi tinggi.

a. Pembentukan Peregangan

Pembentukan regangan adalah proses deformasi lembaran logam di mana lembaran logam sengaja diregangkan dan ditekuk secara bersamaan untuk mencapai perubahan bentuk. Prosesnya diilustrasikan pada Gambar 9.23 untuk tikungan yang relatif sederhana dan bertahap. Bagian pekerjaan dicengkeram oleh satu atau lebih rahang di setiap ujungnya dan kemudian diregangkan dan ditekuk di atas cetakan positif berisi bentuk yang diinginkan. Logam mengalami tegangan hingga tingkat di atas titik lelehnya. Ketika beban tegangan dilepaskan, logam telah berubah bentuk secara plastik. Kombinasi peregangan dan pembengkokan menghasilkan springback yang relatif kecil di

bagian tersebut. Perkiraan gaya yang dibutuhkan dalam pembentukan regangan dapat diperoleh.



Gambar 9.23 Pembentukan Regangan

Dalam bentuk persamaan,

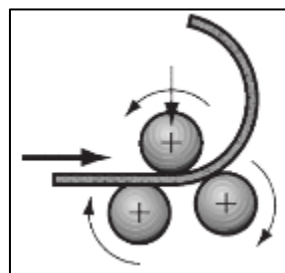
$$F = LtY_f$$

Dimana F = gaya regang, N (lb); L = panjang lembaran dalam arah tegak lurus peregangan, mm (in); t = ketebalan stok sesaat, mm (in); dan Y_f = tegangan aliran logam kerja, MPa (lb / in²). Gaya mati F_{die} yang ditunjukkan pada gambar dapat ditentukan dengan menyeimbangkan komponen gaya vertikal. Kontur yang lebih kompleks daripada yang ditunjukkan pada gambar dimungkinkan dengan pembentukan regangan, tetapi ada batasan tentang seberapa tajam kurva pada lembaran. Pembentukan peregangan banyak digunakan dalam industri pesawat terbang dan kedirgantaraan untuk secara ekonomis menghasilkan bagian logam lembaran besar dalam karakteristik jumlah rendah dari industri tersebut.

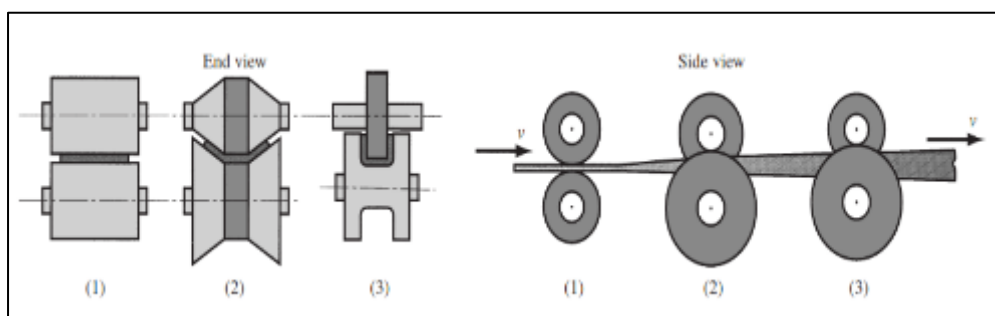
b. Roll Bending dan Roll Forming

Operasi yang dijelaskan di bagian ini menggunakan gulungan untuk membentuk lembaran logam. Pembengkokan gulungan adalah operasi di mana (biasanya) bagian logam lembaran atau pelat logam besar dibentuk menjadi bagian-bagian melengkung dengan menggunakan gulungan. Salah satu kemungkinan susunan gulungan digambarkan pada Gambar 9.24. Saat lembaran melewati antara gulungan, gulungan dibawa satu sama lain ke konfigurasi yang mencapai radius kelengkungan yang diinginkan pada

pekerjaan. Komponen untuk tangki penyimpanan besar dan bejana tekan dibuat dengan cara menekuk gulungan. Operasi juga dapat digunakan untuk membengkokkan bentuk struktural, rel kereta api, dan tabung. Operasi terkait adalah pelurusan gulungan di mana lembaran nonflat (atau bentuk penampang melintang lainnya) diluruskan dengan melewatkannya di antara serangkaian gulungan. Gulungan mengarahkan pekerjaan ke urutan penurunan tikungan kecil ke arah yang berlawanan, sehingga menyebabkannya lurus di pintu keluar. Pembentukan gulungan (juga disebut pembentukan gulungan kontur) adalah proses pembengkokan terus menerus di mana gulungan berlawanan digunakan untuk menghasilkan bagian panjang dari bentuk yang terbentuk dari gulungan atau stok strip. Beberapa pasang gulungan biasanya diperlukan untuk menyelesaikan penekukan stok secara bertahap ke dalam bentuk yang diinginkan. Prosesnya diilustrasikan pada Gambar 19.27 untuk bagian berbentuk U. Produk dibuat dengan gulungan (Michigan 2010).



Gambar 9.24 Roll lentur



Gambar 9.25 Pembentukan gulungan dari penampang saluran kontinu

Pembentukan meliputi saluran, talang, bagian berpihak logam (untuk rumah), pipa dan tabung dengan jahitan, dan berbagai bagian struktural. Meskipun pembentukan gulungan memiliki tampilan umum dari operasi

penggulungan (dan perkakas pasti terlihat serupa), perbedaannya adalah bahwa pembentukan gulungan melibatkan pembengkokan daripada mengompresi pekerjaan.

c. Memutar

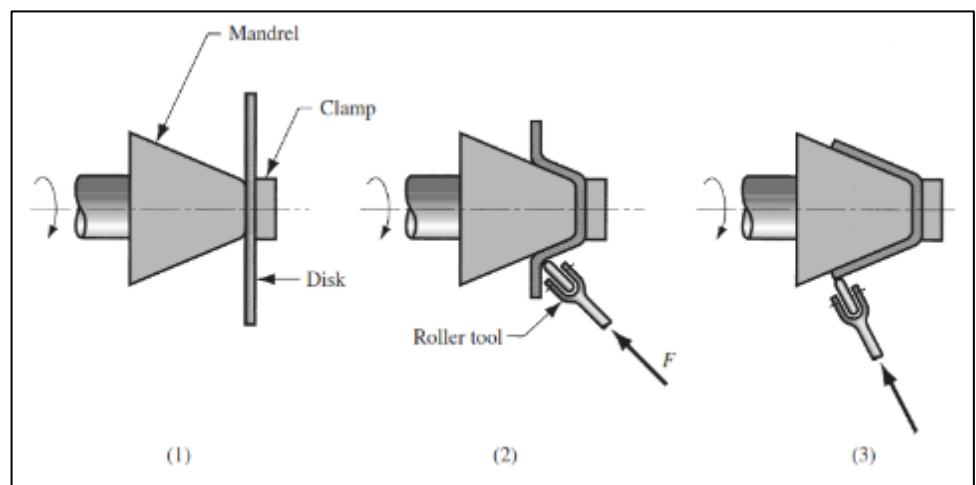
Pemintalan adalah proses pembentukan logam di mana bagian simetris aksial secara bertahap dibentuk di atas mandrel atau dibentuk dengan alat atau roller yang bulat. Pahat atau roller menerapkan gaya yang sangat terlokalisasi (hampir satu titik kontak) untuk mendeformasi pekerjaan dengan gerakan aksial dan radial di atas permukaan komponen. Bentuk geometris dasar yang biasanya dihasilkan dengan pemintalan meliputi cangkir, kerucut, belahan, dan tabung. Ada tiga jenis operasi pemintalan: (1) pemintalan konvensional, (2) pemintalan geser, dan (3) pemintalan tabung.

1) Pemutaran Konvensional

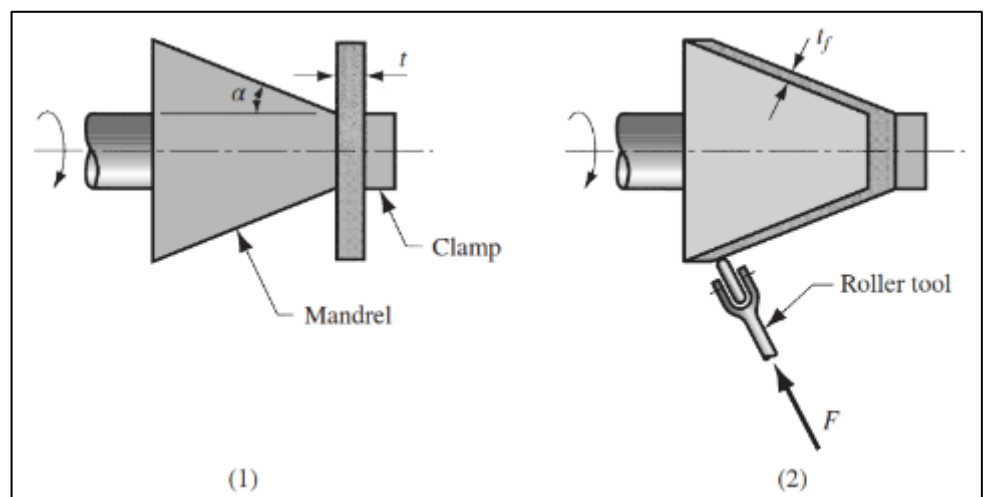
Pemintalan konvensional adalah operasi pemintalan dasar. Seperti diilustrasikan pada Gambar 9.26, piringan lembaran logam dipegang pada ujung mandrel yang berputar dengan bentuk bagian dalam yang diinginkan dari bagian akhir sementara pahat atau roller mengubah bentuk logam pada mandrel. Prosesnya membutuhkan serangkaian langkah seperti yang ditunjukkan pada gambar untuk menyelesaikan pembentukan bagian. Posisi pahat dikontrol baik oleh operator manusia (pemintalan manual), menggunakan titik tumpu tetap untuk mencapai daya ungkit yang diperlukan atau dengan metode otomatis seperti kontrol numerik (pemintalan daya). Power spinning memiliki kemampuan untuk menerapkan gaya yang lebih tinggi pada operasi yang menghasilkan waktu siklus yang lebih cepat dan kapasitas ukuran kerja yang lebih besar. Ini juga mencapai kontrol proses yang lebih baik daripada pemintalan manual.

Pemintalan konvensional membengkokkan logam di sekitar sumbu melingkar yang bergerak agar sesuai dengan permukaan luar mandrel sumbu simetris. Oleh karena itu, ketebalan logam tetap tidak berubah (lebih atau kurang) relatif terhadap ketebalan disk awal. Diameter piringan karena itu harus lebih besar dari diameter bagian yang dihasilkan. Diameter awal yang dibutuhkan dapat ditentukan dengan mengasumsikan volume konstan, sebelum dan sesudah pemintalan.

Penerapan pemintalan konvensional mencakup produksi bentuk kerucut dan lengkung dalam jumlah rendah. Suku cadang berdiameter sangat besar — hingga 5 m (15 kaki) atau lebih — dapat dibuat dengan pemintalan. Proses lembaran logam alternatif akan membutuhkan biaya die yang sangat tinggi. Bentuk mandrel dalam pemintalan dapat dibuat dari kayu atau bahan lunak lainnya yang mudah dibentuk. Oleh karena itu, ini adalah alat berbiaya rendah dibandingkan dengan pukulan dan cetakan yang diperlukan untuk gambar dalam, yang mungkin merupakan proses pengganti untuk beberapa bagian. (Michigan 2010)



Gambar 9.26 pemintalan Konvensional



Gambar 9.27 Shear Spinning: (1) penyetelan dan (2) Penyelesaian Proses

2) *Shear Spinning*

Dalam pemintalan geser, bagian tersebut dibentuk di atas mandrel dengan proses deformasi geser di mana diameter luar tetap konstan dan oleh karena itu ketebalan dinding dikurangi, seperti pada Gambar 9.27. Pengencangan geser ini (dan akibatnya menipis pada logam) membedakan proses ini dari aksi pembengkokan dalam pemintalan konvensional. Beberapa metode lain telah digunakan untuk pemintalan geser, termasuk pembubutan aliran, pembentukan geser, dan penempatan pemintalan. Proses tersebut telah diterapkan di industri dirgantara untuk membentuk bagian besar seperti kerucut hidung roket. Untuk bentuk kerucut sederhana pada gambar, ketebalan dinding pinal yang dihasilkan dapat segera ditentukan oleh hubungan hukum sinus:

$$t_f = t \sin \alpha$$

Dimana t_f = tebal akhir dinding setelah pemintalan, t = ketebalan awal piringan, dan α = sudut setengah mandrel. Penipisan dapat dihitung dengan r reduksi pemintalan:

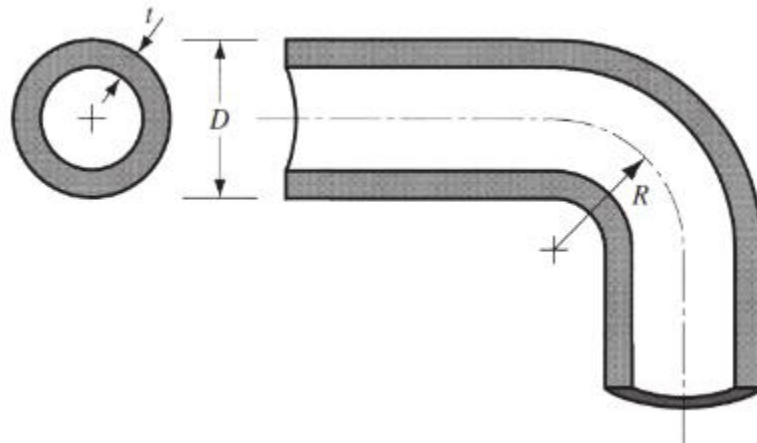
$$r = \frac{t - t_f}{t}$$

Ada batasan jumlah penipisan yang akan dialami logam dalam operasi pemintalan sebelum patah terjadi. Reduksi maksimum berkorelasi baik dengan reduksi luas dalam uji tegangan.

5. **Pembengkokan *Stok Tube***

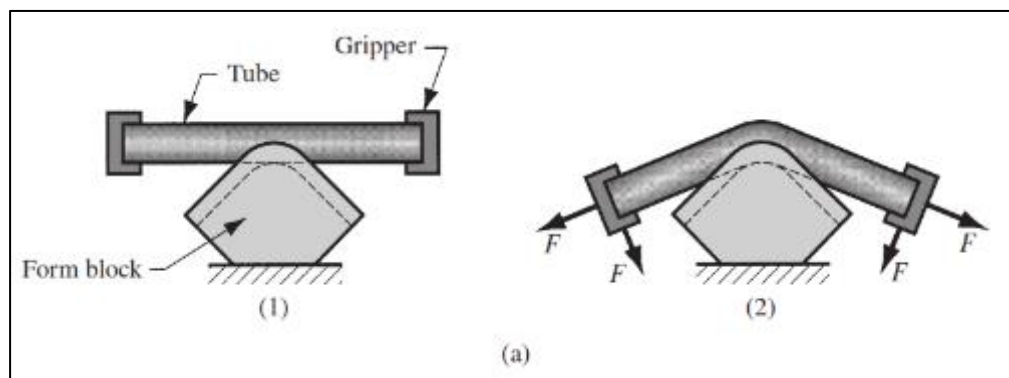
Beberapa metode untuk memproduksi tabung dan pipa dibahas pada bab sebelumnya, dan pemintalan tabung dijelaskan dalam Bagian. Bagian ini membahas metode di mana tabung ditekuk atau dibentuk. Membengkokkan stok tabung lebih sulit daripada stok lembaran karena tabung cenderung runtuh dan melipat saat dilakukan upaya untuk menekuknya. Mandrel fleksibel khusus biasanya dimasukkan ke dalam tabung sebelum ditekuk untuk menopang dinding selama operasi. Beberapa istilah dalam tekukan tabung didefinisikan pada Gambar 19.28. Jari-jari tikungan R ditentukan sehubungan dengan garis tengah tabung. Saat tabung ditekuk, dinding di bagian dalam tikungan mengalami kompresi, dan dinding di luar mengalami tegangan. Kondisi stres ini menyebabkan penipisan dan pemanjangan dinding luar dan penebalan serta

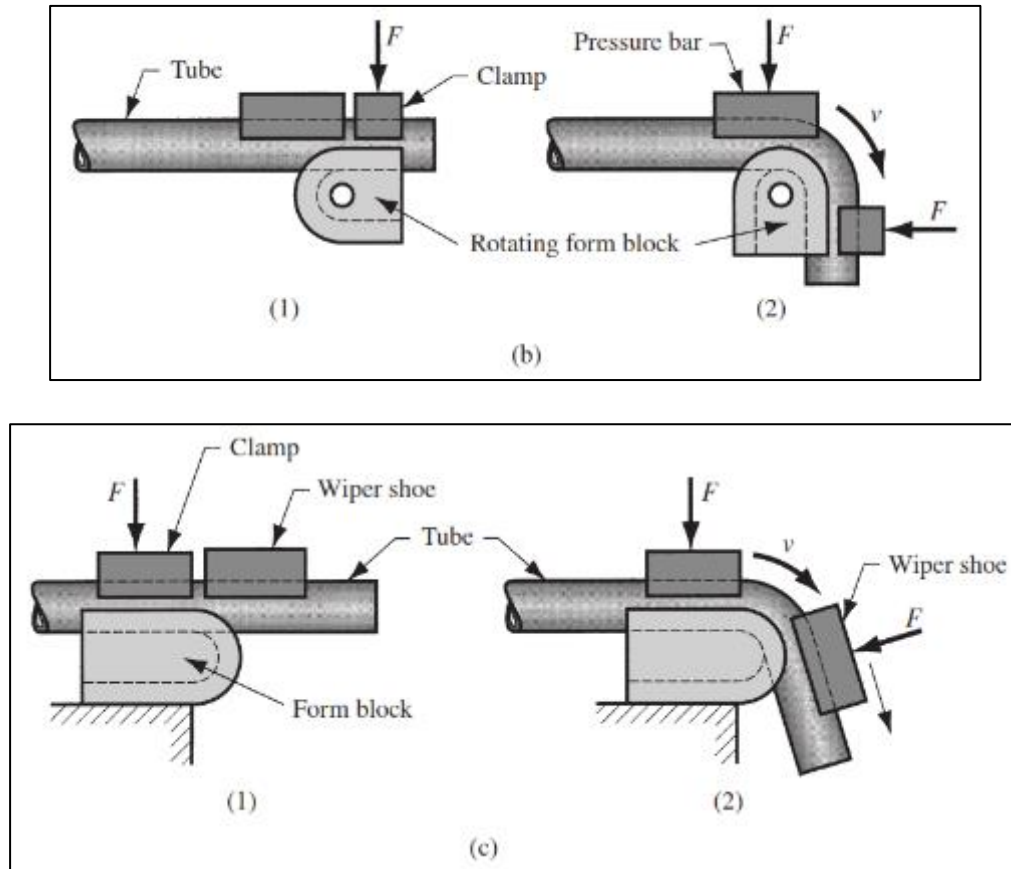
pemendekan dinding bagian dalam. Akibatnya, ada kecenderungan dinding bagian dalam dan luar akan dipaksa saling berhadapan sehingga penampang tabung menjadi rata. Karena kecenderungan perataan ini, radius tikungan minimum R yang dapat ditekuk oleh tabung adalah sekitar 1,5 kali diameter D saat menggunakan mandrel dan 3,0 kali D bila tidak ada mandrel. (Michigan, 2010)



Gambar 9.28 Dimensi dan istilah untuk tabung bengkok

Nilai pastinya tergantung pada faktor dinding WF , yaitu diameter D dibagi tebal dinding t . Nilai WF yang lebih tinggi meningkatkan radius tekukan minimum yaitu, pembengkokan tabung lebih sulit untuk dinding tipis. Keuletan material pekerjaan juga merupakan faktor penting dalam proses tersebut. Beberapa metode untuk membengkokkan tabung (dan bagian serupa) ditunjukkan pada Gambar 9.29. Peregangan lentur dilakukan dengan menarik dan menekuk tabung di sekitar blok bentuk tetap, seperti pada Gambar (a).





Gambar 9.29 Metode Pembengkokan Tabung

Pembengkokan gambar dilakukan dengan menjepit tabung pada balok bentuk, dan kemudian menarik tabung melalui tekukan dengan memutar balok seperti pada (b). Sebuah bar tekanan mendukung pekerjaan saat sedang ditekuk. Dalam pembengkokan kompresi, sepatu penghapus digunakan untuk membungkus tabung di sekitar kontur blok bentuk tetap, seperti dalam (c). Roll bending umumnya terkait dengan pembentukan stok lembaran, juga dapat digunakan untuk tabung lentur dan penampang melintang lainnya (Groover, 2019).

C. SOAL LATIHAN

1. Ketebalan lembaran logam tipikal diantaranya adalah?
2. Dalam operasi pemotongan terdapat 3 hal penting, sebutkan 3 hal tersebut?
3. Ciri-ciri operasi pemotongan yang membedakannya dari operasi pemotongan konvensional adalah ?
4. Dua metode pembengkokan umum dan perkakas terkait adalah
5. Flanging adalah operasi pembengkokan di mana tepi bagian lembaran logam ditekuk pada sudut?

D. DAFTAR PUSTAKA

- Buku Pegangan ASM. Vol. 14B: (2006). Pengerjaan Logam: Pembentukan Lembaran. ASM International, Material Park, Ohio.
- Groover, M. P. (2019). Fundamental of modern manufacturing 7th. USA: John wiley & sons Inc.
- Hosford, W. F., dan Caddell, R. M. (2007). Metal Pembentukan: Mekanika dan Metalurgi. Edisi ke-3. Cambridge University Press, Cambridge, Inggris.
- Kalpakjian, S., dan Schmid, S. (2008). Proses Manufaktur untuk Material Teknik. Edisi ke-5. Prentice Hall / Pearson, Upper Saddle River, New Jersey.
- Lange, K. (2006). Buku Pegangan Pembentukan Logam. Masyarakat Insinyur Manufaktur, Dearborn, Michigan.
- Nee, J. G. (ed.). (2010). Dasar-dasar Desain Alat. Edisi ke-6. Masyarakat Insinyur Manufaktur, Dearborn, Michigan.
- Schey, J. A. (2000). Pengantar Proses Manufaktur. Edisi ke-3. McGraw-Hill, New York.

PERTEMUAN 10

TEKNOLOGI ALAT PEMOTONG

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa mampu mengetahui dan merancang sistem dalam proses manufaktur serta membuat serangkaian aktivitas dalam memanfaatkan teknologi dalam proses pemotongan material, serta mencari beberapa literature dalam penggunaan teknologi alat pemotong material dalam proses manufaktur.

B. URAIAN MATERI

Operasi pemesinan dilakukan dengan menggunakan alat pemotong. Gaya dan suhu tinggi selama pemesinan menciptakan lingkungan yang sangat keras untuk pahat. Jika gaya potong menjadi terlalu tinggi maka pahat akan patah. Jika suhu pemotongan menjadi terlalu tinggi, material pahat melunak dan rusak. Jika tidak satu pun dari kondisi ini yang menyebabkan pahat gagal, keausan yang terus-menerus pada *cutting edge* pada akhirnya menyebabkan kegagalan.

Teknologi pahat memiliki dua aspek utama: material pahat dan geometri pahat. Yang pertama berkaitan dengan pengembangan material yang dapat menahan gaya, suhu, dan aksi keausan dalam proses pemesinan. Yang kedua berkaitan dengan pengoptimalan geometri pahat potong untuk material pahat dan untuk operasi tertentu. Sebaiknya mulai dengan mempertimbangkan umur pahat karena ini merupakan prasyarat untuk sebagian besar pembahasan selanjutnya tentang bahan pahat.

1. Bahan Alat

Tiga mode kegagalan pahat sesuai dengan tiga sifat penting yang diperlukan dalam material pahat:

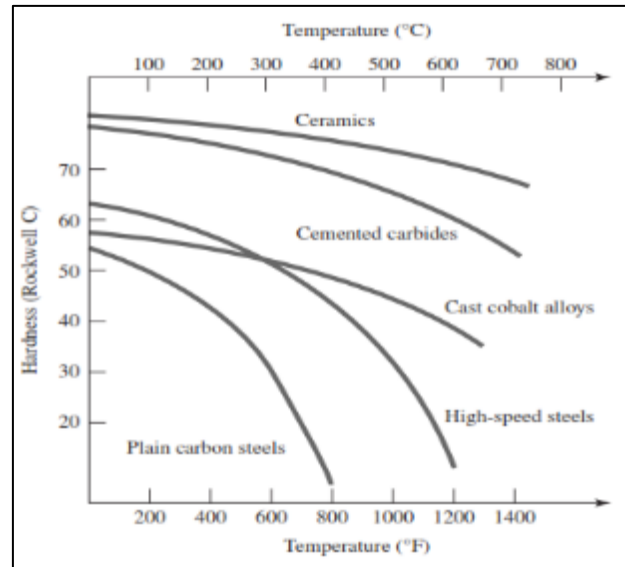
- a. Kekerasan. Untuk menghindari kerusakan patah, material perkakas harus memiliki ketangguhan yang tinggi yang merupakan kemampuan suatu material untuk menyerap energi tanpa putus. Biasanya ditandai dengan kombinasi kekuatan dan keuletan material
- b. Kekerasan panas. Kekerasan panas adalah kemampuan suatu material untuk mempertahankan kekerasannya pada suhu tinggi. Ini diperlukan karena lingkungan bersuhu tinggi tempat alat beroperasi.

- c. Ketahanan aus. Kekerasan adalah satu-satunya sifat terpenting yang dibutuhkan untuk menahan keausan abrasif. Semua bahan alat pemotong harus keras. Namun, ketahanan aus pada pemotongan logam bergantung pada lebih dari sekedar kekerasan pahat karena mekanisme keausan pahat lainnya. Karakteristik lainnya termasuk permukaan akhir pada pahat (permukaan yang lebih halus berarti gesekan lebih rendah), sifat kimia pahat dan bahan kerja, dan apakah cairan pemotongan digunakan.

Material alat pemotong mencapai kombinasi properti ini dalam berbagai derajat. Pada bagian ini, bahan alat pemotong berikut dibahas: (1) baja kecepatan tinggi dan pendahulunya, karbon biasa dan baja paduan rendah; (2) cor paduan kobalt; (3) karbida disemen, sermet, dan karbida berlapis; (4) keramik; (5) berlian sintetis dan kubik boron nitrida. Sebelum memeriksa materi individu ini, gambaran singkat dan perbandingan teknis akan membantu. Secara komersial, material perkakas yang paling penting adalah baja berkecepatan tinggi dan karbida tersemen, sermet, dan karbida berlapis. Kedua kategori ini mencakup lebih dari 90% alat potong yang digunakan dalam operasi pemrosesan. Tabel 10.1 dan Gambar 10.1 menyajikan data tentang properti berbagai bahan perkakas. Tabel 10.1 mencantumkan kekerasan suhu kamar dan kekuatan pecah melintang untuk bahan yang dipilih. Kekuatan pecah melintang adalah properti yang digunakan untuk menunjukkan ketangguhan material keras, kekerasan sebagai fungsi suhu untuk beberapa bahan perkakas yang dibahas pada bagian ini.

Tabel 10. 1 Nilai kekerasan khas (pada suhu kamar) dan kekuatan pecah melintang untuk berbagai bahan perkak

Material	Hardness	Transverse Rupture Strength	
		MPa	(lb/in ²)
<i>Plain carbon steel</i>	60 HRC	5200	(750,000)
<i>High-speed steel</i>	65 HRC	4100	(600,000)
<i>Cast cobalt alloy</i>	65 HRC	2250	(325,000)
<i>Cemented carbide (WC)</i>			
Low Co content	93 HRA, 1700 HK	1400	(200,000)
High Co content	90 HRA, 1500 HK	2400	(350,000)
<i>Cermet (TiC)</i>	2400 HK	1700	(250,000)
<i>Alumina (Al₂O₃)</i>	2100 HK	400	(60,000)
<i>Cubic boron nitride</i>	4700 HK	700	(100,000)
<i>Polycrystalline diamond</i>	7000 HK	1000	(150,000)
<i>Natural diamond</i>	8000 HK	1500	(215,000)



Gambar 10. 1 Hubungan kekerasan panas khas untuk bahan perkakas yang dipilih

Tabel 10. 2 Nilai representatif dari n dan C dalam persamaan umur pahat Taylor

Tool Material	n	C			
		Nonsteel Cutting		Steel Cutting	
		m/min	(ft/min)	m/min	(ft/min)
Plain carbon tool steel	0.1	70	(200)	20	(60)
High-speed steel	0.125	120	(350)	70	(200)
Cemented carbide	0.25	900	(2700)	500	(1500)
Cermet	0.25			600	(2000)
Coated carbide	0.25			700	(2200)
Ceramic	0.6			3000	(10,000)

Tabel 10.2 mencantumkan nilai perwakilan n dan C untuk bahan alat pemotong yang dipilih. Perkembangan kronologis material perkakas umumnya mengikuti jalur di mana material baru memungkinkan kecepatan potong yang lebih tinggi dan lebih tinggi. Peningkatan dramatis dalam produktivitas pemesinan telah dimungkinkan oleh kemajuan teknologi material perkakas. Saat baja berkecepatan tinggi mulai diganti. Baja perkakas karbon biasa di awal tahun 1900-an, kecepatan pemotongan yang diizinkan untuk baja pemesinan meningkat dari sekitar 5 m / mnt (15 kaki / mnt) menjadi 25 m / mnt (75 kaki / mnt), peningkatan lima kali lipat. Mulai tahun 1930-an, karbida yang disemen meningkatkan kecepatan pemotongan yang diijinkan untuk baja menjadi sekitar 150 m / menit (450 kaki / menit), dan seterusnya. Boron nitrida kubik saat ini dapat digunakan untuk memotong baja dengan kecepatan sekitar 500 m / menit

(1500 kaki / menit). Praktik perkakas mesin tidak selalu sejalan dengan teknologi perkakas pemotong.

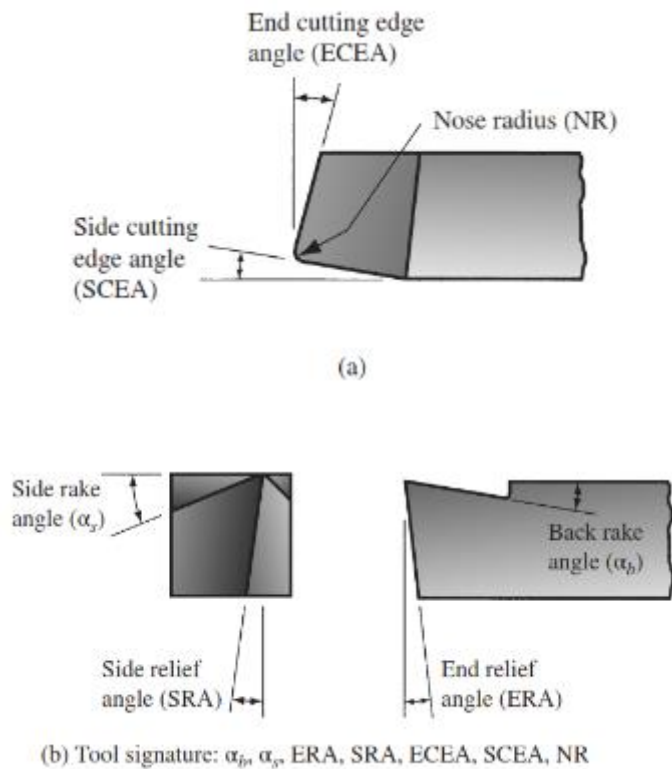
2. Alat Geometri

Salah satu cara penting untuk mengklasifikasikan *cutting* tool sesuai dengan proses pemesinan. Dengan demikian, ada perkakas belok, perkakas potong, pemotong penggilingan, mata bor, reamers, keran, dan banyak perkakas pemotong lainnya yang diberi nama untuk operasi di mana mereka digunakan, masing-masing dengan geometri perkakasnya sendiri dalam beberapa kasus, cukup unik. Seperti yang ditunjukkan, pahat potong dapat dibagi menjadi perkakas titik tunggal dan perkakas tepi banyak. Alat titik tunggal digunakan dalam memutar, membosankan, membentuk, dan merencanakan. Perkakas *multiplecutting* digunakan dalam pengeboran, *reaming*, *tapping*, *milling*, *broaching*, dan *sawing*. Banyak prinsip yang berlaku untuk pahat titik tunggal juga berlaku untuk jenis pahat lainnya, hanya karena mekanisme pembentukan *chip* pada dasarnya sama untuk semua operasi pemesinan.

a. Geometri Alat Titik Tunggal

Bentuk umum alat pemotong satu titik diilustrasikan gambar 10.2 menunjukkan gambar yang lebih rinci. Sudut Rake dari alat pemotong sebelumnya telah diperlakukan sebagai satu parameter. Dalam satu point alat, orientasi wajah rake didefinisikan oleh dua sudut, kembali sudut rake (α) dan sudut sopir (α). Bersama-sama, sudut-sudut ini berpengaruh dalam menentukan arah aliran *chip* di wajah menyapu. Permukaan sisi dari alat didefinisikan oleh sudut relief ujung (ϵ_r) dan sudut relief samping (SRA). Sudut-sudut ini menentukan jumlah izin antara alat dan permukaan kerja yang baru dipotong. Tepi tombak dari satu titik dibagi menjadi dua bagian, sisi *cutting* samping dan ujung tombak ujung, yang dipisahkan oleh titik alat. Sudut mutakhir samping (SCEA) menentukan entri alat ke dalam pekerjaan dan dapat digunakan untuk mengurangi kekuatan mendadak pengalaman alat karena memasuki bagian kerja. Sudut ujung canggih ujung (ECEA) memberikan izin antara tepi trailing alat dan permukaan kerja yang baru dihasilkan, sehingga mengurangi gosok dan gesekan terhadap permukaan. Titik alat memiliki radius tertentu, yang disebut Hidung Radius (NR), yang menentukan pada tingkat besar tekstur permukaan yang dihasilkan dalam operasi. Alat yang sangat runcing (radius hidung kecil) menghasilkan tanda

umpan yang jelas di permukaan. Secara keseluruhan, ada tujuh elemen geometri alat untuk satu titik titik. Ketika ditentukan dalam urutan berikut, mereka secara kolektif disebut Tanda Tangan Geometri Alat: Sudut Rake Back, Side Rake



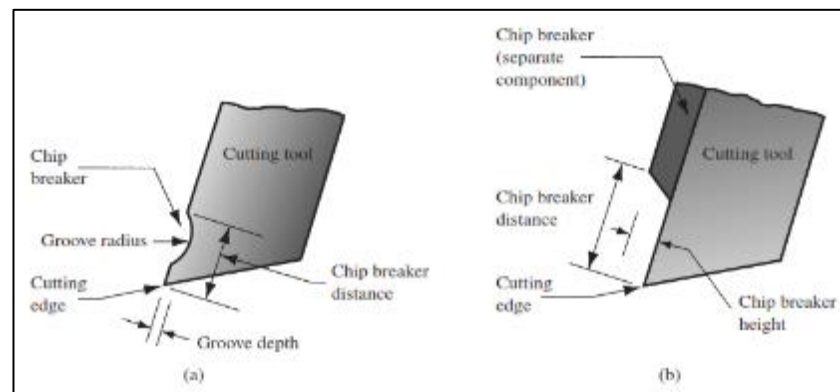
Gambar 10. 2 (a) Tujuh elemen geometri alat satu titik dan (b) konvensi tanda tangan alat yang mendefinisikan tujuh elemen

Sudut, sudut penghilang end, sudut relief samping, sudut ujung tombak ujung, sudut sisi mutakhir, dan radius hidung. Misalnya, alat titik tunggal yang digunakan dalam giliran mungkin memiliki tanda tangan berikut: 5, 5, 7,7, 20, 15, 0,8 mm.

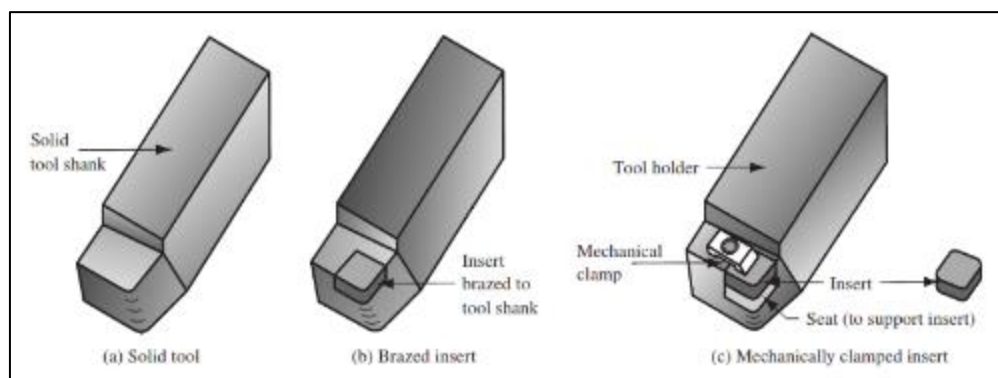
1) Pemecah *Chip*

Pembuangan *chip* adalah masalah yang sering ditemui dalam giliran dan operasi terus menerus lainnya. Keripik panjang dan berserat sering dihasilkan, terutama ketika memutar bahan ductile pada kecepatan tinggi. Keripik ini menyebabkan bahaya operator mesin dan bagian kerja selesai, dan mereka mengganggu pengoperasian otomatis proses putaran. Pemecah *chip* sering digunakan dengan alat point tunggal untuk

memaksa *chip* untuk mengerutkan lebih erat daripada yang secara alami akan cenderung dilakukan, sehingga menyebabkan mereka patah. Ada dua bentuk utama desain pemutus *chip* yang umum digunakan pada alat balik satu titik, diilustrasikan pada Gambar 10.3: (a) pemutus *chip* tipe alur yang dirancang ke dalam alat pemotong itu sendiri, dan (b) pemutus *chip* tipe obstruksi yang dirancang sebagai perangkat tambahan pada wajah menyapu alat. Jarak pemecah *chip* dapat disesuaikan dalam perangkat tipe obstruksi untuk kondisi pemotongan yang berbeda.



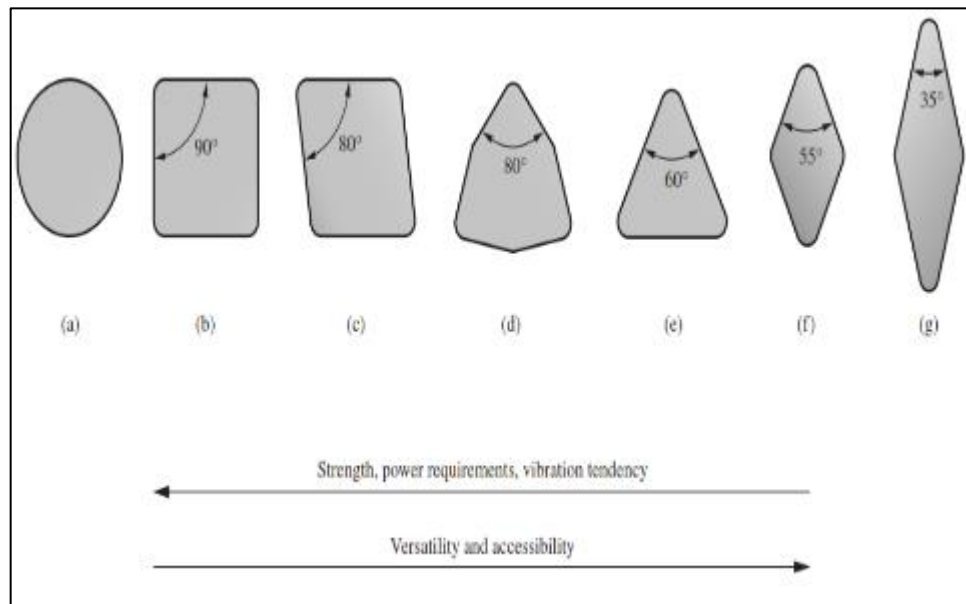
Gambar 10. 3 Dua metode chip pecah dalam alat titik tunggal



Gambar 10. 4 Tiga cara menahan dan menampilkan cutting edge untuk pahat titik tunggal

Bagian (b) menunjukkan sisipan *brazing*, di mana sisipan karbida yang disemen diikat ke batang perkakas. *Shank* terbuat dari baja perkakas untuk kekuatan dan ketangguhan. Bagian (c) mengilustrasikan satu kemungkinan desain untuk menjepit sisipan secara mekanis dalamudukan alat. Penjepitan mekanis digunakan untuk semen karbida, keramik, dan bahan keras lainnya. Keuntungan signifikan dari sisipan

yang dijepit secara mekanis adalah bahwa setiap sisipan memiliki beberapa tepi tajam. Saat tepi aus, sisipan akan dilepas, diindeks (diputar di kedudukan pahat) ke tepi berikutnya, dan dipasang kembali di kedudukan pahat. Jika semua pinggiran tajam aus, sisipan dibuang dan diganti



Gambar 10. 5 Bentuk sisipan yang umum

Juga ditampilkan fitur khas dari geometri. Kekuatan, kebutuhan daya, dan kecenderungan getaran meningkat dengan geometri di sebelah kiri, sedangkan keserbagunaan dan aksesibilitas cenderung lebih baik dengan geometri di sebelah kanan.

b. Alat *Multi-Cutting-Edge*

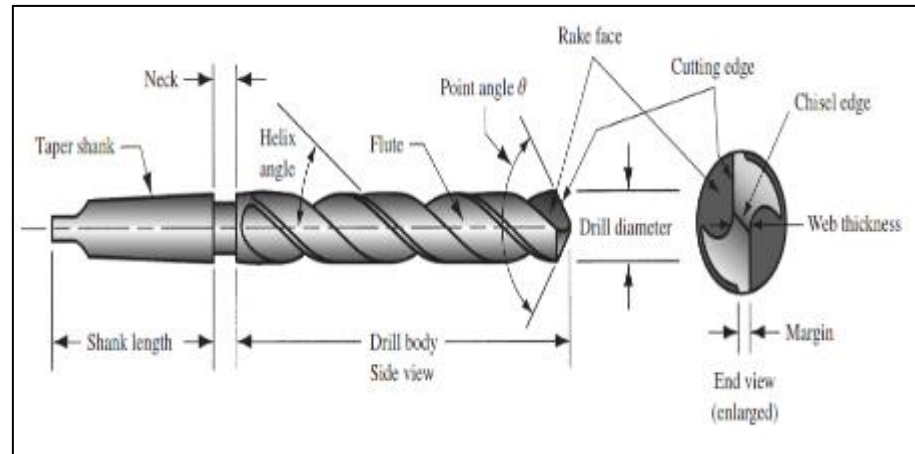
Sebagian besar perkakas *multi-cutting-edge* digunakan dalam operasi pemesian saat pahat diputar. Contoh utama adalah pengeboran dan penggilingan. Di sisi lain, operasi *broaching*, *hack sawing*, dan *band sawing* dengan gerakan linier. Penggergajian melingkar menggunakan mata gergaji yang berputar.

1) Bor

Berbagai alat pemotong tersedia untuk membuat lubang, tetapi bor puntir adalah yang paling umum. Muncul dalam diameter mulai dari sekitar 0,15 mm (0,006 in) hingga 75 mm (3,0 in). Bor putar banyak digunakan dalam industri untuk menghasilkan lubang dengan cepat dan ekonomis. Geometri mata bor standar diilustrasikan pada Gambar 10.6.

Badan bor memiliki dua seruling spiral (spiral memberi nama pada bor puntir). Sudut seruling spiral disebut sudut heliks, yang nilainya biasanya sekitar 30° . Saat mengebor, seruling bertindak sebagai lorong untuk mengeluarkan serpihan dari lubang. Meskipun bukaan seruling sebaiknya besar untuk memberikan jarak maksimum untuk serpihan, badan bor harus ditopang melebihi panjangnya. Penopang ini disediakan oleh jaring, yang merupakan ketebalan bor di antara seruling.

Titik bor puntir berbentuk kerucut. Nilai tipikal untuk sudut titik adalah 118° . Titik dapat dirancang dengan berbagai cara, tetapi desain yang paling umum adalah tepi pahat, seperti pada Gambar 10.6. Terhubung ke tepi pahat adalah dua ujung tajam yang mengarah ke seruling. Porsi setiap seruling yang berdekatan dengan pinggiran tajam bertindak sebagai permukaan penggaruk pahat. Tindakan pemotongan bor puntir itu rumit. Rotasi dan pengumpanan mata bor menghasilkan gerakan relatif antara pinggiran tajam dan benda kerja untuk membentuk serpihan. Kecepatan potong di setiap ujung potong bervariasi sebagai fungsi dari jarak dari sumbu rotasi. Oleh karena itu, efisiensi tindakan pemotongan bervariasi, paling efisien pada diameter luar bor dan paling tidak efisien di bagian tengah. Faktanya, kecepatan relatif di titik bor adalah nol, jadi tidak ada pemotongan yang terjadi. Sebaliknya, tepi pahat dari titik bor mendorong material di tengah ke samping saat menembus ke dalam lubang; gaya dorong yang besar diperlukan untuk mendorong bor puntir ke depan ke dalam lubang. Selain itu, pada awal pengoperasian, tepi pahat yang berputar cenderung mengembara di atas permukaan benda kerja, sehingga menyebabkan hilangnya akurasi posisi. Berbagai alternatif desain titik bor telah dikembangkan untuk mengatasi masalah ini.

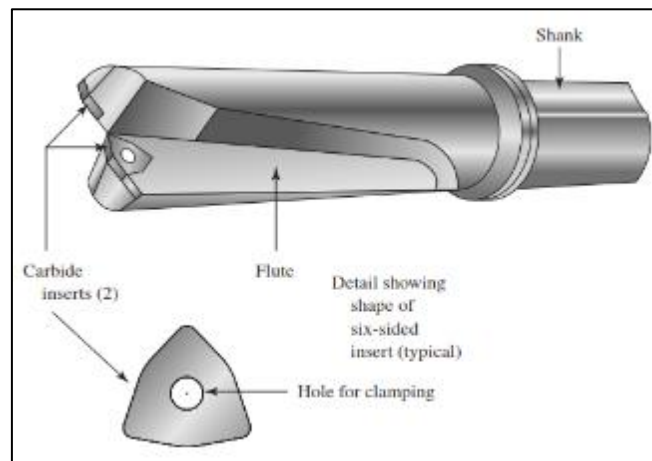


Gambar 10. 6 Mata Bor

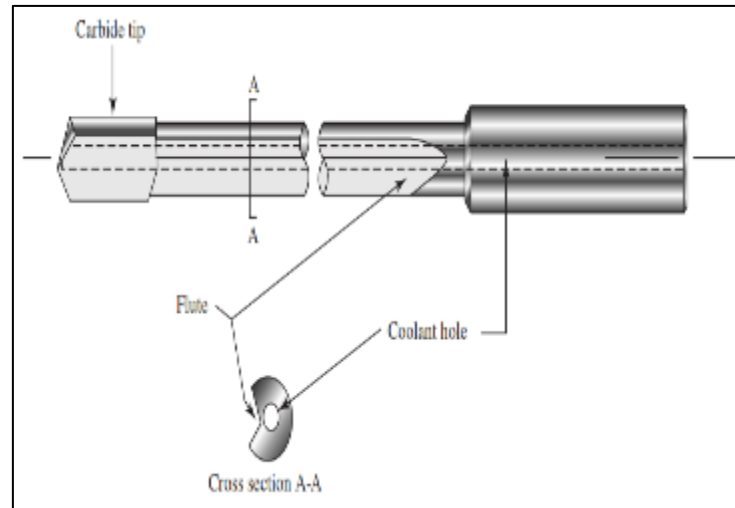
Penghapusan *chip* bisa menjadi masalah dalam pengeboran. Tindakan pemotongan terjadi di dalam lubang, dan seruling harus memberikan jarak yang cukup di sepanjang bor agar serpihan dapat dikeluarkan dari lubang. Saat *chip* terbentuk, ia dipaksa melalui seruling ke permukaan kerja. Friksi memperburuk keadaan dalam dua cara. Selain gesekan yang biasa terjadi pada pemotongan logam antara keping dan permukaan penggaruk pada tepi potong, gesekan juga terjadi akibat gesekan antara diameter luar mata bor dan lubang yang baru terbentuk. Ini meningkatkan suhu bor dan pekerjaan. Pengiriman fluida pemotongan ke titik bor untuk mengurangi gesekan dan panas sulit dilakukan karena *chip* mengalir ke arah yang berlawanan. Karena penghilangan *chip* dan panas, bor pelintir biasanya dibatasi pada kedalaman lubang sekitar empat kali diameternya. Beberapa bor pelintir dirancang dengan lubang internal sepanjang panjangnya, di mana fluida pemotongan dapat dipompa ke lubang di dekat titik bor, sehingga mengalirkan fluida langsung ke operasi pemotongan. Pendekatan alternatif dengan bor pelintir yang tidak memiliki lubang fluida adalah dengan menggunakan prosedur "mematuk", di mana bor secara berkala ditarik dari lubang untuk membersihkan serpihan sebelum melanjutkan lebih dalam.

Bor putar biasanya terbuat dari baja berkecepatan tinggi. Geometri bor dibuat sebelum perlakuan panas, dan kemudian kulit luar bor (pinggiran tajam dan permukaan gesekan) dikeraskan sambil mempertahankan inti bagian dalam yang relatif kuat. Grinding digunakan untuk mempertajam pinggiran tajam dan membentuk titik bor. Meskipun

bor pelintir adalah alat pembuat lubang yang paling umum, jenis bor lain juga tersedia. Bor straight-flute beroperasi seperti bor memutar, kecuali bahwa seruling untuk melepas *chip* lurus di sepanjang alat, bukan spiral. Desain yang lebih sederhana dari bor seruling lurus memungkinkan tip karbida digunakan sebagai pinggiran tajam, baik sebagai sisipan *brazing* atau yang dapat diindeks. Gambar 10.7 mengilustrasikan bor sisipan indeksable-flute lurus. Sisipan karbida yang disemen memungkinkan kecepatan pemotongan yang lebih tinggi dan tingkat produksi yang lebih tinggi daripada bor twist HSS. Namun, sisipan membatasi seberapa kecil latihan dapat dibuat. Dengan demikian, kisaran diameter bor sisipan indeks yang tersedia secara komersial berkisar dari sekitar 16 mm (0,625 in) hingga sekitar 127 mm (5 in) [9].

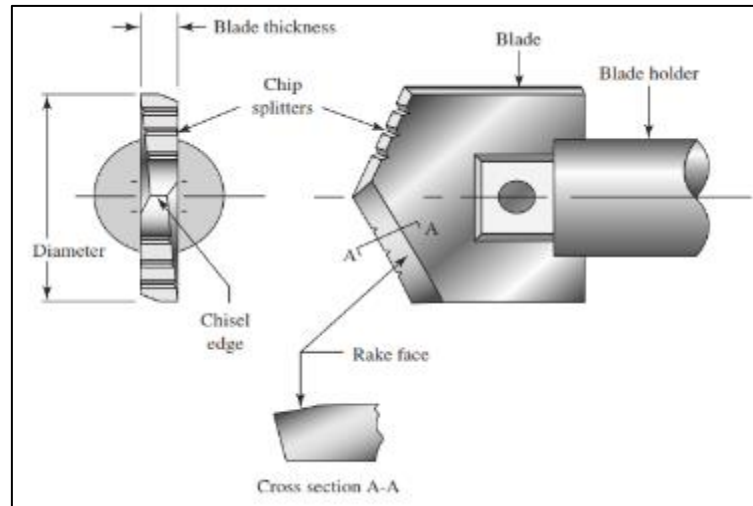


Gambar 10. 7 Bor suling lurus yang menggunakan sisipan yang dapat diindeks



Gambar 10. 8 Mata Bor

Bor seruling lurus yang dirancang untuk pengeboran lubang dalam adalah bor meriam, yang ditunjukkan pada Gambar 10.8. Sedangkan bor putar biasanya dibatasi pada rasio kedalaman-ke-diameter 4: 1, dan bor seruling lurus sekitar 3: 1, bor meriam dapat memotong lubang hingga 125 kali diameternya. Seperti yang ditunjukkan pada gambar, bor meriam memiliki pinggiran tajam karbida, seruling tunggal untuk melepas *chip*, dan lubang pendingin sepanjang panjangnya. Dalam operasi pengeboran senjata yang khas, pekerjaan berputar di sekitar bor stasioner (kebalikan dari kebanyakan operasi pengeboran), dan cairan pendingin mengalir ke dalam proses pemotongan dan keluar dari lubang di sepanjang seruling, membawa *chip* bersamanya. Diameter latihan meriam berkisar dari kurang dari 2 mm (0,075 in) hingga sekitar 50 mm (2 in). Telah disebutkan sebelumnya bahwa bor twist tersedia dengan diameter hingga 75 mm (3 in). Bor puntir sebesar itu jarang terjadi karena begitu banyak logam yang dibutuhkan dalam mata bor. Sebuah alternatif untuk lubang berdiameter besar adalah bor sekop, yang diilustrasikan pada Gambar 10.9. Ukuran standar berkisar dari 25 mm hingga 152 mm (1 inci hingga 6 inci). Mata bor yang dapat diganti disimpan diudukan alat, yang memberikan kekakuan selama pemotongan. Massa bor sekop jauh lebih kecil daripada bor puntir dengan diameter yang sama.



Gambar 10. 9 Bor Sekop

2) Pemotong Penggilingan

Klasifikasi pemotong penggilingan terkait erat dengan operasi penggilingan yang dijelaskan. Jenis utama pemotong penggilingan adalah sebagai berikut:

a) Pemotong penggilingan polos

Ini digunakan untuk penggilingan periferan atau pelat. Seperti yang ditunjukkan Gambar 10.11 (a) dan 10.12 (a), mereka berbentuk silinder dengan beberapa baris gigi. Pinggiran tajam biasanya diorientasikan pada sudut heliks (seperti pada gambar) untuk mengurangi benturan saat masuk ke pekerjaan, dan pemotong ini disebut pemotong penggilingan heliks. Elemen geometri pahat dari pemotong frais biasa ditunjukkan pada Gambar 10.10.

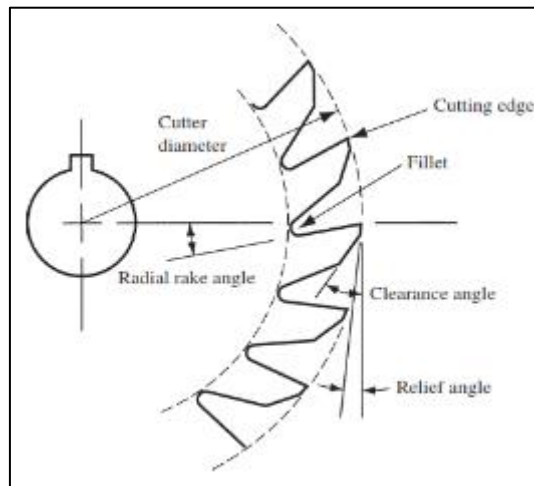
b) Bentuk pemotong penggilingan

Ini adalah pemotong penggilingan periferan di mana pinggiran tajam memiliki profil khusus yang akan diterapkan pada pekerjaan, seperti pada Gambar 10.12 (e). Aplikasi penting adalah pembuatan roda gigi, di mana bentuk pemotong milling dibentuk untuk memotong celah antara gigi roda gigi yang berdekatan, sehingga meninggalkan geometri gigi roda gigi.

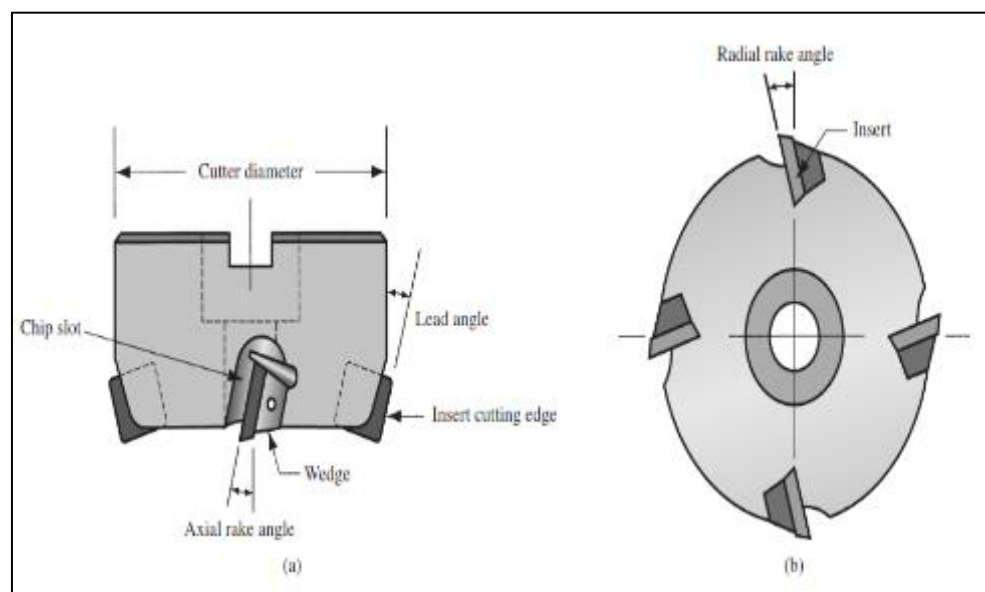
c) Pemotong penggilingan permukaan

Ini dirancang dengan gigi yang memotong baik pinggiran maupun ujung pemotong. Pemotong milling muka dapat dibuat dari HSS,

seperti pada Gambar 10.11 (b), atau dapat dirancang untuk menggunakan sisipan karbida yang disemen. Gambar 10.11 menunjukkan pemotong milling muka empat gigi yang menggunakan sisipan.



Gambar 10. 10 Elemen geometri pahat dari pemotong milling polos
18 gigi



Gambar 10. 11 Elemen geometri pahat pemotong milling muka empat
gigi: (a) Tampak samping, dan (b) Tampak bawah

d) Akhiri pemotong penggilingan

Pemotong penggilingan ujung terlihat seperti mata bor, tetapi pemeriksaan yang cermat menunjukkan bahwa pemotong tersebut

dirancang untuk pemotongan primer dengan gigi periferil daripada ujungnya. (Mata bor hanya memotong ujungnya saat menembus ke dalam pekerjaan.) Pabrik ujung dirancang dengan ujung persegi, ujung dengan jari-jari, dan ujung bola.

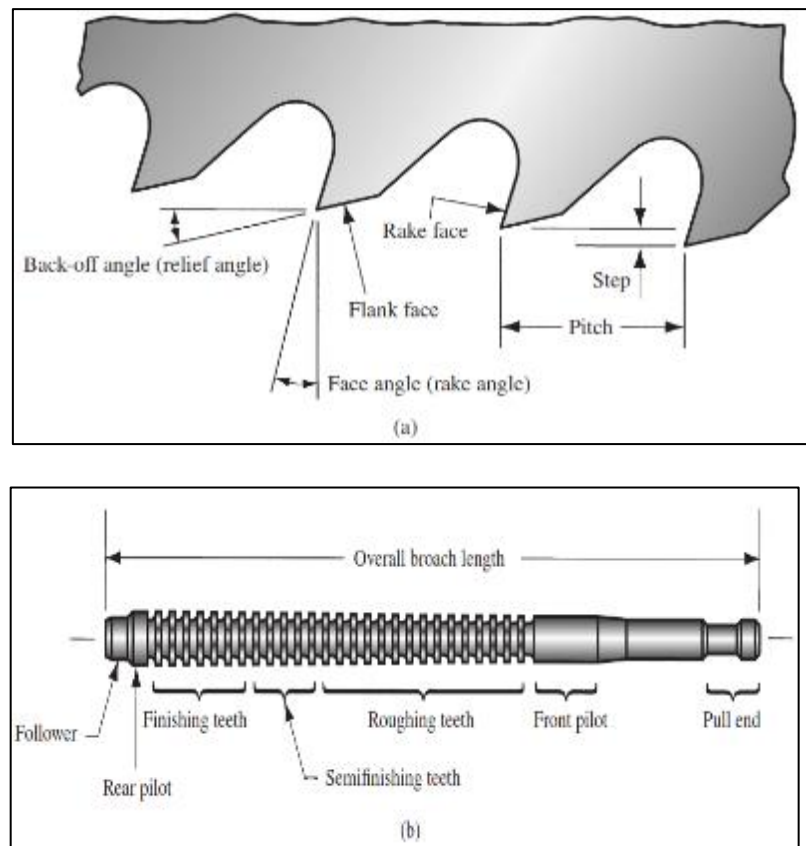
3) *Broaches*

Terminologi dan geometri broach diilustrasikan pada Gambar 10.12. Bros terdiri dari serangkaian gigi potong terpisah di sepanjang panjangnya. Pemberian makan dilakukan dengan peningkatan langkah di antara gigi berurutan pada broach. Tindakan pengumpanan ini unik di antara operasi pemesian, karena sebagian besar operasi menyelesaikan pengumpanan dengan gerakan pengumpanan relatif yang dilakukan oleh pahat atau pekerja. Total materi yang dibuang dalam sekali lintasan broach adalah hasil kumulatif dari semua langkah dalam alat. Gerak kecepatan dicapai dengan perjalanan linier pahat melewati permukaan kerja. Bentuk permukaan potongan ditentukan oleh kontur pinggiran tajam pada broach, khususnya sisi potong akhir. Karena geometrinya yang kompleks dan kecepatan rendah yang digunakan dalam broaching, kebanyakan broaching terbuat dari HSS. Dalam beberapa aplikasi, pinggiran tajam adalah sisipan karbida yang disemen baik yang dibrazing atau dijepit secara mekanis pada alat *broaching*.

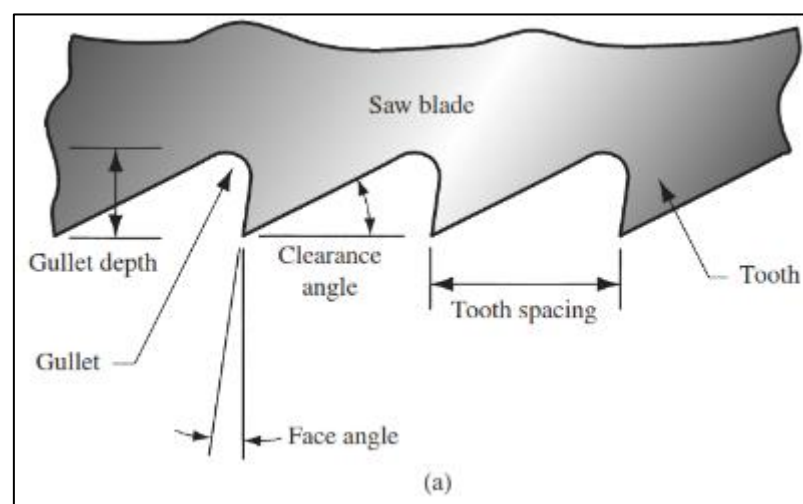
4) Mata Pisau

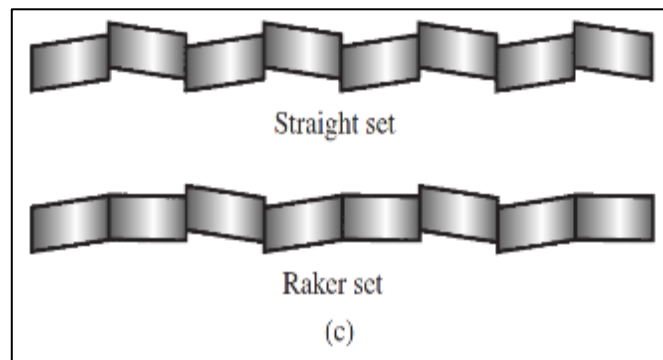
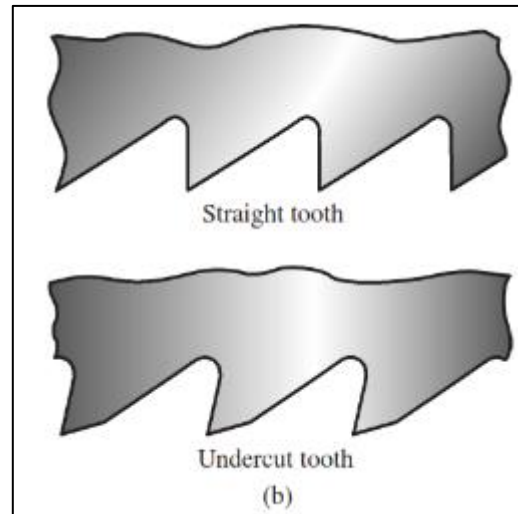
Untuk masing-masing dari tiga operasi penggergajian, mata gergaji memiliki ciri-ciri umum tertentu, termasuk bentuk gigi, jarak gigi, dan set gigi, seperti pada Gambar 10.13. Bentuk gigi berkaitan dengan geometri setiap gigi pemotongan. Sudut *rake*, sudut *clearance*, jarak gigi, dan fitur geometri lainnya ditunjukkan pada Gambar 10.13 (a). Jarak gigi adalah jarak antar gigi yang berdekatan pada mata gergaji. Parameter ini menentukan ukuran gigi dan ukuran kerongkongan antar gigi. *Gullet* memungkinkan ruang untuk pembentukan *chip* oleh gigi pemotong yang berdekatan. Bentuk gigi yang berbeda cocok untuk bahan kerja dan situasi pemotongan yang berbeda. Dua bentuk yang biasa digunakan dalam gergaji besi dan bilah gergaji pita ditunjukkan pada Gambar 10.13 (b). Set gigi menyebabkan garitan yang dipotong oleh mata gergaji menjadi lebih lebar dari lebar mata pisau itu sendiri jika tidak, mata pisau

akan mengikat dinding dari celah yang dibuat oleh gergaji. Dua set gigi umum diilustrasikan pada Gambar 10.13 (c)



Gambar 10. 12 Broach: (a) Terminologi geometri gigi dan (b) Broach tipikal





Gambar 10. 13 Fitur mata gergaji: (a) Tata nama geometri mata gergaji, (b) Dua bentuk gigi yang sama, dan (c) Dua jenis set gigi

C. SOAL DAN LATIHAN

1. Tiga mode kegagalan pahat sesuai dengan tiga sifat penting yang diperlukan dalam material pahat adalah?
2. Dua aspek utama teknologi pahat yang di perbolehkan adalah?
3. Jenis utama pemotong penggilingan adalah?
4. Titik bor puntir berbentuk kerucut. Nilai tipikal untuk sudut titik adalah ?
5. Sudut seruling spiral disebut sudut heliks, yang nilainya adalah?

D. DAFTAR PUSTAKA

- Aronson, R. B. (2004) "Menggunakan Cairan Bertekanan Tinggi." Teknik Manufaktur, hlm. 87–96.
- Black, J, and Kohser, R. DeGarmo's. (2012) Materials and Processes in Manufacturing. Edisi ke-11. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey
- Carnes, R., dan Maddock, G.(2004). "Pemilihan Alat Baja". Bahan & Proses Lanjutan, hlm. 37–40.
- Destephani, J. (2005). "The Science of pCBN." Teknik Manufaktur, hlm.53–62.
- Esford, D. (200) "Keramik Ambil Gilirannya." Teknik Alat Pemotong, Vol. 52, No. 7, hlm. 40–46.
- Groover, M. P. (2019). *Fundamental of modern manufacturing 7th*. USA: John wiley & sons Inc.
- Lorincz, J. (2013). "Pelapis Ditargetkan untuk Bahan Tertentu." Teknik Manufaktur, hlm. 45–52m.
- Schey, J. A. (2000). Pengantar Proses Manufaktur. Edisi ke-3. McGraw-Hill, New York.
- Shaw, M. C. (2005).Prinsip Pemotongan Logam. Edisi ke-2. Oxford University Press, Oxford.
- Spitler, D., Lantrip, J., Nee, J., dan Smith, D. A. (2003). Dasar-dasar Desain Alat. Edisi ke-5. Masyarakat Insinyur Manufaktur, Dearborn, Michigan.
- Tlusty, J. (2000). Proses dan Peralatan Manufaktur. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

PERTEMUAN 11

TEKNOLOGI OTOMASI UNTUK SISTEM MANUFAKTUR

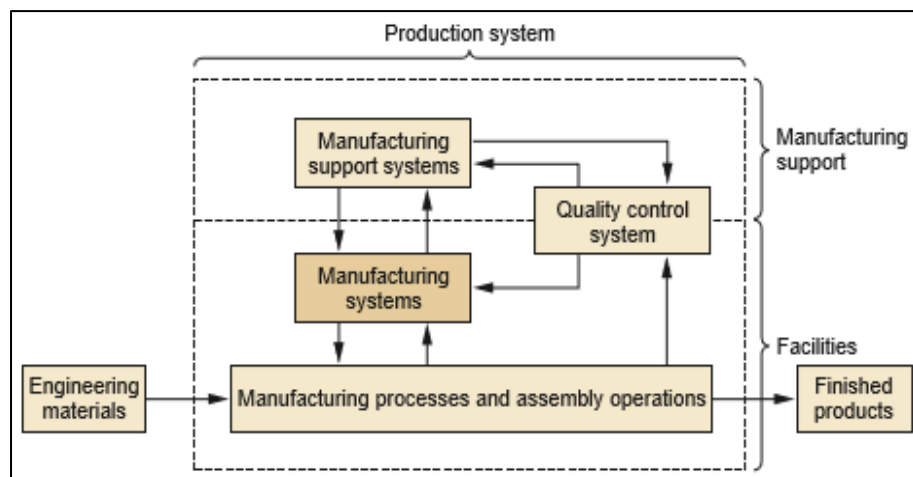
A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa diharapkan mampu memahami penggunaan teknologi automasi yang dapat digunakan dalam proses manufaktur, serta dapat merancang pemanfaatan teknologi otomasi yang efektif dalam kelangsungan proses manufaktur.

B. URAIAN MATERI

1. Pengantar Teknologi Otomasi

Sistem manufaktur dapat didefinisikan sebagai kumpulan peralatan dan sumber daya manusia terintegrasi yang melakukan satu atau lebih pemrosesan dan / atau operasi perakitan pada bahan, bagian, atau kumpulan bagian awal pekerjaan. Peralatan terintegrasi terdiri dari mesin produksi, penanganan material dan perangkat pemosisian, serta sistem komputer. Sumber daya manusia dibutuhkan baik penuh waktu atau paruh waktu untuk menjaga peralatan tetap beroperasi. Posisi sistem manufaktur dalam sistem produksi yang lebih besar ditunjukkan pada Gambar 11.1. (Groover, 2019)



Sumber : (Groover, 2019)

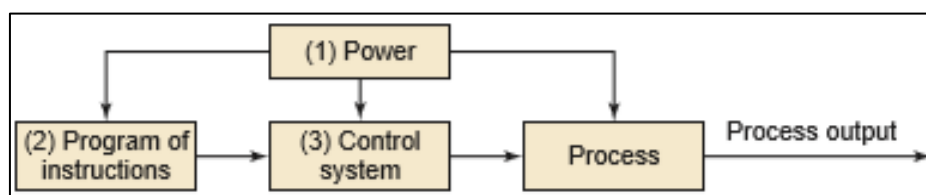
Gambar 11.1 Posisi sistem manufaktur dalam sistem produksi yang lebih besar.

2. Dasar-dasar Otomasi

Otomasi dapat didefinisikan sebagai teknologi yang dengannya suatu proses atau prosedur dilakukan tanpa bantuan manusia. Manusia mungkin hadir sebagai pengamat atau bahkan peserta, tetapi proses itu sendiri beroperasi di bawah pengarahannya sendiri. Otomasi diimplementasikan melalui sistem kontrol yang menjalankan program instruksi. Untuk mengOtomasikan suatu proses, daya diperlukan untuk mengoperasikan sistem kontrol dan untuk menjalankan proses itu sendiri. (Chang, 2005)

a. Tiga Komponen Sistem Otomasi

Seperti yang ditunjukkan di atas, sistem Otomasi terdiri dari tiga komponen dasar: daya, program instruksi, dan sistem kontrol untuk melaksanakan instruksi. Hubungan antar komponen ini ditunjukkan pada Gambar 11.2.



Sumber : (Groover, 2019)

Gambar 11.2 Elemen sistem Otomasi

Aktivitas dalam proses Otomasi ditentukan oleh program instruksi. Dalam proses Otomasi yang paling sederhana, satu-satunya instruksi mungkin untuk mempertahankan variabel terkontrol tertentu pada tingkat yang ditentukan, seperti mengatur suhu dalam tungku perlakuan panas. Dalam proses yang lebih kompleks, urutan aktivitas diperlukan selama siklus kerja, dan urutan serta detail setiap aktivitas ditentukan oleh program instruksi. Setiap aktivitas melibatkan perubahan dalam satu atau beberapa parameter proses, seperti mengubah posisi koordinat x meja kerja peralatan mesin, membuka atau menutup katup dalam sistem aliran fluida, atau menghidupkan atau mematikan motor. Dalam beberapa proses Otomasi, program siklus kerja harus berisi instruksi untuk membuat keputusan atau bereaksi terhadap kejadian tak terduga selama siklus kerja. Contoh situasi yang membutuhkan kemampuan semacam ini termasuk: variasi bahan mentah yang memerlukan

penyesuaian parameter proses tertentu untuk mengimbangnya, interaksi dan komunikasi dengan manusia seperti menanggapi permintaan informasi status sistem, persyaratan pemantauan keselamatan, dan kerusakan peralatan.

Program instruksi dijalankan oleh sistem kontrol, komponen dasar ketiga dari sistem Otomasi. Dua jenis sistem kontrol dapat dibedakan: *loop* tertutup dan *loop* terbuka. Sistem *loop* tertutup, juga dikenal sebagai sistem kontrol umpan balik, adalah sistem di mana variabel proses yang diinginkan (keluaran dari proses) dibandingkan dengan parameter proses yang sesuai (masukan ke proses), dan perbedaan apa pun di antara keduanya digunakan untuk mendorong nilai keluaran agar sesuai dengan masukan. (Groover, 2019)

b. Jenis-jenis Otomasi

Sistem Otomasi yang digunakan dalam manufaktur dapat diklasifikasikan menjadi tiga tipe dasar: Otomasi tetap, otomasi terprogram, dan Otomasi fleksibel. (Groover, 2019)

1) Otomasi Tetap

Dalam otomasi tetap, langkah-langkah pemrosesan atau perakitan dan urutannya ditetapkan oleh konfigurasi peralatan. Program instruksi ditentukan oleh desain peralatan dan tidak dapat diubah dengan mudah. Setiap langkah dalam urutan biasanya melibatkan tindakan sederhana, seperti memberi makan spindel yang berputar di sepanjang lintasan linier. Meskipun siklus kerja terdiri dari operasi sederhana, pengintegrasian dan pengoordinasian tindakan dapat mengakibatkan kebutuhan akan sistem kontrol yang agak canggih, dan kontrol komputer seringkali diperlukan.

Ciri khas otomasi tetap mencakup investasi awal yang tinggi untuk peralatan khusus, tingkat produksi yang tinggi, dan sedikit atau tidak ada fleksibilitas untuk mengakomodasi variasi produk. Sistem Otomasi dengan fitur ini dapat disesuaikan untuk suku cadang dan produk yang diproduksi dalam jumlah yang sangat besar. Biaya investasi yang tinggi dapat tersebar di banyak unit, sehingga biaya per unit relatif lebih rendah dibandingkan metode produksi alternatif.

2) Otomasi yang Dapat Diprogram

Seperti namanya, peralatan dalam Otomasi terprogram dirancang dengan kemampuan untuk mengubah program instruksi untuk memungkinkan produksi suku cadang atau produk yang berbeda. Program baru bisa disiapkan untuk suku cadang baru, dan peralatan dapat membaca setiap program dan menjalankan instruksi yang dikodekan. Dengan demikian fitur yang menjadi ciri Otomasi terprogram adalah investasi tinggi pada peralatan tujuan umum yang dapat diprogram ulang, tingkat produksi yang lebih rendah daripada Otomasi tetap, kemampuan untuk mengatasi variasi produk dengan memprogram ulang peralatan, dan kesesuaian untuk produksi batch dari berbagai bagian atau gaya produk.

3) Otomasi Fleksibel

Otomasi fleksibel adalah perpanjangan dari Otomasi terprogram di mana hampir tidak ada waktu produksi yang hilang untuk perubahan pengaturan dan / atau pemrograman ulang. Setiap perubahan yang diperlukan dalam program instruksi dan / atau pengaturan dapat diselesaikan dengan cepat; yaitu, dalam waktu yang diperlukan untuk memindahkan unit kerja berikutnya ke posisinya di mesin. Oleh karena itu, sistem yang fleksibel mampu menghasilkan campuran berbagai bagian atau produk satu per satu, bukan dalam batch. Fitur-fitur yang biasanya diasosiasikan dengan otomasi fleksibel termasuk: biaya investasi yang tinggi untuk peralatan yang direkayasa secara khusus, tingkat produksi sedang, dan produksi terus-menerus dari berbagai bagian atau gaya produk. Dengan penjelasan diatas, dapat dikatakan bahwa otomasi tetap dapat diterapkan dalam situasi variasi produk keras, otomasi terprogram berlaku untuk variasi produk menengah, dan Otomasi fleksibel dapat digunakan untuk variasi produk lunak.

3. Perangkat Keras Untuk Otomasi

Otomasi dan kontrol proses diimplementasikan menggunakan berbagai perangkat keras yang berinteraksi dengan operasi produksi dan peralatan pemrosesan terkait. Sensor diperlukan untuk mengukur variabel proses. Aktuator digunakan untuk menggerakkan parameter proses. Dan berbagai perangkat

tambahan diperlukan untuk menghubungkan sensor dan aktuator dengan pengontrol proses, yang biasanya berupa komputer digital. (Groover, 2019)

a. Sensor

Sensor adalah perangkat yang mengubah stimulus fisik atau variabel yang menarik (misalnya suhu, gaya, tekanan, atau karakteristik proses lainnya) menjadi bentuk fisik yang lebih nyaman (misalnya, tegangan listrik) untuk tujuan mengukur variabel. Konversi memungkinkan variabel diinterpretasikan sebagai nilai kuantitatif. Berbagai jenis sensor tersedia untuk mengumpulkan data untuk kontrol umpan balik dalam otomasi manufaktur. Mereka sering diklasifikasikan menurut jenis stimulus; ada variabel mekanik, listrik, termal, radiasi, magnet, dan kimia. Dalam setiap kategori, beberapa variabel dapat diukur. Misalnya, dalam kategori mekanik, variabel fisik meliputi posisi, kecepatan, gaya, torsi, dan banyak lainnya. Variabel kelistrikan meliputi tegangan, arus, dan hambatan. Begitu seterusnya untuk kategori mayor lainnya. Sebelum alat pengukur dapat digunakan, alat tersebut harus dikalibrasi, yang pada dasarnya berarti menentukan fungsi transfer sensor. Kemudahan kalibrasi adalah salah satu kriteria yang dapat digunakan alat pengukur. Kriteria lain termasuk akurasi, presisi, jangkauan operasi, kecepatan respon, kehandalan dan biaya.

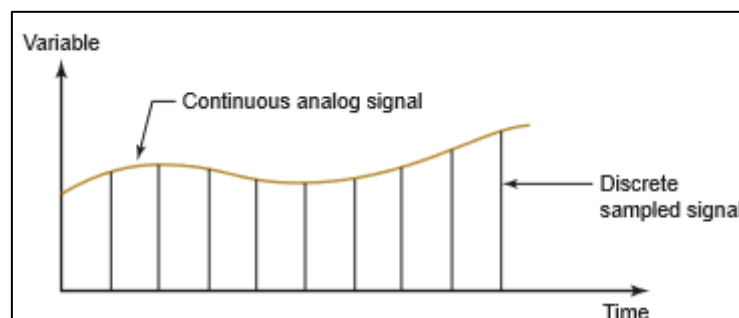
b. Aktuator

Dalam sistem Otomasi, aktuator adalah perangkat yang mengubah sinyal kontrol menjadi tindakan fisik, yang biasanya mengacu pada perubahan parameter input proses. Tindakan tersebut biasanya bersifat mekanis, seperti perubahan posisi meja kerja atau kecepatan putaran motor. Sinyal kontrol umumnya merupakan sinyal level rendah, dan penguat mungkin diperlukan untuk meningkatkan kekuatan sinyal untuk menggerakkan aktuator. Aktuator dapat diklasifikasikan menurut jenis penguatnya sebagai: listrik, hidrolik, atau pneumatik. Aktuator listrik termasuk motor listrik AC dan DC, motor stepper, dan solenoida. Pengoperasian dua jenis motor listrik (motor servo dan motor stepper). Aktuator hidrolik menggunakan cairan hidrolik untuk memperkuat sinyal kontrol dan sering ditentukan ketika gaya besar diperlukan dalam aplikasi. Aktuator pneumatik digerakkan oleh udara terkompresi, yang biasa digunakan di pabrik. Ketiga jenis aktuator tersedia sebagai perangkat linier atau rotasi. Penunjukan ini membedakan apakah tindakan keluaran adalah

gerakan linier atau gerakan rotasi. Motor listrik dan motor stepper lebih umum sebagai aktuator rotasi, sedangkan kebanyakan aktuator hidrolis dan pneumatik memberikan output linier.

c. *Interface Devices*

Interface device memungkinkan proses untuk dihubungkan ke pengontrol komputer dan sebaliknya. Sinyal sensor dari proses pembuatan dimasukkan ke dalam komputer, dan sinyal perintah dikirim ke aktuator yang mengoperasikan proses tersebut. Bagian ini menjelaskan perangkat keras yang memungkinkan komunikasi ini antara proses dan pengontrol. Perangkat tersebut termasuk konverter analog ke digital, konverter digital ke analog, *Interface device* input / output kontak, dan penghitung pulsa dan generator. Sinyal analog kontinu dari sensor yang terpasang pada proses harus diubah menjadi nilai digital yang dapat digunakan oleh komputer kontrol, sebuah fungsi yang dilakukan oleh konverter analog ke digital (ADC). Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 11.3



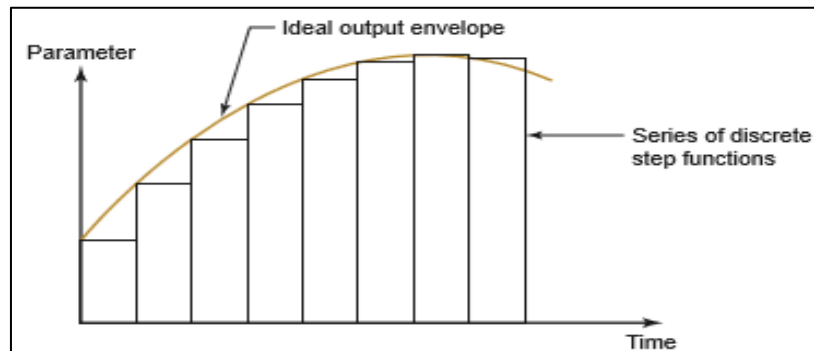
Sumber : (Groover, 2019)

Gambar 11.3 Konverter analog ke digital bekerja dengan mengubah sinyal analog kontinu menjadi serangkaian data sampel diskrit.

Konverter digital ke analog (DAC) menyelesaikan proses kebalikan dari ADC. Ini mengubah output digital dari komputer kontrol menjadi sinyal kuasi kontinu yang mampu menggerakkan aktuator analog atau perangkat analog lainnya. DAC menjalankan fungsinya dalam dua langkah:

- 1) *Decoding*, di mana urutan nilai keluaran digital diubah menjadi rangkaian nilai analog yang sesuai pada interval waktu diskrit
- 2) Penyimpanan data, di mana setiap nilai analog diubah menjadi sinyal kontinu selama durasi interval waktu. Dalam kasus yang paling

sederhana, sinyal kontinu terdiri dari serangkaian fungsi langkah yang digunakan untuk menggerakkan aktuator analog seperti pada Gambar 11.4



Sumber : (Groover, 2019)

Gambar 11.4 Konverter analog ke digital bekerja dengan mengubah sinyal analog kontinu menjadi serangkaian data sampel diskrit.

Interface device input / output kontak adalah komponen yang digunakan untuk mengkomunikasikan data biner bolak balik antara proses dan komputer kontrol. *Interface device* input kontak adalah perangkat yang membaca data biner ke komputer dari sumber eksternal. Ini terdiri dari serangkaian kontak listrik biner yang menunjukkan status perangkat biner seperti sakelar batas yang terpasang ke proses. Status setiap kontak dipindai secara berkala oleh komputer untuk memperbarui nilai yang digunakan oleh program kontrol. *Interface device* output kontak adalah perangkat yang digunakan untuk mengkomunikasikan sinyal on / off dari komputer ke komponen biner eksternal seperti *solenoida*, alarm, dan lampu indikator. Ini juga dapat digunakan untuk menghidupkan dan mematikan motor kecepatan konstan.

d. Pengontrol Proses

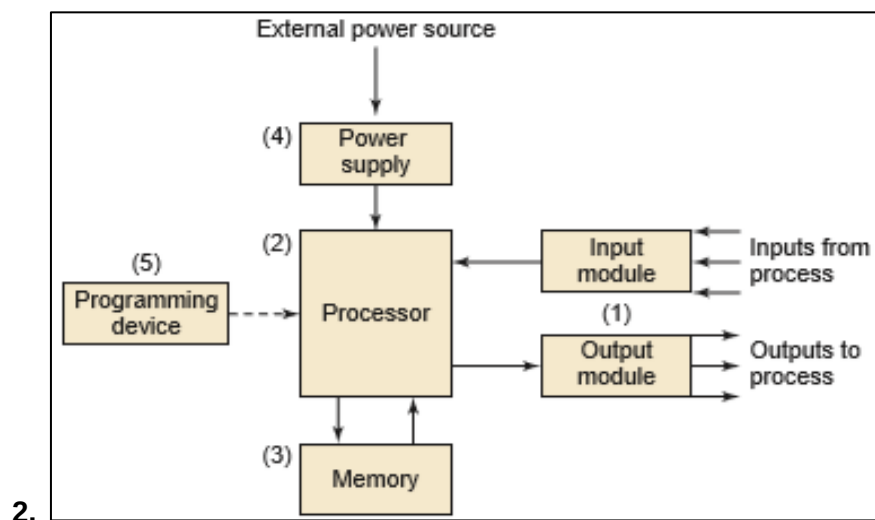
Sebagian besar sistem kontrol proses menggunakan beberapa jenis komputer digital sebagai pengontrolnya. Persyaratan yang umumnya terkait dengan kontrol komputer waktu nyata meliputi yang berikut ini:

- 1) Kemampuan komputer untuk menanggapi sinyal yang masuk dari proses dan jika perlu, untuk menghentikan pelaksanaan program saat ini untuk melayani sinyal yang masuk.
- 2) Kemampuan untuk mengirimkan perintah ke proses yang diimplementasikan dengan menggunakan aktuator yang terhubung ke

proses. Perintah ini mungkin merupakan respons terhadap sinyal yang masuk dari proses tersebut.

- 3) Kemampuan untuk melaksanakan tindakan tertentu pada titik waktu tertentu selama operasi proses.
- 4) Kemampuan untuk berkomunikasi dan berinteraksi dengan komputer lain yang mungkin terhubung ke proses. kontrol proses terdistribusi digunakan untuk menggambarkan sistem kontrol di mana beberapa mikrokomputer digunakan untuk berbagi beban kerja kontrol proses
- 5) Kemampuan untuk menerima masukan dari personel operasi untuk tujuan seperti memasukkan program atau data baru, mengedit program yang ada, dan menghentikan proses dalam keadaan darurat.

Pengontrol logika yang dapat diprogram (PLC) adalah pengontrol berbasis komputer mikro yang menggunakan instruksi yang tersimpan dalam memori yang dapat diprogram untuk mengimplementasikan logika, pengurutan, pengaturan waktu, penghitungan, dan fungsi kontrol aritmatika, melalui modul input / output digital atau analog, untuk mengendalikan berbagai mesin dan proses. Komponen utama dari sebuah PLC, yang ditunjukkan pada Gambar 11.5



Gambar 11.5 Komponen utama dari pengontrol logika yang dapat diprogram.

Pada gambar diatas terdapat modul input dan output yang menghubungkan PLC ke peralatan industri yang akan dikontrol, prosesor unit

pemrosesan pusat (CPU) yang menjalankan fungsi logika dan urutan untuk mengontrol proses dengan beroperasi pada sinyal input dan menentukan sinyal output yang tepat yang ditentukan oleh program kontrol, memori PLC yang terhubung ke prosesor dan berisi logika dan instruksi pengurutan, daya - 115 V AC biasanya digunakan untuk menggerakkan PLC. Selain itu, perangkat pemrograman (biasanya dapat dilepas) digunakan untuk memasukkan program ke dalam PLC. Pemrograman melibatkan masuknya instruksi kontrol ke PLC menggunakan perangkat pemrograman. Instruksi kontrol yang paling umum mencakup operasi logika, pengurutan, penghitungan, dan pengaturan waktu. Banyak aplikasi kontrol memerlukan instruksi tambahan untuk kontrol analog, pemrosesan data, dan perhitungan. Berbagai bahasa pemrograman PLC telah dikembangkan, mulai dari diagram logika tangga hingga teks terstruktur. Keuntungan yang diasosiasikan dengan pengontrol terprogram sebagai berikut: (Hughes, 2005)

- 1) Pemrograman PLC lebih mudah daripada memasang kabel panel kontrol relai karena PLC dapat diprogram ulang, sedangkan kontrol terprogram konvensional harus diprogram ulang dan sering kali dibuang karena kesulitan dalam pemasangan kembali
- 2) PLC dapat dihubungkan dengan sistem komputer pabrik lebih mudah daripada kontrol konvensional
- 3) PLC membutuhkan lebih sedikit ruang lantai daripada kontrol relai
- 4) PLC menawarkan keandalan yang lebih besar dan perawatan yang lebih mudah.

4. Industri Robotik

Robot industri adalah mesin yang dapat diprogram untuk keperluan umum yang memiliki fitur antropomorfik tertentu. Fitur antropomorfik yang paling jelas, atau mirip manusia, adalah lengan mekanis robot, atau manipulator. Unit kontrol untuk robot industri modern adalah komputer yang dapat diprogram untuk menjalankan subrutin yang agak canggih, sehingga memberikan robot kecerdasan yang terkadang terlihat hampir seperti manusia. Manipulasi robot, dikombinasikan dengan pengontrol tingkat tinggi, memungkinkan robot industri untuk melakukan berbagai tugas seperti bongkar muat mesin produksi, pengelasan titik, dan pengecatan semprot. Robot biasanya digunakan sebagai

pengganti pekerja manusia dalam tugas-tugas ini. Robot industri pertama dipasang dalam operasi pengecoran di Ford Motor Company. Pekerjaan robot adalah membongkar cetakan *die* dari mesin *die-casting*. (Groover, 2019)

a. Anatomi Robot

Robot industri terdiri dari manipulator mekanik dan pengontrol untuk memindahkannya dan melakukan fungsi terkait lainnya. Manipulator mekanis terdiri dari sambungan dan tautan yang dapat memposisikan dan mengarahkan ujung manipulator relatif terhadap alasnya. Unit pengontrol terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak elektronik untuk mengoperasikan sambungan secara terkoordinasi untuk menjalankan siklus kerja yang diprogram. Anatomi robot berkaitan dengan manipulator mekanik dan konstruksinya. Gambar 11.6 menunjukkan salah satu konfigurasi robot industri yang umum.



3.

Sumber: (Groover, 2019)

Gambar 11.6 Manipulator robot industri modern. (Foto milik Adept Technology, Inc.)

1) Sendi dan Tautan Manipulator

Sendi pada robot mirip dengan sendi pada tubuh manusia. Ini memberikan gerakan relatif antara dua bagian tubuh. Terhubung ke setiap sambungan adalah *link* input dan *link* output. Setiap sambungan memindahkan tautan keluarannya relatif terhadap tautan masukannya. Manipulator robot terdiri dari serangkaian kombinasi *link joint link*. Tautan keluaran dari satu sambungan adalah link masukan untuk sambungan

berikutnya. Robot industri tipikal memiliki lima atau enam sambungan. Gerakan terkoordinasi dari sambungan ini memberi robot kemampuannya untuk memindahkan, memposisikan, dan mengarahkan objek untuk melakukan pekerjaan yang berguna. Sambungan manipulator dapat diklasifikasikan sebagai linier atau berputar, yang menunjukkan gerakan link keluaran relatif terhadap link masukan.

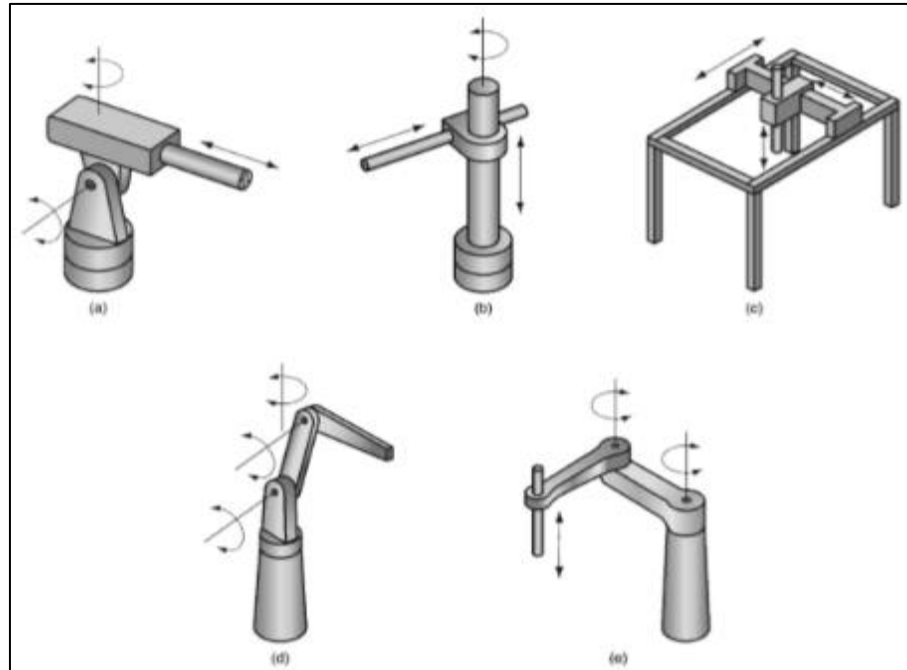
2) Desain Manipulator

Menggunakan sambungan dari dua tipe dasar, setiap sambungan dipisahkan dari sebelumnya oleh *link*, manipulator dibangun. Kebanyakan robot industri dipasang di lantai. Basisnya adalah *link* 0; ini adalah input *link* ke *joint* 1 yang outputnya *link* 1, yang merupakan input ke *joint* 2 yang *link* outputnya adalah *link* 2; dan seterusnya, untuk jumlah *joint* pada manipulator.

Manipulator robot biasanya dapat dibagi menjadi dua bagian: perakitan lengan-dan-tubuh dan perakitan pergelangan tangan. Biasanya ada tiga sendi yang terkait dengan rakitan lengan dan tubuh, dan dua atau tiga sendi yang terkait dengan pergelangan tangan. Lengan dan tubuh berfungsi untuk memosisikan suatu benda atau alat, dan fungsi pergelangan tangan adalah untuk mengarahkan benda atau alat dengan benar. Penentuan posisi berkaitan dengan memindahkan bagian atau alat dari satu lokasi ke lokasi lain. Orientasi berkaitan dengan menyelaraskan objek secara tepat dengan beberapa lokasi stasioner di area kerja.

Untuk mencapai fungsi ini, desain lengan dan tubuh berbeda dari pergelangan tangan. Penentuan posisi membutuhkan gerakan spasial yang besar, sedangkan orientasi membutuhkan gerakan memutar dan memutar untuk menyelaraskan bagian atau alat yang relatif terhadap posisi tetap di tempat kerja. Lengan dan tubuh terdiri dari sambungan dan sambungan besar, sedangkan pergelangan tangan terdiri dari sambungan pendek. Sendi lengan dan tubuh sering terdiri dari tipe linier dan berputar, sedangkan sendi pergelangan tangan hampir selalu tipe yang berputar.

Ada lima konfigurasi dasar lengan dan tubuh yang tersedia di robot komersial, diidentifikasi pada Gambar 11.7. (Groover, 2019)



Sumber : (Groover, 2019)

Gambar 11.7 Lima anatomi umum dari robot industri komersial: (a) kutub, (b) silinder, (c) koordinat kartesius, (d) lengan bersendi, dan (e) SCARA, atau lengan robot perakitan yang sesuai selektif.

Pada gambar diatas dapat pula disebut robot SCARA, yang merupakan singkatan dari "lengan robot perakitan yang sesuai secara selektif". Hal ini mirip dengan anatomi lengan bersendi, kecuali bahwa sendi bahu dan siku memiliki sumbu rotasi vertikal, sehingga memberikan kekakuan dalam arah vertikal tetapi kepatuhan relatif pada arah horizontal. (Groover, 2019)

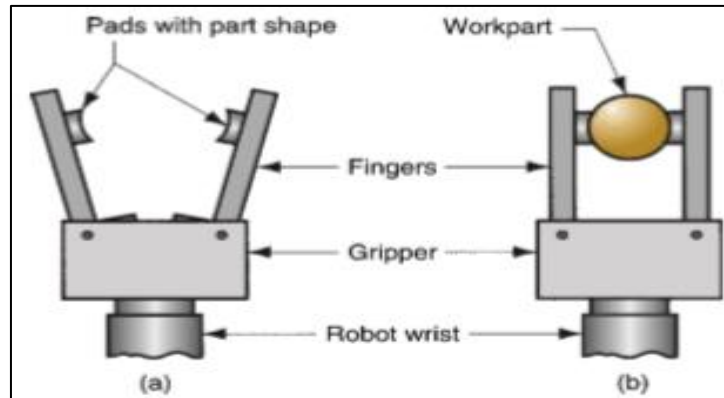
Pergelangan tangan dipasang ke mata rantai terakhir dalam salah satu konfigurasi lengan dan tubuh ini. SCARA terkadang merupakan pengecualian karena hampir selalu digunakan untuk penanganan sederhana dan tugas perakitan yang melibatkan gerakan vertikal. Oleh karena itu, pergelangan tangan biasanya tidak ada di ujung manipulatornya. Mengganti pergelangan tangan pada SCARA biasanya merupakan gripper untuk memegang komponen untuk gerakan dan / atau perakitan.

3) Volume Kerja dan Ketepatan Gerakan

Salah satu pertimbangan teknis penting dari robot industri adalah ukuran volume kerjanya. Volume kerja didefinisikan sebagai penjangkau di mana manipulator robot dapat memposisikan dan mengorientasikan ujung pergelangan tangannya. Jarak jangkauan ini ditentukan oleh jumlah sambungan, juga jenis dan jangkauannya, serta ukuran mata rantai. Volume kerja penting karena memainkan peran penting dalam menentukan aplikasi mana yang dapat dilakukan robot. Definisi resolusi kontrol, akurasi, dan pengulangan untuk sistem pemosisian NC berlaku untuk robot industri. Bagaimanapun, manipulator robot adalah sistem pemosisian. Secara umum, tautan dan sambungan robot hampir tidak sekaku rekan peralatan mesin mereka, sehingga akurasi dan pengulangan gerakan mereka tidak sebaik itu.

4) Efektor akhir

Robot industri adalah mesin serbaguna. Agar robot berguna dalam aplikasi tertentu, ia harus dilengkapi dengan perkakas khusus yang dirancang untuk aplikasi tersebut. Efektor akhir adalah perkakas khusus yang menghubungkan ke ujung pergelangan robot untuk melakukan tugas tertentu. Ada dua tipe umum efektor akhir yaitu: alat dan *gripper*. Suatu alat digunakan ketika robot harus melakukan suatu operasi pemrosesan. Alat khusus termasuk senjata las titik, alat las busur, nozel cat semprot, spindel putar, obor pemanas, dan alat perakitan (misalnya obeng Otomasi). Robot diprogram untuk memanipulasi alat relatif terhadap bagian pekerjaan yang sedang diproses. *Grippers* dirancang untuk menggenggam dan memindahkan objek selama siklus kerja. Objek biasanya merupakan bagian kerja, dan efektor akhir harus dirancang secara khusus untuk bagian tersebut. *Grippers* digunakan untuk aplikasi penempatan suku cadang, pemuatan dan pembongkaran alat berat, dan pembuatan palet. Gambar 11.8 menunjukkan konfigurasi *gripper* yang khas.



Sumber : (Groover, 2019)

Gambar 11.8 Robot *gripper*: (a) terbuka dan (b) tertutup untuk menangkap bagian kerja.

b. Sistem Kontrol dan Pemrograman Robot

Pengontrol robot terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak elektronik untuk mengontrol sambungan selama pelaksanaan siklus kerja yang diprogram. Kebanyakan unit kontrol robot saat ini didasarkan pada sistem komputer mikro. Sistem kontrol dalam robotika dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1) Putar ulang dengan kontrol *point to point* (PTP).

Seperti pada kontrol numerik, sistem gerak robot dapat dibagi menjadi jalur *point to point* dan kontinu. Program untuk robot pemutaran titik ke titik terdiri dari serangkaian lokasi titik dan urutan di mana titik-titik ini harus dikunjungi selama siklus kerja. Selama pemrograman, titik-titik ini direkam ke dalam memori, dan kemudian diputar ulang selama menjalankan program. Dalam gerakan titik ke titik, jalur yang diambil untuk sampai ke posisi akhir tidak dikontrol.

2) Putar ulang dengan kontrol jalur kontinu (CP).

Kontrol jalur kontinu mirip dengan PTP, kecuali jalur gerakan daripada titik individu yang disimpan dalam memori. Dalam jenis gerakan CP reguler tertentu, seperti jalur garis lurus antara dua lokasi titik, lintasan yang diperlukan oleh manipulator dihitung oleh unit pengontrol untuk setiap gerakan. Untuk gerakan kontinu tak beraturan, seperti jalur yang diikuti dalam lukisan semprot, jalur ditentukan oleh serangkaian titik yang berjarak dekat yang mendekati jalur mulus tak beraturan. Robot yang

mampu melakukan gerakan jalur terus menerus juga dapat melakukan gerakan titik-ke-titik.

3) Kontrol cerdas.

Robot industri modern menunjukkan karakteristik yang seringkali membuatnya tampak bertindak cerdas. Karakteristik tersebut meliputi kemampuan untuk merespons sensor canggih seperti visi mesin, membuat keputusan saat terjadi kesalahan selama siklus kerja, membuat komputasi, dan berkomunikasi dengan manusia. Kecerdasan robot diimplementasikan menggunakan mikroprosesor yang kuat dan teknik pemrograman tingkat lanjut. (Groover, 2019)

Robot menjalankan program instruksi yang tersimpan yang mendefinisikan urutan gerakan dan posisi dalam siklus kerja, seperti program bagian di NC. Selain instruksi gerak, program dapat mencakup instruksi untuk fungsi lain seperti berinteraksi dengan peralatan eksternal, merespons sensor, dan memproses data. Ada dua metode dasar yang digunakan untuk mengajarkan program robot modern: (Groover, 2019)

a) Mengatur melalui pemrograman dan bahasa pemrograman komputer.

Pemrograman ini melibatkan metode mengajar dengan menunjukkan di mana manipulator digerakkan oleh pemrogram melalui urutan posisi dalam siklus kerja. Pengontrol merekam setiap posisi dalam memori untuk pemutaran berikutnya. Tersedia dua prosedur untuk memimpin robot melalui urutan gerakan: *leadthrough* bertenaga dan *leadthrough* manual. Dalam *leadthrough* bertenaga, manipulator digerakkan oleh kotak kontrol yang memiliki sakelar sakelar atau tombol tekan untuk mengontrol pergerakan sambungan. Dengan menggunakan kotak kontrol, pemrogram memindahkan manipulator ke setiap lokasi, merekam posisi sambungan yang sesuai ke dalam memori. Pengaturan yang didukung adalah metode umum untuk memprogram robot pemutaran dengan kontrol titik ke titik. Petunjuk arah manual biasanya digunakan untuk robot pemutaran dengan kontrol jalur kontinu. Dalam metode ini, programmer secara fisik menggerakkan pergelangan tangan manipulator melalui siklus gerak. Untuk pengecatan semprot dan pekerjaan tertentu lainnya, ini adalah cara yang lebih nyaman untuk memprogram robot.

b) Bahasa pemrograman komputer untuk robot pemrograman telah berkembang dari penggunaan pengendali komputer mikro. Bahasa komersial pertama diperkenalkan sekitar 1979. Bahasa komputer menyediakan cara yang nyaman untuk mengintegrasikan bahasa tertentu fungsi *nonmotion* ke dalam siklus kerja, seperti logika keputusan, *interlocking* dengan peralatan lain, dan *interfacing* dengan sensor.

c. Aplikasi Robot Industri

Beberapa pekerjaan industri cocok untuk aplikasi robot. Berikut ini adalah karakteristik penting dari situasi kerja yang cenderung mendorong penggantian robot sebagai pengganti pekerja manusia:

- 1) Lingkungan kerja berbahaya bagi manusia,
- 2) Siklus kerja yang berulang,
- 3) Pekerjaan dilakukan di lokasi yang tidak bergerak,
- 4) Penanganan bagian atau alat akan sulit bagi manusia,
- 5) Merupakan operasi *multishift*,
- 6) Produksi berjalan lama dan pergantian jarang,
- 7) Pemosisian bagian dan orientasi ditetapkan pada awal siklus kerja, karena sebagian besar robot tidak dapat melihat.

Aplikasi robot industri yang cenderung sesuai dengan karakteristik ini dapat dibagi menjadi tiga kategori dasar:

- 1) Aplikasi penanganan material melibatkan pergerakan material atau bagian dari satu lokasi dan orientasi ke lokasi lain. Untuk menyelesaikan tugas relokasi ini, robot dilengkapi dengan *gripper*. Seperti disebutkan sebelumnya, *gripper* harus dirancang khusus untuk menangkap bagian tertentu dalam aplikasi. Aplikasi penanganan material termasuk transfer material (penempatan bagian, pembuatan palet, *depalletizing*) dan pemuatan dan / atau pembongkaran mesin (misalnya, peralatan mesin, pengepres, dan cetakan plastik).

- 2) Operasi pemrosesan membutuhkan robot untuk memanipulasi alat sebagai efektor akhirnya. Aplikasinya meliputi pengelasan titik, pengelasan busur kontinu, pelapisan semprot, dan pemotongan logam tertentu serta operasi *deburring* di mana robot memanipulasi alat khusus. Dalam setiap operasi ini, alat digunakan sebagai efektor akhir robot. Pengelasan spot adalah aplikasi umum robot industri dalam industri otomotif. Penerapan spot *welding* diilustrasikan pada Gambar 11.10.



Sumber : (Groover, 2019)

Gambar 11.10 Bagian dari jalur perakitan mobil di mana robot melakukan operasi pengelasan titik. (Foto milik *Ocean / Corbis Images*.)

Aplikasi perakitan dan inspeksi tidak dapat diklasifikasikan dengan rapi di salah satu kategori sebelumnya, terkadang melibatkan penanganan bagian dan manipulasi alat di lain waktu. Aplikasi perakitan sering kali melibatkan penumpukan satu bagian ke bagian lain yang pada dasarnya itu adalah tugas penanganan bagian. Dalam operasi perakitan lainnya, alat dimanipulasi, seperti obeng Otomasi. Demikian pula, operasi inspeksi terkadang memerlukan robot untuk memposisikan bagian kerja relatif terhadap perangkat inspeksi, atau untuk memuat bagian tersebut ke dalam mesin inspeksi, sedangkan aplikasi lain melibatkan manipulasi sensor untuk melakukan inspeksi.

C. LATIHAN SOAL/TUGAS

1. Apa itu Otomasi? Dan jelaskan komponen-komponen sistem Otomasi?
2. Teknik pemrograman yang paling penting adalah pemrograman bagian manual, pemrograman bagian berbantuan komputer, Jelaskan masing-masing secara singkat?
3. Jelaskan apa sajakah perangkat keras yang digunakan untuk Otomasi?
4. Apakah keuntungan yang didapat sebuah perusahaan apabila menjalankan sistem pengontrolan yang terprogram?
5. Apa yang kamu tahu tentang industri robotik dan bagaimana mengaplikasikannya dalam suatu perusahaan?

D. DAFTAR PUSTAKA

- Chang, C-H, and Melkanoff, M. A. NC. (2005). Machine Programming and Software Design, 3rd ed. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey
- Groover, M. P. (2013). Fundamentals Of Modern Manufacturing. United States of America: Jhon Willey.
- Groover, M. P. (2008). Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing, 3rd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey,
- Hughes, T. A. (2005). Programmable Controllers, 4th ed., Instrumentation, Systems, and Automation Society, Research Triangle Park, North Carolina.
- Seames W. (2002). Computer Numerical Control, Concepts and Programming. Delmar-Thomson Learning, Albany, New York.
- Webb, J. W., and Reis, R. A. (2003). Programmable Logic Controllers: Principles and Applications, 5th ed., Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Weber, A. (2005). "Robot dos and don'ts," Assembly, pp. 50–57.
- Weber, A. (2004). "Is Flexibility a Myth?" Assembly, pp. 50–59

PERTEMUAN 12

SISTEM MANUFAKTUR TERINTEGRASI

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Dalam sistem manufaktur terintegrasi ini diharapkan mahasiswa dapat mengetahui serta dapat mengembangkan dan merancang bagaimana mengukur dan mengimplementasikan rancangan sistem manufaktur yang terintegrasi dan memanfaatkan sistem yang dapat digunakan.

B. URAIAN MATERI

1. Pengantar Sistem Manufaktur Terintegrasi

Sistem manufaktur terdiri dari beberapa *workstation* atau mesin yang operasinya terintegrasi dengan menggunakan subsistem penanganan material yang menggerakkan bagian atau produk antar stasiun. Selain itu, sebagian besar sistem ini menggunakan kontrol komputer untuk mengkoordinasikan tindakan stasiun dan peralatan penanganan material dan untuk mengumpulkan data tentang kinerja sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, komponen dari sistem manufaktur terintegrasi adalah *workstation* atau mesin, peralatan penanganan material, dan kendali komputer. Selain itu, sumberdaya manusia bertugas untuk mengelola sistem, dan untuk mengoperasikan stasiun kerja dan mesin individu. Sistem manufaktur terintegrasi meliputi jalur produksi manual dan Otomasi, dan sistem manufaktur fleksibel. Terdapat pula sistem manufaktur terintegrasi komputer (CIM), sistem manufaktur terintegrasi tertinggi. Sistem-sistem ini digunakan untuk penanganan material, integrator fisik dalam sistem manufaktur terintegrasi.

Penanganan material didefinisikan sebagai pergerakan, penyimpanan, perlindungan, dan kontrol material selama proses produksi dan distribusi. Istilah ini biasanya dikaitkan dengan aktivitas yang terjadi di dalam fasilitas, berbeda dengan transportasi antar fasilitas yang melibatkan pengiriman barang dengan kereta api, truk, udara, atau jalur air. Material harus dipindahkan selama urutan operasi manufaktur yang mengubahnya menjadi produk akhir. Fungsi *material handling* di bidang manufaktur meliputi: (Groover, 2019)

- a. Bongkar muat unit kerja di setiap *workstation*
- b. Bongkar muat unit kerja dari stasiun
- c. Pengangkutan unit kerja antar *workstation*.

Pemuatan melibatkan pemindahan unit kerja ke dalam mesin produksi dari lokasi yang dekat atau di dalam *workstation*. *Positioning* berarti menempatkan unit kerja dalam orientasi tetap relatif terhadap operasi pemrosesan atau perakitan. Di akhir operasi, unit kerja dibongkar atau dipindahkan dari stasiun. Bongkar muat dilakukan secara manual atau dengan perangkat Otomasi seperti robot industri. Jika operasi manufaktur membutuhkan banyak *workstation*, maka unit harus diangkut dari satu stasiun ke stasiun berikutnya secara berurutan. Dalam banyak kasus, fungsi penyimpanan sementara juga harus disediakan oleh sistem penanganan material, karena unit kerja menunggu giliran di setiap *workstation*. Tujuan penyimpanan dalam contoh ini adalah untuk memastikan bahwa pekerjaan selalu ada di setiap stasiun, sehingga waktu menganggur pekerja dan peralatan dapat dihindari. Peralatan dan metode penanganan material yang digunakan dalam pembuatan dapat dibagi ke dalam kategori umum berikut: pengangkutan material, penyimpanan, dan penyatuan.

Peralatan *material handling* digunakan untuk memindahkan suku cadang dan material antar *workstation* di pabrik. Proses ini termasuk pemberhentian perantara untuk penyimpanan sementara dari suatu proses. Ada lima jenis utama peralatan *material handling* (lihat Tabel 12.1):

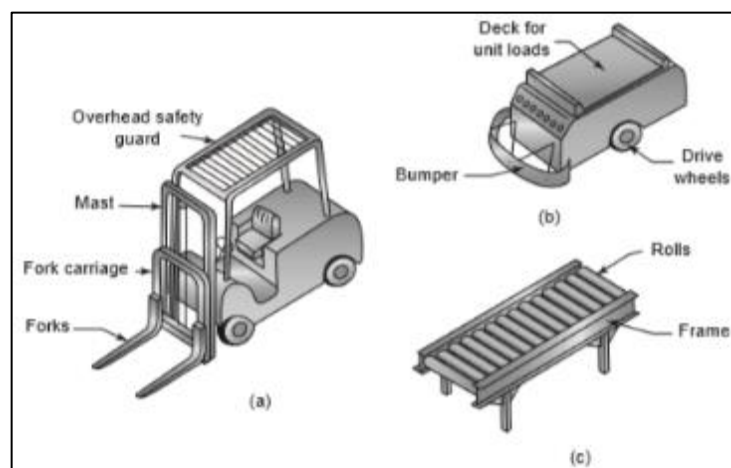
Tabel 12.1 Lima jenis peralatan *material handling*.

Tipe Alat	Deskripsi	Aplikasi di Produksi
Truk industri	Truk bertenaga termasuk truk fork lift seperti pada Gambar 12.1 (a). Truk tangan termasuk platform beroda dan boneka.	Pergerakan muatan palet dan kontainer di pabrik dan gudang. Truk tangan digunakan untuk beban kecil dengan jarak pendek.
Kendaraan berpemandu Otomasi	Kendaraan self-propelled yang dioperasikan secara independen dipandu di sepanjang jalur yang ditentukan, seperti pada	Pergerakan suku cadang dan produk di jalur perakitan dan sistem manufaktur yang fleksibel.

Tipe Alat	Deskripsi	Aplikasi di Produksi
	Gambar 12.1 (b). Didukung oleh baterai terpasang.	
Kendaraan berpemandu rel	Kendaraan bermotor dipandu oleh sistem rel tetap. Didukung oleh rel listrik.	Monorel digunakan untuk pengiriman <i>overhead</i> komponen besar dan <i>subassemblies</i> .
Konveyor	Peralatan untuk memindahkan barang di sepanjang jalur tetap menggunakan rantai, sabuk bergerak, roller (Gambar 12.1 (c), atau penggerak mekanis lainnya.	Perpindahan barang dalam jumlah besar antar lokasi tertentu. Pergerakan produk di lini produksi.
Kerekan dan derek	Peralatan yang digunakan untuk pengangkatan vertikal (kerekan) dan gerakan horizontal (derek).	Mengangkat dan mengangkut material dan beban berat.

Sumber: (Groover, 2019)

Berikut beberapa jenis peralatan penanganan material:



Sumber: (Groover, 2019)

Gambar 12.1 Beberapa jenis peralatan penanganan material: (a) truk fork lift, (b) kendaraan berpemandu Otomasi, dan (c) roller conveyor.

Terdapat dua kategori umum peralatan *material handling* dapat dibedakan menurut jenis jalur antara *workstation*, yaitu:

a. Perutean tetap.

Semua unit kerja dipindahkan melalui urutan stasiun yang sama. Ini menyiratkan bahwa urutan pemrosesan yang diperlukan pada semua unit kerja adalah identik atau sangat mirip. Perutean tetap digunakan pada jalur perakitan manual dan jalur produksi Otomasi. Peralatan penanganan material khas.

b. Perutean variabel

Unit kerja yang berbeda dipindahkan melalui urutan stasiun kerja yang berbeda, yang berarti bahwa proses sistem manufaktur atau merakit berbagai jenis suku cadang atau produk. Sel manufaktur dan sistem manufaktur yang fleksibel biasanya beroperasi dengan cara ini. Peralatan penanganan khusus yang ditemukan dalam rute variabel termasuk truk industri, kendaraan berpemandu Otomasi, dan kerekan dan derek.

Sistem penyimpanan di pabrik digunakan untuk penyimpanan sementara bahan mentah, proses kerja, dan produk jadi. Sistem penyimpanan dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori umum: metode dan peralatan penyimpanan konvensional, yang mencakup penyimpanan massal di area terbuka, sistem rak, dan sistem penyimpanan Otomasi, yang mencakup sistem rak yang dilayani oleh derek Otomasi yang menyimpan dan mengambil beban palet. Perlengkapan mengacu pada wadah yang digunakan untuk menampung barang-barang individu selama pengangkutan dan penyimpanan, serta peralatan yang digunakan untuk membuat unit muatan tersebut. Wadah termasuk palet, panci jinjing, kotak, dan keranjang yang menampung komponen selama penanganan. Peralatan perlengkapan termasuk palet yang digunakan untuk memuat dan menumpuk karton ke palet dan perlengkapan yang digunakan untuk menyelesaikan operasi pembongkaran. Perlengkapan ini pada umumnya dikaitkan dengan karton produk jadi yang masing-masing meninggalkan fasilitas dan kotak bahan mentah yang masuk ke fasilitas.

Secara umum, berbagai jenis metode dan peralatan penanganan material dikaitkan dengan empat jenis tata letak pabrik, seperti yang dirangkum dalam Tabel 12.2:

Tabel 12.2 Jenis metode dan sistem penanganan material

Jenis Tata Letak	Fitur	Metode dan Peralatan
Posisi tetap	Produk besar dan berat, tingkat produksi rendah	Derek, kerekan, truk angkat garpu
Proses	Variasi produk menengah dan keras, tingkat produksi rendah dan menengah	Truk angkat garpu, kendaraan berpemandu Otomasi, pemuatan manual di <i>workstation</i>
Seluler	Variasi produk lunak, tingkat produksi sedang	Konveyor, penanganan manual untuk memuat dan berpindah antar stasiun
Produk	Tidak ada variasi produk atau variasi produk lunak, tingkat produksi tinggi	Konveyor untuk aliran produk, truk pengangkat garpu, atau kendaraan berpemandu Otomasi untuk mengirimkan suku cadang ke stasiun

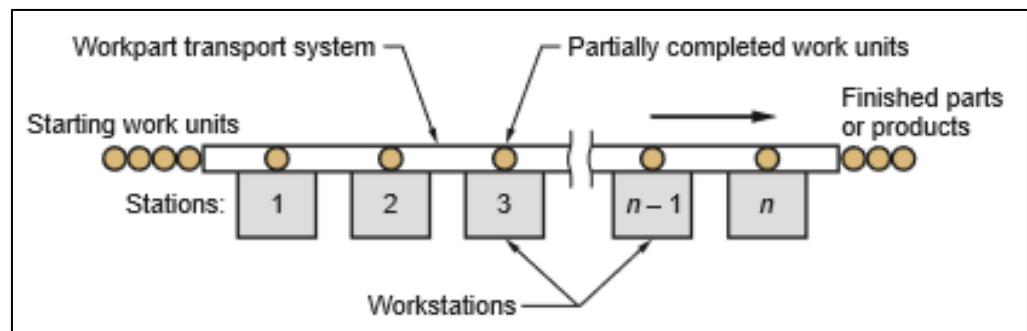
Sumber: (Groover, 2019)

2. Dasar-dasar Lini Produksi

Lini produksi adalah kelas penting dari sistem manufaktur ketika produk identik atau serupa dalam jumlah besar akan dibuat. Mereka disesuaikan dengan situasi di mana pekerjaan total yang harus dilakukan pada produk atau bagian terdiri dari banyak langkah terpisah. Contohnya termasuk produk rakitan mobil dan suku cadang mesin yang diproduksi secara massal yang memerlukan beberapa operasi pemesinan (blok mesin dan rumah transmisi). Dalam jalur produksi, total pekerjaan dibagi menjadi tugas-tugas kecil, dan pekerja atau mesin melakukan tugas-tugas ini dengan sangat efisien. Untuk tujuan jalur produksi organisasi dibagi menjadi dua tipe dasar: jalur perakitan manual dan jalur produksi Otomasi. Namun, jalur hybrid yang terdiri dari operasi manual dan

Otomasi tidak jarang. Sebelum memeriksa sistem khusus ini, beberapa masalah umum yang terlibat dalam desain dan operasi lini produksi dipertimbangkan.

Lini produksi terdiri dari serangkaian stasiun kerja yang diatur sedemikian rupa sehingga produk bergerak dari satu stasiun ke stasiun berikutnya, dan di setiap lokasi sebagian dari total pekerjaan dilakukan di atasnya, seperti yang digambarkan pada Gambar 12.2.



Sumber: (Groover, 2019)

Gambar 12.2 Konfigurasi umum dari jalur produksi.

Laju produksi jalur dibatasi oleh stasiunnya yang paling lambat. Stasiun kerja yang kecepatannya lebih cepat daripada yang paling lambat pada akhirnya akan dibatasi oleh stasiun tersebut. Pemindahan produk di sepanjang jalur biasanya dilakukan dengan sistem konveyor atau perangkat pemindahan mekanis, meskipun beberapa jalur manual hanya meneruskan produk dari pekerja ke pekerja dengan tangan. Lini produksi dikaitkan dengan produksi massal. Jika jumlah produk tinggi dan pekerjaan dapat dibagi menjadi tugas-tugas terpisah yang dapat ditugaskan ke masing-masing stasiun kerja, maka jalur produksi adalah sistem manufaktur yang paling tepat.

a. Metode Transportasi Kerja

Ada berbagai cara untuk memindahkan unit kerja dari satu *workstation* ke *workstation* berikutnya. Dua kategori dasar tersebut adalah manual dan mekanis:

1) Metode Manual Transportasi Kerja

Metode manual melibatkan pengoperan unit kerja antar stasiun dengan tangan. Metode ini dikaitkan dengan jalur perakitan manual.

Dalam beberapa kasus, output dari setiap stasiun dikumpulkan dalam kotak atau wadah jinjing, bila kotak sudah penuh maka dipindahkan ke stasiun berikutnya. Hal ini dapat menghasilkan jumlah inventaris dalam proses yang signifikan, yang tidak diinginkan. Dalam kasus lain, unit kerja dipindahkan satu per satu sepanjang di meja atau konveyor tanpa daya (misalnya, konveyor rol). Saat tugas selesai di setiap stasiun, pekerja cukup mendorong unit ke stasiun hilir. Ruang biasanya diperbolehkan untuk satu atau lebih unit terkumpul di antara stasiun, sehingga melonggarkan persyaratan bagi semua pekerja untuk melakukan tugasnya masing-masing tugas selaras. Satu masalah yang terkait dengan metode manual pengangkutan kerja adalah kesulitan dalam mengontrol laju produksi di jalur tersebut. Pekerja cenderung bekerja dengan kecepatan yang lebih lambat kecuali disediakan beberapa cara mekanis untuk mengatur kecepatan mereka.

2) Metode Mekanisasi Transportasi Kerja

Sistem mekanis bertenaga biasanya digunakan untuk memindahkan unit kerja di sepanjang jalur produksi. Sistem ini mencakup perangkat angkat dan angkut, mekanisme *pick and place*, konveyor bertenaga (misalnya, konveyor rantai di atas kepala, konveyor sabuk, dan konveyor rantai lantai), dan peralatan penanganan material lainnya, terkadang menggabungkan beberapa jenis pada satu alat. garis.

Terdapat tiga jenis sistem transfer kerja yang digunakan pada jalur produksi, yaitu:

1) Sistem transfer kontinu

Terdiri dari konveyor yang bergerak terus menerus yang beroperasi pada kecepatan konstan. Sistem transfer kontinu paling umum pada jalur perakitan manual. Dua kasus dibedakan menjadi bagian dipasang ke konveyor dan bagian dapat dilepas dari konveyor. Dalam kasus pertama, produk biasanya besar dan berat (misalnya mobil, mesin cuci) dan tidak dapat dikeluarkan dari saluran. Oleh karena itu, pekerja harus berjalan bersama dengan konveyor yang bergerak untuk menyelesaikan tugas yang diberikan untuk unit tersebut saat berada di stasiun. Dalam kasus kedua, produk cukup kecil sehingga dapat

dikeluarkan dari konveyor untuk memudahkan pekerjaan di setiap stasiun. Beberapa manfaat pacing hilang dalam pengaturan ini, karena setiap pekerja tidak diharuskan untuk menyelesaikan tugas yang diberikan dalam jangka waktu yang tetap. Di sisi lain, kasus ini memungkinkan fleksibilitas yang lebih besar bagi setiap pekerja untuk menangani masalah teknis yang mungkin ditemui di unit kerja tertentu.

2) Sistem transfer sinkron

Unit kerja secara bersamaan dipindahkan antar stasiun dengan gerakan cepat dan terputus-putus. Sistem ini juga dikenal dengan nama *intermittent transfer*, yang merupakan ciri dari jenis gerak yang dialami oleh unit kerja. Transfer sinkron mencakup pemosisian pekerjaan di stasiun, yang merupakan persyaratan untuk jalur Otomasi yang menggunakan mode transfer ini. Transfer sinkron tidak umum untuk jalur manual, karena tugas di setiap stasiun harus diselesaikan dalam waktu siklus atau produk akan meninggalkan stasiun sebagai unit yang tidak lengkap. Disiplin mondar-mandir yang kaku ini membuat stres pekerja. Sebaliknya, jenis tempo ini cocok untuk operasi Otomasi.

3) Transfer asinkron

Memungkinkan setiap unit kerja meninggalkan stasiun saat ini ketika pemrosesan telah selesai. Setiap unit bergerak secara independen, bukan serempak. Jadi, pada saat tertentu, beberapa unit di jalur bergerak di antara stasiun, sementara unit lainnya ditempatkan di stasiun. Terkait dengan pengoperasian sistem transfer asinkron adalah penggunaan antrian taktis antar stasiun. Antrian kecil unit kerja diizinkan terbentuk di depan setiap stasiun, sehingga variasi waktu tugas pekerja akan dirata-ratakan dan stasiun akan selalu memiliki pekerjaan yang menunggu. Transfer asinkron digunakan untuk sistem manufaktur manual dan Otomasi.

b. Variasi Produk

Lini produksi dapat dirancang untuk mengatasi variasi model produk. Tiga jenis garis dapat dibedakan menjadi: (Groover, 2019)

1) Garis model tunggal

Garis model tunggal adalah yang hanya menghasilkan satu model, dan tidak ada variasi dalam model. Dengan demikian, tugas yang dilakukan di setiap stasiun sama di semua unit produk.

2) Garis model batch

Seperti namanya, garis model batch menghasilkan setiap model dalam batch. Stasiun kerja diatur untuk menghasilkan kuantitas yang diinginkan dari model pertama, kemudian stasiun disusun kembali untuk menghasilkan kuantitas yang diinginkan dari model berikutnya, dan seterusnya. Waktu produksi hilang antar batch karena perubahan pengaturan. Produk rakitan sering kali dibuat dengan pendekatan ini ketika permintaan untuk setiap produk sedang dan variasi produk juga sedang. Ilmu ekonomi dalam hal ini lebih menyukai penggunaan satu jalur produksi untuk beberapa produk daripada menggunakan banyak jalur terpisah untuk setiap model.

3) Garis model campuran

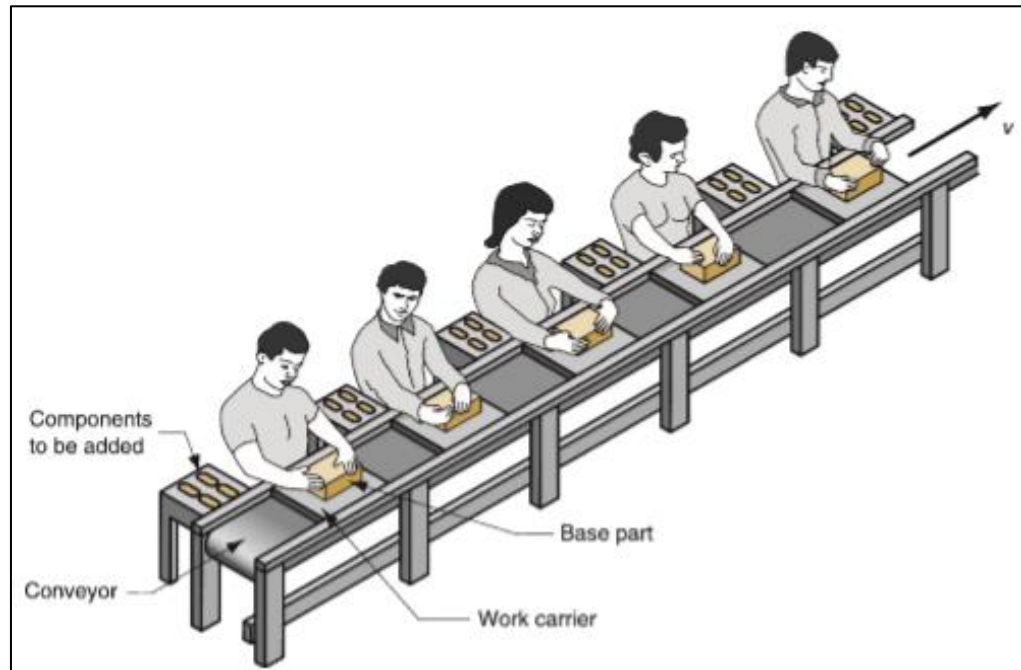
Garis model campuran juga menghasilkan banyak model, namun model tersebut dicampur pada jalur yang sama daripada diproduksi secara batch. Sementara model tertentu sedang dikerjakan di satu stasiun, model yang berbeda sedang diproses di stasiun berikutnya. Setiap stasiun dilengkapi dengan alat yang diperlukan dan cukup serbaguna untuk melakukan berbagai tugas yang diperlukan untuk menghasilkan model apa pun yang bergerak melaluinya. Banyak produk konsumen yang dirakit pada jalur model campuran ketika tingkat variasi produk lunak. Contoh utama adalah mobil dan peralatan utama, yang dicirikan oleh variasi model dan pilihan.

Model batch dan model campuran dirancang untuk menghasilkan dua atau lebih model produk yang berbeda pada lini yang sama, tetapi mereka menggunakan pendekatan yang berbeda untuk menangani variasi model.

3. Jalur Perakitan Manual

Jalur perakitan manual merupakan perkembangan penting dalam sistem manufaktur terintegrasi. Saat ini kepentingan global dalam pembuatan produk

rakitan termasuk mobil dan truk, produk elektronik konsumen, peralatan, perkakas listrik, dan produk lain yang dibuat dalam jumlah besar. Jalur perakitan manual terdiri dari beberapa stasiun kerja yang disusun secara berurutan, di mana operasi perakitan dilakukan oleh pekerja manusia, seperti pada Gambar 12.3:



Sumber: (Groover, 2019)

Gambar 12.3 Sebagian dari jalur perakitan manual.

Setiap pekerja melakukan tugas di *workstation*-nya. Sebuah konveyor memindahkan suku cadang pada pengangkut kerja dari satu stasiun ke stasiun berikutnya. Prosedur biasa pada baris manual dimulai dengan meluncurkan bagian dasar ke ujung depan garis. Seorang pembawa pekerjaan sering diminta untuk memegang bagian selama gerakannya di sepanjang garis. Bagian dasar berjalan melalui setiap stasiun tempat pekerja melakukan tugas-tugas yang secara progresif membangun produk. Komponen ditambahkan ke bagian pangkalan di setiap stasiun, sehingga semua tugas telah diselesaikan saat produk keluar dari stasiun akhir. Proses yang diselesaikan pada jalur perakitan manual meliputi operasi pengikatan mekanis, pengelasan titik, penyolderan tangan, dan sambungan perekat.

a. Analisis waktu siklus

Persamaan dapat dikembangkan untuk menentukan jumlah pekerja dan stasiun kerja yang dibutuhkan pada jalur perakitan manual untuk memenuhi permintaan tahunan yang diberikan. Misalkan masalahnya adalah merancang jalur model tunggal untuk memenuhi permintaan tahunan untuk produk tertentu. Manajemen harus memutuskan berapa banyak shift per minggu jalur akan beroperasi dan jumlah jam per shift. Jika diasumsikan bahwa pabrik beroperasi 50 minggu per tahun, maka tingkat produksi per jam yang dibutuhkan dari jalur tersebut akan ditentukan oleh:

$$R_p = \frac{D_a}{50S_wH_{sh}}$$

Dimana:

R_p = tingkat produksi rata-rata aktual, unit / jam

D_a = permintaan tahunan untuk produk, unit / tahun

S_w = Jumlah shift / minggu

H_{sh} = dan jam / shift

Jika jalur beroperasi 52 minggu daripada 50, maka $R_p = D_a / 52S_wH_{sh}$. Waktu produksi rata-rata yang sesuai per unit adalah kebalikan dari R_p :

$$T_p = \frac{60}{R_p}$$

Dimana:

T_p = waktu produksi rata-rata aktual, diubah menjadi menit

R_p = tingkat produksi rata-rata aktual, unit / jam

Sayangnya, jalur tersebut mungkin tidak dapat beroperasi untuk seluruh waktu yang diberikan oleh $50 S_wH_{sh}$, karena waktu yang hilang karena masalah keandalan. Masalah keandalan ini termasuk kegagalan mekanis dan listrik, peralatan yang aus, pemadaman listrik, dan malfungsi serupa. Karenanya, jalur harus beroperasi pada waktu yang lebih cepat daripada T_p

untuk mengatasi masalah ini. Jika efisiensi jalur = E, yang merupakan proporsi waktu aktif jalur, maka waktu siklus jalur T_c diberikan oleh:

$$T_c = ET_p = \frac{60E}{R_p}$$

Dimana:

$TC = ET_p$ = waktu siklus jalur

E = efisiensi jalur

R_p = tingkat produksi rata-rata aktual, unit / jam

Produk berisi konten pekerjaan tertentu yang mewakili semua tugas yang harus diselesaikan di jalur. Konten pekerjaan ini membutuhkan sejumlah waktu yang disebut waktu konten kerja = T_{wc} . Ini adalah total waktu yang dibutuhkan untuk membuat produk di jalurnya. Jika diasumsikan bahwa waktu pengerjaan dibagi secara merata di antara para pekerja, sehingga setiap pekerja memiliki beban kerja yang sama yang waktunya untuk melakukan sama dengan T_c , maka jumlah minimum pekerja w_{min} dalam antrean dapat ditentukan sebagai:

$$w_{min} = \text{Minimum Integer} \geq \frac{T_{wc}}{T_c}$$

Dimana:

W_{min} = jumlah workstation

T_{wc} = waktu konten kerja

T_c = waktunya untuk melakukan beban kerja

Jika setiap pekerja ditugaskan ke workstation terpisah, maka jumlah workstation sama dengan jumlah pekerja itu $N_{min} = W_{min}$.

Ada dua alasan praktis mengapa jumlah minimum pekerja ini tidak dapat dicapai, yaitu:

- 1) *line balancing* yang tidak sempurna, di mana beberapa pekerja diberikan sejumlah pekerjaan yang membutuhkan waktu lebih sedikit daripada T_c ,

dan inefisiensi ini meningkatkan jumlah total pekerja yang dibutuhkan di jalur proses.

- 2) reposisi kerugian, di mana beberapa waktu hilang di setiap stasiun untuk memposisikan kembali pekerjaan atau pekerja, sehingga waktu layanan yang tersedia di setiap stasiun kurang dari T_c , dan ini juga akan meningkatkan jumlah pekerja di garis.

b. Line Balancing dan Kerugian Reposisi

Salah satu masalah teknis terbesar dalam merancang dan mengoperasikan jalur perakitan manual adalah *line balancing*. Ini adalah masalah pemberian tugas kepada individu pekerja sehingga semua pekerja memiliki jumlah pekerjaan yang sama. Ingatlah bahwa keseluruhan pekerjaan yang harus diselesaikan di jalur diberikan oleh konten pekerjaan. Jumlah konten pekerjaan ini dapat dibagi menjadi elemen pekerjaan rasional minimum, masing-masing elemen berkaitan dengan menambahkan komponen atau menggabungkannya atau melakukan sebagian kecil lainnya dari total konten pekerjaan.

Pertama, saluran harus dirancang untuk mencapai beberapa tingkat produksi yang diinginkan, yang menetapkan waktu siklus = T_c di mana saluran harus beroperasi. Oleh karena itu, jumlah waktu elemen kerja yang ditetapkan untuk setiap stasiun harus kurang dari atau sama dengan T_c . Kedua, ada pembatasan urutan elemen pekerjaan dapat dilakukan. Beberapa elemen harus diselesaikan sebelum yang lain. Misalnya, sebuah lubang harus dibor sebelum bisa diketuk. Sekrup yang akan menggunakan lubang keran untuk memasang komponen berpasangan tidak dapat dikencangkan sebelum lubang dibor dan disadap. Persyaratan semacam ini pada urutan kerja disebut kendala prioritas. Mereka memperumit masalah *line balancing*. Elemen tertentu yang mungkin dialokasikan ke pekerja untuk mendapatkan waktu tugas T_c tidak dapat ditambahkan karena melanggar batasan prioritas.

Keterbatasan ini dan lainnya membuat hampir tidak mungkin untuk mencapai *line balancing* yang sempurna, yang berarti bahwa beberapa pekerja akan membutuhkan lebih banyak waktu untuk menyelesaikan tugas mereka daripada yang lain. Metode pemecahan masalah *line balancing*, yaitu mengalokasikan elemen kerja ke stasiun. Ketidakmampuan untuk mencapai hasil penyeimbangan yang sempurna di beberapa waktu terbuang di

kebanyakan stasiun. Karena waktu yang terbuang ini, jumlah sebenarnya pekerja yang dibutuhkan di jalur proses akan lebih besar dari jumlah *workstation*.

Ukuran total waktu terbuang pada jalur perakitan manual diberikan oleh efisiensi penyeimbangan = E_b , yang didefinisikan sebagai total waktu konten kerja dibagi dengan total waktu layanan yang tersedia pada jalur tersebut. Total waktu konten pekerjaan sama dengan jumlah waktu semua elemen pekerjaan yang harus diselesaikan di jalur proses.

Dimana:

wT = Total waktu layanan yang tersedia di jalur

E_b = efisiensi penyeimbangan

T = waktu layanan terlama di jalur

$T_s = \text{Max } \{T_{si}\}$ untuk $i = 1, 2, \dots, n$

T_{si} = waktu layanan (waktu tugas) di stasiun i

T_{wc} = waktu konten kerja

W = jumlah workstation

Definisi efisiensi penyeimbangan E_b sekarang dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$E_b = \frac{T_{wc}}{wT_s}$$

line balancing yang sempurna menghasilkan nilai E_b 1,00. Efisiensi penyeimbangan garis tipikal dalam industri berkisar antara 0,90 dan 0,95. Persamaan diatas dapat diatur ulang untuk mendapatkan jumlah sebenarnya dari pekerja yang dibutuhkan di jalur perakitan manual:

$$w = \text{Minimum Integer} \geq \frac{T_{wc}}{T_s E_b}$$

Utilitas hubungan ini menderita dari fakta bahwa efisiensi penyeimbangan E_b bergantung pada w . Sayangnya, ini adalah persamaan di mana hal yang akan ditentukan bergantung pada parameter yang, pada

gilirannya, bergantung pada benda itu sendiri. Menggunakan nilai E_b yang khas berdasarkan baris sebelumnya yang serupa, ini dapat digunakan untuk memperkirakan jumlah pekerja yang dibutuhkan untuk menghasilkan perakitan tertentu.

Jumlah *workstation* di jalur perakitan manual tidak selalu sama dengan jumlah pekerja. Untuk produk besar, dimungkinkan untuk menugaskan lebih dari satu pekerja ke satu stasiun. Praktik ini umum dilakukan di pabrik perakitan akhir yang membuat mobil dan truk. Misalnya, dua pekerja di stasiun mungkin melakukan tugas perakitan di sisi berlawanan dari kendaraan. Jumlah pekerja di stasiun tertentu disebut dengan tingkat awak stasiun M_i . Rata-rata tingkat pengawakan di seluruh lini.

$$M = \frac{w}{n}$$

Dimana:

M = rata-rata tingkat manning untuk jalur perakitan

w = jumlah pekerja di jalur

n = jumlah stasiun.

Biasanya, w dan n harus berupa bilangan bulat. Pengawakan ganda menghemat ruang lantai yang berharga di pabrik karena mengurangi jumlah stasiun yang diperlukan. Faktor lain yang mempengaruhi tingkat pengawakan di jalur perakitan adalah jumlah stasiun Otomasi di jalur tersebut, termasuk stasiun yang menggunakan robot industri. Otomasi mengurangi tenaga kerja yang dibutuhkan di telepon, meskipun hal itu meningkatkan kebutuhan personel yang terlatih secara teknis untuk memperbaiki dan memelihara stasiun Otomasi. Industri otomotif memanfaatkan stasiun kerja robotik secara ekstensif untuk melakukan pengelasan titik dan pengecatan semprot pada badan mobil lembaran logam. Robot menyelesaikan operasi ini dengan pengulangan yang lebih baik daripada pekerja manusia, yang berarti kualitas produk yang lebih tinggi.

4. Jalur Produksi Otomasi

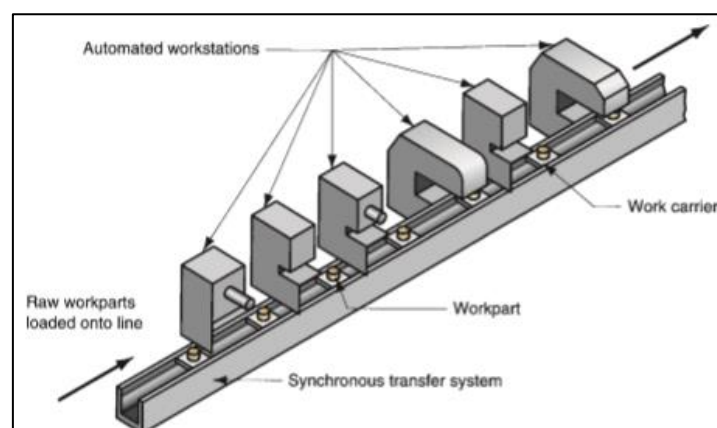
Jalur perakitan manual umumnya menggunakan sistem transfer mekanis untuk memindahkan bagian antar *workstation*, tetapi stasiun itu sendiri

dioperasikan oleh pekerja manusia. Jalur produksi Otomasi terdiri dari stasiun kerja Otomasi yang dihubungkan dengan sistem transfer suku cadang yang dikoordinasikan dengan stasiun. Secara ideal, tidak ada manusia pekerja berada di jalur, kecuali untuk melakukan fungsi tambahan seperti penggantian alat, pemuatan dan pembongkaran suku cadang di awal dan akhir jalur, serta aktivitas perbaikan dan pemeliharaan. Saluran Otomasi modern adalah sistem yang sangat terintegrasi, beroperasi di bawah kendali komputer.

Operasi yang dilakukan oleh stasiun Otomasi cenderung lebih sederhana daripada yang dilakukan oleh manusia di jalur manual. Alasannya adalah tugas yang lebih sederhana lebih mudah untuk diOtomasi. Operasi yang sulit untuk diOtomasi adalah operasi yang membutuhkan banyak langkah, penilaian, atau kemampuan sensorik manusia. Tugas yang mudah diOtomasi terdiri dari elemen kerja tunggal, gerakan penggerak cepat, dan gerakan pengumpanan garis lurus seperti pada pemesian. (Groover, 2019)

a. Jenis Garis Otomasi

Lini produksi Otomasi dapat dibagi menjadi dua kategori dasar yaitu: melakukan operasi pemrosesan seperti pemesian, dan melakukan operasi perakitan. Jenis penting dalam kategori pemrosesan adalah jalur transfer. Jalur Transfer dan Sistem Pemrosesan Serupa Jalur transfer terdiri dari urutan workstation yang menjalankan operasi produksi, dengan transfer Otomasi unit kerja antar stasiun. Pemesian adalah operasi pemrosesan yang paling umum, seperti yang digambarkan pada Gambar 12.4.

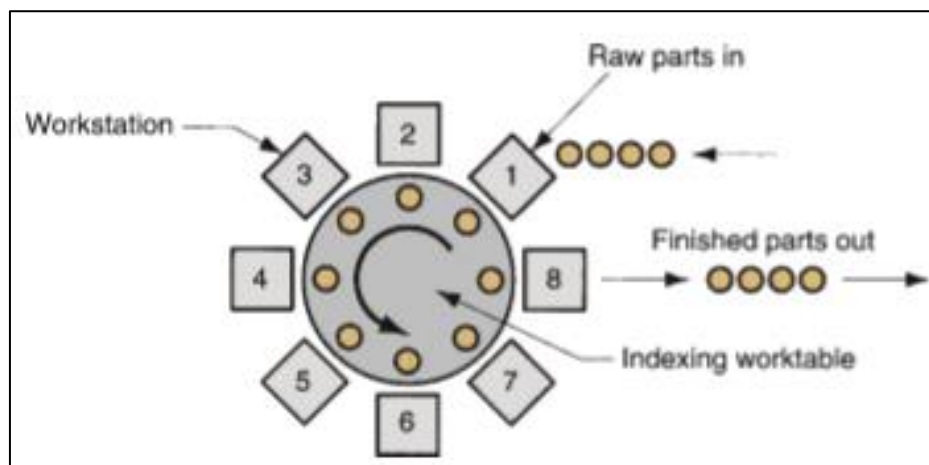


Sumber: (Groover, 2019)

Gambar 12.4 Jalur transfer pemesian, jenis jalur produksi Otomasi yang penting.

Sistem transfer Otomasi untuk pengerjaan lembaran logam dan perakitan juga tersedia. Dalam kasus pemesinan, benda kerja biasanya dimulai sebagai pengecoran logam atau penempaan, dan serangkaian operasi pemesinan dilakukan untuk mencapai detail presisi tinggi (misalnya, lubang, ulir, dan *finishing* fl pada permukaan).

Jalur transfer biasanya merupakan peralatan yang mahal, terkadang menghabiskan biaya jutaan dolar; mereka dirancang untuk jumlah bagian yang tinggi. Jumlah pemesinan yang diselesaikan pada bagian pekerjaan sering kali signifikan, tetapi karena pekerjaan dibagi di antara banyak stasiun, tingkat produksi tinggi dan biaya unit rendah dibandingkan dengan metode produksi alternatif. Transfer sinkron unit kerja antar stasiun biasanya digunakan pada jalur pemesinan Otomasi. Variasi dari jalur transfer Otomasi adalah mesin *indeks dial*, Gambar 12.5



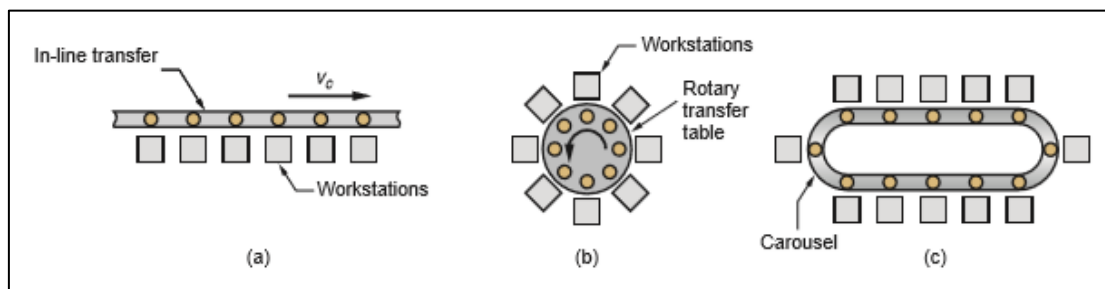
Sumber: (Groover, 2019)

Gambar 12.5 Konfigurasi mesin indeks dial.

Di mana *workstation* diatur di sekitar meja kerja melingkar, yang disebut *dial*. Meja kerja digerakkan oleh mekanisme yang memberikan rotasi parsial tabel pada setiap siklus kerja. Jumlah posisi rotasi dirancang agar sesuai dengan jumlah *workstation* di sekeliling meja. Meskipun konfigurasi mesin pengindeks dial sangat berbeda dari jalur transfer, operasi dan aplikasinya sangat mirip. Sistem Perakitan Otomasi Sistem perakitan Otomasi terdiri dari satu atau lebih *workstation* yang melakukan operasi perakitan, seperti menambahkan komponen dan / atau memasangnya ke unit kerja. Sistem perakitan Otomasi dapat dibagi menjadi sel stasiun tunggal dan beberapa

sistem stasiun. Sel perakitan stasiun tunggal sering diatur di sekitar robot industri yang telah diprogram untuk melakukan urutan langkah perakitan. Robot tidak dapat bekerja secepat serangkaian stasiun Otomasi khusus, sehingga sel stasiun tunggal digunakan untuk pekerjaan dalam kisaran produksi menengah. Sistem perakitan beberapa stasiun cocok untuk produksi tinggi. Mereka banyak digunakan untuk produksi massal produk kecil seperti pulpen, pemantik rokok, lampu kilat, dan barang serupa yang terdiri dari sejumlah komponen terbatas. Jumlah komponen dan langkah perakitan terbatas karena keandalan sistem menurun dengan cepat dengan meningkatnya kompleksitas.

Sistem perakitan beberapa stasiun tersedia dalam beberapa konfigurasi, digambarkan pada Gambar 12.6:



Sumber: (Groover, 2019)

Gambar 12.6 Tiga konfigurasi umum sistem perakitan beberapa stasiun:

(a) in-line, (b) rotary, dan (c) carousel.

Konfigurasi *in-line* adalah jalur transfer konvensional yang disesuaikan untuk melakukan pekerjaan perakitan. Sistem ini tidak sebesar mesin lainnya. Sistem putar biasanya diterapkan sebagai mesin pengindeks *dial*. Sistem perakitan *carousel* diatur sebagai *loop*. Mereka dapat dirancang dengan lebih banyak *workstation* daripada sistem putar. Karena konfigurasi *loop*, *carousel* memungkinkan *work carrier* secara Otomasi dikembalikan ke titik awal untuk digunakan kembali, keuntungan yang dimiliki oleh sistem rotari tetapi tidak dengan jalur transfer kecuali ketentuan pengembalian dibuat dalam desain.

b. Analisis Garis Produksi Otomasi

Penyeimbangan jalur adalah masalah pada jalur Otomasi, sama seperti pada jalur perakitan manual. Konten pekerjaan total harus dialokasikan ke *workstation* individu. Namun, karena tugas yang diberikan ke stasiun Otomasi

umumnya lebih sederhana, dan saluran sering kali berisi lebih sedikit stasiun, masalah dalam menentukan pekerjaan apa yang harus dilakukan di setiap stasiun tidak sesulit saluran Otomasi seperti untuk saluran manual.

Masalah yang lebih signifikan dalam jalur Otomasi adalah keandalan. Jalur ini terdiri dari beberapa stasiun, yang dihubungkan oleh sistem transfer kerja. Ini beroperasi sebagai sistem terintegrasi, dan ketika satu stasiun mengalami malfungsi, seluruh sistem terpengaruh secara merugikan. Untuk menganalisis operasi jalur produksi Otomasi, asumsikan sistem yang melakukan operasi pemrosesan dan menggunakan transfer sinkron. Model ini mencakup jalur transfer serta mesin pengindeksan dial. Ini tidak termasuk sistem perakitan Otomasi, yang membutuhkan adaptasi model. Terminologi ini akan meminjam simbol dari dua bagian pertama.

Dimana:

n = jumlah *workstation* pada baris tersebut

T_c = waktu siklus ideal

T_r = reposisi waktu, disebut waktu transfer di jalur transfer

T_{si} = waktu layanan di stasiun i .

Waktu siklus ideal T_c adalah waktu layanan (waktu pemrosesan) untuk stasiun paling lambat di jalur ditambah waktu transfer; itu adalah: (Groover, 2019)

$$T_c = T_r + \text{Max} \{T_{si}\}$$

Dalam pengoperasian jalur transfer, kerusakan berkala menyebabkan waktu henti di seluruh jalur. Biarkan frekuensi F yang terjadi kerusakan, menyebabkan penghentian garis; dan waktu rata-rata T_d garis turun saat terjadi kerusakan. Waktu henti termasuk waktu bagi kru perbaikan untuk bertindak, mendiagnosis penyebab kegagalan, memperbaikinya, dan memulai kembali saluran. Berdasarkan definisi ini, ekspresi berikut dapat diformulasikan untuk waktu produksi rata-rata aktual T_p :

$$T_p = T_c + FT_d$$

Dimana:

F = frekuensi *downtime*, jalur berhenti / siklus

T_d = *downtime* dalam menit per baris berhenti

FT_d = waktu henti rata-rata per siklus

T_p = waktu produksi rata-rata

Tingkat produksi rata-rata aktual R_p 60 / T_p . Sangat menarik untuk membandingkan tingkat ini dengan tingkat produksi ideal yang diberikan oleh:

$$R_c = \frac{60}{T_c}$$

Dimana:

R_p dan R_c = dinyatakan dalam pc / jam

T_p dan T_c = dinyatakan dalam menit

Dengan menggunakan definisi ini, efisiensi garis E untuk jalur transfer dapat ditentukan. Dalam konteks sistem manufaktur Otomasi, E mengacu pada proporsi waktu kerja dipertaruhkan dan benar-benar merupakan ukuran ketersediaan daripada efisiensi:

$$E = \frac{T_c}{T_c + FT_d}$$

Dimana:

E = efisiensi garis

T_c = waktu produksi rata-rata

FT_d = waktu henti rata-rata per siklus

Perlu dicatat bahwa definisi efisiensi jalur yang sama berlaku untuk jalur perakitan manual, kecuali bahwa kerusakan teknologi tidak terlalu menjadi masalah pada jalur manual.

Waktu henti saluran biasanya dikaitkan dengan kegagalan di *workstation* individu. Alasan waktu henti termasuk penggantian alat terjadwal

dan tidak terjadwal, kerusakan mekanis dan elektrik, kegagalan hidraulik, dan keausan normal peralatan. Misalkan probabilitas p_i atau frekuensi kegagalan di stasiun i , lalu:

$$F = \sum_{i=1}^n p_i$$

Dimana:

P_i = probabilitas distasiun i

F = frekuensi kegagalan di stasiun

Jika semua p_i diasumsikan sama, atau nilai rata-rata p_i dihitung, dalam kedua kasus menyebutnya p , maka:

$$F = np$$

Dimana:

F = frekuensi kegagalan di stasiun

P = probabilitas distasiun

n = jumlah *workstation* pada baris tersebut

Kedua persamaan ini dengan jelas menunjukkan bahwa frekuensi penghentian jalur meningkat seiring dengan jumlah stasiun pada jalur tersebut. Dengan kata lain, keandalan jalur menurun seiring dengan bertambahnya jumlah stasiun. Biaya pengoperasian jalur produksi Otomasi adalah biaya investasi peralatan dan pemasangan, ditambah biaya pemeliharaan, utilitas, dan tenaga kerja yang ditugaskan ke jalur tersebut. Biaya ini diubah menjadi biaya tahunan seragam yang setara dan dibagi dengan jumlah jam operasi per tahun untuk memberikan tarif per jam. Tarif biaya per jam ini dapat digunakan untuk menghitung biaya unit pemrosesan bagian pekerjaan di jalur: (Groover, 2019)

$$C_p = \frac{C_o T_p}{60}$$

Dimana:

C_p = biaya pemrosesan unit

C_o = Tarif per jam

T_p = waktu produksi rata-rata aktual per bagian kerja

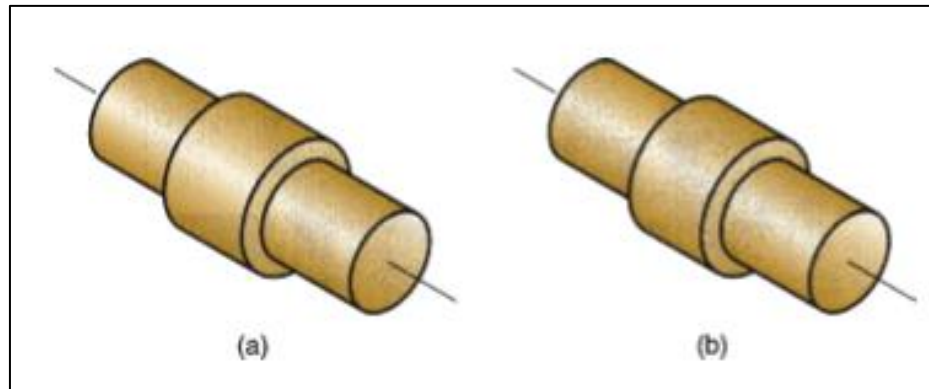
60 = konstanta mengubah tarif biaya per jam menjadi \$ / mnt untuk konsistensi unit.

5. Manufaktur *cell*

Manufaktur seluler mengacu pada penggunaan *cell* kerja yang berspesialisasi dalam produksi kelompok suku cadang atau produk yang dibuat dalam jumlah sedang. Suku cadang (dan produk) dalam kisaran jumlah ini secara tradisional dibuat dalam batch, dan produksi batch memerlukan waktu henti untuk pergantian pengaturan dan memiliki biaya penyimpanan inventaris yang tinggi. Manufaktur seluler didasarkan pada pendekatan yang disebut teknologi grup (GT), yang meminimalkan kerugian produksi batch dengan menyadari bahwa meskipun bagian-bagiannya berbeda, mereka juga memiliki kesamaan. Ketika kesamaan ini dieksploitasi dalam produksi, efisiensi operasi meningkat. Perbaikan biasanya dicapai dengan mengatur produksi di sekitar *cell* manufaktur. Dengan demikian mengikuti prinsip spesialisasi operasi. *Cell* tersebut mencakup peralatan produksi khusus serta perkakas dan perlengkapan yang dirancang khusus, sehingga produksi kelompok suku cadang dapat dioptimalkan. Akibatnya, setiap *cell* menjadi pabrik di dalam pabrik. (Groover, 2019)

a. *Part Families*

Fitur utama dari manufaktur seluler dan teknologi grup adalah *part families*. *Part families* adalah sekelompok bagian yang memiliki kesamaan dalam bentuk dan ukuran geometris, atau dalam langkah pemrosesan yang digunakan dalam pembuatannya. Bukan hal yang aneh jika sebuah pabrik yang memproduksi 10.000 suku cadang berbeda dapat mengelompokkan sebagian besar suku cadang itu ke dalam 20 hingga 30 kelompok suku cadang. Di setiap *part families*, langkah-langkah pemrosesannya serupa. Selalu ada perbedaan antar bagian dalam suatu keluarga, tetapi kesamaannya cukup dekat sehingga bagian-bagian tersebut dapat dikelompokkan ke dalam satu keluarga yang sama. Gambar 12.7 menunjukkan dua *part families* yang berbeda.



Sumber: (Groover, 2019)

Gambar 12.7 Dua bagian yang bentuk dan ukurannya sama tetapi sangat berbeda dalam pembuatannya: (a) 1.000.000 unit / tahun, toleransi 0,010 inci, baja 1015 CR, pelat nikel; dan (b) 100 / tahun, toleransi 0,001 inci, baja tahan karat 18-8.

Ada beberapa cara untuk mengidentifikasi *part families* dalam industri. Salah satu metode melibatkan inspeksi visual dari semua suku cadang yang dibuat di pabrik (atau foto suku cadang) dan menggunakan penilaian terbaik untuk mengelompokkannya ke dalam kelompok yang sesuai. Pendekatan lain, yang disebut analisis aliran produksi, menggunakan informasi yang terdapat pada lembar rute untuk mengklasifikasikan bagian. Akibatnya, suku cadang dengan langkah produksi serupa dikelompokkan ke dalam keluarga yang sama.

Metode ketiga, biasanya yang paling mahal tetapi paling berguna, adalah klasifikasi bagian dan pengkodean. Klasifikasi bagian dan pengkodean melibatkan identifikasi persamaan dan perbedaan di antara bagian-bagian dan menghubungkan bagian-bagian ini dengan menggunakan skema pengkodean numerik. Kebanyakan sistem klasifikasi dan pengkodean adalah salah satu dari berikut ini: (Groover, 2008)

- 1) Sistem berdasarkan atribut desain bagian,
- 2) Sistem berdasarkan atribut manufaktur bagian,
- 3) Sistem berdasarkan atribut desain dan manufaktur.

Karena setiap perusahaan memproduksi satu set suku cadang dan produk yang unik, sistem klasifikasi dan pengkodean yang mungkin memuaskan untuk satu perusahaan belum tentu sesuai untuk perusahaan

lain. Setiap perusahaan harus merancang pengkodeannya sendiri skema. Manfaat yang sering dikutip untuk klasifikasi yang dirancang dengan baik dalam sistem pengkodean yaitu:

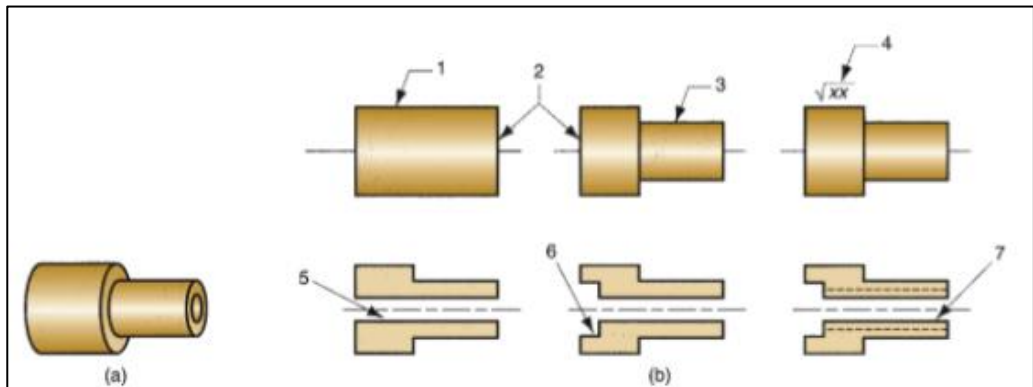
- 1) Memfasilitasi pembentukan *part families*
- 2) Memungkinkan pengambilan cepat gambar desain bagian
- 3) Mengurangi duplikasi desain karena desain bagian yang serupa atau identik dapat diambil dan digunakan kembali daripada dirancang dari awal
- 4) Mempromosikan standarisasi desain
- 5) Meningkatkan estimasi biaya dan penghitungan biaya
- 6) Memfasilitasi pemrograman bagian kontrol numerik (NC) dengan memungkinkan bagian baru menggunakan program bagian dasar yang sama seperti bagian yang ada dalam keluarga yang sama
- 7) Memungkinkan berbagi alat dan perlengkapan
- 8) Membantu perencanaan proses berbantuan komputer (CAPP) karena rencana proses standar dapat dikorelasikan dengan nomor kode *part families*, sehingga rencana proses yang ada dapat digunakan kembali atau diedit untuk bagian baru dalam kelompok yang sama.

b. Cell Mesin

Untuk sepenuhnya mengeksplorasi kesamaan di antara bagian-bagian dalam suatu keluarga, produksi harus diatur menggunakan *cell* mesin yang dirancang untuk berspesialisasi dalam membuat bagian-bagian tertentu tersebut. Salah satu prinsip dalam merancang *cell* mesin teknologi grup adalah konsep bagian komposit. Konsep Bagian Komposit Anggota keluarga suku cadang memiliki desain dan / atau fitur produksi yang serupa. Biasanya ada korelasi antara fitur desain bagian dan operasi manufaktur yang menghasilkan fitur tersebut. Lubang bundar dibuat dengan mengebor, bentuk silinder dibuat dengan memutar, dan seterusnya.

Bagian komposit untuk suatu keluarga tertentu adalah bagian hipotetis yang mencakup semua atribut desain dan manufaktur keluarga tersebut. Secara umum, bagian individu dalam keluarga akan memiliki beberapa ciri yang menjadi ciri keluarga, tetapi tidak semuanya. Sebuah *cell* produksi yang

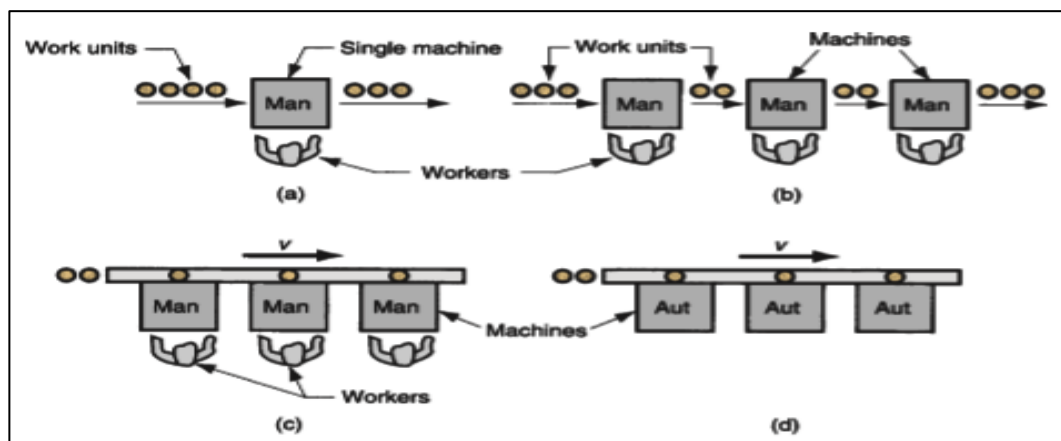
dirancang untuk *part families* akan mencakup mesin-mesin yang diperlukan untuk membuat bagian komposit. *Cell* semacam itu akan mampu menghasilkan anggota keluarga mana pun, hanya dengan menghilangkan operasi yang sesuai dengan fitur yang tidak dimiliki oleh bagian tertentu. *Cell* juga akan dirancang untuk memungkinkan variasi ukuran dalam keluarga serta variasi fitur. Untuk mengilustrasikan, pertimbangkan bagian komposit pada Gambar 12.8

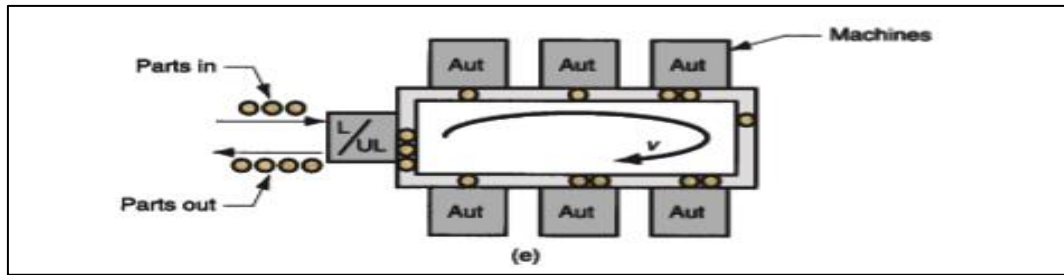


Sumber: (Groover, 2019)

Gambar 12.8 Konsep bagian komposit: (a) bagian komposit untuk kelompok bagian rotasi mesin, dan (b) fitur individu dari bagian komposit.

Desain *Cell* Mesin *Cell* mesin dapat diklasifikasikan menurut jumlah mesin dan tingkat Otomasi. *Cell* produksi ini digambarkan pada Gambar 12.9. (Groover, 2019)





Sumber: (Groover, 2019)

Gambar 12.9 Jenis *cell* mesin teknologi grup: (a) mesin tunggal, (b) beberapa mesin dengan penanganan manual, (c) beberapa mesin dengan penanganan mekanis, (d) *cell* manufaktur yang fleksibel, dan (e) sistem manufaktur yang fleksibel.

Cell mesin tunggal memiliki satu mesin yang dioperasikan secara manual. *Cell* juga akan mencakup perlengkapan dan alat untuk memungkinkan variasi fitur dan ukuran dalam *part families* yang diproduksi oleh *cell*. Beberapa *cell* mesin memiliki dua atau lebih mesin yang dioperasikan secara manual. *Cell-cell* ini dibedakan berdasarkan metode penanganan bagian kerja di dalam *cell*, manual atau mekanis. Penanganan manual berarti bahwa suku cadang dipindahkan di dalam *cell* oleh pekerja, biasanya oleh operator mesin. Penanganan mekanis mengacu pada transfer suku cadang dengan konveyor dari satu mesin ke mesin berikutnya. Ini mungkin diperlukan oleh ukuran dan berat bagian yang dibuat di dalam *cell*, atau hanya untuk meningkatkan laju produksi. Sketsa tersebut menggambarkan alur kerja sebagai sebuah garis, tata letak lain juga dimungkinkan, seperti berbentuk U atau lingkaran.

Cell manufaktur yang fleksibel dan sistem manufaktur yang fleksibel terdiri dari mesin Otomasi dengan penanganan Otomasi. Mengingat sifat khusus dari sistem manufaktur terintegrasi ini dan kepentingannya. Manfaat dan Masalah dalam Teknologi Grup Penggunaan *cell* mesin dan teknologi grup memberikan manfaat yang substansial bagi perusahaan yang memiliki disiplin dan ketekunan dalam menerapkannya. Manfaat potensial termasuk yang berikut:

- 1) GT mempromosikan standarisasi perkakas, perbaikan, dan pengaturan
- 2) Penanganan material berkurang karena suku cadang dipindahkan di dalam *cell* mesin daripada seluruh pabrik
- 3) Penjadwalan produksi disederhanakan

- 4) Waktu tunggu produksi berkurang
- 5) Pemborosan kerja dalam proses berkurang
- 6) Perencanaan proses lebih sederhana
- 7) Kepuasan pekerja biasanya meningkatkan kerja di *cell*
- 8) Pekerjaan yang lebih berkualitas tercapai

Namun, ada beberapa masalah dalam mengimplementasikan *cell* mesin. Satu masalah yang jelas adalah menata ulang mesin produksi di pabrik menjadi *cell* mesin yang sesuai. Butuh waktu untuk merencanakan dan menyelesaikan penataan ulang ini, dan mesin tidak berproduksi selama pergantian. Masalah terbesar dalam memulai program GT adalah mengidentifikasi *part families*. Jika pabrik membuat 10.000 bagian yang berbeda, meninjau semua gambar bagian dan mengelompokkan bagian-bagian ke dalam kelompok adalah tugas penting yang menghabiskan banyak waktu.

6. Sistem Manufaktur dan *Cell* yang Fleksibel

Sistem manufaktur yang fleksibel (FMS) adalah *cell* mesin teknologi grup yang sangat Otomasi, terdiri dari beberapa stasiun pemrosesan (biasanya peralatan mesin kontrol numerik komputer), yang saling berhubungan dengan sistem penanganan dan penyimpanan material Otomasi, dan dikendalikan oleh sistem komputer terintegrasi. FMS mampu memproses berbagai gaya bagian yang berbeda secara bersamaan di bawah kontrol program NC di *workstation* yang berbeda. FMS bergantung pada prinsip-prinsip teknologi grup. Tidak ada sistem manufaktur yang bisa sepenuhnya fleksibel. Ia tidak dapat menghasilkan kisaran suku cadang atau produk yang tidak terbatas. Ada batasan seberapa banyak eksibilitas dapat dimasukkan ke dalam FMS. Oleh karena itu, sistem manufaktur yang fleksibel dirancang untuk menghasilkan suku cadang (atau produk) dalam berbagai gaya, ukuran, dan proses. Dengan kata lain, FMS mampu menghasilkan satu *part families* atau rangkaian *part families* yang terbatas. Sistem manufaktur fleksibel bervariasi dalam hal jumlah peralatan mesin dan tingkat fleksibilitas.

Ketika sistem hanya memiliki beberapa mesin, istilah *cell* manufaktur fleksibel (FMC) kadang-kadang digunakan. Baik *cell* maupun sistem sangat Otomasi dan dikendalikan oleh komputer. Perbedaan antara FMS dan FMC tidak

selalu jelas, tetapi terkadang didasarkan pada jumlah mesin (*workstation*) yang disertakan. Sistem manufaktur yang fleksibel terdiri dari empat atau lebih mesin, sedangkan *cell* manufaktur yang fleksibel terdiri dari tiga atau kurang mesin. Agar memenuhi syarat sebagai fleksibel, sistem manufaktur harus memenuhi beberapa kriteria. Pengujian fleksibilitas dalam sistem manufaktur Otomasi adalah kemampuan untuk:

- a. Memproses gaya bagian yang berbeda dalam mode nonbatch
- b. Menerima perubahan dalam jadwal produksi
- c. Merespons dengan baik malfungsi peralatan dan kerusakan dalam sistem
- d. Mengakomodasi pengenalan desain bagian baru

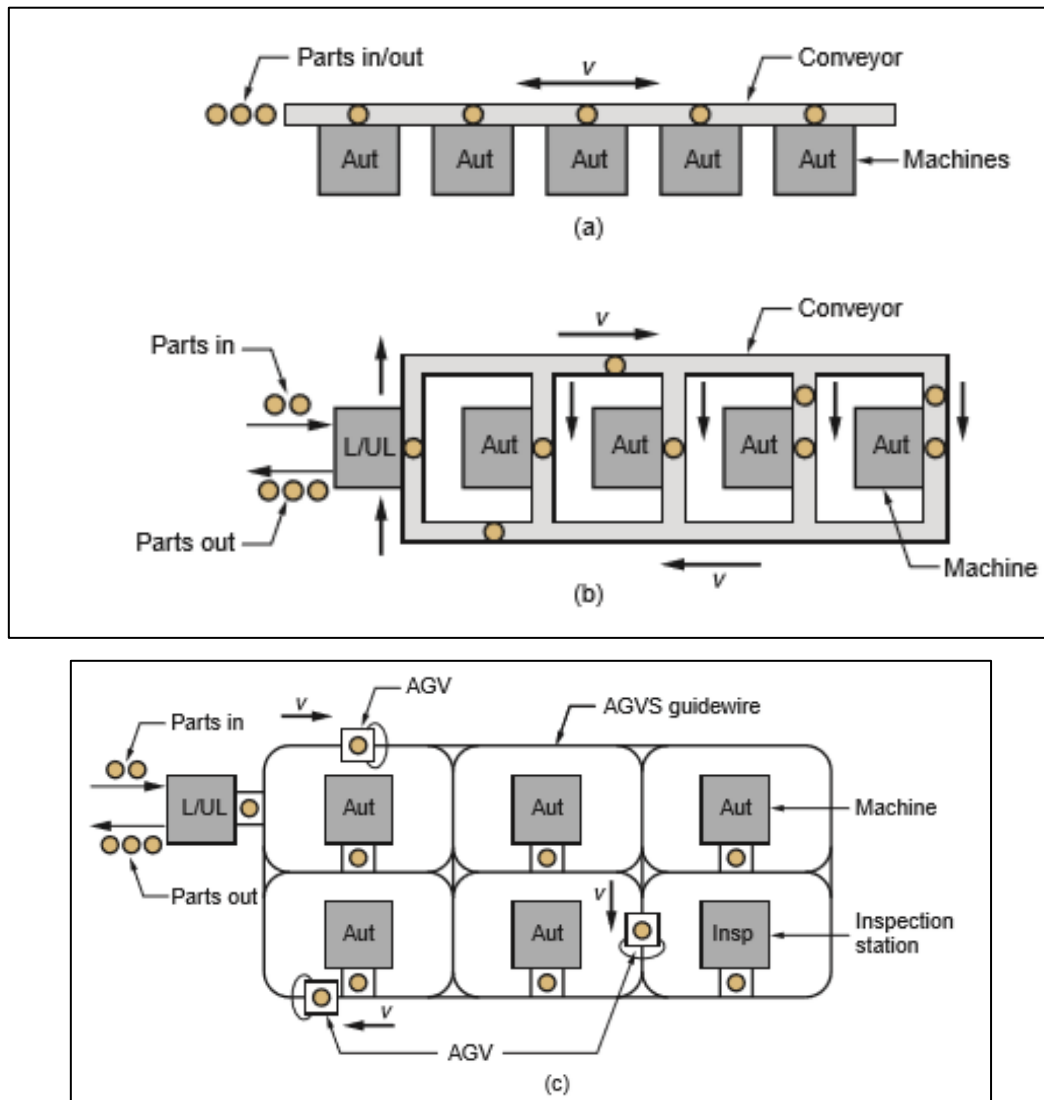
Kemampuan ini dimungkinkan dengan penggunaan komputer pusat yang mengontrol dan mengoordinasikan komponen sistem. Kriteria terpenting adalah memproses gaya bagian yang berbeda dalam mode nonbatch dan menerima perubahan dalam jadwal produksi. Sedangkan kriteria selanjutnya kurang kritis dan dapat diterapkan pada berbagai tingkat kecanggihan.

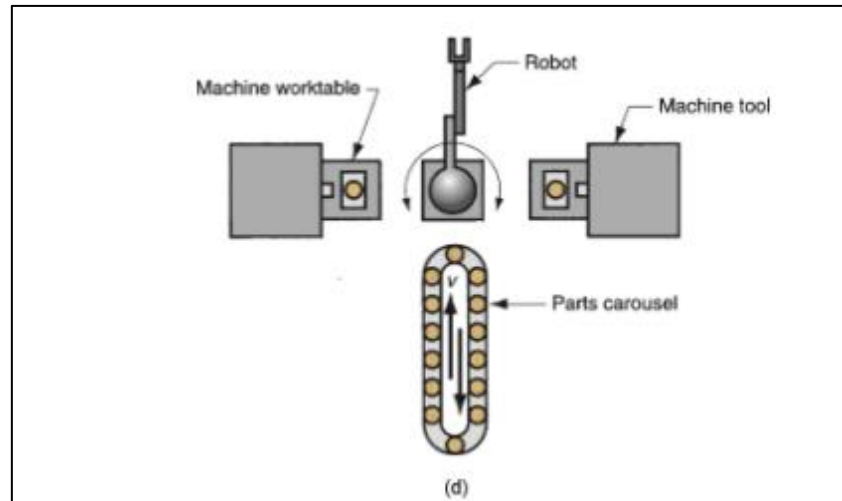
a. Mengintegrasikan Komponen FMS

FMS terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak yang harus diintegrasikan ke dalam unit yang efisien dan andal. Ini juga termasuk personel manusia. Bagian ini membahas komponen-komponen ini dan bagaimana mereka diintegrasikan. Komponen Perangkat Keras Perangkat keras FMS meliputi *workstation*, sistem penanganan material, dan komputer kendali pusat. Stasiun kerja adalah mesin CNC dalam sistem jenis pemesian, ditambah stasiun inspeksi, pembersihan suku cadang, dan stasiun lainnya, sesuai kebutuhan. Sistem konveyor *chip* pusat sering dipasang di bawah permukaan lantai.

Sistem penanganan material adalah cara bagian-bagian dipindahkan antar stasiun. Sistem penanganan material biasanya mencakup kemampuan terbatas untuk menyimpan suku cadang. Sistem penanganan yang sesuai untuk pembuatan Otomasi mencakup konveyor rol, kendaraan terpandu Otomasi, dan robot industri. Jenis yang paling tepat bergantung pada ukuran bagian dan geometri, serta faktor yang berkaitan dengan ekonomi dan kompatibilitas dengan komponen FMS lainnya. Komponen non-rotasi sering dipindahkan dalam FMS pada perlengkapan palet, sehingga palet dirancang untuk sistem penanganan tertentu, dan perlengkapan dirancang untuk

mengakomodasi berbagai geometri bagian dalam kelompok. Bagian rotasi sering ditangani oleh robot, jika berat bukan merupakan faktor pembatas. Sistem penanganan menetapkan tata letak dasar FMS. Lima tipe layout dapat ditunjukkan pada Gambar 12.10.





Sumber: **(Groover, 2019)**

Gambar 12.10 Empat dari lima tipe layout FMS: (a) *in-line*, (b) *ladder*, (c) *open field*, dan (d) *robot-centered cell*.

Tata letak sejajar menggunakan sistem transfer linier untuk memindahkan bagian antara stasiun pemrosesan dan stasiun bongkar / muat. Sistem transfer *in-line* biasanya mampu melakukan gerakan dua arah, jika tidak maka FMS beroperasi seperti garis transfer, dan gaya bagian berbeda yang dibuat pada sistem harus mengikuti urutan pemrosesan dasar yang sama karena aliran satu arah. Tata letak *loop* terdiri dari *loop* konveyor dengan *workstation* yang terletak di sekelilingnya. Konfigurasi ini mengizinkan semua urutan pemrosesan, karena stasiun mana pun dapat diakses dari stasiun lain mana pun. Hal ini juga berlaku untuk tata letak *ladder*, di mana *workstation* terletak di anak tangga. Tata letak bidang terbuka adalah konfigurasi FMS yang paling kompleks, dan terdiri dari beberapa *loop* yang diikat menjadi satu. Terakhir, sel yang berpusat pada robot terdiri dari robot yang volume kerjanya mencakup posisi bongkar / muat mesin di dalam *cell*.

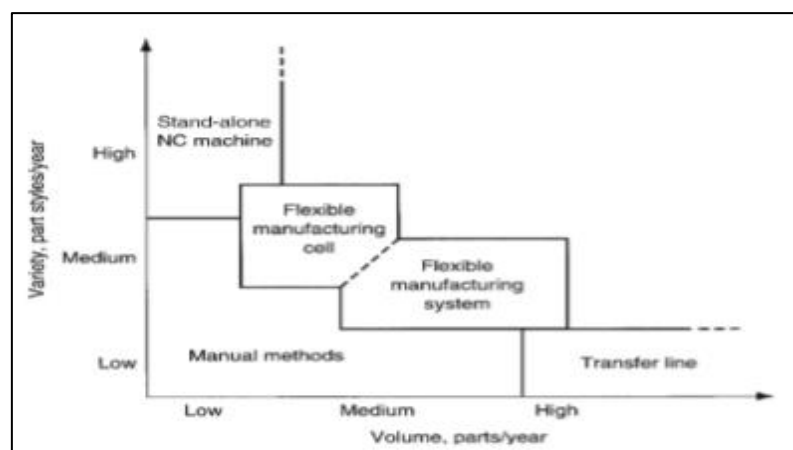
FMS juga mencakup komputer pusat yang dihubungkan ke komponen perangkat keras lainnya. Selain komputer pusat, mesin individu dan komponen lainnya umumnya memiliki mikrokomputer sebagai unit kontrol masing-masing. Fungsi komputer pusat adalah untuk mengkoordinasikan aktivitas komponen-komponen tersebut sehingga tercapai kelancaran operasi sistem secara keseluruhan. Ini menyelesaikan fungsi ini melalui perangkat lunak. Perangkat Lunak FMS dan Fungsi Kontrol Perangkat Lunak FMS terdiri

dari modul-modul yang terkait dengan berbagai fungsi yang dilakukan oleh sistem manufaktur. Misalnya, satu fungsi melibatkan pengunduhan program bagian NC ke peralatan mesin individual, fungsi lain berkaitan dengan pengendalian sistem penanganan material, yang lain berkaitan dengan manajemen alat, dan seterusnya. Tenaga Kerja Manusia Komponen tambahan dalam pengoperasian sistem manufaktur atau *cell* yang fleksibel adalah tenaga manusia. Tugas yang dilakukan oleh pekerja manusia meliputi:

- 1) Bongkar muat bagian dari sistem
- 2) Mengubah dan mengatur alat pemotong
- 3) Pemeliharaan dan perbaikan peralatan
- 4) Pemrograman bagian NC
- 5) Pemrograman dan pengoperasian komputer sistem
- 6) Manajemen sistem secara keseluruhan

b. Aplikasi Sistem Manufaktur Fleksibel

Sistem manufaktur fleksibel biasanya digunakan untuk produksi volume menengah dan variasi menengah. Jika suku cadang atau produk dibuat dalam jumlah banyak tanpa variasi gaya, maka jalur transfer atau sistem manufaktur khusus serupa adalah yang paling tepat. Jika bagian-bagiannya volume rendah dengan variasi tinggi, maka mesin NC yang berdiri sendiri atau bahkan metode manual akan lebih tepat. Karakteristik aplikasi ini dirangkum pada Gambar 12.11.



Gambar 12.11 Karakteristik aplikasi sistem manufaktur dan cell yang fleksibel relatif terhadap jenis sistem manufaktur lainnya.

Sistem pemesinan yang fleksibel merupakan aplikasi paling umum dari teknologi FMS. Karena fleksibilitas dan kemampuan kontrol numerik komputer yang melekat, beberapa peralatan mesin CNC dapat dihubungkan ke komputer pusat kecil, dan untuk merancang metode penanganan material Otomasi untuk mentransfer bagian antar mesin. Sistem pemesinan yang fleksibel yang terdiri dari lima pusat pemesinan CNC dan sistem transfer in-line untuk mengambil bagian dari stasiun bongkar / muat pusat dan memindahkannya ke stasiun pemesinan yang sesuai seperti gambar 12.12.



Gambar 12.12 Sebuah sistem manufaktur fleksibel lima stasiun. (Foto milik Cincinnati Milacron.)

Selain sistem pemesinan, jenis sistem pabrikan fleksibel lainnya juga telah dikembangkan, meskipun keadaan teknologi dalam proses-proses lain ini tidak memungkinkan penerapan cepat seperti yang terjadi dalam pemesinan. Jenis sistem lainnya termasuk perakitan, inspeksi, pemrosesan lembaran-logam (meninju, memotong, membengkokkan, dan membentuk), dan penempaan. Sebagian besar pengalaman dalam sistem manufaktur yang fleksibel telah diperoleh dalam aplikasi pemesinan. Untuk sistem pemesinan yang fleksibel, keuntungan yang biasanya diberikan adalah:

- 1) Penggunaan mesin yang lebih tinggi daripada bengkel mesin konvensional (penggunaan relatif adalah 40% hingga 50% untuk operasi tipe batch konvensional dibandingkan dengan sekitar 75% untuk FMS karena penanganan kerja yang lebih baik, dari pengaturan awal, dan penjadwalan yang lebih baik)

- 2) Berkurangnya proses kerja karena produksi berkelanjutan pada produksi batch
- 3) Waktu tunggu produksi lebih rendah
- 4) Fleksibilitas yang lebih besar dalam penjadwalan produksi.

c. Penyesuaian Masal

Manufaktur yang fleksibel mampu menghasilkan produk yang unik untuk setiap pelanggan. Kemampuan ini disebut kustomisasi massal, di mana berbagai macam produk dibuat dengan efisiensi mendekati produksi massal. Setiap produk disesuaikan secara individual sesuai dengan spesifikasi pelanggan individu. Secara ekstrim, produksi massal adalah produksi satu gaya produk dalam jumlah yang sangat besar. Demikian pula, kustomisasi massal melibatkan variasi produk yang besar dan hanya satu unit yang diproduksi untuk setiap gaya produk. Konsekuensi negatif dari proliferasi produk meliputi:

- 1) Persediaan bahan mentah, *work in process*, dan produk jadi yang besar
- 2) Biaya pembelian yang tinggi
- 3) Kebutuhan ruang lantai yang besar
- 4) Terlalu banyak pengaturan dan terlalu banyak perkakas
- 5) Biaya *overhead* yang mahal untuk mengelola variasi
- 6) Banyak literatur pemasaran dan data desain
- 7) Kebingungan pelanggan

C. LATIHAN SOAL/TUGAS

1. Jelaskan tiga jenis sistem transfer kerja yang digunakan pada jalur produksi?
2. Apa saja syarat agar sistem manufaktur dianggap sebagai manufaktur yang fleksibel?
3. Apasajakah yang termasuk peralatan *material handling* ? Jelaskan secara deskripsi dan bagaimana cara menggunakannya?
4. Jelaskan metode apa saja yang digunakan sebuah perusahaan mengenai transportasi kerja?
5. Bagaimanakah cara menganalisa garis produksi Otomasi dalam sebuah perusahaan manufaktur?

D. DAFTAR PUSTAKA

- Chang, C-H, and Melkanoff, M. A. NC (2003). Machine Programming and Software Design, 3rd ed. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Groover, M. P. (2013). Fundamentals Of Modern Manufacturing. United States of America: Jhon Willey.
- Groover, M. P. (2008). Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing, 3rd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Parsai, H., Leep, H., and Jeon, G. (2006). The Principles of Group Technology and Cellular Manufacturing, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- Weber, A. (2005) "Robot dos and don'ts," Assembly, pp. 50–57.
- Weber, A. (2004) "Is Flexibility a Myth?" Assembly, pp. 50–59

PERTEMUAN 13

SISTEM OTOMASI UNTUK MANUFAKTUR

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa mampu mengetahui bagaimana system kerja dari otomasi system manufaktur dapat di aplikasikan dalam proses manufaktur serta mampu merancang system manufaktur yang otomasi pada proses manufaktur.

B. URAIAN MATERI

1. Pengantar Sistem Otomasi untuk Manufaktur

Bagian ini menjelaskan prinsip-prinsip dasar dan perangkat keras otomasi manufaktur untuk aliran bahan dan informasi teknologi otomatis. Perangkat keras dan perangkat lunak manufaktur tercanggih saat ini adalah *Computer Integrated Manufacturing* (CIM), didefinisikan sebagai integrasi sistem bantuan komputer untuk fungsi desain. Bantuan komputer untuk desain dan produksi menggunakan *Computer Aided Design* (CAD) dan *Computer Aided Manufacturing* (CAM). Desain berbantuan komputer untuk aliran informasi teknologi otomatis mencakup: *Computer Aided Design and Drafting* (CADD), *Computer Automated Process Planning* (CAPP), sistem pemrograman otomatis, dan perencanaan tata letak terkomputerisasi. Aliran material otomatis meliputi: (Hitomi, 2017)

- a. Peralatan mesin otomatis untuk produksi massal
- b. Peralatan mesin yang dikontrol secara numerik (NC)
- c. Sistem manufaktur fleksibel (FMS)
- d. Perakitan otomatis termasuk sistem perakitan fleksibel (FAS)
- e. Otomatis penanganan material termasuk robot industri dan gudang otomatis
- f. Inspeksi / pengujian otomatis (CAI / CAT).

2. Otomasi Industri

a. Pengertian Otomasi

Otomasi adalah operasi otomatis yang pada dasarnya berkaitan dengan produksi atau sistem manufaktur otomatis. Terdapat tiga langkah menuju otomasi untuk meningkatkan efisiensi manufaktur dan produktivitas tenaga kerja, yaitu: (Hitomi, 2017)

1) Pengenalan alat

Alat (instrumen) adalah perpanjangan tangan yang digunakan untuk melakukan tindakan efektif. Manusia telah menggunakan alat untuk kegiatan produktif. Dengan demikian, langkah pertama dalam sejarah peningkatan efisiensi manufaktur adalah pemanfaatan alat.

2) Mekanisasi

Mekanisasi adalah penggantian tenaga fisik manusia dengan mesin. Mesin terdiri dari tiga komponen:

- a) Penggerak utama yang mengubah berbagai energi menjadi energi mekanik
- b) Pemancar yang memancarkan tenaga penggerak ke tempat kerja
- c) Unit mesin yang melakukan pekerjaan mekanis.

Peralatan mesin memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi manufaktur untuk produksi produk industri. Perkakas yang memainkan peran dasar pada tahap pertama untuk meningkatkan efisiensi produksi, sekarang dipasang ke peralatan mesin dan mengimplementasikan operasi pemesinan. Perkembangan peralatan mesin presisi telah berkontribusi pada modernisasi manufaktur menjadi industri besar.

3) Otomatisasi.

Langkah ketiga adalah penggantian tenaga kerja mental manusia dengan mesin. Penyiapan, pengoperasian, dan kontrol peralatan mesin mulai dioperasikan secara otomatis oleh pekerja terampil seperti pada tahap kedua. Ini adalah gerakan menuju otomatisasi. Realisasi pertamanya adalah mesin bubut otomatis yang ditemukan pada tahun

1873. Perkembangan elektronika dan teknik kontrol mendorong kecenderungan ke arah otomatisasi. Kata ini berubah menjadi otomatisasi setelah Perang Dunia II, meskipun istilah ini berasal dari tahun 1936 oleh D.S. Harder.

b. Teori Otomasi

Pada awalnya, ketika D.S. Harder menciptakan istilah otomasi pada tahun 1936 saat bekerja untuk General Motors Corporation, dia memaksudkannya sebagai transfer bagian kerja antara mesin dalam proses produksi, tanpa operasi manusia. Pada tahun 1946, dia mendirikan departemen Otomasi ketika dia menjabat sebagai wakil presiden Ford Motor Company. Setelah perang usai, seorang konsultan manajemen, J. Diebold, menulis dua buku tentang otomasi. Dalam bukunya yang diterbitkan pada tahun 1952, ia mendefinisikan otomasi sebagai operasi otomatis atau proses pembuatan barang berwujud secara otomatis. J.B. Bright mempresentasikan tahapan pengembangan mekanisasi dan otomasi, dan D.F. Drucker mengenali otomatisasi sebagai sistem konseptual di luar teknologi.

1) Asal Otomasi

Otomasi dapat dianggap sebagai singkatan dari otomatisasi atau operasi otomatis. Otomatisasi adalah kombinasi dari bahasa Yunani *automatos* (yang berarti bertindak sendiri) dan bahasa Latin *-ion* (artinya negara).

2) Arti dari Mekanisasi / Otomasi

Mekanisasi adalah penggantian tenaga kerja fisik manusia dengan mesin, tetapi pengendalian operasi mesin ini dipengaruhi oleh operator manusia. Namun otomatisasi juga menggantikan tindakan kontrol ini dengan mesin seperti yang disebutkan di bagian sebelumnya. Artinya, otomatisasi berarti penggantian aktivitas fisik dan mental manusia dengan mesin.

c. Jenis Otomatisasi

Seperti yang telah disarankan, otomatisasi berarti operasi otomatis. Mesin yang bergerak sendiri, jam, burung atau boneka yang tampil secara otomatis yang dibuat pada abad pertengahan. Otomasi menyiratkan proses

yang mengadopsi metode produksi otomatis atau produksi otomatis penuh di pabrik (Einzig, 1956). Oleh karena itu istilah ini telah berkaitan dengan, dan terbatas pada, aktivitas produksi.

1) *Factory Automation (FA)*

Otomatisasi mekanis dan otomasi proses berkaitan dengan proses produksi langsung yang mengubah bahan mentah menjadi produk yaitu aliran bahan. Jenis otomasi ini sekarang disebut *Factory Automation (FA)*. Istilah ini muncul pada tahun 1961.

2) *Office Automation (OA)*

Di sisi lain, *Office Automation (OA)* berkaitan dengan manajemen atau pengendalian kegiatan produktif, yaitu aliran informasi. Setelah FA dan OA terintegrasi, maka *Office Automation* muncul.

3) *Low Cost Automation (LCA)*

Secara umum, otomatisasi tingkat tinggi membutuhkan investasi modal yang sangat besar. *Low Cost Automation (LCA)* muncul pada tahun 1965 di Pennsylvania State University, bertujuan untuk otomatisasi dengan modal kecil dengan menggunakan peralatan otomatis standar seperti aktuator, sensor, dll. Jenis otomasi ini sangat berguna untuk usaha kecil, karena efektivitas biaya untuk produksi otomatis massal dari satu produk sangat bagus.

4) *Otomasi yang Diperluas*

Kata otomasi dilampirkan dengan kata lain, seperti:

- a) Otomatisasi desain untuk desain otomatis yang cepat dan penggambaran suku cadang dan produk,
- b) Otomatisasi laboratorium untuk pengukuran otomatis, pengumpulan dan analisis data uji
- c) Penyimpanan atau penjualan otomasi untuk manajemen penjualan dengan komputer menggunakan teknik POS (*point of sale*), dan lain-lain.

d. Pengembangan Manufaktur Otomatis

1) Pengembangan Otomasi

Pada paruh kedua abad ke-19, *konveyor*, yang pertama kali digunakan di pabrik penghasil tepung otomatis oleh O. Evans pada tahun 1787, digunakan secara luas untuk transfer barang. Sekitar tahun 1873, Spencer menemukan mesin bubut ulir otomatis.

2) Otomasi Transfer

Jenis otomatisasi sederhana yang telah banyak digunakan hingga sekarang, adalah mesin transfer untuk produksi berkelanjutan, yang menggabungkan dalam satu unit fungsi beberapa unit pemesinan terpisah yang disatukan dengan mekanisme pemuatan dan pemindahan.

Mesin transfer pertama dibuat oleh Morris Motors dari Inggris pada tahun 1924 untuk membuat blok silinder, tetapi tidak dapat diandalkan karena ketergantungannya pada kontrol mekanis. Perkembangan mesin transfer mencapai puncaknya pada pertengahan 1950-an, ketika pabrik mobil utama memasang jenis jalur transfer terintegrasi ini. Ini disebut otomasi transfer, hanya berorientasi pada industri produksi massal.

3) Otomasi Fleksibel

Untuk otomasi produksi non-massa (variasi produk, batch kecil) menggunakan mesin serbaguna, yang mampu mengotomatiskan mode produksi ini dan dilengkapi dengan perangkat kontrol yang memungkinkannya membaca instruksi untuk operasi pemesinan tertentu dan beroperasi secara otomatis sesuai untuk perintah-perintah di bawah kendali operator yang telah dikembangkan. Khas dari otomatisasi yang dikendalikan program atau otomatisasi fleksibel, adalah *Numeric Control* (NC). Dalam NC instruksi pemesinan diberikan ke perangkat kontrol dengan cara menekan atau pita magnetik atau disk.

3. Prinsip *Computer Integrated Manufacturing* (CIM)

a. Dasar-dasar Sistem Manufaktur Terintegrasi Komputer

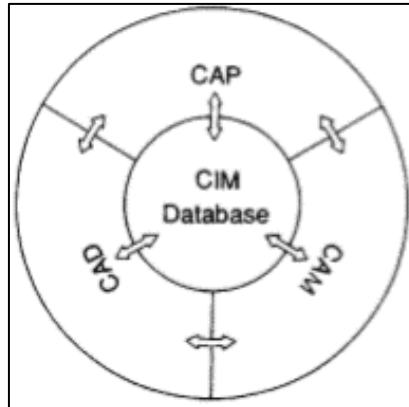
Integrated Manufacturing System (IMS) mengintegrasikan tiga fungsi utama berikut: (Hitomi, 2017)

- 1) Fungsi produksi untuk mengubah sumber daya produksi (terutama bahan mentah) menjadi produk yang disebut aliran bahan
- 2) Fungsi desain untuk transformasi spesifikasi pelanggan menjadi desain dan gambar rinci, dan desain pabrik proses, sebelum produksi yang disebut aliran informasi teknologi
- 3) Fungsi manajemen untuk merencanakan dan mengendalikan aktivitas produksi yang disebut aliran informasi manajerial.

b. Tiga Alat Bantu Komputer dalam CIM

Computer Integrated Manufacturing (CIM) adalah sistem terkomputerisasi yang mengintegrasikan alat bantu komputer melalui database, yaitu:

- 1) Bantuan komputer untuk fungsi produksi atau aliran bahan otomatis seperti: pengadaan produksi, pengendalian kualitas, pengendalian proses, pengendalian biaya distribusi / penjualan manufaktur dengan bantuan komputer (CAM)
- 2) Bantuan komputer untuk fungsi desain atau aliran otomatis informasi teknologi seperti: penelitian dan pengembangan, produk desain, proses desain, proses perencanaan (CAPP), desain tata letak dibantu komputer (CAD).
- 3) Bantuan komputer untuk fungsi manajemen atau aliran otomatis informasi manajerial seperti: perencanaan penjualan, perencanaan produksi, penjadwalan operasi dengan bantuan komputer (CAP).



Sumber: (Hitomi, 2017)

Gambar 13.1 Kerangka dasar manufaktur terintegrasi komputer (CIM) dengan integrasi sistem alat bantu komputer yang memiliki fungsi yang berbeda: desain (CAD), produksi (CAM), dan manajemen (CAP) dengan menggunakan database umum.

c. Konsep dan Asal CIM

Integrasi aliran bahan otomatis dan aliran informasi otomatis adalah sebuah konsep CIM. CIM juga merupakan mode realisasi dari integrasi sistem. Secara historis, *Computer Aided Manufacturing* (CAM) dianjurkan di Amerika Serikat sekitar tahun 1969. Ini meluas ke *Integrated Computer Aided Manufacturing* (ICAM). Pada tahun 1973 J. Harrington menciptakan istilah *Computer Integrated Manufacturing* (CIM) termasuk desain dengan bantuan komputer (CAD) (Harrington, 1973). (Ghang, 2013)

1) Definisi CIM

Dalam penerapan, CIM dianggap sebagai integrasi produksi dan penjualan, dan selanjutnya mencakup teknologi. Hal ini dimaksudkan untuk memastikan pengurangan waktu tunggu dan adaptasi yang fleksibel untuk produksi batch kecil yang sangat bervariasi melalui pemrosesan terkomputerisasi dari seluruh aktivitas mulai dari penerimaan pesanan hingga pengiriman produk. (Hitomi, 2017)

2) CIM secara umum

Definisi umum CIM adalah sistem manufaktur strategis *adaptif* fleksibel yang mengintegrasikan tiga fungsi dan sistem yang berbeda yaitu: desain, produksi, dan manajemen melalui jaringan informasi dengan komputer. Perlu dicatat bahwa M dari CIM berarti manufaktur

dalam arti luas yaitu: manufaktur adalah rangkaian fungsi bisnis (perencanaan, akuisisi, produksi, distribusi, inventaris, pemasaran dan manajemen penjualan, dan mencakup aktivitas manajemen dan pemasaran.

d. Efektivitas CIM

Manfaat penginstalan sistem CIM diringkas sebagai berikut:

- 1) CIM mengintegrasikan tiga fungsi komputerisasi dasar di perusahaan manufaktur: yaitu, desain, produksi dan manajemen, memegang otonomi individu dalam sistem CIM. Produksi dan penjualan juga terkait erat, sehingga dapat memenuhi kebutuhan pasar / konsumen dalam mode just in time.
- 2) Pemanfaatan alat bantu komputer yang efektif untuk ketiga fungsi di atas seperti CAD, CAM, dan CAPP, dilakukan dengan membangun dan menggunakan database umum, yang dapat diakses oleh setiap fungsi. Database harus selalu dijaga untuk menyimpan data / informasi yang *up to date*.
- 3) Otomasi untuk produksi satu item mudah dilakukan oleh mesin otomatis konvensional, peralatan mesin tujuan khusus, dan mesin transfer, seperti yang disebutkan di bab sebelumnya. Namun, produksi multiproduk, batch kecil, yang merupakan 75% dari produksi di Amerika Serikat dan 85% di Jepang, hanya dapat diotomatisasi oleh CIM yang berisi *Flexible Manufacturing System FMS*) untuk memproduksi berbagai item.
- 4) Kualitas tinggi, biaya rendah, dan pengiriman tepat waktu (respon cepat). Multi produk konvensional, produksi batch kecil cenderung memiliki produktivitas / efisiensi rendah. CIM berupaya mencapai fabrikasi produk berkualitas tinggi dengan produktivitas tinggi dengan biaya rendah untuk pengiriman tepat waktu (tepat waktu / responden cepat).
- 5) Perusahaan manufaktur dapat berorientasi pada strategi manufaktur. Contoh CIM Sistem CIM yang ideal tidak mudah direalisasikan akan tetapi, memasang sistem CIM sangat penting untuk produksi di masa mendatang dari sudut pandang strategis dan kompetitif.

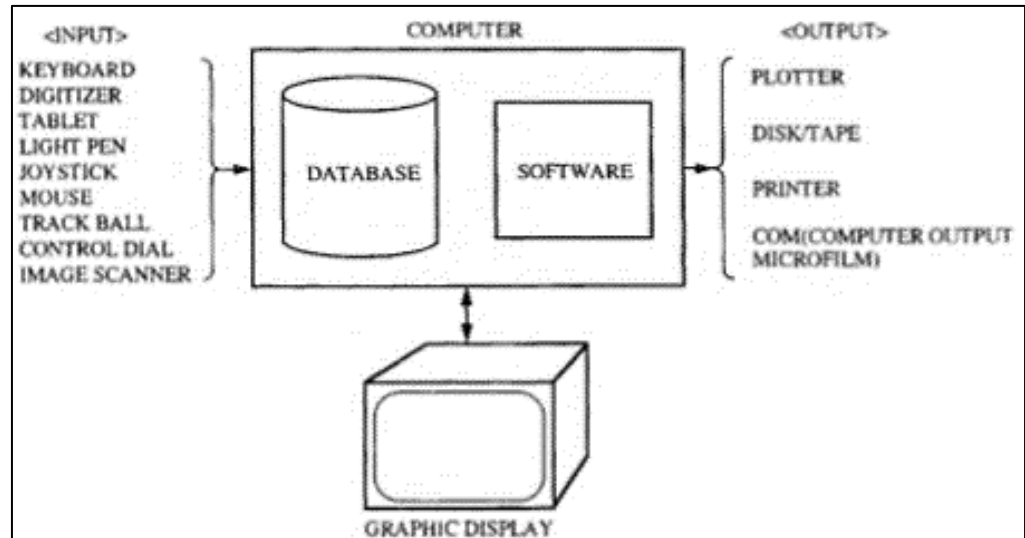
e. Keuntungan / Kerugian dari Instalasi CIM

Untuk mendemonstrasikan efektivitas implementasi CIM, British Society of Production Management menerbitkan (data oleh UNYSIS, Jepang):

- 1) Pengurangan biaya desain: 15-30%
- 2) Peningkatan efisiensi aktivitas desain: 4-20 kali
- 3) Penurunan waktu tunggu: 30-70%
- 4) Peningkatan kualitas produk: 2-5 kali
- 5) Pengurangan persediaan: 30-70%
- 6) Peningkatan produktivitas total: 30-60%
- 7) Pengurangan biaya tenaga kerja 5-25%. Di sisi lain, perlu diperhatikan bahwa implementasi CIM membutuhkan investasi modal yang besar.

4. Computer Aided Design (CAD)

Computer Aided Design CAD pertama kali muncul pada tahun 1963 sebagai Sketch Pad oleh I.E. Sutherland di Institut Teknologi Massachusetts. Perangkat lunak ini menggunakan tabung sinar katoda (CRT) dengan pena cahaya untuk input dan output gambar dan bentuk, sehingga dirancang secara interaktif secara online melalui tindakan manusia dan komputer. S.A. Coons mengusulkan konsep CAD yang mengintegrasikan desain konseptual, detail, dan produksi dan mengembangkan tambalan untuk permukaan bebas. *Computer Aided Design* (CAD) menggunakan komputer, tampilan grafis, mesin gambar otomatis, dan perangkat periferal lainnya untuk desain dan gambar interaktif atau otomatis. Metode interaktif grafik komputer (CG) berkaitan dengan pembentukan bentuk dan gambar, perubahan lokasi, proyeksi gambar, dll. Fasilitas yang digunakan untuk CAD digambarkan pada Gambar 13.2. Komputer yang digunakan adalah tipe mainframe, tipe stand alone, tipe *engineering work station* (EWS), atau komputer mikro. (Ghang, 2013)



Sumber: (Hitomi, 2017)

Gambar 13.2 Konfigurasi CAD terdiri dari komputer dengan tampilan grafik, perangkat input dan output.

Alat yang diprogram secara otomatis (APT) adalah sistem pemrograman otomatis untuk pemesinan *Numerical Control* (NC), dibangun pada tahun 1952, juga di Massachusetts Institute of Technology. Ia melakukan perhitungan matematis yang diperlukan untuk menentukan kontur geometris dari jalur pahat dan urutan operasi dari bagian geometri, yang merupakan pemrosesan geometris. Extended APT (EXAPT) yang dikembangkan di Jerman, mengandung unsur perencanaan proses atau pemrosesan teknologi.

Program komputer pertama untuk perencanaan proses dikembangkan sebagai *Automated Manufacturing Planning* (AMP) oleh International Business Machines Corporation. Kemudian, *Computer Aided Manufacturing-International* (CAM-I) membangun salah satu sistem paling terkenal yang disebut *Computer Automated Process Planning* (CAPP). Desain rekayasa optimal oleh komputer disebut *Computer Aided Engineering* (CAE), yang diusulkan oleh Structural Dynamics Research Corporation pada tahun 1980.

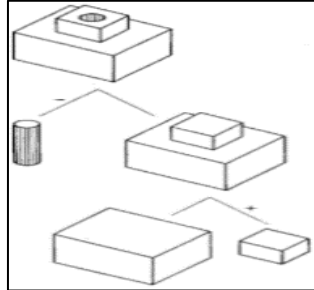
a. Model Geometris

Pemodelan geometris atau desain pola adalah tugas utama CAD, membangun pola geometris bagian / produk pada tampilan.

1) Model Padat

Dua model solid yang paling visual adalah:

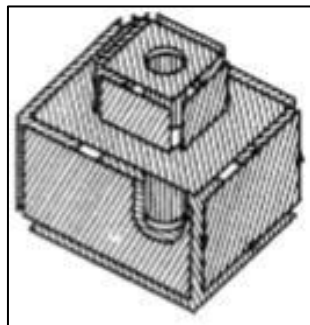
- a) *Constructive Solid Geometry* (CSG) seperti persegi panjang, silinder, segitiga, piramida, kubus, dll., Dirangkai dengan perhitungan himpunan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.3.



Sumber: (Hitomi, 2017)

Gambar 13.3 Prosedur CSC.

- b) Representasi batas (B-rep) digabungkan menjadi satu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.4. (Hitomi, 2017)



Sumber: (Hitomi, 2017)

Gambar 13.4 B-rep menggabungkan batas batas yang kokoh bersama sama.

CSG sederhana dalam struktur data mudah untuk memasukkan data dan mengubah sistem menjadi B-rep, dan membutuhkan lebih sedikit memori untuk informasi formulir. Di sisi lain, CSG memerlukan pengoperasian pengaturan domain bentuk setiap kali analisis dan pemrosesan dilakukan. Karakteristik B-rep adalah kebalikan dari CSG. (Hitomi, 2017)

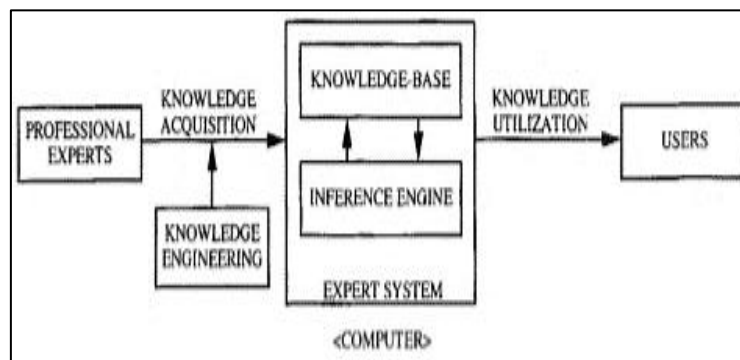
2) Bentuk Bebas

Permukaan bentuk bebas atau pahatan yang rumit dan tidak dapat diekspresikan oleh matematika, seperti: sayap mobil, cetakan, dll. Ditunjukkan dengan kumpulan segmen permukaan yang memenuhi kondisi kontinuitas tertentu. Contohnya adalah: (Hitomi, 2017)

- a) Kurva Coons
- b) Kurva Bezier
- c) B-spline rasional tidak seragam (NURBS).

b. Karakteristik CAD dan Desain

Model geometris di atas dikonfigurasi untuk mengotomatiskan gambar dengan peralatan peregang otomatis, kemudian waktu tunggu desain dan gambar serta tenaga kerja berkurang secara signifikan. Desain harus diarahkan pada produk baru yang membutuhkan banyak kreativitas dan profesionalisme. Namun, CAD saat ini masih memainkan peran besar dalam gambar teknik. Untuk kegiatan desain nyata, penerapan kecerdasan buatan atau rekayasa pengetahuan mungkin diperlukan. Dalam proses ini, sistem pakar yang didasarkan pada aturan produksi digunakan secara efektif. Sistem ini terdiri dari (Gambar 13.5):



Sumber: (Hitomi, 2017)

Gambar 13.5 Sistem pakar yang didasarkan pada aturan produksi memperoleh pengetahuan produksi dari pakar profesional, menerapkan mekanisme inferensi, dan menghasilkan informasi yang sesuai untuk digunakan.

c. Sistem CAD / CAM

Dengan demikian sistem CAD / CAM mengintegrasikan desain dan produksi menggunakan komputer. Namun, integrasi lengkap seperti itu belum mapan, ada beberapa penundaan antara penyelesaian program NC dan eksekusi pemesian. Teknologi pembuatan prototipe yang cepat membantu mempercepat proses desain ini dan mempercepat perkembangan perkakas dan pemesian. Kegiatan simultan daripada kegiatan berturut-turut untuk pengembangan produk, desain produk, perencanaan proses, dan implementasi produksi disebut rekayasa bersamaan atau simultan. Dengan teknik ini *lead time* produksi berkurang secara signifikan.

d. Perencanaan Operasi Otomatis

Setelah menentukan rute proses, rencana rinci untuk setiap operasi harus ditetapkan, seperti:

- 1) Menentukan urutan operasi elemen seperti pemuatan dan pembongkaran benda kerja, pendekatan alat potong, urutan tentang operasi pemesian aktual, dimensi bagian yang akan dikerjakan, dll
- 2) Memilih alat potong yang tepat
- 3) Menentukan kondisi pemesian ini dikeluarkan dalam peralatan mesin yang dikendalikan secara numerik (NC), dalam banyak kasus, dengan membaca perintah dari informasi digital NC melalui unit kontrol NC / komputer program tersimpan yang dihubungkan melalui unit kontrol mesin langsung ke perkakas mesin NC.

e. Pemrograman Otomatis

Instruksi NC dapat dibuat secara manual atau dengan sistem pemrograman otomatis, yang merupakan sejenis CAD, dan mencakup tiga fungsi utama berikut:

1) Pemrograman bagian.

Ini menjelaskan konfigurasi dan dimensi komponen yang akan diproduksi, gerakan perkakas, kondisi pemesian, dan fungsi tambahan dari perkakas mesin yang akan digunakan pada lembar pengkodean menggunakan bahasa pemrograman otomatis NC tertentu. Program bagian ini meliputi: pernyataan yang menjelaskan bagian tersebut dan

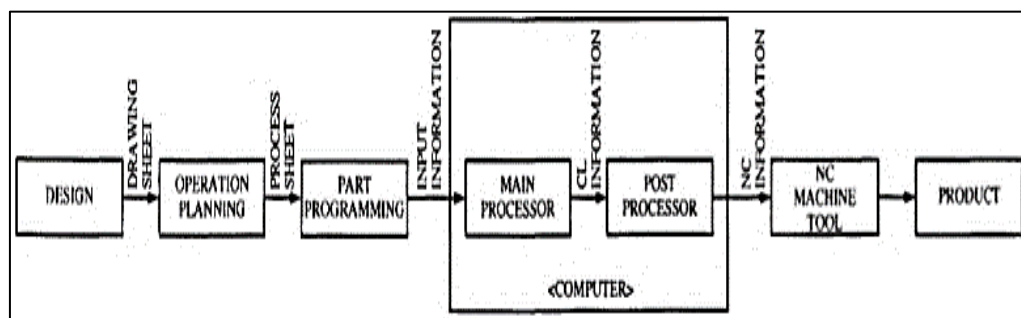
pernyataan yang menginstruksikan jalur alat pemotong dan urutan operasi, dll.

2) Program prosesor utama.

Ini memproses masukan dari program bagian dan menghitung serangkaian koordinat untuk jalur pahat, menghasilkan data CL (lokasi pemotong) dengan instruksi tambahan.

3) Program pasca prosesor.

Ini digunakan untuk menghasilkan informasi NC dari data CL, untuk mengontrol alat mesin NC tertentu dan unit kontrol yang akan digunakan. Berikut Gambar 13.6 menjelaskan sistem pemrograman otomatis untuk pemesinan yang dikontrol secara numerik.



Sumber: (Hitomi, 2017)

Gambar 13.6 Sistem pemrograman otomatis untuk pemesinan yang dikontrol secara numerik.

C. LATIHAN SOAL/TUGAS

1. Apa yang anda ketahui tentang otomasi industri?
2. Jelaskan secara singkat mengenai jenis-jenis otomasi?
3. Sebutkan dan jelaskan alat bantu Komputer dalam CIM?
4. Apa yang anda ketahui tentang CAD dan fungsinya dalam dunia industri?
5. Buatlah model geometris atau desain pola yang menggunakan CAD pada suatu perusahaan manufaktur?

D. DAFTAR PUSTAKA

- Ghang, D.C and Dange, J. J. (2013). Adoptability of CAD / CAM for Jewelry Making Industry Using Method Comparison Technique International Journal of Trend i Engineering and Technology (IJLTET). Vol.3 Issue 1.
- Hitomi, K. (2017). Manufacturing Systems Engineering. London: Taylor & Francis
- J. Carlos, (2010). "Performance Measurement on Automotive Assembly Line", in the Report of Project / Dissertation Master in Electronics and Computer Engineering Major Automation, University of Porto.
- L. Monostori, (2014). "Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges, "in Procedia CIRP Vol 17: pp 9–13.
- Mikell P. Groover, (2008). Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing. New Jersey: Prentice Hall.
- Mikell P. Groover, (2019). Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing 7th ed.. New Jersey: Prentice Hall

PERTEMUAN 14

ROBOTIKA INDUSTRI

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa mampu mengaplikasikan dan merancang sistem robotika yang dapat digunakan dalam manufaktur, penggunaan sistem otomasi yang dapat dilakukan dalam proses manufaktur.

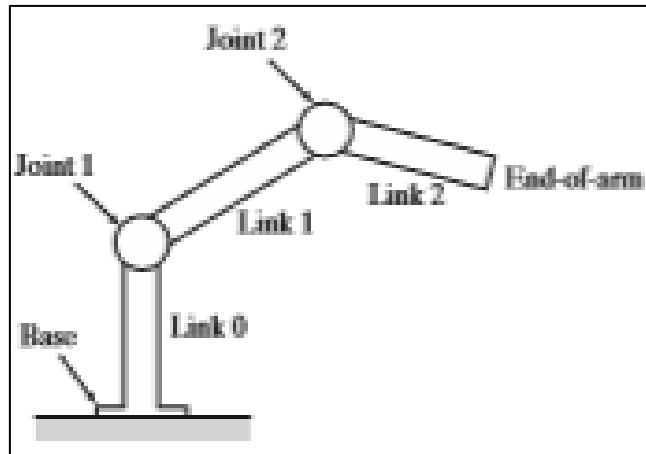
B. URAIAN MATERI

1. Robot Anatomi Dan Atribut Terkait

Lengan atau manipulator robot industri terdiri dari serangkaian sambungan dan tautan. Anatomi robot berkaitan dengan jenis dan ukuran sambungan dan tautan ini serta aspek lain dari konstruksi fisik manipulator. Anatomi robot memengaruhi kemampuannya dan tugas yang paling sesuai. (Groover, 2015)

a. Sambungan dan Tautan

Sendi robot, atau sumbu seperti yang juga disebut dalam robotika, mirip dengan sendi dalam tubuh manusia: Ini memberikan gerakan relatif antara dua bagian tubuh. Robot sering diklasifikasikan berdasarkan jumlah sumbu yang dimilikinya. Terhubung ke setiap sambungan adalah dua tautan, tautan input dan tautan output. Tautan adalah komponen kaku dari manipulator robot. Tujuan dari sambungan ini adalah untuk menyediakan pergerakan relatif yang terkontrol antara tautan masukan dan tautan keluaran. Kebanyakan robot dipasang di pangkalan stasioner di lantai. Biarkan alas ini dan hubungannya dengan sambungan pertama disebut sebagai sambungan 0. Ini adalah sambungan masukan ke sambungan 1, yang pertama dalam rangkaian sambungan yang digunakan dalam konstruksi robot. Link keluaran dari joint 1 adalah link 1. Link 1 adalah link masukan ke sambungan 2, link keluarannya adalah link 2, dan seterusnya. Skema penomoran tautan bersama ini diilustrasikan pada Gambar 14.1.

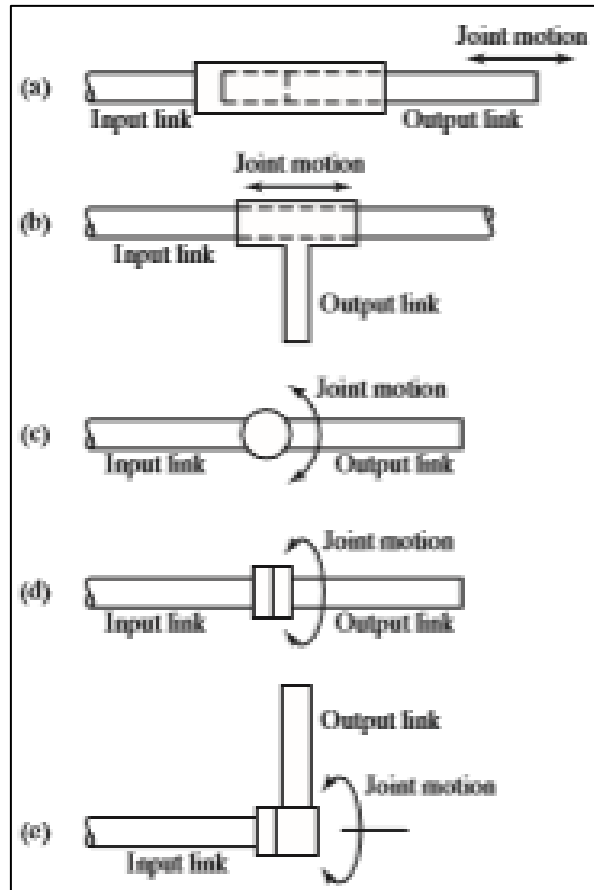


Sumber: (Groover, 2015)

Gambar 14.1 Diagram konstruksi robot yang menunjukkan bagaimana robot terdiri dari serangkaian kombinasi sambungan-sambungan.

Hampir semua robot industri memiliki sambungan mekanis yang dapat diklasifikasikan menjadi satu dari lima jenis: dua jenis yang memberikan gerakan translasi dan tiga jenis yang menyediakan gerakan berputar. Jenis sambungan ini diilustrasikan pada Gambar 14.2 dan didasarkan pada skema yang dijelaskan dalam lima jenis sendi tersebut adalah:

- 1) Sambungan linier (sambungan tipe L).
Gerakan relatif antara tautan masukan dan tautan keluaran merupakan gerakan teleskopik translasi, dengan sumbu kedua tautan sejajar.
- 2) Sendi ortogonal (sendi tipe O).
Ini juga merupakan gerakan geser translasi, tetapi tautan input dan output tegak lurus satu sama lain.
- 3) Sambungan rotasi (sambungan tipe R).
Jenis ini memberikan gerakan relatif rotasi, dengan sumbu rotasi tegak lurus dengan sumbu link masukan dan keluaran.
- 4) Sambungan putar (sambungan tipe T).
Sambungan ini juga melibatkan gerakan berputar, tetapi sumbu rotasi sejajar dengan sumbu kedua mata rantai.
- 5) Sendi berputar (sambungan tipe V, V dari "v" dalam putaran).
Pada tipe sambungan ini, sumbu link masukan sejajar dengan sumbu rotasi sambungan, dan sumbu link keluaran tegak lurus dengan sumbu rotasi.



Sumber: (Groover, 2015)

Gambar 14.2 Lima jenis sambungan yang umum digunakan dalam konstruksi robot industri: (a) sambungan linier (sambungan tipe L), (b) sambungan ortogonal (sambungan tipe O), (c) sambungan rotasi (sambungan tipe R), (d) memutar joint (sambungan tipe T), dan (e) sambungan putar (sambungan tipe V).

Masing-masing jenis sambungan ini memiliki jangkauan yang dapat dipindahkan. Kisaran untuk sambungan translasi biasanya kurang dari satu meter, tetapi untuk robot gantry besar, jangkauannya mungkin beberapa meter. Tiga jenis sendi putar mungkin memiliki jangkauan sekecil beberapa derajat atau sebesar beberapa putaran lengkap.

b. Sistem Penggerak Bersama

Sambungan robot digerakkan menggunakan salah satu dari tiga jenis sistem penggerak:

1) Listrik

Sistem penggerak listrik menggunakan motor listrik sebagai sambungan aktuator (misalnya, motor servo atau motor stepper. Motor terhubung ke sambungan baik tanpa menggunakan pengurangan gigi (disebut penggerak langsung) atau dengan pengurangan gigi untuk meningkatkan torsi atau gaya.

2) Hidrolik

Sistem penggerak hidrolik dan pneumatik menggunakan perangkat seperti piston linier dan aktuator baling-baling putar untuk menggerakkan sambungan. Penggerak pneumatik biasanya terbatas pada robot yang lebih kecil yang digunakan dalam aplikasi transfer komponen sederhana. Penggerak listrik dan penggerak hidrolik digunakan pada robot industri yang lebih canggih. Penggerak listrik telah menjadi sistem penggerak pilihan pada robot yang tersedia secara komersial, seiring dengan kemajuan teknologi motor listrik dalam beberapa tahun terakhir. Ini lebih mudah beradaptasi dengan kontrol komputer, yang merupakan teknologi dominan yang digunakan saat ini untuk pengontrol robot. Robot penggerak listrik relatif akurat dibandingkan dengan robot bertenaga hidrolik. Sebaliknya, robot penggerak hidrolik dapat dirancang dengan kapasitas angkat yang lebih besar.

Pneumatik.

Sistem penggerak sensor posisi (dan sensor kecepatan jika digunakan), dan sistem kontrol umpan balik untuk sambungan menentukan karakteristik respons dinamis dari manipulator. Kecepatan robot dapat bergerak ke posisi terprogram dan stabilitas gerakannya merupakan karakteristik penting dari respon dinamis dalam robotika. Kecepatan gerak mengacu pada kecepatan absolut manipulator di ujung lengannya. Kecepatan maksimum robot besar sekitar 2 m / detik (6 kaki / detik). Kecepatan dapat diprogram ke dalam siklus kerja sehingga bagian siklus yang berbeda dilakukan pada kecepatan yang berbeda. Yang

terkadang lebih penting daripada kecepatan adalah kemampuan robot untuk berakselerasi dan melambat secara terkendali. Dalam banyak siklus kerja, sebagian besar pergerakan robot dilakukan di wilayah terbatas dari volume kerja, sehingga robot tidak pernah mencapai kecepatan tertinggi. Dalam kasus ini, hampir semua siklus gerak terlibat dalam percepatan dan perlambatan daripada dalam kecepatan konstan. Faktor lain yang mempengaruhi kecepatan gerak adalah berat (massa) benda yang sedang dimanipulasi dan ketepatan tempat benda tersebut harus ditempatkan pada akhir gerakan tertentu.

Semua faktor ini termasuk dalam kecepatan respon, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk manipulator untuk berpindah dari satu titik dalam ruang ke titik berikutnya. Kecepatan respons penting karena memengaruhi waktu siklus robot, yang pada akhirnya memengaruhi laju produksi dalam aplikasi. Stabilitas gerakan mengacu pada jumlah overshoot dan osilasi yang terjadi pada gerakan robot di ujung lengan saat mencoba untuk pindah ke lokasi terprogram berikutnya. Lebih banyak osilasi dalam gerakan merupakan indikasi kurang stabilnya. Masalahnya adalah bahwa robot dengan stabilitas yang lebih besar secara inheren lebih lambat dalam responsnya, sedangkan robot yang lebih cepat umumnya kurang stabil.

c. Sensor Dalam Robotika

Pembahasan di sini adalah tentang bagaimana sensor diterapkan dalam robotika. Sensor yang digunakan dalam robotika industri dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori:

1) Internal

Sensor internal adalah komponen robot dan digunakan untuk mengontrol posisi dan kecepatan sambungan robot. Sensor ini membentuk *loop* kontrol umpan balik dengan pengontrol robot. Sensor khas yang digunakan untuk mengontrol posisi lengan robot termasuk potensiometer dan encoder optik. Berbagai jenis takometer digunakan untuk mengontrol kecepatan lengan robot dengan peralatan lain di dalam sel.

2) Eksternal

Dalam banyak kasus, sensor eksternal ini adalah perangkat yang relatif sederhana, seperti sakelar batas yang menentukan apakah suatu bagian telah ditempatkan dengan benar di fixture atau bahwa bagian tersebut siap untuk diambil di konveyor.

Situasi lain memerlukan teknologi sensor yang lebih canggih, termasuk yang berikut ini:

1) Sensor taktil.

Ini digunakan untuk menentukan apakah terjadi kontak antara sensor dan objek lain. Sensor taktil dapat dibagi menjadi dua jenis dalam aplikasi robot:

a) sensor sentuh

Sensor sentuh menunjukkan bahwa kontak telah dibuat dengan objek.

b) sensor gaya.

Sensor gaya menunjukkan besarnya gaya dengan benda. Ini mungkin berguna dalam gripper untuk mengukur dan mengontrol gaya yang diterapkan untuk menggenggam objek halus.

2) Sensor jarak.

Ini menunjukkan saat suatu objek dekat dengan sensor. Jika jenis sensor ini digunakan untuk menunjukkan jarak sebenarnya dari suatu objek, maka disebut sensor jangkauan.

3) Sensor optik.

Photocell dan perangkat fotometrik lainnya dapat digunakan untuk mendeteksi ada atau tidaknya objek dan sering digunakan untuk deteksi kedekatan.

4) Penglihatan mesin.

Visi mesin digunakan dalam robotika untuk inspeksi, identifikasi suku cadang, panduan, dan penggunaan lainnya. Perbaikan dalam pemrograman Sistem robot yang dipandu visi (VGR) telah membuat implementasi teknologi ini lebih mudah dan lebih cepat, dan visi mesin

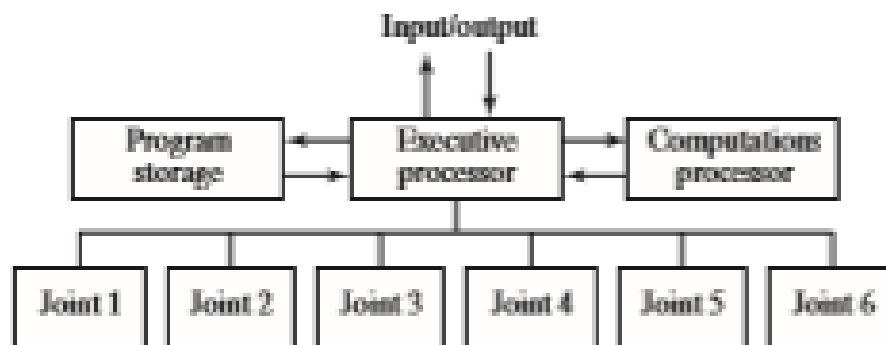
diimplementasikan sebagai fitur integral di semakin banyak instalasi robot, terutama di industri otomotif.

5) Sensor lainnya.

Kategori lain-lain mencakup jenis sensor lain yang mungkin digunakan dalam robotika, seperti perangkat untuk mengukur suhu, tekanan fluida, aliran fluida, tegangan listrik, arus, dan berbagai sifat fisik lainnya.

2. Sistem Kontrol Robot

Aktuasi sambungan individu harus dikontrol dalam mode terkoordinasi agar manipulator dapat melakukan siklus gerak yang diinginkan. Pengontrol berbasis mikroprosesor umumnya digunakan saat ini dalam robotika sebagai perangkat keras sistem kontrol. Pengontrol diatur dalam struktur hierarki seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14.3 sehingga setiap sambungan memiliki sistem kontrol umpan baliknya sendiri, dan pengontrol pengawas mengoordinasikan aktuasi gabungan dari sambungan sesuai dengan urutan program robot (Craig, 2004)



Sumber: (Groover, 2015)

Gambar 14.3 Struktur kendali hierarki pengendali mikrokomputer robot.

Jenis kontrol yang berbeda diperlukan untuk aplikasi yang berbeda. Pengontrol robot dapat diklasifikasikan ke dalam empat kategori:

a. Kontrol Urutan Terbatas

Kontrol Urutan Terbatas. Ini adalah tipe kontrol paling dasar. Ini dapat digunakan hanya untuk siklus gerakan sederhana, seperti operasi pengambilan dan tempat (yaitu, mengambil objek di satu lokasi dan

menempatkannya di lokasi lain). Biasanya diterapkan dengan menetapkan batas atau penghentian mekanis untuk setiap sambungan dan mengurutkan penggerak sambungan untuk menyelesaikan siklus. Saling kunci kadang-kadang digunakan untuk menunjukkan bahwa penggerak sambungan tertentu telah dilakukan sehingga langkah selanjutnya dalam urutan dapat dimulai. Namun, tidak ada kontrol servo untuk mencapai pemosisian sambungan yang tepat. Banyak robot yang digerakkan secara pneumatik adalah robot urutan terbatas.

b. Pemutaran Dengan Titik-Ke-Titik Kontrol

Dalam kontrol point-to-point (PTP), posisi individu lengan robot dicatat ke dalam memori. Posisi ini tidak terbatas pada penghentian mekanis untuk setiap sambungan seperti pada robot pengurut terbatas. Sebaliknya, setiap posisi dalam program robot terdiri dari sekumpulan nilai yang mewakili lokasi dalam rentang setiap sambungan manipulator. Jadi, setiap "titik" terdiri dari lima atau enam nilai yang sesuai dengan posisi masing-masing dari lima atau enam sambungan manipulator. Untuk setiap posisi yang ditentukan dalam program, sambungan dengan demikian diarahkan untuk bergerak ke lokasi yang ditentukan masing-masing. Kontrol umpan balik digunakan selama siklus gerak untuk memastikan bahwa sambungan individu mencapai lokasi yang ditentukan dalam program. Saling kunci digunakan untuk mengoordinasikan tindakan robot dengan tindakan peralatan lain di sel kerja (Craig, 2004)

c. Pemutaran Dengan Kontrol Jalur Kontinu

Robot jalur kontinu memiliki kemampuan pemutaran yang sama dengan jenis sebelumnya. Robot pemutaran dengan kontrol jalur kontinu mampu melakukan salah satu atau kedua hal berikut: (Groover, 2015)

1) Kapasitas penyimpanan yang lebih besar.

Pengontrol memiliki kapasitas penyimpanan yang jauh lebih besar daripada rekan point-to-pointnya, sehingga jumlah lokasi yang dapat direkam ke dalam memori jauh lebih besar daripada point-to-point. Dengan demikian, titik-titik yang membentuk siklus gerak dapat diberi jarak yang sangat berdekatan untuk memungkinkan robot mencapai gerakan kontinu yang mulus. Dalam PTP, hanya lokasi akhir dari elemen gerakan individu yang dikontrol, sehingga jalur yang diambil oleh lengan

untuk mencapai lokasi akhir tidak dikontrol. Dalam gerakan jalur kontinu, gerakan lengan dan pergelangan tangan dikontrol selama gerakan.

2) Perhitungan interpolasi.

Pengontrol menghitung jalur antara titik awal dan titik akhir dari setiap gerakan menggunakan rutinitas interpolasi yang serupa dengan yang digunakan di NC. Pertimbangkan manipulator koordinat Kartesius tiga sumbu di mana ujung lengan digerakkan dalam ruang $x - y - z$. Dalam sistem titik-ke-titik, sumbu x -, y -, dan z dikontrol untuk mencapai lokasi titik tertentu dalam volume kerja robot. Dalam sistem jalur kontinu, tidak hanya sumbu x , y , dan z yang dikontrol, tetapi kecepatan dx / dt , dy / dt , dan dz / dt dikontrol secara bersamaan untuk mencapai jalur linier atau lengkung yang ditentukan.

d. Kontrol Cerdas

Robot industri menjadi semakin cerdas. Dalam konteks ini, robot cerdas adalah robot yang menunjukkan perilaku yang membuatnya tampak cerdas. Beberapa karakteristik yang membuat robot tampak cerdas termasuk kemampuan untuk berinteraksi dengan lingkungannya, membuat keputusan ketika terjadi kesalahan selama siklus kerja, berkomunikasi dengan manusia, membuat perhitungan selama siklus gerak, dan merespons input sensor canggih seperti mesin. penglihatan. Selain itu, robot dengan kontrol cerdas memiliki kemampuan pemutaran untuk PTP dan kontrol jalur berkelanjutan. Semua fitur ini membutuhkan tingkat kontrol komputer yang relatif tinggi dan bahasa pemrograman tingkat lanjut untuk memasukkan logika pengambilan keputusan dan "kecerdasan" lainnya ke dalam memori. (Groover, 2015)

3. Mengakhiri Efektor

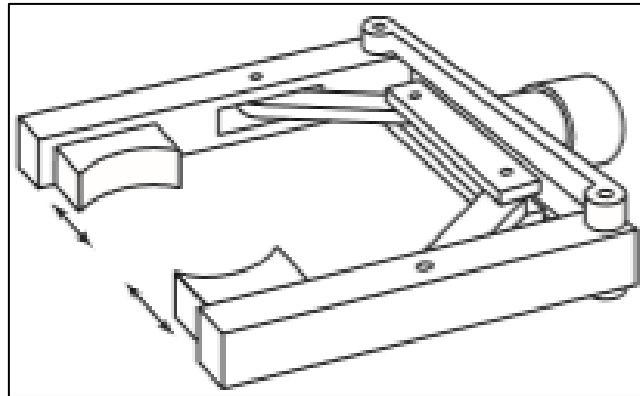
Efektor akhir memungkinkan robot untuk menyelesaikan tugas tertentu. Karena ada berbagai macam tugas yang dilakukan oleh robot industri, efektor akhir biasanya direkayasa khusus dan dibuat untuk setiap aplikasi yang berbeda. Dua kategori end efektor adalah gripper dan alat. (Groover, 2015)

a. Penggenggam

Gripper adalah efektor akhir yang digunakan untuk menangkap dan memanipulasi objek selama siklus kerja. Objek biasanya merupakan bagian kerja yang dipindahkan dari satu lokasi ke lokasi lain di dalam *cell*. Aplikasi

bongkar muat mesin termasuk dalam kategori ini. Karena variasi bentuk bagian, ukuran, dan berat, kebanyakan gripper harus dirancang khusus. Jenis grippers yang digunakan dalam aplikasi robot industri meliputi yang berikut ini:

- 1) Mechanical gripper, terdiri dari dua atau lebih jari yang dapat digerakkan oleh robot controller untuk membuka dan menutup bagian kerja (Gambar 14.4 menunjukkan gripper dengan dua jari).



Sumber: (Groover, 2015)

Gambar 14.4 Robot mekanik gripper.

Gripper mekanis adalah tipe gripper yang paling umum. Beberapa inovasi dan kemajuan dalam teknologi gripper mekanis meliputi: (Groover, 2015)

- a) Gripper ganda, terdiri dari dua perangkat gripper dalam satu efektor ujung untuk pemuatan dan pembongkaran alat berat. Dengan satu gripper, robot harus menjangkau mesin produksi dua kali, sekali untuk membongkar bagian yang sudah jadi dan memosisikannya di lokasi di luar mesin, dan kedua kalinya untuk mengambil bagian berikutnya dan memuatnya ke dalam mesin. Dengan gripper ganda, robot mengambil bagian kerja berikutnya saat mesin masih memproses bagian sebelumnya. Saat siklus mesin selesai, robot hanya menjangkau mesin satu kali: untuk melepaskan bagian yang sudah selesai dan memuat bagian berikutnya. Ini mengurangi waktu siklus per bagian.

- b) Jari yang dapat dipertukarkan yang dapat digunakan pada satu mekanisme gripper. Untuk mengakomodasi bagian yang berbeda, jari yang berbeda dipasang pada gripper.
 - c) Umpan balik sensorik di jari yang memberikan kemampuan kepada gripper seperti: merasakan keberadaan bagian kerja atau menerapkan gaya terbatas tertentu ke bagian kerja selama menggenggam (untuk bagian kerja yang rapuh).
 - d) Penggenggam dengan banyak jari yang memiliki anatomi umum tangan manusia.
 - e) Produk gripper standar yang tersedia secara komersial, sehingga mengurangi kebutuhan untuk merancang gripper khusus untuk setiap aplikasi robot yang terpisah.
- 2) Vacuum gripper, dimana suction cup digunakan untuk menahan benda datar
 - 3) Alat magnet, untuk menahan bagian besi
 - 4) Alat perekat, yang menggunakan bahan perekat untuk menahan bahan fleksibel seperti kain
 - 5) Alat mekanis sederhana, seperti kait dan scoop.

b. Alat

Contoh alat yang digunakan sebagai end efektor oleh robot untuk melakukan aplikasi pemrosesan antara lain pistol las titik, alat las busur; pistol lukisan semprot; poros berputar untuk pengeboran, perutean, penggilingan, dan operasi serupa; alat perakitan (mis., obeng otomatis); obor pemanas; sendok (untuk die casting logam); dan alat pemotong jet air. Dalam setiap kasus, robot tidak hanya harus mengontrol posisi relatif alat sehubungan dengan pekerjaan sebagai fungsi waktu, tetapi juga harus mengontrol pengoperasian alat. Untuk tujuan ini, robot harus dapat mengirimkan sinyal kendali ke alat untuk memulai, menghentikan, dan sebaliknya mengatur tindakannya.

Dalam beberapa aplikasi, robot dapat menggunakan banyak alat selama siklus kerja. Misalnya, beberapa ukuran bit perutean atau pengeboran harus diterapkan pada bagian kerja. Maka dari itu, robot harus memiliki alat

perubah alat yang cepat. End effector dalam hal ini mengambil bentuk dudukan pahat ganti cepat untuk mengencangkan dan melepaskan dengan cepat berbagai pahat yang digunakan selama siklus kerja.

4. Penerapan Robot Industri

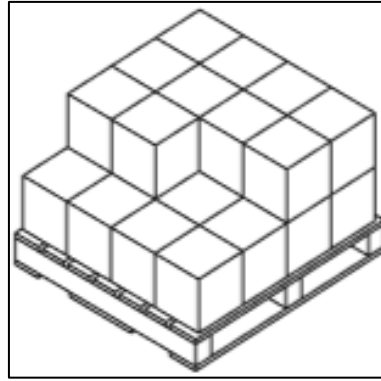
Sebagian besar aplikasi saat ini ada di bidang manufaktur. Aplikasi biasanya dapat diklasifikasikan ke dalam salah satu kategori berikut: (Groover, 2015)

a. Aplikasi penanganan material

Dalam aplikasi penanganan material, robot memindahkan material atau bagian dari satu tempat ke tempat lain. Untuk menyelesaikan pemindahan, robot dilengkapi dengan gripper yang harus didesain untuk menangani bagian tertentu atau bagian yang akan dipindahkan. Termasuk dalam kategori aplikasi ini adalah pemindahan material dan pemuatan dan / atau pembongkaran mesin. Dalam banyak aplikasi penanganan material, bagian-bagian tersebut harus disajikan ke robot dalam posisi dan orientasi yang diketahui. Ini membutuhkan beberapa bentuk perangkat penanganan material untuk mengirimkan bagian-bagian tersebut ke dalam *cell* kerja dalam posisi dan orientasi ini.

b. Transfer material.

Aplikasi ini adalah aplikasi di mana tujuan utama robot adalah untuk memindahkan bagian dari satu lokasi ke lokasi lain. Dalam banyak kasus, reorientasi bagian dilakukan selama pemindahan. Aplikasi dasar dalam kategori ini disebut operasi pick-and-place, di mana robot mengambil sebagian dan menyimpannya di lokasi baru. Mentransfer bagian dari satu konveyor ke konveyor lainnya adalah contohnya. Contoh transfer material yang lebih kompleks adalah pembuatan palet, di mana robot mengambil bagian, karton, atau objek lain dari satu lokasi dan menyimpannya ke palet atau wadah lain di berbagai posisi di palet. Masalahnya diilustrasikan pada Gambar 14.5.



Gambar 14.5 Pengaturan bagian tipikal untuk operasi pembuatan palet robot.

Meskipun titik penjemputan sama untuk setiap siklus, setoran lokasi di palet berbeda untuk setiap karton. Ini menambah tingkat kesulitan tugas. Aplikasi lain yang mirip dengan pembuatan palet termasuk depalletizing, yang terdiri dari memindahkan bagian-bagian dari pengaturan yang teratur dalam palet dan menempatkannya di lokasi lain (misalnya, ke konveyor yang bergerak); operasi penumpukan, yang melibatkan penempatan bagian datar di atas satu sama lain, sehingga lokasi vertikal dari posisi turun terus berubah dengan setiap siklus; dan operasi penyisipan, di mana robot memasukkan bagian-bagian ke dalam kompartemen karton yang terbagi.

c. Mesin Memuat dan / atau Bongkar.

Dalam pemuatan dan / atau pembongkaran mesin aplikasi, robot mentransfer bagian ke dan / atau dari mesin produksi. Tiga kemungkinan kasus tersebut adalah:

- 1) Pemuatan mesin, di mana robot memuat bagian-bagian ke dalam mesin produksi, tetapi bagian-bagian tersebut diturunkan dari mesin dengan cara lain.
- 2) Mesin bongkar, di mana bahan baku dimasukkan ke dalam mesin tanpa menggunakan robot, dan robot membongkar bagian yang sudah jadi.
- 3) Pemuatan dan pembongkaran mesin, yang melibatkan pemuatan bagian pekerjaan mentah dan pembongkaran bagian yang sudah jadi oleh robot.

Aplikasi robot industri untuk pemuatan dan / atau pembongkaran mesin meliputi proses-proses berikut:

1) *Die casting.*

Robot membongkar bagian dari mesin *die casting*. Operasi periferan terkadang dilakukan oleh robot termasuk mencelupkan bagian-bagian ke dalam bak air untuk pendinginan.

2) Cetakan plastik.

Cetakan plastik mirip dengan *die casting*. Robot membongkar bagian cetakan dari mesin cetak injeksi.

3) Operasi pemesinan logam.

Robot memuat blanko mentah ke dalam alat mesin dan mengeluarkan komponen yang sudah jadi dari mesin. Perubahan bentuk dan ukuran bagian sebelum dan sesudah pengerjaan sering menimbulkan masalah dalam desain efektor ujung, dan gripper ganda sering digunakan untuk menangani masalah ini.

4) Penempaan.

Robot biasanya memuat billet panas mentah ke dalam dadu, menahannya selama pemogokan tempa, dan mengeluarkannya dari palu tempa. Tindakan palu dan risiko kerusakan pada die atau end effector adalah masalah teknis yang signifikan.

5) Pekerjaan press.

Operator manusia bekerja dengan risiko yang cukup besar dalam operasi pengerjaan logam lembaran karena tindakan pers. Robot digunakan sebagai pengganti pekerja untuk mengurangi bahaya. Dalam aplikasi ini, robot memuat blanko ke dalam pers, kemudian operasi stamping dilakukan, dan bagian tersebut jatuh dari mesin ke dalam wadah.

6) Perlakuan panas.

Ini seringkali merupakan operasi yang relatif sederhana di mana robot memuat dan / atau membongkar bagian-bagian dari tungku.

d. Operasi Pemrosesan

Dalam aplikasi pemrosesan, robot melakukan beberapa operasi pada suatu bagian kerja, seperti penggerindaan atau pengecatan semprot. Ciri yang membedakan dari kategori ini adalah robot dilengkapi dengan beberapa

jenis alat sebagai efektor akhirnya. Untuk melakukan proses tersebut, robot harus memanipulasi alat relatif terhadap bagiannya. Contoh aplikasi robot industri dalam kategori pemrosesan meliputi pengelasan titik, pengelasan busur, pengecatan semprot, dan berbagai proses pemesian dan spindel berputar lainnya.

1) Pengelasan titik

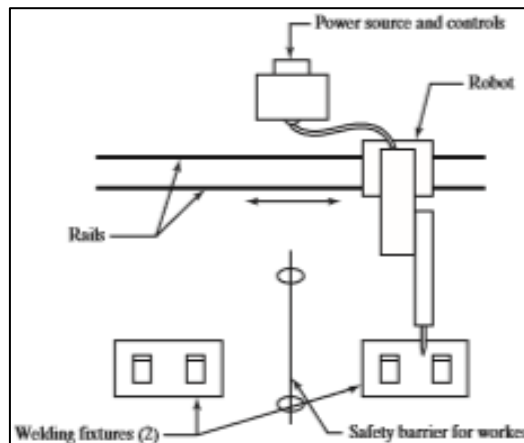
Adalah proses penyambungan logam di mana dua bagian lembaran logam digabungkan bersama pada titik-titik kontak terlokalisasi. Dua elektroda menekan bagian-bagian logam bersama-sama dan kemudian arus listrik yang besar diterapkan melintasi titik kontak untuk menyebabkan fusi terjadi. Elektroda, bersama dengan mekanisme yang menggerakkan mereka, merupakan pistol las dalam pengelasan titik. Efektor akhir adalah pistol las spot yang digunakan untuk mencubit panel mobil bersama-sama dan melakukan proses pengelasan resistansi. Pistol las yang digunakan untuk pengelasan spot mobil biasanya berat. Sebelum penerapan robot, pekerja manusia melakukan operasi ini, dan alat pengelasan berat sulit untuk dimanipulasi secara akurat oleh manusia. Akibatnya, ada banyak contoh las yang terlewat, lokasi las yang buruk, dan cacat lainnya, yang mengakibatkan kualitas produk jadi secara keseluruhan rendah.

2) Pengelasan busur

Digunakan untuk memberikan pengelasan kontinu daripada pengelasan titik individu pada titik kontak tertentu. Sambungan las busur yang dihasilkan jauh lebih kuat daripada pada pengelasan spot. Karena pengelasan kontinu, pengelasan dapat digunakan di bejana bertekanan kedap udara dan pengelasan lain yang membutuhkan kekuatan dan kontinuitas. Ada berbagai bentuk pengelasan busur, tetapi semuanya mengikuti uraian umum yang diberikan di sini. Kondisi kerja manusia yang melakukan pengelasan busur kurang baik.

Robot industri juga dapat digunakan untuk mengotomatiskan proses pengelasan busur. *Cell* terdiri dari robot, peralatan las (unit daya, pengontrol, alat las, dan mekanisme umpan kawat), dan perlengkapan yang memposisikan komponen untuk robot. Fixture dapat dimekanisasi dengan satu atau dua sumbu sehingga dapat menyajikan bagian

pekerjaan yang berbeda ke robot untuk pengelasan (istilah positioner digunakan untuk jenis fixture ini). Untuk produktivitas yang lebih tinggi, dua perlengkapan sering digunakan sehingga pekerja manusia atau robot lain dapat membongkar pekerjaan yang telah selesai dan memuat komponen untuk siklus kerja berikutnya sementara robot pengelasan sedang mengelas pekerjaan yang sekarang. Gambar 14.6 mengilustrasikan pengaturan tempat kerja semacam ini.



Gambar 14.6 *Cell las busur robot tempat robot pengelasan bergerak di antara perlengkapan pengelasan di atas rel. Seorang pekerja membongkar pengelasan yang telah selesai dan memuat bagian-bagian ke dalam satu perlengkapan sementara robot melakukan siklus pengelasan di perlengkapan lainnya.*

3) *Spray coating*

Mengarahkan pistol semprot ke objek yang akan dilapisi. Cairan (misalnya cat) mengalir melalui nosel pistol semprot untuk disebar dan dioleskan ke permukaan benda. Lukisan semprot adalah aplikasi yang paling umum dalam kategori ini, tetapi lapisan semprot mengacu pada aplikasi yang lebih luas yang mencakup pengecatan. Lingkungan kerja manusia yang melakukan proses ini penuh dengan bahaya kesehatan. Bahaya ini termasuk asap berbahaya dan berbahaya di udara dan kebisingan dari nosel pistol semprot. Untuk mengurangi bahaya ini, robot semakin banyak digunakan untuk tugas pelapisan semprot, terutama dalam operasi produksi tinggi. Aplikasi robot termasuk lapisan semprotan bodi mobil mobil, peralatan, mesin, dan bagian lain; pewarnaan semprotan produk kayu; dan penyemprotan pelapis porselen pada

perlengkapan kamar mandi. Robot harus mampu mengontrol jalur terus menerus menyelesaikan urutan gerakan halus yang diperlukan dalam lukisan semprot.

Penggunaan robot industri untuk pelapis semprot menawarkan sejumlah manfaat selain melindungi pekerja dari lingkungan berbahaya. Manfaat lain ini termasuk keseragaman yang lebih besar dalam mengaplikasikan lapisan daripada yang dapat dicapai manusia, mengurangi limbah cat, menurunkan kebutuhan ventilasi area kerja karena tidak ada manusia selama proses tersebut, dan produktivitas yang lebih besar.

Daftar proses industri yang dilakukan oleh robot terus bertambah. Diantaranya adalah sebagai berikut: (Groover, 2015)

1) Pengeboran, perutean, dan proses pemesinan lainnya.

Aplikasi ini menggunakan spindel yang berputar sebagai efektor akhir. Alat pemotong dipasang di pencekam spindel. Salah satu masalah dengan aplikasi ini adalah gaya potong yang tinggi yang dihadapi dalam pemesinan. Robot harus cukup kuat untuk menahan gaya pemotongan ini dan menjaga akurasi pemotongan yang diperlukan.

2) Penggilingan, penyikatan kawat, dan operasi serupa.

Sebagian besar operasi ini memutar spindel sebagai efektor akhir untuk menggerakkan roda gerinda, sikat kawat, roda pemoles, atau alat serupa dengan kecepatan tinggi untuk menyelesaikan operasi finishing dan deburring pada benda kerja. Dalam pendekatan alternatif yang dijelaskan dalam, robot dilengkapi dengan gripper untuk menahan dan memanipulasi benda kerja terhadap kepala deburring yang berputar.

3) Pemotongan waterjet.

Ini adalah proses di mana aliran air bertekanan tinggi didorong melalui nozel kecil dengan kecepatan tinggi untuk memotong lembaran plastik, kain, karton, dan bahan lainnya dengan presisi. End effector adalah nosel waterjet yang diarahkan mengikuti jalur pemotongan yang diinginkan oleh robot.

4) Pemotongan laser.

Fungsi robot pada aplikasi ini mirip dengan fungsinya pada pemotongan waterjet. Pengelasan sinar laser adalah aplikasi serupa. Pistol laser dipasang pada robot sebagai efektor ujungnya. Dalam aplikasi yang dijelaskan dalam, robot digunakan untuk memotong lembaran logam berlebih dari bagian yang diproduksi dalam operasi pencetakan panas. Lembaran logam yang dicap panas terlalu sulit untuk dipangkas dengan cetakan pemotongan konvensional, sehingga pemotongan laser harus digunakan.

e. Perakitan dan Inspeksi

Perakitan dan inspeksi dapat melibatkan penanganan material atau manipulasi alat. Misalnya, operasi perakitan biasanya melibatkan penambahan komponen untuk membangun produk. Ini membutuhkan perpindahan bagian dari lokasi pasokan di tempat kerja ke produk yang sedang dirakit, yaitu penanganan material. Namun, pekerjaan perakitan biasanya melibatkan tugas yang beragam dan terkadang sulit, seringkali memerlukan penyesuaian untuk dilakukan di bagian yang tidak cukup cocok. Pekerjaan inspeksi membutuhkan ketelitian dan kesabaran yang tinggi, dan penilaian manusia sering kali diperlukan untuk menentukan apakah suatu produk sesuai dengan spesifikasi kualitas atau tidak. Karena komplikasi pada kedua jenis pekerjaan ini, penerapan robot tidaklah mudah. Namun demikian, potensi imbalannya begitu besar sehingga upaya substansial telah dilakukan untuk mengembangkan teknologi yang diperlukan untuk mencapai keberhasilan dalam aplikasi ini.

1) Perakitan.

Perakitan melibatkan penggabungan dua atau lebih bagian untuk membentuk entitas baru, yang disebut sub-rakitan atau perakitan. Entitas baru dibuat aman dengan mengikat bagian-bagian tersebut bersama-sama menggunakan teknik pengikatan mekanis (misalnya, sekrup, baut dan mur, paku keling) atau proses penyambungan (misalnya, pengelasan, mematri, menyolder, atau pengikatan perekat). Pengelasan aplikasi telah dibahas. Karena pentingnya ekonomis perakitan, metode otomatis sering digunakan terapan. Otomatisasi tetap cocok untuk produksi massal produk yang relatif sederhana, seperti pena, pensil

mekanik, pemantik rokok, dan pipa selang taman. Robot biasanya dirugikan dalam situasi produksi tinggi ini karena mereka tidak dapat beroperasi pada kecepatan tinggi yang dapat dilakukan peralatan otomatis tetap. Aplikasi paling menarik Robot industri untuk perakitan melibatkan situasi di mana campuran model serupa diproduksi di sel kerja atau jalur perakitan yang sama. Contoh dari jenis produk ini termasuk motor listrik, peralatan kecil, dan berbagai produk mekanik dan listrik kecil lainnya. Dalam hal ini, konfigurasi dasar dari model yang berbeda adalah sama, tetapi terdapat variasi dalam ukuran, geometri, opsi, dan fitur lainnya. Produk semacam itu sering dibuat secara berkelompok di jalur perakitan manual.

2) Inspeksi.

Seringkali ada kebutuhan dalam produksi otomatis untuk memeriksa pekerjaan yang telah diselesaikan. Inspeksi melaksanakan fungsi-fungsi berikut: (Groover, 2015)

- a) memastikan bahwa proses tertentu telah diselesaikan,
- b) memastikan bahwa suku cadang telah dirakit seperti yang ditentukan,
- c) mengidentifikasi kekurangan pada bahan mentah dan suku cadang jadi.

Tujuannya di sini adalah untuk mengidentifikasi peran yang dimainkan oleh robot industri dalam inspeksi. Tugas inspeksi yang dilakukan oleh robot dapat dibagi menjadi dua kasus berikut:

- a) Robot melakukan bongkar muat untuk mendukung mesin inspeksi atau pengujian. Kasus ini benar-benar mesin bongkar muat, dimana mesin tersebut adalah mesin inspeksi. Robot mengambil bagian (atau rakitan) yang masuk ke *cell*, memuat dan mengeluarkannya untuk melakukan proses inspeksi, dan menempatkannya di keluaran *cell*. Dalam beberapa kasus, pemeriksaan dapat mengakibatkan penyortiran bagian yang harus dilakukan oleh robot. Bergantung pada tingkat kualitas suku cadang, robot menempatkannya di wadah yang berbeda atau pada konveyor keluar yang berbeda.

- b) Robot memanipulasi perangkat inspeksi, seperti probe mekanis atau sensor penglihatan, untuk memeriksa produk. Kasus ini mirip dengan operasi pemrosesan di mana efektor akhir yang dipasang ke pergelangan tangan robot adalah probe inspeksi. Untuk melakukan proses, bagian dikirim ke workstation dalam posisi dan orientasi yang benar, dan robot harus memanipulasi perangkat inspeksi sesuai kebutuhan.

Kebanyakan robot dalam aplikasi industri saat ini tidak memiliki kemampuan penglihatan. Kapasitas mereka untuk mengambil bagian atau memanipulasi alat selama setiap siklus kerja bergantung pada unit kerja yang berada pada posisi dan orientasi yang diketahui. Unit kerja harus disajikan kepada robot di lokasi yang sama setiap siklus. Waktu siklus dan biaya aplikasi robotik yang diusulkan dapat dianalisis menggunakan rumus:

$$T_c = T_o + T_h + T_t$$

Di mana

T_c = waktu siklus, min / pc;

T_o = waktu pemrosesan aktual atau operasi perakitan, min / pc;

T_h = waktu penanganan bagian kerja, min / pc;

T_t = waktu penanganan alat rata-rata,

banyak robot yang dipasang saat ini dilengkapi dengan kemampuan penglihatan atau kompatibel dengan penglihatan, yang berarti bahwa pengontrolnya memiliki perangkat lunak untuk dengan mudah mengintegrasikan penglihatan ke dalam siklus kerja. (Groover, 2015)

Kemampuan penglihatan mengurangi kebutuhan unit kerja untuk berada pada posisi dan orientasi yang diketahui. min / pc, jika aktivitas seperti itu berlaku. Sebagian besar aplikasi robot melibatkan beberapa bentuk penanganan material atau operasi pemrosesan. Aplikasi perakitan dan inspeksi dapat dimasukkan dalam dua kategori ini. Aplikasi penanganan material termasuk: transfer material, direduksi menjadi $T_c = T_h$, atau pemuatan dan / atau pembongkaran mesin, di mana robot

digunakan untuk mendukung mesin produksi utama yang melakukan operasi pemrosesan yang sebenarnya. Dalam kasus kedua, partisipasi robot dalam siklus kerja adalah T_h , dan mesin produksi terdiri dari T_o dan mungkin T_t , tergantung pada jenis prosesnya. Jika aplikasi robot terdiri dari operasi pemrosesan, di mana robot memanipulasi beberapa alat sebagai efektor akhirnya, maka robot adalah mesin produksi utama, mungkin merupakan model representatif untuk siklus kerja. Penanganan bagian pekerjaan dilakukan oleh peralatan pendukung, mungkin robot lain atau pekerja manusia sebagai upaya terakhir.

Laju produksi *cell* robotik didasarkan pada waktu produksi rata-rata, yang harus mencakup waktu untuk menyiapkan *cell*:

$$T_p = \frac{T_{su} + QT_c}{Q}$$

Dimana:

T_p = waktu produksi rata-rata per unit kerja, min;

T_{su} = waktu persiapan, min;

dan Q = jumlah unit kerja yang diproduksi dalam proses produksi.

Waktu persiapan harus menyertakan waktu di tempat untuk memprogram robot selain aktivitas persiapan fisik lainnya sebelum produksi sebenarnya dijalankan. Laju produksi adalah kebalikan dari waktu produksi rata-rata:

$$R_p = \frac{60}{T_c}$$

Dimana:

R_p dinyatakan dalam satuan kerja per jam, pc / hr.

Untuk pekerjaan jangka panjang, R_p mendekati tingkat siklus R_c , yang merupakan kebalikan dari T_c . Artinya, Q menjadi $(T_{su} / Q) \rightarrow 0$ dan menjadi sangat besar

$$R_p \rightarrow R_c = \frac{60}{T_c}$$

Dimana:

R_c = laju siklus operasi mesin, pc / jam; dan

T_c = waktu siklus operasi, min / pc.

Biaya pengoperasian *cell* robot dibagi menjadi biaya tetap dan biaya variabel, di mana biaya tetap dikaitkan dengan peralatan dan biaya variabel termasuk tenaga kerja, bahan baku, dan daya untuk mengoperasikan peralatan. Total biaya *cell* adalah jumlah dari dua kategori:

$$T_c = C_f + C_v Q$$

Dimana:

T_c = total biaya tahunan, \$ / tahun;

C_f = biaya tahunan tetap, \$ / tahun;

C_v = biaya variabel \$ / pc;

dan Q = jumlah produksi tahunan, pc / th.

5. Pembuatan Robot

Untuk menyelesaikan pekerjaan yang berguna, robot harus diprogram untuk melakukan siklus gerak. Program robot dapat diartikan sebagai jalur dalam ruang yang akan diikuti oleh manipulator, dikombinasikan dengan tindakan periferal yang mendukung siklus kerja. Contoh tindakan periferal termasuk membuka dan menutup gripper, melakukan pengambilan keputusan logis, dan berkomunikasi dengan peralatan lain di dalam *cell*. Robot diprogram dengan memasukkan perintah pemrograman ke dalam memori pengontrolnya. Tiga metode pemrograman dapat dibedakan:

a. Pemrograman kepemimpinan

Tanggal pemrograman kepemimpinan dari awal 1960-an sebelum kontrol komputer lazim. Metode dasar yang sama digunakan saat ini untuk banyak robot yang dikendalikan komputer. Ada dua metode untuk melakukan prosedur pengajaran penuntun:

1) Pengarahan bertenaga

Pimpinan bertenaga biasanya digunakan sebagai metode pemrograman untuk robot pemutaran dengan kontrol titik-ke-titik.

Menggunakan sakelar atau tombol sakelar, pemrogram menggerakkan lengan robot ke posisi yang diinginkan, secara berurutan, dan mencatat posisi tersebut ke dalam memori. Selama pemutaran berikutnya, robot bergerak melalui urutan posisi dengan kekuatannya sendiri.

2) Pengarahan manual

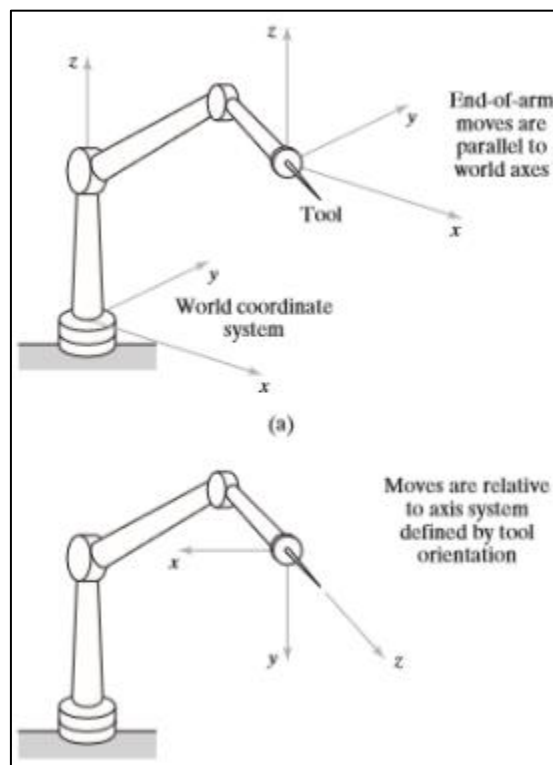
Petunjuk arah manual nyaman untuk memprogram robot pemutaran dengan kontrol jalur kontinu di mana jalur kontinu merupakan pola gerakan tidak beraturan seperti dalam lukisan semprot. Metode pemrograman ini mengharuskan operator untuk secara fisik memegang alat yang dipasang di ujung lengan dan memindahkannya melalui urutan gerakan, merekam jalur ke dalam memori. Perangkat pemrograman memiliki konfigurasi sambungan yang sama dengan robot dan dilengkapi dengan pegangan pemicu (atau sakelar kontrol lainnya), yang diaktifkan operator saat merekam gerakan ke dalam memori. Gerakan dicatat sebagai rangkaian titik yang berjarak dekat. Selama pemutaran, jalur dibuat ulang dengan mengontrol lengan robot yang sebenarnya melalui urutan titik yang sama.

Dalam pemrograman memimpin, tugas diajarkan kepada robot dengan menggerakkan manipulator melalui siklus gerak yang diperlukan, sekaligus memasukkan program ke dalam memori pengontrol untuk pemutaran berikutnya didukung *Leadthrough* dan *Manual Leadthrough*:

1) Metode *leadthrough*

Menyediakan cara yang sangat alami untuk memprogram perintah gerakan ke dalam pengontrol robot. Dalam petunjuk arah manual, operator cukup menggerakkan lengan melalui jalur yang diperlukan untuk membuat program. Dalam *leadthrough* bertenaga, operator menggunakan liontin pengajaran genggam untuk menggerakkan manipulator. Pemrogram memindahkan berbagai sambungan manipulator ke posisi yang diperlukan di ruang kerja dengan mengaktifkan sakelar atau tombol dari liontin pengajaran secara terkoordinasi. Mengkoordinasikan sendi individu dengan liontin pengajaran adalah cara yang canggung dan membosankan untuk memasukkan perintah gerakan ke robot. Misalnya, sulit untuk mengkoordinasikan sambungan individu robot yang diartikulasikan

(konfigurasi TRR) untuk menggerakkan ujung lengan dalam gerakan garis lurus. Oleh karena itu, banyak robot yang menggunakan leadthrough bertenaga memberikan dua metode alternatif untuk mengontrol pergerakan seluruh manipulator selama pemrograman, selain kontrol untuk sambungan individu. Dengan metode ini, programmer dapat menggerakkan ujung pergelangan tangan robot dalam jalur garis lurus. Dalam sistem koordinat dunia, asal dan sumbu ditentukan relatif terhadap basis robot, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 14.7 (a). Dalam sistem koordinat alat, Gambar 14.7 (b), kesejajaran sistem sumbu ditentukan relatif terhadap orientasi pelat muka pergelangan tangan (tempat efektor ujung dipasang).



Gambar 14.7 (a) Sistem koordinat dunia. (b) Sistem koordinat alat.

Dengan cara ini, pemrogram dapat mengarahkan alat dengan cara yang diinginkan dan kemudian mengontrol robot untuk membuat gerakan linier dalam arah sejajar atau tegak lurus dengan alat. Sistem koordinat dunia dan alat hanya berguna jika robot memiliki kapasitas untuk menggerakkan ujung pergelangan tangannya dalam gerakan garis lurus, sejajar dengan salah satu sumbu sistem koordinat. Gerakan garis lurus

cukup alami untuk robot koordinat Kartesius (konfigurasi LOO) tetapi tidak wajar untuk robot dengan kombinasi rotasi apa pun, sambungan (tipe R, T, dan V).

2) Manual *Leadthrough*

Untuk mencapai gerakan garis lurus diperlukan manipulator dengan jenis sambungan ini untuk melakukan proses interpolasi linier. Dalam interpolasi garis lurus, komputer kontrol menghitung urutan titik yang dapat dialamatkan dalam ruang yang harus dilalui ujung pergelangan tangan untuk mencapai jalur garis lurus antara dua titik. Kecepatan robot dikendalikan melalui dial atau perangkat input lainnya, yang terletak di liontin pengajaran dan / atau panel kontrol utama. Gerakan tertentu dalam siklus kerja harus dilakukan dengan kecepatan tinggi (misalnya, bagian yang bergerak dengan jarak yang cukup jauh di dalam *cell*), sedangkan gerakan lain memerlukan kecepatan rendah (misalnya, gerakan yang memerlukan presisi tinggi dalam memposisikan bagian kerja). Kontrol kecepatan juga memungkinkan program tertentu untuk dicoba pada kecepatan lambat yang aman dan kemudian digunakan pada kecepatan yang lebih tinggi selama produksi.

Keuntungan yang ditawarkan oleh metode *leadthrough* adalah dapat dengan mudah dipelajari oleh petugas bengkel. Memprogram robot dengan menggerakkan lengannya melalui jalur gerakan yang diperlukan merupakan cara yang logis bagi seseorang untuk mengajarkan siklus kerja. Pemrogram robot tidak perlu memiliki pengetahuan tentang pemrograman komputer. Bahasa robot yang dijelaskan di bagian selanjutnya, terutama bahasa yang lebih maju, lebih mudah dipelajari oleh seseorang yang memiliki latar belakang pemrograman komputer.

Ada beberapa kelemahan yang melekat pada metode pemrograman *leadthrough*:

- 1) Produksi reguler harus dihentikan selama prosedur pemrograman prospek.
- 2) Liontin pengajaran yang digunakan dengan *leadthrough* bertenaga dan perangkat pemrograman yang digunakan dengan *leadthrough* manual dibatasi dalam hal logika pengambilan keputusan yang dapat dimasukkan

ke dalam program.

- 3) Karena metode memimpin dikembangkan sebelum kontrol komputer menjadi umum untuk robot, metode ini tidak langsung kompatibel dengan teknologi berbasis komputer modern seperti CAD / CAM, database manufaktur, dan jaringan komunikasi lokal.

b. Bahasa Pemrograman Robot

Penggunaan bahasa pemrograman tekstual menjadi metode pemrograman yang tepat karena komputer digital mengambil alih fungsi kontrol dalam robotika. Penggunaannya telah dirangsang oleh meningkatnya kompleksitas tugas yang diminta robot untuk dilakukan, dengan kebutuhan yang bersamaan untuk memasukkan keputusan logis ke dalam siklus kerja robot. Bahasa pemrograman yang mirip komputer ini sebenarnya merupakan kombinasi metode *on-line* dan *off-line*, karena robot harus tetap diajarkan lokasinya menggunakan metode *leadthrough*. Bahasa pemrograman tekstual untuk robot memberikan kesempatan untuk melakukan fungsi-fungsi berikut yang tidak dapat dengan mudah dicapai oleh pemrograman memimpin:

- 1) Kemampuan sensor yang ditingkatkan, termasuk penggunaan input dan output analog serta digital
- 2) Peningkatan kemampuan output untuk mengontrol peralatan eksternal
- 3) Logika program yang berada di luar kemampuan metode *leadthrough*
- 4) Perhitungan dan pemrosesan data serupa dengan bahasa pemrograman komputer
- 5) Komunikasi dengan orang lain sistem komputer.

Pemrograman gerak dengan bahasa robot biasanya membutuhkan kombinasi pernyataan tekstual dan teknik petunjuk arah. Karenanya, metode pemrograman ini kadang-kadang disebut sebagai pemrograman *on-line* / *off-line*. Pernyataan tekstual digunakan untuk menggambarkan gerakan, dan metode *leadthrough* digunakan untuk menentukan posisi dan orientasi robot selama dan / atau di akhir gerakan.

c. Simulasi Dan Pemrograman *Off-Line*

Pemrograman *off-line* memungkinkan program robot untuk disiapkan di terminal komputer jarak jauh dan diunduh ke pengontrol robot untuk

dieksekusi tanpa mengganggu produksi. Dalam pemrograman *off-line* yang sebenarnya, tidak perlu secara fisik menempatkan posisi di ruang kerja robot seperti yang dipersyaratkan dengan bahasa pemrograman tekstual saat ini. Beberapa bentuk simulasi komputer grafis diperlukan untuk memvalidasi program yang dikembangkan secara *off-line*, mirip dengan prosedur *off-line* yang digunakan dalam pemrograman bagian NC. Prosedur pemrograman *off-line* yang tersedia secara komersial menggunakan simulasi grafis untuk membangun model tiga dimensi *cell* robot untuk evaluasi dan pemrograman *offline*. *Cell* mungkin terdiri dari robot, peralatan mesin, konveyor, dan perangkat keras lainnya. Simulator menampilkan komponen *cell* ini pada monitor grafik dan menunjukkan robot melakukan siklus kerjanya dalam grafik komputer animasi.

Setelah program dikembangkan menggunakan prosedur simulasi, kemudian diubah menjadi bahasa tekstual yang sesuai dengan robot tertentu yang digunakan dalam *cell*. Ini adalah langkah dalam pemrograman robot *off-line* yang setara dengan pasca-pemrosesan dalam pemrograman bagian NC. Prosedur kalibrasi digunakan untuk mengoreksi model komputer tiga dimensi dengan mengganti data lokasi aktual dari *cell* dengan nilai perkiraan yang dikembangkan dalam model asli. Kerugian dari mengkalibrasi *cell* adalah hilangnya beberapa waktu produksi dalam melakukan prosedur ini.

6. Akurasi dan Repeatabilitas Robot

Kapasitas robot untuk memosisikan dan mengarahkan ujung pergelangan tangannya dengan akurasi dan pengulangan merupakan atribut kontrol yang penting di hampir semua aplikasi industri. Dalam robotika, karakteristik didefinisikan di ujung pergelangan tangan dan tanpa adanya efektor ujung yang terpasang di pergelangan tangan. Resolusi kontrol mengacu pada kemampuan sistem pemosisian robot untuk membagi jangkauan sambungan menjadi titik-titik yang berjarak dekat, yang disebut titik-titik yang dapat dialamatkan, ke mana sambungan dapat dipindahkan oleh pengontrol.

Jika sambungannya linier (tipe L) atau ortogonal (tipe O) dan terdiri dari mekanisme penggerak sekrup atau bola, maka metode yang sama yang digunakan untuk sistem pemosisian NC dapat digunakan untuk menentukan resolusi kontrol untuk sumbu linier robot, CR_1 . Namun, menentukan CR_1 untuk manipulator robot dibingungkan oleh fakta bahwa ada lebih banyak variasi tipe joint yang digunakan dalam robotika daripada di peralatan mesin NC. Dan tidak

mungkin menganalisis detail mekanis dari semua jenis di sini. Biarlah cukup untuk mengenali bahwa ada batas mekanis pada kapasitas untuk membagi jangkauan setiap sistem sambungan-sambungan menjadi titik-titik yang dapat dialamatkan, dan bahwa batas ini diberikan oleh CR_1 .

Batas kedua pada resolusi kontrol adalah kapasitas penyimpanan bit pengontrol. Jika B = jumlah bit dalam register penyimpanan bit yang dikhususkan untuk sambungan tertentu, maka jumlah titik yang dapat dialamatkan dalam rentang gerak sambungan tersebut diberikan oleh 2^B . Oleh karena itu, resolusi kontrol didefinisikan sebagai jarak antara titik alamat yang berdekatan. Ini dapat ditentukan sebagai:

$$CR_2 = \frac{R}{2^{B-1}}$$

dimana

CR_2 = resolusi kontrol yang ditentukan oleh pengontrol robot;

dan R = rentang kombinasi sambungan-sambungan, dinyatakan dalam satuan linier atau sudut, tergantung pada apakah sambungan tersebut memberikan gerakan linier atau gerak putar. Resolusi kontrol dari setiap mekanisme jointlink akan menjadi maksimum CR_1 dan CR_2 yaitu:

$$CR = \text{Max}\{CR_1, CR_2\}$$

Dalam pembahasan resolusi kontrol NC, disebutkan bahwa itu diinginkan untuk $CR_2 \leq CR_1$, yang berarti bahwa Faktor pembatas dalam menentukan resolusi kendali adalah sistem mekanis, bukan sistem kendali komputer. Karena struktur mekanik manipulator robot jauh lebih kaku dibandingkan dengan peralatan mesin, resolusi kontrol untuk setiap sambungan robot hampir pasti akan ditentukan oleh faktor mekanis (CR_1). Mirip dengan kasus sistem pemosisian NC, kemampuan manipulator robot untuk memposisikan mekanisme tautan-sambungan tertentu di lokasi yang tepat yang ditentukan oleh titik yang dapat dialamatkan dibatasi oleh kesalahan mekanis pada sambungan dan tautan terkait. Kesalahan mekanis timbul dari faktor-faktor seperti serangan balik gigi, defleksi tautan, kebocoran cairan hidrolik, dan berbagai sumber lain yang bergantung pada konstruksi mekanis dari kombinasi tautan sambungan yang diberikan.

Pengulangan adalah ukuran kemampuan robot untuk memosisikan ujung pergelangan tangannya pada titik yang diajarkan sebelumnya dalam volume kerja. Setiap kali robot mencoba untuk kembali ke titik yang diprogram, ia akan kembali ke posisi yang sedikit berbeda. Variasi pengulangan memiliki sumber utama kesalahan mekanis yang disebutkan sebelumnya. Oleh karena itu, seperti di NC, untuk mekanisme sambungan-sambungan tunggal:

$$Re = \pm 3\sigma$$

di mana σ = deviasi standar dari distribusi kesalahan.

Akurasi adalah kemampuan robot untuk memosisikan ujung pergelangan tangannya di lokasi yang diinginkan dalam volume kerja. Untuk satu sumbu, menggunakan alasan yang sama seperti di NC:

$$Ac = \frac{CR}{2} + 3\sigma$$

di mana CR = resolusi control.

Untuk sambungan putar, parameter ini dapat dikonseptualisasikan sebagai nilai sudut sambungan itu sendiri atau panjang busur di ujung sambungan keluaran sambungan. Untuk menjadi nilai praktis, keakuratan dan pengulangan manipulator robot harus mencakup efek dari semua sambungan, dikombinasikan dengan efek kesalahan mekanisnya. Untuk robot multi-sumbu, akurasi dan pengulangan akan bervariasi tergantung di mana dalam volume kerja ujung pergelangan tangan diposisikan. Alasannya adalah bahwa kombinasi sambungan tertentu akan cenderung memperbesar efek resolusi kontrol dan kesalahan mekanis.

Dengan kata lain, kesalahan tidak akan bersifat isotropik. Sebaliknya, radius akan bervariasi karena kesalahan mekanis terkait akan berbeda pada arah tertentu dibandingkan dengan yang lain. Lengan mekanik robot lebih kaku pada arah tertentu, dan kekakuan ini mempengaruhi kesalahan. Juga, yang disebut bola tidak akan tetap ukurannya konstan di seluruh volume kerja robot. Seperti halnya resolusi kontrol, itu akan dipengaruhi oleh kombinasi tertentu dari posisi sendi dari manipulator. Di beberapa wilayah volume pekerjaan, kesalahan pengulangan akan lebih besar daripada di wilayah lain. Akurasi dan pengulangan telah didefinisikan sebelumnya sebagai parameter statis dari manipulator. Namun, parameter presisi ini dipengaruhi oleh operasi dinamis robot.

Karakteristik seperti kecepatan, muatan, dan arah pendekatan akan mempengaruhi akurasi dan pengulangan robot. (Groover, 2015)

C. LATIHAN SOAL/TUGAS

1. Jelaskan lima jenis sambungan sendi?
2. Apa yang anda ketahui tentang SCARA?
3. Sebutkan tiga jenis system penggerak sambungan robot?
4. Jelaskan teknologi sensor canggih yang termasuk dalam sensor eksternal robotic?
5. Dari pembahasan modul diatas, apa yang anda pahami tentang Leadthrough dan Manual *Leadthrough*?

D. DAFTAR PUSTAKA

- Colestock, H., (2004). Industrial Robotics: Selection, Design, and Maintenance, McGraw-Hill, New York.
- Craig, J. J., (2004). Introduction to Robotics: Mechanics and Control, 3rd ed., Pearson Education, Upper Saddle River, NJ.
- Groover, M. P. (2015). Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. United States of America: Pearson Higher Education.
- Hixon, D., (2012). "Robotics Cut New Path in Hot Metals Stamping," Manufacturing Engineering, pp. 69–74.
- Nieves, E., (2005). "Robots: More Capable, Still Flexible," Manufacturing Engineering, pp. 131–143.
- Waurzyniak, P., (2006). "Masters of Manufacturing: Joseph F. Engelberger," Manufacturing Engineering, pp. 65–75.
- Waurzyniak, P., (2012). "Flexible Automation for Automotive," Manufacturing Engineering, pp. 103–112.

GLOSARIUM

Aktuator adalah perangkat yang mengubah sinyal kontrol menjadi tindakan fisik, yang biasanya mengacu pada perubahan parameter input proses

Alloys adalah logam yang terdiri dari dua elemen atau lebih, setidaknya satu di antaranya adalah logam

Besi cor adalah campuran besi yang mengandung 2,1% hingga sekitar 4% karbon dan dari 1% sampai 3% silikon. Komposisinya membuatnya sangat cocok sebagai logam cor

Blast furnace adalah ruang berlapis tahan api dengan sebuah diameter sekitar 9 hingga 11 m (30–35 kaki) paling lebar dan tinggi 40 m (125 kaki), di gas panas yang dipaksa masuk ke bagian bawah ruangan dengan kecepatan tinggi untuk dicapai pembakaran dan reduksi besi..

BOF adalah adaptasi dari konverter *Bessemer*

bubuk batubara adalah bahan bakar khas untuk tungku ini. Ketika logam dilebur, maka wadah diangkat dari tungku dan digunakan sebagai sendok penuang

Busur listrik adalah pelepasan arus listrik melintasi celah dalam suatu rangkaian.

Carbon arc welding (CAW) adalah proses pengelasan busur yang menggunakan elektroda karbon (grafit) yang tidak dapat dikonsumsi

Casting adalah proses dimana logam cair mengalir gravitasi atau gaya lain ke dalam cetakan di mana ia mengeras bentuk rongga cetakan

Casting Slush casting adalah proses cetakan permanen di mana pengecoran berongga dibentuk dengan membalik cetakan setelah pembekuan parsial pada permukaan untuk mengalir keluar logam cair di tengah.

Centerburst adalah retakan internal yang berkembang sebagai akibat dari tegangan tarik di sepanjang garis tengah bagian kerja selama ekstrusi.

Coke adalah bahan bakar karbon tinggi yang diproduksi dengan memanaskan batubara bitumen dalam oksigen terbatas atmosfer selama beberapa jam, diikuti oleh penyemprotan air di pendinginan khusus Menara.

Cope adalah bagian atas cetakan, dan hambatan adalah bagian bawah.

Cutoff adalah operasi pemotongan di mana blanko dipisahkan dari strip lembaran logam dengan memotong sisi berlawanan dari bagian secara berurutan

deformasi adalah pengerjaan logam lembaran, yang melibatkan operasi pembengkokan, pembentukan, dan pemotongan yang dilakukan pada blanko awal dan strip lembaran logam

Ekstrusi adalah proses kompresi dimana material kerja dipaksa mengalir melalui bukaan cetakan untuk menghasilkan bagian dengan bentuk penampang yang sama dengan bentuk bukaan cetakan.

Elastomer adalah polimer yang menunjukkan sifat elastis yang signifikan; maka nama elastomer. Mereka termasuk karet alam, neoprena, silikon, dan poliuretan.

Finr blanking adalah operasi pemotongan yang digunakan untuk mengosongkan bagian lembaran logam dengan toleransi rapat dan tepi lurus dan halus dalam satu Langkah

Fluiditas adalah kebalikan dari *viskositas* saat *viskositas* meningkat, cairan menurun.

Fluks adalah zat yang digunakan untuk mencegah pembentukan oksida dan kontaminan lain yang tidak diinginkan, atau untuk melarutkannya dan memfasilitasi pembuangan

Flux adalah dasar senyawa seperti batu kapur yang bereaksi dengan abu kokas dan kotoran lainnya terbentuk terak.

Forging (penempaan) adalah proses deformasi di mana pekerjaan dikompresi di antara dua cetakan yang berlawanan, menggunakan benturan atau tekanan bertahap untuk membentuk bagian

Fullering adalah operasi penempaan yang dilakukan untuk mengurangi penampang dan mendistribusikan kembali logam di bagian pekerjaan sebagai persiapan untuk penempaan bentuk selanjutnya

Gas Metal Arc Welding adalah proses AW di mana elektroda merupakan kawat logam kosong habis pakai, dan pelindung dilakukan dengan membanjiri busur dengan gas

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) adalah proses AW yang menggunakan elektroda tungsten yang tidak dapat dikonsumsi dan gas inert untuk pelindung busur. Istilah pengelasan TIG

Gripper adalah efektor akhir yang digunakan untuk menangkap dan memanipulasi objek selama siklus kerja

High-frequency resistance welding (HFRW) adalah proses pengelasan resistansi di mana arus bolak-balik berfrekuensi tinggi digunakan untuk pemanasan, diikuti dengan penerapan gaya yang mengganggu secara cepat untuk menyebabkan koalesensi

Ingot baja adalah coran diskrit besar dengan berat mulai dari 1 ton hingga sekitar 300 ton berat seluruh panas).

Interface device input / output kontak adalah komponen yang digunakan untuk mengkomunikasikan data biner bolak balik antara proses dan komputer kontrol

Keropeng adalah daerah kasar di permukaan *casting* karena percikan pasir dan logam.

Komposit adalah material yang terdiri dari dua atau lebih fase yang diproses secara terpisah dan kemudian disatukan untuk mencapai sifat yang lebih unggul dari konstituenya. Istilah fase mengacu pada massa material yang homogen, seperti agregasi butir struktur sel satuan identik dalam logam padat.

Kubah A adalah tungku silinder vertikal yang dilengkapi dengan cerat penyadapan dekat pangkalannya.

Lasan titik adalah bagian kecil yang menyatu antara permukaan dua lembaran atau pelat

Logam adalah kategori bahan umumnya ditandai oleh sifat daktilitas, kelenturan, kilau, dan konduktivitas listrik dan termal yang tinggi.

Manufacture adalah transformasi bahan menjadi barang-barang dengan nilai lebih besar melalui satu atau lebih operasi pemrosesan dan / atau perakitan.

MAPP adalah singkatan komersial untuk methylacetylene propadiene

Mekanisasi adalah penggantian tenaga fisik manusia dengan mesin

Otomasi adalah operasi otomatis yang pada dasarnya berkaitan dengan produksi atau sistem manufaktur otomatis

Oxyacetylene Welding (OAW) adalah proses pengelasan fusi yang dilakukan dengan api bersuhu tinggi dari pembakaran asetilen dan oksigen. Nyala api diarahkan oleh obor las.

Oxyfuel gas welding (OFW) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kelompok operasi FW yang membakar berbagai bahan bakar yang dicampur dengan oksigen untuk melakukan pengelasan.

Part families adalah sekelompok bagian yang memiliki kesamaan dalam bentuk dan ukuran geometris, atau dalam langkah pemrosesan yang digunakan dalam pembuatannya

Penggilingan adalah proses penghilangan material umum lainnya.

Permukaan *faying* adalah bagian permukaan yang bersentuhan atau berdekatan yang akan disambung

Piping adalah cacat yang terkait dengan ekstrusi langsung. Seperti pada gambar, ini adalah pembentukan lubang wastafel di ujung billet.

Plasma Arc Welding (PAW) adalah bentuk khusus dari pengelasan busur tungsten gas di mana busur plasma terbatas diarahkan ke area las

Polimer adalah senyawa yang terbentuk dari unit struktural berulang yang disebut mers, yang atom-atomnya berbagi elektron untuk membentuk molekul yang sangat besar.

Rem pers adalah pers bingkai celah dengan tempat tidur yang sangat lebar

Resistance Projection Welding (RPW) adalah proses RW di mana koalesensi terjadi pada satu atau lebih titik kontak yang relatif kecil pada bagian-bagiannya.

Resistance Welding (RW) adalah sekelompok proses pengelasan fusi yang menggunakan kombinasi panas dan tekanan untuk mencapai koalesensi, panas yang dihasilkan oleh hambatan listrik terhadap aliran arus di persimpangan yang akan dilas

Riser adalah *reservoir* dalam cetakan itu bekerja sebagai sumber logam cair untuk *casting* untuk mengkompensasi penyusutan selama solidifikasi kation.

Robot industri adalah mesin yang dapat diprogram untuk keperluan umum yang memiliki fitur antropomorfik tertentu

Rolling adalah proses deformasi di mana ketebalan pekerjaan dikurangi dengan gaya tekan yang diberikan oleh dua gulungan yang berlawanan

Sambungan las adalah persimpangan tepi atau permukaan bagian yang telah disambung dengan pengelasan.

Sensor adalah perangkat yang mengubah stimulus fisik atau variabel yang menarik (misalnya suhu, gaya, tekanan, atau karakteristik proses lainnya) menjadi bentuk fisik yang lebih nyaman (misalnya, tegangan listrik) untuk tujuan mengukur variabel.

Shaving adalah operasi pemotongan yang dilakukan dengan jarak bebas yang sangat kecil untuk mendapatkan dimensi yang akurat dan tepi potong yang mulus dan lurus

Shell molding adalah proses pengecoran di mana cetakan adalah *shell* tipis (biasanya 9 mm atau 3/8 in) terbuat dari pasir yang disatukan oleh pengikat resin *termoseting*.

Shielded Metal Arc Welding adalah proses AW yang menggunakan elektroda habis pakai yang terdiri dari batang logam pengisi yang dilapisi dengan bahan kimia yang memberikan *fluks* dan pelindung.

Slotting adalah istilah yang kadang-kadang digunakan untuk operasi meninju yang memotong lubang memanjang atau persegi panjang,

Solidifikasi adalah waktu yang diperlukan untuk *casting* untuk memadat setelah menuangkan

Stud welding (SW) adalah proses AW khusus untuk menyambungkan stud atau komponen serupa ke bagian dasar.

Tungsten adalah bahan elektroda yang baik karena titik lelehnya yang tinggi yaitu 3410 ° C (6170 ° F). Khas gas pelindung termasuk argon, helium, atau campuran elemen gas ini

DAFTAR PUSTAKA

- Aronson, R. B. (2004) "Menggunakan Cairan Bertekanan Tinggi." Teknik Manufaktur, hlm. 87–96.
- Atabaki M et al, 2013. *Welding of aluminum alloys to steels: an overview*. OMB No. 0704-0188.
- Beeley, P. R. (2001) Foundry Technology. Butterworths- Heinemann, Oxford, England,.
- Black, J., and Kohser, R. DeGarmo's. (2012). *Materials and Processes in Manufacturing, 11th ed.*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- Boothroyd, G., and Knight, W. A. (2006). *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools, 3rd ed.* CRC Taylor and Francis, Boca Raton, Florida.
- Buku Pegangan ASM. Vol. 14B: (2006). Pengerjaan Logam: Pembentukan Lembaran. ASM International, Material Park, Ohio.
- Carnes, R., dan Maddock, G. (2004). "Pemilihan Alat Baja". Bahan & Proses Lanjutan, hlm. 37–40.
- Cary, H. B., and Helzer, S. C. (2005). *Modern Welding Technology*, 6th ed. Pearson/Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Chang, C-H, and Melkanoff, M. A. NC (2003). Machine Programming and Software Design, 3rd ed. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Colestock, H., (2004). Industrial Robotics: Selection, Design, and Maintenance, McGraw-Hill, New York.
- Craig, J. J., (2004). Introduction to Robotics: Mechanics and Control, 3rd ed., Pearson Education, Upper Saddle River, NJ.
- Destephani, J. (2005). "The Science of pCBN." Teknik Manufaktur, hlm. 53–62.
- Esford, D. (200) "Keramik Ambil Gilirannya." Teknik Alat Pemotong, Vol. 52, No. 7, hlm. 40–46.
- Flinn, R. A., and Trojan, P. K. (1995). Engineering Materials and Their Applications, 5th ed. John Wiley & Sons, New York.

- Ghang, D.C and Dange, J. J. (2013). Adoptability of CAD / CAM for Jewelry Making Industry Using Method Comparison Tecnique International Journal of Trend i Engineering and Technology (IJLTET). Vol.3 Issue 1.
- Groover, M. (2020). Fundamental of Modern Manufacturing : Materials, Processes, and Systems (7th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Groover, M. P. (2008). Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing, 3rd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Groover, M. P. (2009) Work Systems and the Methods, Measurement, and Management of Work, Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2007. [9] Hornyak, G. L., Moore, J. J., Tibbals, H. F., and Dutta, J. Fundamentals of Nanotechnology, CRC Taylor & Francis, Boca Raton, Florida.
- Groover, M. P. (2013). Fundamentals Of Modern Manufacturing. United States of America: Jhon Willey.
- Groover, M. P. (2015). Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. United States of America: Pearson Higher Education.
- Groover, M. P. (2019). *Fundamentals of Modern Manufacturing; Materials, Processes, and Systems 7th*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Groover, M. P. Automation, (2008) Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing, 3rd ed. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Groover. (2013). Fundamental Of Modern Manufacturing. New york: John Wiley & Sons.
- Hitomi, K. (2017). Manufacturing Systems Engineering. London: Taylor & Francis.
- Hixon, D., (2012). "Robotics Cut New Path in Hot Metals Stamping," Manufacturing Engineering, pp. 69–74.
- Hosford, W. F., dan Caddell, R. M. (2007).Metal Pembentukan: Mekanika dan Metalurgi. Edisi ke-3. Cambridge University Press, Cambridge, Inggris.
- Hughes, T. A. (2005). Programmable Controllers, 4th ed., Instrumentation, Systems, and Automation Society, Research Triangle Park, North Carolina.
- J. Carlos, (2010). "Performance Measurement on Automotive Assembly Line", in the Report of Project / Dissertation Master in Electronics and Computer Engineering Major Automation, University of Porto.

- Jeffus, L. F., (2007). *Welding: Principles and Applications*, 6th ed. Delmar Cengage Learning, Clifton Park, New York.
- Kalpakjian, S. dan Schmid, S.R. 2009. *Manufacturing Engineering and Technology*. Sixth Edition, Pentice Hall, New York.
- Kalpakjian, S., and Schmid S. R. (2010) *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, 6th ed. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Kalpakjian, S., and Schmid, S. (2007). *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, 5th ed. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Kalpakjian, S., dan Schmid, S. (2008). *Proses Manufaktur untuk Material Teknik*. Edisi ke-5. Prentice Hall / Pearson, Upper Saddle River, New Jersey.
- Keefe, J., *A Brief Introduction to Precious Metals*," *The AMMTIAC Quarterly*, Vol. 2, No. 1, 2007.
- L. Monostori, (2014). "Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges," in *Procedia CIRP* Vol 17: pp 9–13.
- Lange, K. (2006). *Buku Pegangan Pembentukan Logam*. Masyarakat Insinyur Manufaktur, Dearborn, Michigan.
- Lorincz, J. (2013). "Pelapis Ditargetkan untuk Bahan Tertentu." *Teknik Manufaktur*, hlm. 45–52m.
- Nee, J. G. (ed.). (2010). *Dasar-dasar Desain Alat*. Edisi ke-6. Masyarakat Insinyur Manufaktur, Dearborn, Michigan.
- Nieves, E., (2005). "Robots: More Capable, Still Flexible," *Manufacturing Engineering*, pp. 131–143.
- Nurmutia, S., Candra, A., & Shobur, M. (2020, July). Analysis Improvement Production Process Of Making Joint Care Air Filter Mitsubishi (Cjm) With Overall Equipment Effectiveness And Six Big Losses. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 852, No. 1, p. 012106). IOP Publishing.
- Parsai, H., Leep, H., and Jeon, G. (2006). *The Principles of Group Technology and Cellular Manufacturing*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- Richerson, D. W. (2006) *Modern Ceramic Engineering: Properties, Processing, and Use in Design*, 3rd ed. CRC Taylor & Francis, Boca Raton, Florida.

- Schey, J. A. (2000). Pengantar Proses Manufaktur. Edisi ke-3. McGraw-Hill, New York.
- Seames W. (2002). Computer Numerical Control, Concepts and Programming. Delmar-Thomson Learning, Albany, New York.
- Shaw, M. C. (2005). *Metal Cutting Principles, 2nd ed. Oxford University Press, Oxford, UK.*
- Shobur, M. (2013). Analisis Operating Characteristic Curve Part S11036 Pada Proses Polishing Untuk Menjamin Kualitas (Studi Kasus di PT. Surya Toto Indonesia, Tbk). Teknologi, Jurnal Ilmiah dan teknologi, Fakultas Teknik Dan Fakultas MIPA Universitas Pamulang, 9(24), 43-57.
- Shobur, M. (2019). PENINGKATAN KUALITAS PROSES PRODUKSI BENG-BENG DI LINE 8 PT. MAYORA INDAH, TBK DENGAN PENDEKATAN SIX SIGMA. JITMI (Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri), 1(2), 107-116.
- Shobur, M., Feblidiyanti, N., Puspitasari, D., Ibrahim, I. A., & Choirunnisa, S. (2020). Praktikum Statistika Industri.
- Shobur, M., Wakhit, W., Candra, A., & Bahraniha, I. N. (2020). Praktikum Sistem Produksi.
- Spitler, D., Lantrip, J., Nee, J., dan Smith, D. A. (2003). Dasar-dasar Desain Alat. Edisi ke-5. Masyarakat Insinyur Manufaktur, Dearborn, Michigan.
- Stotler, T., and Bernath, J., (2009). "Friction Stir *Welding* Advances," Advanced Materials and Processes. pp 35–37.
- Thusty, J. (2000). Proses dan Peralatan Manufaktur. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Trent, E. M., and Wright, P. K. (200). *Metal Cutting*, 4th ed. Butterworth Heinemann, Boston.
- Waurzyniak, P., (2006). "Masters of Manufacturing: Joseph F. Engelberger," Manufacturing Engineering, pp. 65–75.
- Waurzyniak, P., (2012). "Flexible Automation for Automotive," Manufacturing Engineering, pp. 103–112.
- Webb, J. W., and Reis, R. A. (2003). Programmable Logic Controllers: Principles and Applications, 5th ed., Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Weber, A. (2004) "Is Flexibility a Myth?" Assembly, pp. 50–59.

Weber, A. (2005). "Robot dos and don'ts," Assembly, pp. 50–57.

RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER (RPS)

Program Studi	: Teknik Industri	Mata Kuliah/Kode	: Proses <i>Manufacture</i> / TIN0132
Prasyarat	: Menggambar Teknik	Sks	: 2 Sks
Deskripsi Mata Kuliah	: Mata kuliah Proses <i>Manufacture</i> merupakan Matakuliah pokok/ inti Program Studi S.1 Teknik Industri yang membahas tentang Proses <i>Manufacture</i> dari sebuah proses, material yang digunakan, sifat perubahan bentuk dari material, tahapan proses seperti <i>casting</i> , <i>welding</i> , permesinan serta teknologi yang digunakan dalam proses <i>manufacture</i> dalam mengubah material baku menjadi sebuah produk.	Capaian Pembelajaran	: Setelah menyelesaikan Matakuliah ini mahasiswa diharapkan mampu mengetahui dan mengidentifikasi material, alat, mesin dan teknologi yang dapat digunakan dalam mengubah atau mentransformasi material menjadi sebuah bentuk yang memiliki <i>value</i> lebih, serta rancangan proses yang dilakukan dalam proses <i>manufacture</i> yang dapat membuat proses atau pekerjaan dapat berlangsung lebih efektif dan efisien secara terukur dan terintegrasi pada tiap proses <i>manufacture</i> .
Penyusun	: 1. Muhammad Shobur, S.T., M.T. (Ketua) 2. Edi Supriyadi, S.T, M.T. 3. Rully Nur Dewanti, S.T.,M.M. 4. Budi Aprina, S.T., M.T. 5. Anthon Rudy Wardyanto, S.T., M.T		

PERTEMUAN KE-	KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN	BAHAN KAJIAN (MATERI AJAR)	METODE PEMBELAJARAN	PENGALAMAN BELAJAR MAHASISWA	KRITERIA PENILAIAN	BOBOT NILAI
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	Mahasiswa dapat mengetahui definisi, sejarah serta perkembangan industri <i>manufacturing</i> dari waktu ke waktu, pemanfaatan teknologi yang digunakan serta sistem yang dapat diadopsi dalam proses <i>manufacturing</i> , mahasiswa juga mampu menelusuri beberapa organisasi dalam perkembangan proses <i>manufacturing</i>	1. Definisi Manufacture. 2. Industri dan Produk Manufacture. 3. Material dalam Manufacturing. 4. Manufacturing Process.	Simulasi dan Demonstrasi	Menelusuri studi literatur para ahli dan industri <i>manufacture</i> .	Kelengkapan jawaban	5%
2	Mahasiswa mampu memahami dan menjabarkan tentang bagaimana struktur dari material <i>metals</i> atau logam, mengidentifikasi logam yang dapat diproses baik pada perubahan material proses, produk, serta perkembangan produksi pada logam dilakukan dalam tiap periode di industri	1. Alloys dan Phase Diagram. 2. Logam Besi	Simulasi dan Demonstrasi	Menelusuri studi literatur para ahli dan industry <i>manufacture</i> saat ini dalam penggunaan metal pada proses <i>manufacture</i>	Ketepatan model	5%
3	Mahasiswa mengetahui proses dasar dalam <i>metal casting</i> dilakukan, perubahan wujud material, titik <i>heater</i> material	1. Definisi Fundamental Casting Logam	Simulasi dan Demonstrasi	Mengetahui dan mengidentifikasi dan mereview hasil	Kelengkapan jawaban	5%

	serta jenis penyusutan yang terjadi pada beberapa material logam, mahasiswa mengetahui Teknik dalam proses pembuatan <i>mold</i> dalam proses <i>casting</i> serta mampu mengetahui teknik dan teknologi yang dapat digunakan dalam melakukan <i>casting</i>	2. Teknologi dalam Pengecoran 3. Solidifikasi dan Pendinginan		casting dalam proses <i>manufacture</i>		
4	Mahasiswa mengetahui dasar-dasar dalam melakukan proses <i>metal casting</i> , teknik dan alat yang dapat digunakan dalam melakukan proses <i>metal casting</i> , menentukan teknik berdasarkan materialnya, menentukan standar kualitas yang dapat diukur pada beberapa material dan bagaimana melakukan pengendalian kualitas <i>casting</i> yang dapat dilakukan	1. Proses pengecoran logam 2. Proses pengecoran cetakan 3. Kualitas casting 4. Logam yang digunakan dalam pengecoran/ casting 5. Pertimbangan design produk	Simulasi dan Demonstrasi	Mengetahui dan mengidentifikasi dan mereview hasil dan tahapan proses casting dalam <i>manufacture</i>	Kelengkapan jawaban	6%
5	Mahasiswa dapat mengetahui jenis dan sifat dasar dalam pengelasan serta mampu merancang struktur design dan teknik dalam pengelasan yang lebih efektif dalam pengelasan material Fe maupun non Fe	1. Tinjauan teknologi pengelasan 2. Sambungan las 3. Fitur dari sambungan las Fusi	Simulasi dan demonstrasi	Mengetahui dan mengidentifikasi dan mereview hasil dan tahapan proses pengelasan dalam <i>manufacture</i>	Ketepatan perhitungan dan gambaran model sistem	10%
6	Mahasiswa mampu mengembangkan design dan Teknik dari material yang ada	1. Proses pengelasan 2. Pengelasan resistensi	Simulasi dan demonstrasi	Mengetahui, mengidentifikasi dan mereview hasil dan	Kelengkapan jawaban	6%

	dalam proses pengelasan yang lebih efektif serta mampu menghitung struktur proses pengelasan dalam pengelasan material Fe maupun non Fe	3. Pengelasan gas oxyfuel 4. Weldability las 5. Pertimbangan design dalam pengelasan		tahapan proses pengelasan dalam <i>manufacture</i>		
7	Memahami dan menjabarkan tentang konsep deformasi pada material dalam pengerjaan logam, mampu mengidentifikasi material, mesin dan teknologi yang dapat digunakan dalam pengerjaan logam serta mahasiswa mampu menelusuri <i>case study</i> pada <i>manufacture</i> dalam proses deformasi pada pengerjaan logam.	1. Rolling 2. Forging 3. ekstrusi	Simulasi dan demonstrasi	Mengetahui, mengidentifikasi dan mereview hasil dan tahapan proses deformasi dalam <i>manufacture</i>	Kelengkapan jawaban	10%
UJIAN TENGAH SEMESTER (UTS)						
8	Memahami dan mengidentifikasi dan menyesuaikan material dalam melakukan proses permesinan dalam <i>manufacture</i> , mengetahui dan menggunakan alat dan teknologi yang digunakan dalam proses permesinan, serta mengetahui dan merancang perubahan bentuk material dalam proses permesinan	1. teori permesina logam 2. teknologi permesinan 3. teori pembentukan chip 4. suhu pemtongan	Simulasi dan demonstrasi	Mengetahui, mengidentifikasi dan mereview hasil dan tahapan proses permesinan dalam <i>manufacture</i>	Kelengkapan jawaban	5%

9	Memahami dan menjabarkan tentang proses pengerjaan logam lembaran , material, alat, mesin dan sumber daya yang digunakan, tahapan proses, dan mencari beberapa literature pendukung yang bisa digunakan dalam proses pengerjaan logam lembaran	1. operasi pemotongan 2. operasi pembengkokan 3. peralatan pemotongan 4. operasi lembaran logam 5. pembengkokan stok tube	Simulasi dan demonstrasi	Mengetahui dan mengidentifikasi dan mereview hasil dan tahapan proses pengerjaan logam lembaran dalam <i>manufacture</i>	Kelengkapan jawaban	5%
10	Mahasiswa mampu mengetahui dan merancang sistem dalam proses <i>manufacture</i> serta membuat serangkaian aktivitas dalam memanfaatkan teknologi dalam proses pemotongan material, serta mencari beberapa literature dalam penggunaan teknologi alat pemotong material dalam proses <i>manufacture</i>	1. bahan dan alat dalam pemotongan 2. alat geometri dalam pemotongan	Simulasi dan demonstrasi	Mengetahui, mengidentifikasi, mereview hasil dan tahapan proses teknologi pemotongan yang digunakan dalam industri <i>manufacture</i>	Kelengkapan jawaban dan gambaran model	10%
11	Mahasiswa diharapkan mampu memahami penggunaan teknologi automasi yang dapat digunakan dalam proses <i>manufacture</i> , serta dapat merancang pemanfaatan teknologi otomasi yang efektif dalam kelangsungan proses <i>manufacture</i>	1. pengantar teknologi otomasi 2. dasar – dasar otomasi 3. perangkat keras dalam sistem otomasi 4. industry robotic	Simulasi dan Demonstrasi	Mengetahui, mengidentifikasi, mereview hasil dan tahapan proses teknologi otomasi yang digunakan dalam industri <i>manufacture</i>	Kelengkapan jawaban dan gambaran model sistem	6%

12	Dalam sistem <i>manufacture</i> terintegrasi ini diharapkan mahasiswa dapat mengetahui serta dapat mengembangkan dan merancang bagaimana mengukur dan mengimplementasikan rancangan sistem <i>manufacture</i> yang terintegrasi dan memanfaatkan sistem yang dapat digunakan	1. pengantar sistem <i>manufacture</i> terintegrasi 2. dasar – dasar lini produksi 3. jalur perakitan manual 4. jalur perakitan otomasi 5. manufacturing cell 6. sistem manufacturing fleksibel	Simulasi dan Demonstrasi.	Mengetahui, mengidentifikasi, mereview hasil dan tahapan proses sistem manufacturing yang terintegrasi yang digunakan dalam industri <i>manufacture</i>	Kelengkapan jawaban	10%
13	Mahasiswa mampu mengetahui bagaimana system kerja dari otomasi system <i>manufacture</i> dapat di aplikasikan dalam proses <i>manufacture</i> serta mampu merancang system <i>manufacture</i> yang otomasi pada proses <i>manufacture</i>	1. pengantar sistem otomasi dalam manufacturing 2. otomasi industri 3. prinsip CIM dan CAD	Simulasi dan Demonstrasi	Mengetahui, mengidentifikasi, mereview hasil dan tahapan proses rancangan sistem otomasi yang digunakan dalam industri <i>manufacture</i>	Kelengkapan jawaban	7%
14	Mahasiswa mampu mengaplikasikan dan merancang sistem robotika yang dapat digunakan dalam <i>manufacture</i> , penggunaan sistem otomasi yang dapat dilakukan dalam proses <i>manufacture</i>	1. robot anatomi 2. sistem control dalam robotic 3. penerapan robot industry 4. akurasi dan repeatabilitas robotic	Simulasi dan demonstrasi	Mengetahui, mengidentifikasi, mereview hasil dan tahapan proses penggunaan sistem robotic yang digunakan dalam industri <i>manufacture</i>	Kelengkapan jawaban	10%

UJIAN AKHIR SEMESTER (UAS)**Referensi:**

Aronson, R. B. (2004) “Menggunakan Cairan Bertekanan Tinggi.” Teknik *Manufacture*, hlm. 87–96.

Atabaki M et al, 2013. Welding of aluminum alloys to steels: an overview. OMB No. 0704-0188.

Beeley, P. R. (2001) Foundry Technology. Butterworths- Heinemann, Oxford, England,.

Black, J., and Kohser, R. DeGarmo’s. (2012). Materials and Processes in Manufacturing, 11th ed., John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.

Boothroyd, G., and Knight, W. A. (2006). Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools, 3rd ed. CRC Taylor and Francis, Boca Raton, Florida.

Buku Pegangan ASM. Vol. 14B: (2006). Pengerjaan Logam: Pembentukan Lembaran. ASM International, Material Park, Ohio.

Carnes, R., dan Maddock, G.(2004). "Pemilihan Alat Baja". Bahan & Proses Lanjutan, hlm. 37–40.

Cary, H. B., and Helzer, S. C. (2005). Modern Welding Technology, 6th ed. Pearson/Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Chang, C-H, and Melkanoff, M. A. NC (2003). Machine Programming and Software Design, 3rd ed. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Colestock, H., (2004). Industrial Robotics: Selection, Design, and Maintenance, McGraw-Hill, New York.

Craig, J. J., (2004). Introduction to Robotics: Mechanics and Control, 3rd ed., Pearson Education, Upper Saddle River, NJ.

- Destephani, J. (2005). "The Science of pCBN." *Teknik Manufacture*, hlm.53–62.
- Esford, D. (200) “Keramik Ambil Gilirannya.” *Teknik Alat Pemotong*, Vol. 52, No. 7, hlm. 40–46.
- Flinn, R. A., and Trojan, P. K. (1995). *Engineering Materials and Their Applications*, 5th ed. John Wiley & Sons, New York.
- Ghang, D.C and Dange, J. J. (2013). Adoptability of CAD / CAM for Jewelry Making Industry Using Method Comparison Tecnique
International Journal of Trend i Engineering and Technology (IJLTET). Vol.3 Issue 1.
- Groover, M. (2020). *Fundamental of Modern Manufacturing : Materials, Processes, and Systems* (7th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Groover, M. P. (2008). *Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing*, 3rd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Groover, M. P. (2009) *Work Systems and the Methods, Measurement, and Management of Work*, Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2007. [9] Hornyak, G. L., Moore, J. J., Tibbals, H. F., and Dutta, J. *Fundamentals of Nanotechnology*, CRC Taylor & Francis, Boca Raton, Florida.
- Groover, M. P. (2013). *Fundamentals Of Modern Manufacturing*. United States of America: Jhon Willey.
- Groover, M. P. (2015). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. United States of America: Pearson Higher Education.
- Groover, M. P. (2019). *Fundamentals of Modern Manufacturing; Materials, Processes, and Systems* 7th. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Groover, M. P. *Automation, (2008) Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing*, 3rd ed. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

- Groover. (2013). *Fundamental Of Modern Manufacturing*. New york: John Wiley & Sons.
- Hitomi, K. (2017). *Manufacturing Systems Engineering*. London: Taylor & Francis.
- Hixon, D., (2012). "Robotics Cut New Path in Hot Metals Stamping," *Manufacturing Engineering*, pp. 69–74.
- Hosford, W. F., dan Caddell, R. M. (2007). *Metal Pembentukan: Mekanika dan Metalurgi*. Edisi ke-3. Cambridge University Press, Cambridge, Inggris.
- Hughes, T. A. (2005). *Programmable Controllers, 4th ed., Instrumentation, Systems, and Automation Society*, Research Triangle Park, North Carolina.
- J. Carlos, (2010). "Performance Measurement on Automotive Assembly Line", in the Report of Project / Dissertation Master in Electronics and Computer Engineering Major Automation, University of Porto.
- Jeffus, L. F., (2007). *Welding: Principles and Applications*, 6th ed. Delmar Cengage Learning, Clifton Park, New York.
- Kalpakjian, S. dan Schmid, S.R. 2009. *Manufacturing Engineering and Technology*. Sixth Edition, Pentice Hall, New York.
- Kalpakjian, S., and Schmid S. R. (2010) *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, 6th ed. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Kalpakjian, S., and Schmid, S. (2007). *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, 5th ed. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Kalpakjian, S., dan Schmid, S. (2008). *Proses Manufacture untuk Material Teknik*. Edisi ke-5. Prentice Hall / Pearson, Upper Saddle River, New Jersey.

- Keefe, J., A Brief Introduction to Precious Metals,” The AMMTIAC Quarterly, Vol. 2, No. 1, 2007.
- L. Monostori, (2014). “Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges, ”in *Procedia CIRP* Vol 17: pp 9–13.
- Lange, K. (2006). Buku Pegangan Pembentukan Logam. Masyarakat Insinyur *Manufacture*, Dearborn, Michigan.
- Lorincz, J. (2013). "Pelapis Ditargetkan untuk Bahan Tertentu." *Teknik Manufacture*, hlm. 45–52m.
- Nee, J. G. (ed.). (2010). Dasar-dasar Desain Alat. Edisi ke-6. Masyarakat Insinyur *Manufacture*, Dearborn, Michigan.
- Nieves, E., (2005). “Robots: More Capable, Still Flexible,” *Manufacturing Engineering*, pp. 131–143.
- Nurmutia, S., Candra, A., & Shobur, M. (2020, July). Analysis Improvement Production Process Of Making Joint Care Air Filter Mitsubishi (Cjm) With Overall Equipment Effectiveness And Six Big Losses. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 852, No. 1, p. 012106). IOP Publishing.
- Parsai, H., Leep, H., and Jeon, G. (2006). *The Principles of Group Technology and Cellular Manufacturing*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- Richerson, D. W. (2006) *Modern Ceramic Engineering: Properties, Processing, and Use in Design*, 3rd ed. CRC Taylor & Francis, Boca Raton, Florida.
- Rosita, D., Alfatiyah, R., Zulziar, M., & Shobur, M. (2020). RE-LAYOUT FASILITAS PRODUKSI DENGAN METODE LINE BALANCING UNTUK
- Schey, J. A. (2000). *Pengantar Proses Manufacture*. Edisi ke-3. McGraw-Hill, New York.
- Seames W. (2002). *Computer Numerical Control, Concepts and Programming*. Delmar-Thomson Learning, Albany, New York.

- Shaw, M. C. (2005). *Metal Cutting Principles*, 2nd ed. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Shobur, M. (2013). Analisis Operating Characteristic Curve Part S11036 Pada Proses Polishing Untuk Menjamin Kualitas (Studi Kasus di PT. Surya Toto Indonesia, Tbk). *Teknologi, Jurnal Ilmiah dan teknologi, Fakultas Teknik Dan Fakultas MIPA Universitas Pamulang*, 9(24), 43-57.
- Shobur, M. (2019). PENINGKATAN KUALITAS PROSES PRODUKSI BENG-BENG DI LINE 8 PT. MAYORA INDAH, TBK DENGAN PENDEKATAN SIX SIGMA. *JITMI (Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri)*, 1(2), 107-116.
- Shobur, M., Feblidiyanti, N., Puspitasari, D., Ibrahim, I. A., & Choirunnisa, S. (2020). Praktikum Statistika Industri.
- Shobur, M., Wakhit, W., Candra, A., & Bahrani, I. N. (2020). Praktikum Sistem Produksi.
- Spitler, D., Lantrip, J., Nee, J., dan Smith, D. A. (2003). *Dasar-dasar Desain Alat*. Edisi ke-5. Masyarakat Insinyur *Manufacture*, Dearborn, Michigan.
- Stotler, T., and Bernath, J., (2009). "Friction Stir Welding Advances," *Advanced Materials and Processes*. pp 35–37.
- Thurston, J. (2000). *Proses dan Peralatan Manufacture*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Trent, E. M., and Wright, P. K. (200). *Metal Cutting*, 4th ed. Butterworth Heinemann, Boston.
- Waurzyniak, P., (2006). "Masters of Manufacturing: Joseph F. Engelberger," *Manufacturing Engineering*, pp. 65–75.
- Waurzyniak, P., (2012). "Flexible Automation for Automotive," *Manufacturing Engineering*, pp. 103–112.
- Webb, J. W., and Reis, R. A. (2003). *Programmable Logic Controllers: Principles and Applications*, 5th ed., Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Weber, A. (2004) "Is Flexibility a Myth?" *Assembly*, pp. 50–59.

Weber, A. (2005). “Robot dos and don’ts,” *Assembly*, pp. 50–57.

Ketua Program Studi
Teknik Industri S-1

Tangerang Selatan, 10 Mei 2021
Ketua Tim *Teaching*
Mata Kuliah Proses *Manufacture*

Rini Alfatiyah, S.T., M.T.
NIDN. 04.180381.02

Muhammad Shobur, S.T., M.T.
NIDN. 04.270889.03

