

TEKNIK TENAGA LISTRIK

Disusun Oleh :
Adi Candra
Syahreen Nurmutia



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

LEMBAR IDENTITAS PENERBITAN
TEKNIK TENAGA LISTRIK

Penulis:

Adi Candra

Syahreen Nurmutia

ISBN: 978-623-7833-26-0

Editor: Adi Candra

Tata Letak :

Aden

Desain Sampul:

Robi Maulana

Penerbit:

UNPAM PRESS

Redaksi:

Jl. Surya Kencana No. 1

Pamulang – Tangerang Selatan

Telp. 021 7412566

Fax. 021 74709855

Email : unpampress@unpam.ac.id

Cetakan pertama, 4 Mei 2020

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan cara apapun tanpa izin penerbit

LEMBAR IDENTITAS ARSIP

Data Publikasi Unpam Press

I Lembaga Pengembangan Pendidikan dan Pembelajaran Universitas Pamulang

Gedung A. R.211 Kampus 1 Universitas Pamulang

Jalan Surya Kencana No.1, Pamulang Barat, Tangerang Selatan, Banten.

Website : www.unpam.ac.id email : unpampress@unpam.ac.id

Teknik Tenaga Listrik / Adi Candra, Syahreen Nurmutia -1sted.
ISBN: 978-623-7833-26-0

1. Teknik Tenaga Listrik II. Adi Candra III. Syahreen Nurmutia
M106-04052020-01

Ketua Unpam Press : Pranoto

Koordinator Editorial : Aden, Ali Madinsyah

Koordinator Bidang Hak Cipta : Susanto

Koordinator Produksi : Dameis Surya Anggara

Koordinator Publikasi dan Dokumentasi : Kusworo

Desain Cover : Robi Maulana

Cetakan pertama, 4 Mei 2020

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

MATA KULIAH
TEKNIK TENAGA LISTRIK

IDENTITAS MATA KULIAH

Program Studi	: Teknik Industri S-1
Mata Kuliah/Kode	: Teknik Tenaga Listrik / TIN0232
Sks	: 2 Sks
Prasyarat	: --
Deskripsi Mata Kuliah	: Mata kuliah Teknik Tenaga Listrik merupakan mata kuliah wajib pada program studi S-1 Teknik Industri yang membahas mengenai konsep sumber tenaga listrik dalam penyalurannya sampai ke konsumen serta peralatan listrik seperti transformator, generator , Instalasi Listrik, jenis kabel listrik, pembumian, motor listrik dan alat ukur listrik
Capaian Pembelajaran	: Setelah menyelesaikan mata kuliah ini mahasiswa mampu merencanakan kebutuhan peralatan mesin listrik, menghitung kebutuhan listrik, instalasi listrik pada perusahaan dan industri.
Penyusun	: 1. Adi Candra, S.T., M.T. 2. Syahreen Nurmutia, S.T, M.T.

Ketua Program Studi
Teknik Industri

Ketua Team Teaching

Rini alfatiyah, ST., MT.
NIDN. 04.180381.02

Adi Candra, S.T.,M.T.
NIDN. 04.280989.03

PRAKATA

Alhamdulillah kami panjatkan kebesarana Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku Modul Teknik Tenaga Listrik. Buku Modul ini disusun sebagai salah satu pedoman pembelajaran mahasiswa dengan tujuan agar meningkatnya pemahaman mahasiswa tentang pentingnya kebutuhan listrik bagi pabrik dan industri.

Struktur buku ini terdiri dari tujuan pembelajaran, uraian materi, dan latihan soal. Tujuan pembelajaran digunakan untuk mengetahui arah atau tujuan mempelajari materi tertentu. Uraian materi digunakan untuk pemberian informasi/ pengetahuan kepada mahasiswa. Uraian materi tersebut meliputi konsep dasar tenaga listrik, dasar rangkaian listrik, jenis turbin pembangkit, jenis generator listrik, saluran transmisi dan distribusi, jenis kabel dan instalasi listrik, pembumian, motor listrik dan penggunaan alat ukur kelistrikan. Adapun bagian latihan digunakan untuk menguji kemampuan mahasiswa terhadap materi yang telah diperoleh.

Pada akhirnya penulis sadar bahwa dalam buku ini masih terdapat banyak kesalahan, baik isi maupun tulisan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bisa membangun dari semua pihak sebagai pemacu penulis untuk menjadi lebih baik. Semoga hasil penulisan buku ini bermanfaat dan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Tangerang Selatan, 26 April 2020

Ketua Tim Penulis

Adi Candra , S.T.,M.T.

NIDN. 04.280989.03

DAFTAR ISI

LEMBAR IDENTITAS ARSIP	viii
MODUL MATA KULIAH	ix
TEKNIK TENAGA LISTRIK	ix
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xi
PERTEMUAN 1.....	1
KONSEP TEKNIK TENAGA LISTRIK	1
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	1
B. URAIAN MATERI.....	1
1. Pengantar	1
2. Dasar Rangkain Listrik	3
3. Sumber Tenaga.....	4
4. Jenis Turbin.....	6
5. Generator listrik	7
6. Transformator	8
7. Saluran Transmisi	9
8. Saluran Distribusi	10
9. Jenis Kabel dan Instalasi Listrik.....	11
10. Motor Listrik.....	11
11. Sistem Pembumian.....	15
12. Alat Ukur Listrik.....	19
C. LATIHAN SOAL / TUGAS	19
D. DAFTAR PUSTAKA.....	19
PERTEMUAN 2.....	21
DASAR RANGKAIAN LISTRIK	21
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	21
B. URAIAN MATERI.....	21
1. Dasar Rangkain Listrik	21
2. Sejarah Listrik	22
3. Bahaya Listrik	24

4. Konsep Rangkaian Listrik	26
5. Tegangan.....	28
6. Arus Listrik.....	28
7. Tegangan.....	31
8. Power	32
9. Energi.....	32
Contoh Soal.....	33
C. LATIHAN SOAL / TUGAS.....	35
D. DAFTAR PUSTAKA.....	35
PERTEMUAN 3.....	37
RANGKAIAN LISTRIK LANJUTAN.....	37
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	37
B. URAIAN MATERI.....	37
1. Kerapatan Arus.....	37
2. Tahanan Pengantar	38
3. Elemen Rangkaian Listrik	39
4. Hukum Kirchoff	46
5. Hukum Kirchoff II (<i>Kirchoff Voltage law</i>).....	49
C. LATIHAN SOAL / TUGAS	52
D. DAFTAR PUSTAKA.....	52
PERTEMUAN 4.....	53
SUMBER TENAGA LISTRIK	53
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	53
B. URAIAN MATERI.....	53
1. Sejarah Pembangkit Tenaga Listrik	53
2. Energi Listrik	54
3. Konversi Energi	56
4. Pembangkit Listrik Tenaga UAP (PLTU).....	56
5. Bagian-bagian PLTU	57
6. Proses Kerja PLTU	58
7. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	58
8. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)	59
9. Bagian PLTA.....	62

10. Bagian Pembangkit Listrik Tenaga Disel (PLTD).....	65
11. Skema PLTD.....	66
12. Sistem Kinerja PLTD	66
C. LATIHAN SOAL / TUGAS	69
D. DAFTAR PUSTAKA.....	69
PERTEMUAN 5.....	70
SUMBER TENAGA LISTRIK LANJUTAN	70
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	70
B. URAIAN MATERI.....	70
1. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).....	70
2. Bahan Bakar Perakitan Reaktor	71
3. Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLT ANGIN)	75
4. Gaya Coriolis.....	76
5. Karakteristik Energi Angin.....	77
6. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	81
7. Kelemahan dan Kelebihan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	82
8. Solar Home Sistem	83
9. Contoh Perhitungan PLTS Home Sistem.....	84
C. LATIHAN SOAL / TUGAS	85
D. DAFTAR PUSTAKA.....	85
PERTEMUAN 6.....	86
JENIS TURBIN PADA PEMBANGKIT	86
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	86
B. URAIAN MATERI.....	86
1. Turbin	86
2. Jenis-jenis Turbin pada Pembangkit.....	86
3. Turbin Air	87
4. Turbin Uap.....	89
5. Jenis Kerak.....	94
6. Korosi	94
7. Contoh Turbine pada Pompa	95
C. LATIHAN SOAL / TUGAS	102
D. DAFTAR PUSTAKA.....	102

PERTEMUAN 7.....	103
GENERATOR LISTRIK.....	103
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	103
B. URAIAN MATERI.....	103
1. Pengantar Generator Listrik	103
2. Generator.....	103
3. Prinsip Kerja Generator	106
4. Jenis-jenis Generator.....	106
5. Bagian-bagian generator.....	108
6. Gagasan Generator Listrik.....	113
7. Perubahan dari DC ke AC	113
8. Komponen Generator	114
9. Prinsip kerja rotor	115
C. LATIHAN SOAL / TUGAS	116
D. DAFTAR PUSTAKA.....	116
PERTEMUAN 8.....	118
TRANSFORMATOR.....	118
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	118
B. URAIAN MATERI.....	118
1. Pengantar	118
2. Prinsip Kerja Transformator.....	122
3. Perubahan Tegangan pada Transformator.....	124
4. Jenis jenis Transformator menurut penggunaannya	125
5. Jenis Trafo Tegangan masuk dan keluar	126
6. Menghitung Trafo tanpa beban	127
C. LATIHAN SOAL / TUGAS	132
D. DAFTAR PUSTAKA.....	132
PERTEMUAN 9.....	133
SALURAN TRANSMISI LISTRIK	133
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	133
B. URAIAN MATERI.....	133
1. Transmisi Tenaga Listrik	133
2. Saluran Transmisi Listrik.....	135

3. Kategori Saluran Transmisi	136
4. Besaran Tegangan Transmisi Tenaga Listrik	138
5. Kabel penahan transmisi tower	139
6. Gardu Induk.....	140
7. Gardu Induk Gas Insulated Switchgear	141
8. Komponen saluran transmisi tenaga listrik	141
9. Proteksi sistem transmisi	145
10. Proteksi komponen-komponen transmisi	146
C. LATIHAN SOAL / TUGAS	147
D. DAFTAR PUSTAKA.....	147
PERTEMUAN 10	149
SALURAN DISTRIBUSI LISTRIK	149
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	149
B. URAIAN MATERI.....	149
1. Saluran Distribusi Tenaga Listrik	149
2. Pengelompokan Jaringan Distribusi Listrik	150
3. Bagian Jaringan Distribusi	151
4. Jenis gardu distribusi	154
5. Faktor keandalan sistem distribusi	160
6. Model saluran distribusi.....	160
7. Rugi tegangan.....	161
C. LATIHAN SOAL / TUGAS	163
D. DAFTAR PUSTAKA.....	163
PERTEMUAN 11	164
JENIS KABEL DAN INSTALASI LISTRIK	164
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	164
B. URAIAN MATERI.....	164
1. Pengantar	164
2. Kabel dan Medan Elektromagnetik	166
3. Proteksi kebakaran	168
4. Jenis-Jenis Kabel	168
5. Jenis Instalasi Listrik.....	175
C. LATIHAN SOAL / TUGAS	177

D. DAFTAR PUSTAKA.....	177
PERTEMUAN 12	179
MOTOR LISTRIK	179
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	179
B. URAIAN MATERI.....	179
1. Pengantar Motor Listrik	179
2. Jenis jenis motor listrik	181
3. Komponen komponen pada motor listrik.....	183
4. Konsep Dasar	188
C. LATIHAN SOAL / TUGAS	194
D. DAFTAR PUSTAKA.....	194
PERTEMUAN 13	195
SISTEM PEMBUMIAN	195
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	195
B. URAIAN MATERI.....	195
1. Pengantar Sistem Pembumian	195
2. Konsep Dasar Pembumian.....	199
3. Sifat listrik tanah	200
4. Sifat listrik dari sistem terestrial	201
5. Resistensi bumi dan distribusi potensial.....	202
6. Jenis – jenis elektoda	204
7. Desain Instalasi Pembumian.....	207
8. Cara menguji sistem pentanahan.....	211
C. LATIHAN SOAL / TUGAS	212
D. DAFTAR PUSTAKA.....	212
PERTEMUAN 14	213
ALAT UKUR LISTRIK	213
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	213
B. URAIAN MATERI.....	213
1. Pengantar Alat Ukur Listrik.....	213
2. Standar Pengukuran.....	214
C. LATIHAN SOAL / TUGAS	231
D. DAFTAR PUSTAKA.....	231

GLOSSARIUM	232
DAFTAR PUSTAKA	236
(RPS)	240

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 penyedia saluran energi listrik	2
Gambar 1. 2 beberapa penyaluran distribusi pembangkit listrik.....	6
Gambar 1. 3 Generator Listrik.....	8
Gambar 1. 4 jenis strukturan saluran transmisi.....	10
Gambar 1. 5 konversi energy pada motor listrik	12
Gambar 1. 6 Jenis motor listrik.....	13
Gambar 1. 7 komponen motor listrik AC.....	14
Gambar 1. 8 Gambar Motor Listrik DC	14
Gambar 1. 9 Ilustrasi Petir	15
Gambar 1. 10 Sistem TN-S	17
Gambar 1. 11 Gambar Sistem TN-C-S	18
Gambar 1. 12 Sistem TT	19
Gambar 2. 1 Gambar sengatan langsung dan tidak langsung.....	25
Gambar 2. 2 Gambar Grafik hubungan tegangan dan arus	27
Gambar 2. 3 Gambar Frekuensi arus searah	29
Gambar 2. 4 frekuensi arus bolak balik.....	30
Gambar 3. 1 ilustrasi kerapatan arus listrik.....	37
Gambar 3. 2 Tabel KHA	38
Gambar 3. 3 Lambang sumber tegangan bebas	40
Gambar 3. 4 Lambang sumber tegangan tak bebas	40
Gambar 3. 5 Lambang sumber arus bebas	41
Gambar 3. 6 Lambang sumber arus tak bebas	41
Gambar 3. 7 resistor tetap dan lambang resistor pada rangkain	42
Gambar 3. 8 contoh rangkain dan resitan	42
Gambar 3. 9 Nilai warna pada resistor	43
Gambar 3. 10 rangkain seri pada resistor	44
Gambar 3. 11 Rangkaian tertutup	45
Gambar 3. 12 rangkaian resistor paralel	45
Gambar 3. 13 contoh soal	46

Gambar 3. 14 Hukum Kirchoof 1.....	47
Gambar 4. 1 Representasi skematis dari perangkat konversi energi.....	55
Gambar 4. 2 Prinsip kerja PLTU.....	56
Gambar 4. 3 proses kerja PLTU	58
Gambar 4. 4 Energi PLTA	60
Gambar 4. 5 DAM PLTA	62
Gambar 4. 6 sistem bendungan pelimpah	63
Gambar 4. 7 sistem saringan bendungan	63
Gambar 4. 8 sistem pengambilan air	63
Gambar 4. 9 sistem intake gate.....	64
Gambar 4. 10 gedung sentral PLTA.....	64
Gambar 4. 11 bagian pembangkit tenaga disel.....	65
Gambar 4. 12 Skema PLTD.....	66
Gambar 4. 13 sistem udara gas buang turbocharge	67
Gambar 4. 14 pelumasan PLTD.....	68
Gambar 4. 15 sistem pendinginan PLTD	68
Gambar 5. 1 alat inti reaktor.....	72
Gambar 5. 2 skema inti reaktor	73
Gambar 5. 3 reaktor air mendidih BWR.....	74
Gambar 5. 4 reaktor air bertekanan (PWR)	75
Gambar 5. 5 perputaran atmosphere.....	77
Gambar 5. 6 Swept area of wind turbine blades	79
Gambar 5. 7 Tabel kekuatan angin	81
Gambar 5. 8 pembangkit surya fotovolatik	82
Gambar 5. 9 rangkaian sistem senyawa fotovolatik.....	82
Gambar 5. 10 komponen SHS	83
Gambar 6. 1 Turbin Implus.....	87
Gambar 6. 2 grafik turbin impulse	88
Gambar 6. 3 Turbin Reaksi.....	89
Gambar 6. 4 Grafik Turbin Reaksi.....	89

Gambar 6. 5 siklus ideal Rankine	93
Gambar 6. 6 siklus actual Rankine	94
Gambar 6. 7 Flowmeter cairan cakram jenis turbin perpindahan positif mengukur laju aliran volume	96
Gambar 6. 8 perpindahan positif flowmeter dengan double helical-lobe impeller desain.	96
Gambar 6. 9 turbin dinamis udara dan air.....	97
Gambar 6. 10 diagram skema turbin jenis implton pelton.	98
Gambar 6. 11 Tampilan bawah.....	99
Gambar 6. 12 reaksi tribun signifikan dari impulse turbin.....	99
Gambar 6. 13 reverse swirl.....	100
Gambar 6. 14 Pembangkit Air	101
Gambar 7. 1 Generator listrik.....	104
Gambar 7. 2 Gaya gerak listrik akibat perubahan magnet.....	105
Gambar 7. 3 garis medan magnet sejajar dengan luas A.....	106
Gambar 7. 4 generator AC.....	107
Gambar 7. 5 generator 3-fasa.....	107
Gambar 7. 6 generator DC.....	108
Gambar 7. 7 Excited Generator.....	108
Gambar 7. 8 Shunt Generator	109
Gambar 7. 9 Output Shunt Generator	110
Gambar 7. 10 Series Generator.....	111
Gambar 7. 11 output series generator.....	111
Gambar 7. 12 Commutatively Compounded Generator	112
Gambar 7. 13 Output Cummutatively Compounded Generator.....	112
Gambar 7. 14 tegangan grafik arus beban Differentially Compound Electric Generator	113
Gambar 7. 15 Pembangkit Tegangan Induksi	115
Gambar 7. 16 tegangan rotor yang dihasilkan cincin seret komutator	116
Gambar 8. 1 contoh transformator.....	119
Gambar 8. 2 perbandingan perubahan energy	120

Gambar 8. 3 proses system kerja transfromator	121
Gambar 8. 4 prinsip kera transformator	122
Gambar 8. 5 prinsip kerja transformator	123
Gambar 8. 6 Lanjutan prinsip kera transformator	123
Gambar 8. 7 ketika medan magnet bergerak, arus listrik mengalir di kawat	124
Gambar 8. 8 komponen pada trafo	124
Gambar 8. 9 trafo step up dan step down	125
Gambar 8. 10 Lambang Trafo Step Up	126
Gambar 8. 11 lambang trafo step down	126
Gambar 8. 12 lambang traf auto.....	127
Gambar 8. 13 Keterangan input dan output.....	127
Gambar 9. 1 sistem tenaga listrik.....	133
Gambar 9. 2 Diagram blok sistem tenaga listrik.....	134
Gambar 9. 3 sistem tiga-fasa dan sistem empat-fasa	136
Gambar 9. 4 saluran listrik udara tegangan tinggi (SUTT).....	136
Gambar 9. 5 saluran kabel bawah tanah	138
Gambar 9. 6 saluran kabel bawah laut	138
Gambar 9. 7 kabel penahan transmisi tower.....	139
Gambar 9. 8 Sluran Latice tower.....	143
Gambar 9. 9 saluran tubular steel pole	144
Gambar 9. 10 concerete pole	144
Gambar 9. 11 Relay Proteksi.....	146
Gambar 9. 12 proteksi relay	147
Gambar 10. 1 pengelompokan jaringan distribusi tenaga listrik.....	150
Gambar 10. 2 sistem jaringan distribusi radial	151
Gambar 10. 3 jaringan distribusi loop	152
Gambar 10. 4 jaringan distribusi spindle	152
Gambar 10. 5 tegangan menengah ke tegangan rendah sampai ke konsumen	153
Gambar 10. 6 komponen sistem distribusi sekunder.....	154
Gambar 10. 7 Rangkaian satu garis gardu beton	155
Gambar 10. 8 gardu beton.....	156

Gambar 10. 9 Gardu tiang jenis portal.....	156
Gambar 10. 10 Satu garis gardu tiang tipe portal	157
Gambar 10. 11 Gardu tiang jenis cantol	157
Gambar 10. 12 rangkaian gardu tiang jenis cantol	158
Gambar 10. 13 gardu tipe metal clad	158
Gambar 10. 14 Jenis gardu mobil	159
Gambar 10. 15 Rangkaian ekivalen distribusi.....	161
Gambar 10. 16 fasor saluran distribusi	162
Gambar 11. 1 Ilustrasi kabel	
Listrik.....	165
Gambar 11. 2 Kabel dan pelindung elektromagnetik	167
Gambar 11. 3 Jenis jenis kabel listrik.....	169
Gambar 11. 4 Contoh kabel NYA	170
Gambar 11. 5 Contoh kabel NYM	170
Gambar 11. 6 jenis kabel NYY	171
Gambar 11. 7 Contoh kabel NYAF	172
Gambar 11. 8 Contoh jenis kabel NYFGby	172
Gambar 11. 9 Contoh Kabel NYCY	173
Gambar 11. 10 Kabel BC	173
Gambar 11. 11 Contoh kabel ACSR.....	174
Gambar 11. 12 Kabel ACAR	174
Gambar 12. 1 konversi energy pada motor	
listrik.....	179
Gambar 12. 2 ilustrasi sederhana motor listrik.....	180
Gambar 12. 3 Jenis motor listrik.....	181
Gambar 12. 4 komponen motor listrik AC.....	182
Gambar 12. 5 Motor Listrik DC.....	183
Gambar 12. 6 Stator	183
Gambar 12. 7 Rotor	184
Gambar 12. 8 Mainshaft.....	185
Gambar 12. 9 Brush.....	185
Gambar 12. 10 Drive Pulley	186
Gambar 12. 11 Motor Housing	186

Gambar 12. 12 Bearing	187
Gambar 12. 13 Kipas Motor	187
Gambar 12. 14 contoh energy perubahan	189
Gambar 12. 15 diagram vector	191
Gambar 13. 1 Ilustrasi	
Petir.....	196
Gambar 13. 2 ilustrasi pembumian pada instalasi.....	198
Gambar 13. 3 ilustrasi Ketika terjadi kejutan listrik.....	199
Gambar 13. 4 diagram yang menggambarkan sensitifitas fisik dari resistivitas bumi	
ρ	200
Gambar 13. 5 Elektoda batang	204
Gambar 13. 6 elektroda plat	205
Gambar 13. 7 elektrida pita	206
Gambar 13. 8 Sistem TN-S	208
Gambar 13. 9 Contoh instalasi dengan PLN	208
Gambar 13. 10 Sistem TN-C-S.....	209
Gambar 13. 11 Contoh instalasi dengan PLN	209
Gambar 13. 12 Sistem TT	210
Gambar 13. 13 Contoh instalasi dengan PLN	210
Gambar 14. 1 bagian bagian	
multitester.....	222
Gambar 14. 2 perbandingan multiterster digital dan analog	222
Gambar 14. 3 hasil output tegangan DC pengukuran	223
Gambar 14. 4 contoh penggunaan alat yang salah	223
Gambar 14. 5 mengukur tegangan AC	224
Gambar 14. 6 hasil output pengukuran tegangan AC	225
Gambar 14. 7 contoh pengukuran arus AC.....	226
Gambar 14. 8 contoh pengukuran resistansi.....	226
Gambar 14. 9 tang ampere	227
Gambar 14. 10 ilustrasi penggunaan tang ampere O penggunaan Benar X	
penggunaan yang salah	228
Gambar 14. 11 megger	229

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Satuan Listrik.....	4
Tabel 2. 1 Satuan Listrik.....	27
Tabel 3. 1 Tahanan Jenis penghantar.....	39
Tabel 13. 1 nilai tahanan tanah.....	201
Tabel 14. 1 Ukuran standar Internasional.....	215

PERTEMUAN 1

KONSEP TEKNIK TENAGA LISTRIK

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

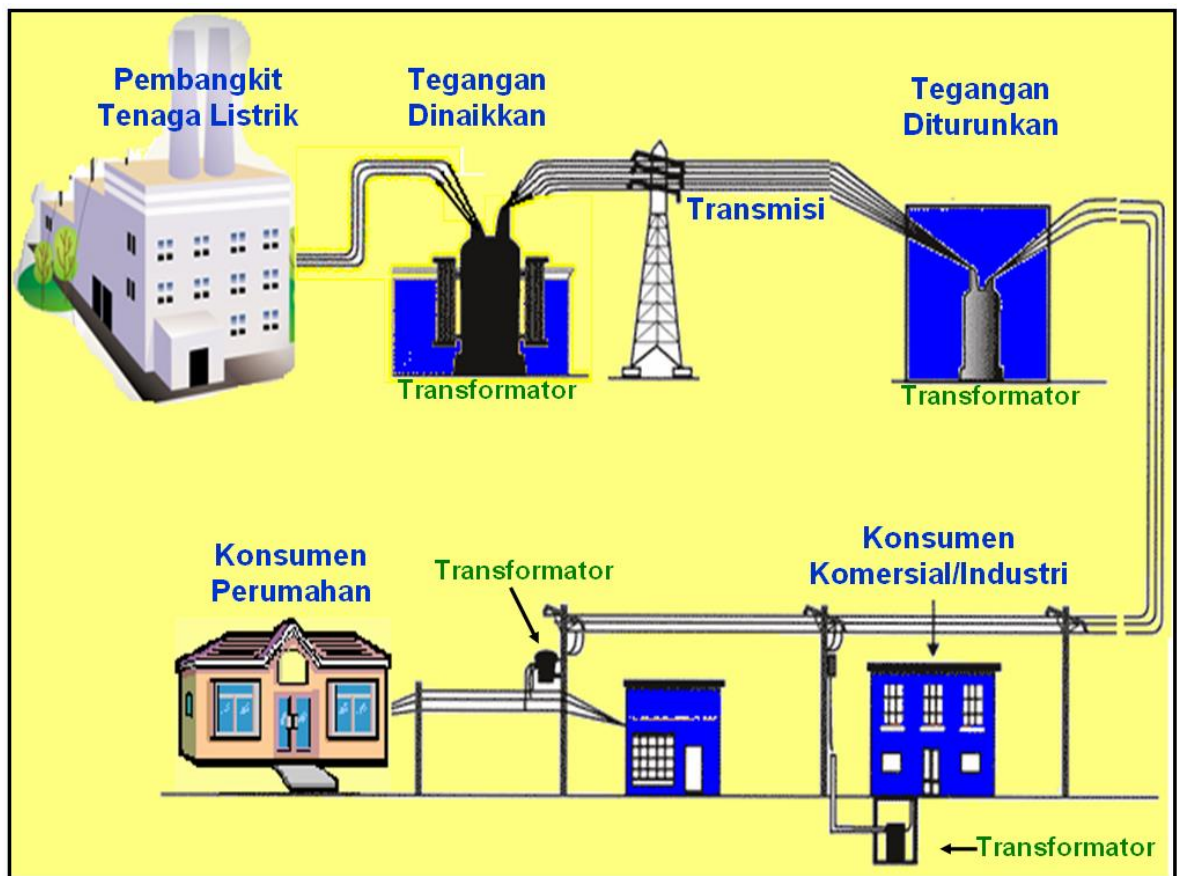
Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Konsep Teknik Tenaga Listrik”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan Mampu memahami konsep tenaga listrik serta membuat rancangan kebutuhan Tenaga Listrik Mulai dari sumber pembangkit sampai ke pelanggan.

B. URAIAN MATERI

1. Pengantar

Pada pertemuan ini membahas konsep teknik tenaga listrik dimana pembahasannya mengenai bagaimana listrik di hasilkan oleh system tenaga yang disebut dengan sumber pembangkit tenaga listrik sebagai contoh Pembangkit Listrik Tenaga Air, Pembangkit Listrik Tenaga Uap, pembangkit Listrik Tenaga Diesel, Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan pembangkit listrik lainnya baik yang telah ada maupun yang sedang dikembangkan untuk menjadi sumber pembangkit tenaga yang terbaharukan. Listrik yang di hasilkan oleh pembangkit kemudian dinaikan tegangnya oleh transformator (*Step-Up*) yang mana berfungsi untuk menaik atau menurunkan tegangan dikarenakan akan salurkan ke tujuan yang sangat jauh untuk menghindari akibat hilangnya tegangan akan arus yang di sebabkan oleh luas penampang dan Panjang konduktor, setelah listrik dinaikan teganganny kemudian disalurkan melalui saluran transmisi yang mana saluran ini bermacam jenisnya seperti Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi, listrik ini akan di sampaiakna ke Gardu-gardu induk ke masing-masing wilayah dan di turunkan tegangannya dengan transformator (*Step-Down*), yang kemudian akan di distribusikan melalui saluran distribusi hingga sampai ke pelanggan atau konsumen baik itu industri, perkantoran ataupun perumahan. (Generation et al., 2019; Suhadi, 2008; Wu et al., 2015).

Listrik yang telah di salurkan kemudian akan digunakan oleh pelanggan dimana listrik tersebut berfungsi mengubah nya menjadi sumber pemanas, pendingin, penggerak kemudian untuk menghidupkan alat-alat elektronik, mesin-mesin industri, dan lain sebagainya tergantung dari penggunaan. Listrik yang telah sampai ke konsumen ada yang berupa arus listrik searah dan bolak balik, dimana untuk penggunaan arus listrik tersebut Sudah pasti berbeda peruntukannya tergantung dari alat elektronik yang digunakan. Untuk lebih jelasnya listrik yang disampaikan mulai dari sumber sampai kepada pelanggan / konsumen dapat dilihat pada gambar 1.1 Dibawah ini:



Gambar 1. 1 penyedia saluran energi listrik

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat system tenaga penyedia berasal dari soembangkit listrik tenaga uap yang di hasilkan dari perubahan energi panas pada boiiler kemudian energi panas berubah menjadi UAP dan diteruskan ke turbin

untuk memutar poros generator sehingga generator merubah energi gerak menjadi energi listrik. (Muslim, 2008; Pembinaan & Menengah, 2008)

2. Dasar Rangkaian Listrik

Pada pertemuan ini akan dibahas mengenai dasar rangkaian listrik seperti hukum ohm dimana pembahasan ini mengenai arus, tegangan dan tahanan. Rangkaian listrik merupakan suatu kumpulan komponen listrik yang saling dihubungkan dengan teknik; teknik tertentu yang paling sedikit mempunyai satu lintasan atau loop tertutup. Elemen atau komponen yang akan dibahas pada Rangkaian Listrik terbatas pada elemen atau komponen yang memiliki dua buah terminal atau kutub pada kedua ujungnya. Pembatasan elemen atau komponen listrik pada Rangkaian Listrik dapat dikelompokkan kedalam elemen atau komponen aktif dan pasif. Elemen aktif adalah elemen yang menghasilkan energi dalam hal ini adalah sumber tegangan dan sumber arus, Elemen lain adalah elemen pasif dimana elemen ini tidak dapat menghasilkan energi, dapat dikelompokkan menjadi elemen yang hanya dapat menyerap energi dalam hal ini hanya terdapat pada komponen resistor atau banyak juga yang menyebutkan tahanan atau hambatan dengan simbol R , dan komponen pasif yang dapat menyimpan energi juga diklasifikasikan menjadi dua yaitu komponen atau elemen yang menyerap energi dalam bentuk medan magnet dalam hal ini induktor atau sering juga disebut sebagai lilitan, belitan atau kumparan dengan simbol L , dan komponen pasif yang menyerap energi dalam bentuk medan magnet dalam hal ini adalah kapasitor atau sering juga dikatakan dengan kondensator dengan simbol C . (Prayoga & S, 2010; Ramdhani, 2005; Sudirham, 2012)

Berikut merupakan pembahasan yang akan disampaikan dalam dasar rangkaian listrik :

- a. Sumber Arus;
- b. Sumber Tegangan;
- c. Tahanan / resistor;
- d. Kapasitor;
- e. Induktor

Pembahasan tentang Rangkaian Listrik, pasti tidak jauh atau tidak terlepas dari pengertian dari rangkaian listrik itu sendiri, dimana suatu rangkaian merupakan interkoneksi dari sekumpulan elemen atau komponen penyusunnya ditambah dengan rangkaian penghubungnya dimana disusun dengan cara-cara tertentu dan minimal memiliki satu lintasan tertutup. Dengan kata lain hanya dengan satu lintasan tertutup saja kita dapat menganalisis suatu rangkaian. Adapun lintasan tertutup merupakan satu lintasan saat kita mulai dari titik yang dimaksud akan kembali lagi ke titik tersebut tanpa terputus dan tidak memandang seberapa jauh atau dekat lintasan yang kita tempuh. Rangkaian listrik merupakan dasar dari teori rangkaian pada teknik elektro yang menjadi dasar atas pondasi bagi ilmu-ilmu lainnya seperti elektronika, sistem daya, sistem computer, putaran mesin, dan teori control. (Prayoga & S, 2010; Ramdhani, 2005; Sudirham, 2012; Western Governors' Association, 2018)

Pada pembahasan kelistrikan tidak lupa dijelaskan juga mengenai satuan – satuan yang dipakai, satuan dalam kelistrikan dapat dilihat pada table 1.1 dibawah ini :

Tabel 1. 1 Satuan Listrik

No	Jenis Satuan Listrik	Lambang	Satuan
1	Tegangan	V	Volt
2	Arus	I	Ampere
3	Tahanan / Resistensi	R	Ohm
4	Reaktansi	X	Ohm
5	Impedansi	$(Z)=R \pm jX$	Ohm
6	Daya	$(S) = P \pm jQ$	Volt Ampere
7	Daya Aktif	P	Watt
8	Daya Reaktif	Q	Volt Ampere
9	Faktor Daya	Cos Phi	-
10	Energi	E	Watt Hour

3. Sumber Tenaga

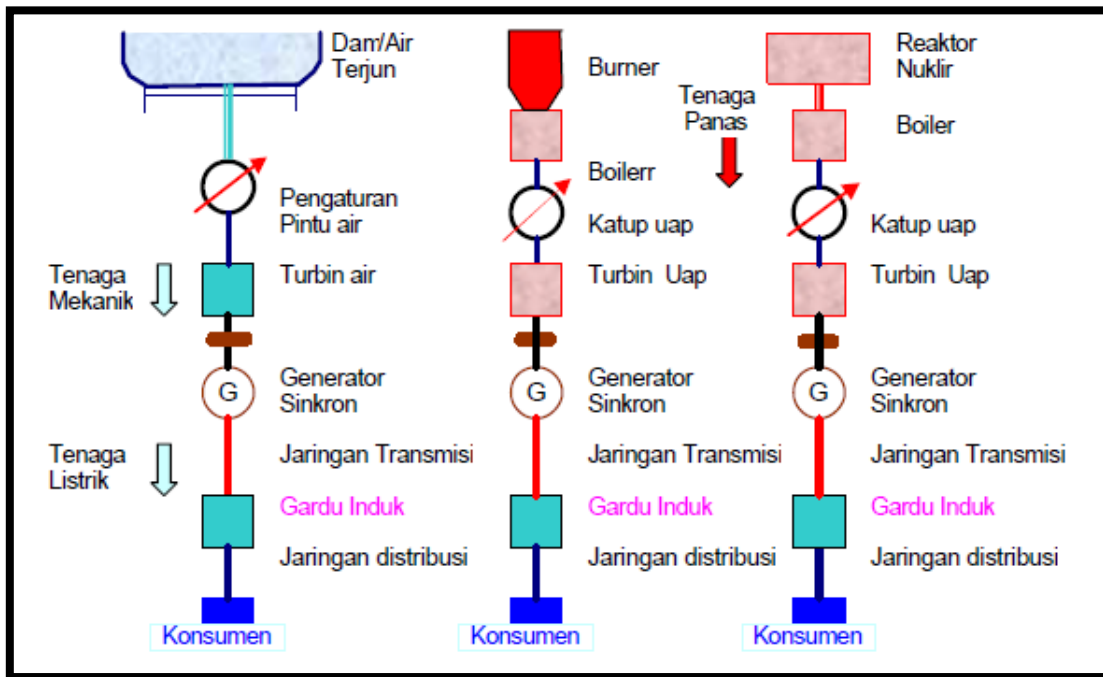
Proses membangkitkan tenaga listrik yang telah sering digunakan yaitu dengan teknik memutar generator sinkron tiga fasa yang kemudian menghasilkan tenaga

listrik arus bolak balik untuk didistribusikan, Adapun mekanik yang dapat memutar generator listrik ditimbulkan dari mesin penggerak generator listrik, biasanya yang digunakan untuk menggerakkan generator listrik ialah mesin diesel, turbin air, turbin uap ataupun turbin gas. Konversi yang dilakukan oleh mesin penggerak generator yaitu dengan konversi tenaga primer merubah menjadi tenaga mekanik sehingga menimbulkan arus listrik. Pada proses perubahan energi primer ke energi mekanik proses ini menimbulkan adanya dampak lingkungan yang kurang baik, seperti pada proses pemanasan dengan boiler diperlukan proses pembakaran yang menghasilkan zat karbon yang cukup berbahaya bagi lingkungan, hal ini menjadi masalah yang seharusnya segera dapat diatasi atau dikendalikan sehingga dapat meminimalisir pencemaran lingkungan yang berdampak pada pemanasan global. Namun disamping dampak yang ditimbulkan cukup mencemari lingkungan tetapi efisiensi pengehematan bahan baku yang digunakan untuk proses pemanasan boiler disini masih tergolong cukup ekonomis, karena hanya menggunakan batu bara yang mana jika dibandingkan dengan bahan bakar lain batu bara saat ini masih menjadi alternatif bahan bakar yang tergolong murah jika dibandingkan dengan minyak bumi, batu bara pun masih tergolong memiliki sumber daya yang banyak yang bisa ditemukan di daerah tertentu, contohnya banyak sumber batubara di pulau Kalimantan. (Cooley, 2009; En, 2011; IAEA, 2018; Johnson, 2012; Mikko, 2019; Sumardjati, 2008; Veron, 2013)

Pada pembahasan materi mengenai sumber pembangkit yang akan dibahas pada bahan ajar ini diantaranya ialah :

- a. Pembangkit Listrik Tenaga UAP
- b. Pembangkit Listrik Tenaga AIR;
- c. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel;
- d. Pembangkit listrik Tenaga Angin;
- e. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir;
- f. Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

Berikut di tampilkan contoh penyaluran dari berbagai sumber tenaga :



Gambar 1. 2 beberapa penyaluran distribusi pembangkit listrik

4. Jenis Turbin

Turbin - mesin berfungsi menangkap energi dari cairan atau gas yang bergerak, pada kincir angin anda melihat , bilah melengkung dirancang untuk menangkap energi angin, sehingga melayang dan berputar. Dalam jet, gas panas digunakan untuk memutar lembaran logam dengan kecepatan tinggi - menangkap energi yang digunakan untuk menyalakan baling-baling kapal atau mendorong pesawat melewati langit. Turbin juga membantu memanfaatkan sebagian besar listrik: turbin bertenaga uap digunakan di hampir semua pembangkit listrik utama, sementara turbin angin dan air membantu kami menghasilkan energi terbarukan. Di mana pun energi digunakan untuk kebutuhan manusia, turbin biasanya berada di dekatnya. (Charles & Gustaf, 2011; Subagyo, 2018)

Turbin adalah mesin putar yang mengekstraksi energi dari aliran fluida dan mengubahnya menjadi pekerjaan yang bermanfaat. Turbin paling sederhana memiliki bagian yang bergerak, rotor rakitan, yang merupakan poros atau drum dengan bilah

berpasangan. Cairan yang bergerak bekerja pada bilah, atau mereka bereaksi terhadap aliran, sehingga mereka bergerak dan mentransmisikan energi rotasi ke rotor. Contoh pertama turbin adalah kincir angin dan roda air. Turbin gas, uap, dan air umumnya memiliki rumah di sekitar bilah yang berisi dan mengontrol fluida kerja. Penghargaan untuk penemuan turbin uap diberikan kepada insinyur Inggris Sir Charles Parsons (1854–1931), untuk penemuan turbin reaksi dan untuk insinyur Swedia Gustaf de Laval (1845–1913), untuk penemuan turbin impuls. Turbin uap modern sering menggunakan reaksi dan daya dorong dalam unit yang sama, biasanya memvariasikan tingkat reaksi dan daya dorong dari akar blade ke pinggirannya. (Johnson, 2012)

5. Generator listrik

Generator listrik adalah mesin yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik dapat disuplai oleh mesin utama, dimana mesin pembakaran, mesin uap, dapat membasahi air yang melewati turbin atau bahkan motor listrik atau mekanisme lain yang dapat menjadi sumber energi mekanik. Energi ini biasanya diperoleh dari poros berputar yang juga disebut generator angker. Energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan untuk transmisi energi di tingkat komersial, industri atau bahkan domestik. Generator memasok arus yang biasanya memiliki frekuensi 50 Hz, yang digunakan di sini. Generator listrik memiliki dua bagian: (Blume, n.d.; Suhadi, 2008; Sumardjati, 2008)

- a. Stator
- b. Rotor

Stator terdiri dari kutub magnet stasioner, sedangkan armature berputar termasuk dalam rotor. Pekerjaan generator listrik Generator umumnya bekerja dengan hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik. Hukum ini menjelaskan bahwa dengan memutar konduktor listrik dalam medan magnet, ggl diinduksi, yang menciptakan aliran muatan. Ketika konduktor berputar di medan magnet, perbedaan tegangan dibuat antara kedua ujungnya dan aliran berubah dan ggl sebanding dengan laju perubahan aliran ($e = -N \frac{d\Phi}{dt}$) diinduksi dan, oleh karena itu, arus mengalir. Konduktor listrik berputar disebut generator angker



Gambar 1. 3 Generator Listrik

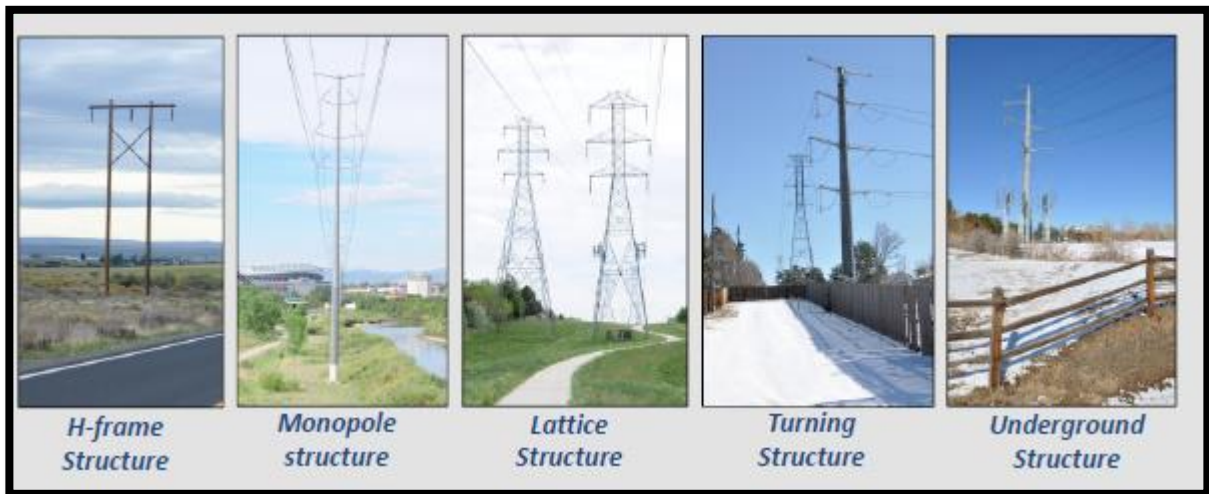
6. Transformator

Transformator berfungsi untuk mengubah energi listrik dari tegangan rendah ke tegangan tinggi atau sebaliknya, pada transformator energi tersebut dapat berubah karena memiliki belitan sekunder dan belitan primer, Fungsi transformator didasarkan pada prinsip bahwa energi listrik adalah efisien ditransfer oleh induksi magnetik dari suatu rangkaian ke lain. Ketika belitan transformator diberi energi dari sebuah sumber arus bolak-balik (AC), medan magnet bolak-balik adalah didirikan pada inti transformator. Garis magnetik bolak-balik dari kekuatan, yang disebut "aliran", beredar melalui nukleus. Dengan belitan kedua di sekitar nukleus yang sama, suatu tegangan disebabkan oleh garis aliran bolak-balik. Sirkuit yang terhubung ke terminal hasil belitan kedua di aliran arus. Setiap fase transformator terdiri dari dua gulungan koil terpisah luka pada inti bersama. Gulungan tegangan rendah ditempatkan sedekat mungkin inti; belitan tegangan tinggi kemudian ditempatkan di sekitar tegangan rendah berliku dan inti. Inti biasanya dibuat sangat tipis laminasi baja, masing-masing dilapisi dengan isolasi. Mengisolasi antara laminasi individu, kerugian berkurang. Inti baja menyediakan sebuah jalur resistansi rendah terhadap fluks magnet. Tegangan tinggi dan rendah gulungan diisolasi dari inti dan dari satu sama lain, dan dibawa keluar melalui bushing isolasi. Tiga fase transformator biasanya memiliki inti dengan tiga kaki dan keduanya memiliki tegangan tinggi dan gulungan tegangan rendah di

sekitar masing-masing kaki. Kertas khusus dan kayu digunakan untuk isolasi dan dukungan struktural internal.

7. Saluran Transmisi

Tujuan utama dari saluran transmisi ialah menyalurkan energi listrik dari pusat-pusat pembangkit yang ada ke pusat-pusat beban yang akan disalurkan misalnya gardu induk. Pabrik biasanya menghasilkan listrik 50 siklus / detik (Hertz), arus bolak-balik (AC) dengan tegangan antara 11kV dan 33kV. Di lokasi pabrik, tegangan tiga fase dinaikkan ke tegangan yang lebih tinggi untuk transmisi pada kabel yang diikat di menara lintas negara. Transmisi tegangan tinggi (HV) dan tegangan ekstra tinggi (EHV) adalah tahap berikutnya dari pabrik untuk mengangkut daya AC jarak jauh pada voltase seperti; 220 kV dan 400 kV. Dimana transmisi lebih besar dari 1000 kM, transmisi arus searah tegangan tinggi juga disukai untuk meminimalkan kerugian. Jaringan sub-transmisi 132 kV, 110 kV, 66 kV atau 33 kV adalah hubungan berikutnya untuk pengguna akhir. Distribusi 11 kV / 6.6 kV / 3.3 kV merupakan hubungan terakhir bagi konsumen, yang terhubung secara langsung atau melalui transformator, tergantung pada tingkat layanan konsumsi. Jaringan transmisi dan distribusi mencakup gardu induk, jalur distribusi, dan transformer. Transmisi bertegangan tinggi digunakan sehingga kabel yang lebih kecil dan lebih ekonomis dapat digunakan untuk membawa arus yang lebih rendah dan mengurangi kerugian. Gardu induk, yang mengandung transformator pengurang, mengurangi tegangan untuk distribusi ke pengguna industri. Tegangan semakin berkurang untuk instalasi komersial. Listrik harus dibangkitkan, saat dan ketika dibutuhkan, karena listrik tidak dapat disimpan secara virtual dalam system.



Gambar 1. 4 jenis strukturan saluran transmisi

8. Saluran Distribusi

Saluran distribusi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu gardu induk ke pusat beban, system distribusi ini dapat berupa saluran udara maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan masing masing system. Tegangan sistem transmisi diundurkan ke tingkat yang lebih rendah oleh transformator gardu distribusi. Sistem distribusi utama adalah itu bagian dari jaringan listrik antara gardu distribusi dan trafo pemanfaatan. Sistem distribusi primer terdiri dari sirkuit, disebut sebagai pengumpulan primer atau distribusi, yang berasal dari bus sekunder dari gardu distribusi. Gardu distribusi biasanya megriimkan daya listrik untuk penggunaan aplikasi industri atau komersial besar.

Distribusi listrik adalah bagian dari infrastruktur pasokan energi yang menarik listrik dari transmisi tegangan tinggi dan mesh tinggi sirkuit dan pengiriman ke pelanggan. Jalur distribusi primer adalah Sirkuit "tegangan menengah", biasanya dianggap dari 600 V hingga 35 kV. Dalam sebuah gardu distribusi, transformator gardu induk membawa transmisi tingkat tegangan (35 hingga 230 kV) dan mengurangnya menjadi beberapa sirkuit primer, meninggalkan gardu induk. Dekat dengan setiap pengguna akhir, trafo distribusi mengambil tegangan dan langkah-langkah distribusi utama hingga sirkuit sekunder tegangan rendah (biasanya 120/240 V; lainnya voltase penggunaan juga digunakan). Dari trafo distribusi,

sirkuit distribusi sekunder terhubung ke pengguna akhir di mana koneksi dilakukan di pintu masuk layanan. Secara fungsional, sirkuit distribusi adalah sirkuit yang memasok pelanggan (beginilah caranya istilah digunakan dalam buku ajar ini, terlepas dari tegangan atau konfigurasi).

9. Jenis Kabel dan Instalasi Listrik

Kabel merupakan alat konduktor yang berfungsi untuk menghantarkan arus listrik, dalam kehidupan sehari-hari kita sering melihat kabel namun adakah pertanyaan pada diri kita kenapa kabel yang terpasang atau terinstal berbeda-beda bentuknya, warnanya, dan jenisnya. Ternyata pada kabel memiliki banyak variasi yang dibuat berdasarkan fungsi dan kegunaannya, meskipun begitu pada dasarnya kabel terdiri dari dua buah komponen utama yaitu konduktor yang berfungsi menyalurkan arus dan tegangan, serta isolator yang melindungi bagian konduktor agar lebih aman. Ketika kabel dipasang pada instalasi perumahan atau industri. Daya hantar pada sebuah kabel listrik ditentukan oleh parameter yang disebut KHA (Kemampuan hantar Arus). (Bachtiar & Abstract, 2014; Nagpurwala, 2013; Western Governors' Association, 2018)

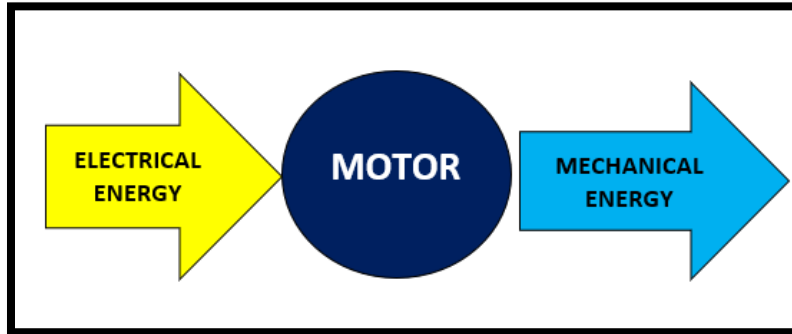
Berikut jenis-jenis kabel listrik yang sering digunakan pada rumah atau industri :

- a. Kabel NYA ialah jenis kabel berisi tunggal yang dilapisi isolator PVC;
- b. Kabel NYM ialah jenis kabel yang berisi lebih dari satu konduktor biasanya 2, 3 atau 4;
- c. Kabel NYY biasanya digunakan pada instalasi bawah tanah.;
- d. Kabel NYAF merupakan kabel berjenis konduktor serabut;

10. Motor Listrik

Motor listrik merupakan alat yang bisa merubah energi listrik menjadi energi mekanik, sedangkan sebaliknya yang mengubah dari energi mekanik menjadi energi listrik ialah generator yang telah kita bahas pada pertemuan terdahulu. Motor listrik juga bagian dari kehidupan sehari-hari yang sering kita jumpai, sebagai contoh. Ketika kita menghidupkan bor listrik maka mata bor berputar jika kontak ON dihidupkan akibat adanya sumber arus yang masuk kedalam bor listrik tersebut,

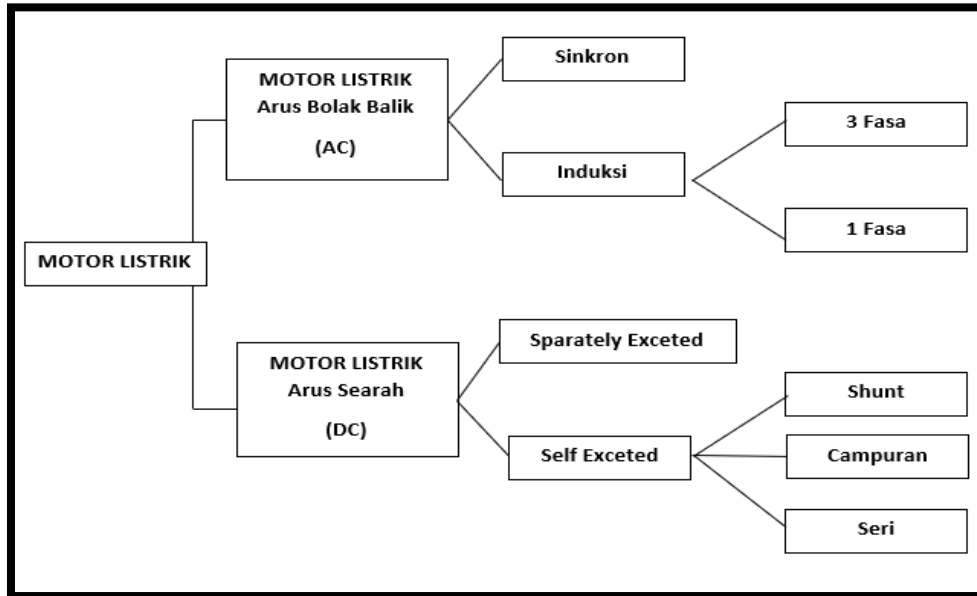
ketika arus masuk pada motor listrik yang ada didalam bor, maka terjadi gelombang elektromagnetik yang membuat kumparan berputar pada porosnya sehingga mata bor bisa berputar seperti yang kita lihat. Motor listrik sederhana terdiri dari kumparan gulungan tembaga yang dilaminasi baja atau disebut stator dan poros yang berputar yang disebut dengan rotor.(Mahmud et al., 2013; Nugroho & Agustina, 2015; Ramdhani, 2005; Sudirham, 2012)



Gambar 1. 5 konversi energy pada motor listrik

Prinsip kerja pada motor listrik ialah mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektro magnetik, masing masing kutub dari magnet yang sama akan saling tolak menolak dan kutub yang tidak sama akan bekerja saling Tarik menarik, maka dari itu kita mendapatkan Gerakan jika kita menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang bisa bergerak atau berputar. Ketika kawat listrik yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran / loop maka kedua sisi lingkaran akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan, dan pasangan gaya tersebut akan menghasilkan tenaga putar / torque untuk memutar kumparan.

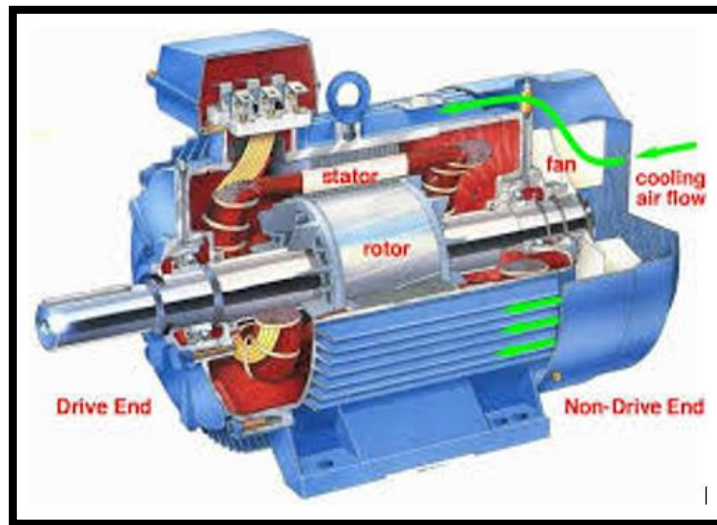
Berikut digambarkan jenis jenis motor listrik :



Gambar 1. 6 Jenis motor listrik

a. Motor AC

Motor yang bergerak Ketika dialiri arus AC atau arus bolak balik, pada motor ini terdiri dari dua buah bagian utama yaitu , rotor yang merupakan komponen bergerak , dan stator merupakan kompinen yang diam atau statis pada motor listrik AC juga dapat dilengkapi dengan penggerak frekuensi atau *variable speed* untuk mengendalikan kecepatan sekaligus menurunkan konsumsi daya pada motor listrik.



Gambar 1. 7 komponen motor listrik AC

b. Motor DC

Merupakan motor yang bergerak dengan arus sumber tegangan DC atau direct Current , motor ini biasanya dibnukan Ketika membutuhkan torque yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran yang luas



Gambar 1. 8 Gambar Motor Listrik DC

11. Sistem Penumian

Sistem penanahan, kadang-kadang hanya disebut "pentanahan", adalah serangkaian tindakan yang digunakan untuk menghubungkan bagian konduktif listrik ke tanah. Sistem penanahan adalah bagian penting jaringan listrik pada kedua level tegangan tinggi dan rendah. Tujuan digunakannya sistem penanahan yang baik ialah untuk:

- a. Perlindungan bangunan dan instalasi terhadap petir
- b. Keamanan kehidupan manusia dan hewan, membatasi sentuhan dan tegangan step ke nilai yang aman
- c. Kompatibilitas elektromagnetik (*Elektomagnetic Compatibility*), yaitu membatasi gangguan elektromagnetik
- d. Operasi yang benar dari jaringan pasokan listrik dan memastikan kualitas daya yang baik.

Semua fungsi ini disediakan oleh sistem penumian tunggal yang harus dirancang untuk memenuhi semua persyaratan. Beberapa elemen dari sistem penanahan dapat disediakan untuk memenuhi sebuah tujuan khusus, tetapi masih merupakan bagian dari sistem penanahan tunggal. Standar membutuhkan semua tindakan penanahan dalam suatu instalasi harus digabungkan bersama, membentuk suatu system.(Eltamaly, 2018)



Gambar 1. 9 Ilustrasi Petir

What is earthing ?

Seluruh dunia menganggap bahwa earthing ialah mengacu pada titik Zero (0). Di Inggris, bias disebut sebagai '*Earth*' namun orang-orang Amerika menyebutnya '*ground*'. Orang-orang umumnya selalu berhubungan dengan tanah, oleh karena itu, jika bagian lain yang terbuka untuk disentuh dibebankan pada tegangan yang berbeda ada risiko syok atau kaget. Proses pentanahan adalah untuk menghubungkan semua bagian-bagian yang dapat dibawa ke massa tanah umumnya untuk menyediakan jalur bagi gangguan arus dan menahan bagian sedekat mungkin ke tanah. Dalam teori sederhana, ini akan mencegah perbedaan potensial antara bumi dan bagian yang dibumikan, memungkinkan juga arus gangguan mengalir yang akan menyebabkan sistem perlindungan beroperasi. Metode standar untuk mengikat sistem pasokan listrik ke tanah adalah dengan membuat sebuah koneksi langsung antara keduanya. Ini biasanya dilakukan dalam pengiriman transformator, di mana konduktor netral (biasanya titik bintang dari rangkaian tiga fase) pasokan terhubung ke bumi menggunakan elektroda pbumian atau selubung logam dan melindungi kabel yang tertanam. *Grounding System* konduktif harus terhubung ke tempat pemasangan dengan konduktor tidak lebih besar di area penampang daripada konduktor pentanahan. (Muhammed, 2012) Pbumian juga merupakan faktor utama pada setiap pengamanan perlindungan peralatan atau rangkaian listrik. Maka dari itu agar instalasi pbumian bekerja dengan baik dibutuhkan hal-hal sebagai berikut :

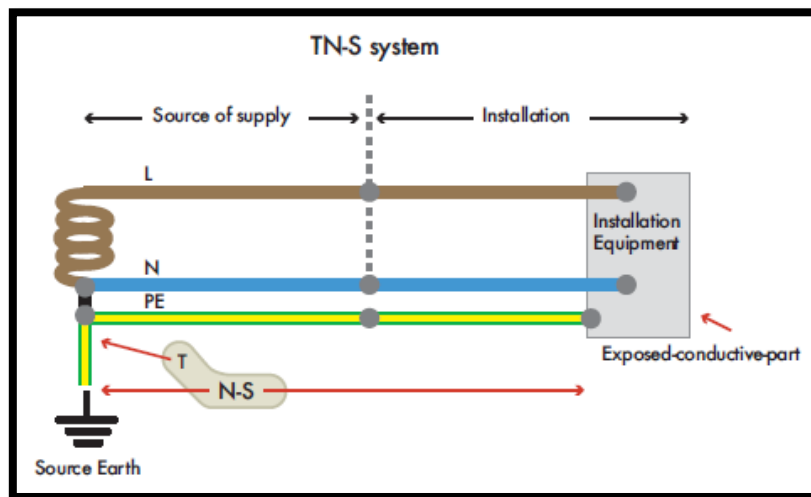
- a. Kuat Tahanan *earthing* harus mengikuti standar yang berlaku dan sesuai dengan kebutuhan pemakai;
- b. Bahan elektroda yang ditanam pada sistem pbumian harus merupakan konduktor yang baik, tahan terhadap korosi, dan juga cukup kuat dari sisi logam;
- c. Elektroda tersebut harus memiliki kontak yang cukup baik dengan tanah disekelilingnya;
- d. Tahanan pbumian harus cukup baik jika terjadi beberapa musim, misal musim panas, hujan, salju, dsb;
- e. Agar tidak terlalu boros maka pbumian harus serendah mungkin.

Adapun faktor yang mempengaruhi baik buruknya sistem pbumian yang dipasang pada suatu instalasi perumahan atau industri ialah ;

- Tahanan elektroda pembumian serta sambungan pada elektroda itu sendiri;
- Tahanan penghantar kabel BC yang berhubungan dengan peralatan atau alat elektronik;
- Tahanan kontak diantara tanah dengan elektroda;
- Tahanan dari massa tanah disekitar elektroda pembumian.

Saat mendesain instalasi listrik, salah satunya hal pertama yang harus ditentukan adalah jenis landasan sistem. Distributor dapat menyediakan ini dalam beberapa formasi. Sistem akan tersebut ialah system TN-S, TN-C-S (PME) atau TT ke sumber tegangan rendah yang disediakan sesuai dengan Peraturan keselamatan, kualitas dan kontinuitas listrik. Ada beberapa jenis desain instalasi pembumian yang sering digunakan pada rumah atau industri , berikut jenis instalasi pembumian :

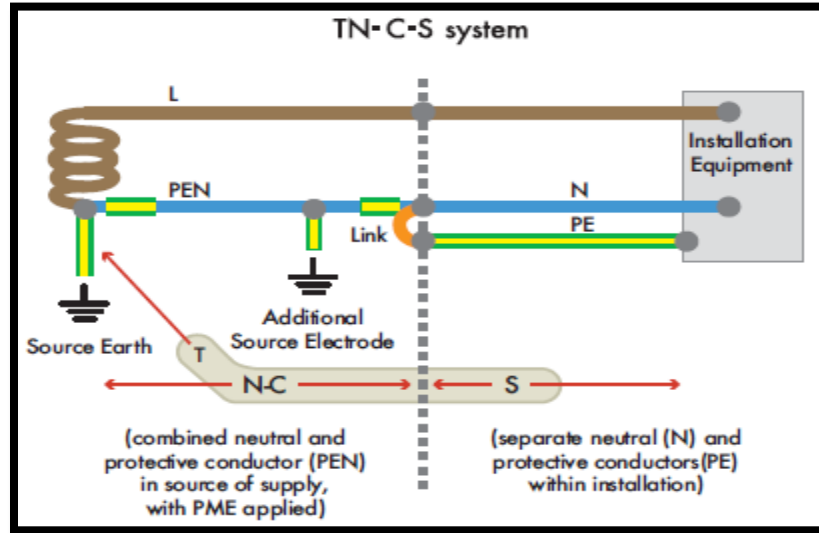
- Sistem TN-S, ditunjukkan pada Gambar , memiliki sumber daya netral terhubung ke bumi hanya pada satu titik, pada atau sedekat mungkin layak untuk sumbernya, dan terminal darat konsumen biasanya terhubung ke selubung logam atau pelindung kabel layanan distributor di tempat.



Gambar 1. 10 Sistem TN-S

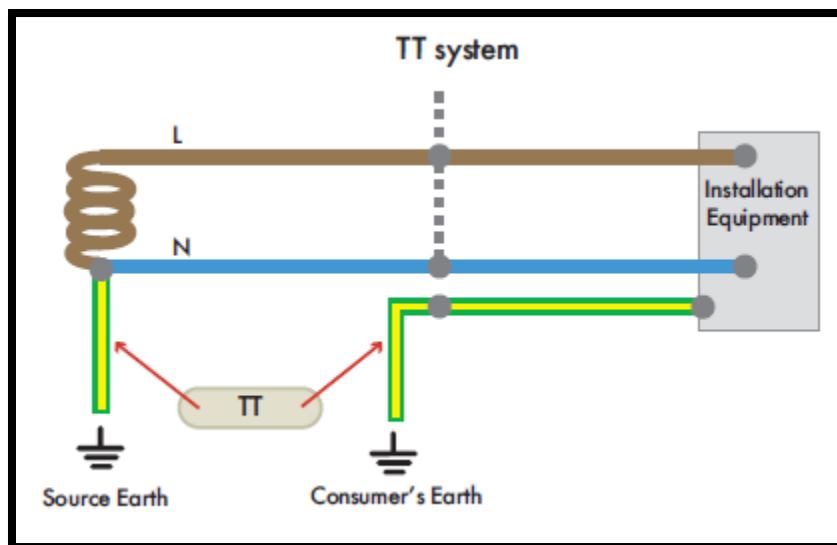
- Sistem TN-C-S, ditunjukkan pada gambar. 3, memiliki persediaan konduktor netral dari jaringan distribusi yang terhubung dengan bumi di sumbernya dan pada interval sepanjang pelaksanaannya. Ini sering disebut perlindungan berganda. pembumian (SME). Dengan pengaturan ini, maka konduktor netral dari distributor

juga digunakan untuk Kembali arus gangguan bumi yang timbul pada instalasi ke sumbernya. Untuk mencapai ini, para distributor akan menyediakan tempat bagi konsumen terminal yang terhubung ke input netral konduktor.



Gambar 1. 11 Gambar Sistem TN-C-S

- c. Sistem TT, yang ditunjukkan di bawah, memiliki sumber netral daya tersambung seperti pada TN-S, tetapi tidak ada instalasi yang disediakan oleh distributor untuk landasan konsumen. Dengan TT, the konsumen harus memberikan koneksinya sendiri ke tanah, yaitu, pemasangan elektroda pembedaan yang sesuai untuk pemasangan.



Gambar 1. 12 Sistem TT

12. Alat Ukur Listrik

Alat ukur listrik merupakan sesuatu yang penting yang dibutuhkan pada kelistrikan, alat ini berguna untuk mengukur besaran yang ingin diukur misalnya, arus, tegangan, resistansi, isolasi dll. Biasanya alat ukur menjadi kewajiban yang harus dimiliki oleh petugas etugas kelistrikan baik itu di perusahaan atau di suatu industri, karena dengan adanya alat ukur maka dapat memudahkan dalam penanganan Ketika terjadi gangguan,.

Berikut alat ukur yang banyak digunakan pada kelistrikan ;

- a. Ampere meter Berfungsi untuk mengukur arus yang masuk atau keluar
- b. Voltmeter Berfungsi untuk mengukur tegangan yang ada pada instalasi
- c. Ohm meter Berfungsi untuk mengukur tahanan yang ada pada instalasi
- d. Megger Alat untuk mengukur tahanan isolasi suatu kabel

C. LATIHAN SOAL / TUGAS

1. Jelaskan system penyaluran distribusi listrik mulai dari pembangkit sampai ke pelanggan
2. Jelaskan fungsi dari turbin pada generator pembangkit.
3. Jelaskan apa yang anda ketahui mengenai motor listrik
4. Dalam system pembumian pada industri ada berapa jenis yang biasa digunakan
5. Sebutkan alat ukur listrik yang biasa dipakai untuk mengukur instalasi listrik

D. DAFTAR PUSTAKA

- Bachtiar, M., & Abstract. (2014). *Prosedur perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya untuk perumahan (solar home system)*.
- Blume, S. W. (n.d.). *ELECTRIC POWER SYSTEM BASICS*. 2007.
- Charles, S., & Gustaf, S. E. (2011). *Turbines and its types*.
- Cooley, H. (2009). *Water for Energy: Future Water Needs for Electricity in the Intermountain West*.
- Eltamaly, A. M. (2018). *Introduction to Wind Energy Systems*.
- En, W. P. (2011). *Nuclear Energy as part of the electricity generation system — Balancing*

- and the grids — William D ' haeseleer TME W ORKING P APER - Energy and Environment Last update : February 2011. February.*
- Generation, E. P., Practices, D. I., & Management, E. (2019). *Electric Power Generation , Transmission and Distribution Industry Practices and Environmental Characterization*. June, 1–11.
- IAEA. (2018). *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050* (Issue 1).
- Johnson, G. L. . (2012). *WIND ENERGY SYSTEMS*.
- Mahmud, N., Yahya, A., Rafiq, M., Kadir, A., Liyana, N., & Hashim, S. (2013). *Jurnal Teknologi Pulse Power Generator Design for Machining Micro-pits on Hip Implant*. 2, 33–38.
- Mikko. (2019). *ELECTRICITY - A Secondary Energy Source*.
- Muhammed, A. S. (2012). *Araz Salih Muhammed*. 1–19.
- Muslim, S. (2008). *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Skeolah Menengah Umum.
- Nagpurwala, Q. H. (2013). *Hydraulic Turbines*.
- Nugroho, N., & Agustina, S. (2015). *ANALISA MOTOR DC (DIRECT CURRENT) SEBAGAI PENGGERAK MOBIL LISTRIK*. 2(1), 28–34.
- Pembinaan, D., & Menengah, S. (2008). *teknik Transmisi Tenaga Listrik*. Direktoratn pembinaan sekolah menengah umum.
- Prayoga, A., & S, E. M. (2010). *Teknik tenaga listrik* (Issue 0806365412).
- Ramdhani, M. (2005). *Rangkaian listrik*.
- Subagyo, R. (2018). *TURBIN UAP HMKB760*.
- Sudirham, S. (2012). *Analisis Rangkaian Listrik*.
- Suhadi. (2008). *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Direktoratn pembinaan sekolah menengah umum.
- Sumardjati, P. (2008). *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Skeolah Menengah Umum.
- Veron, L. (2013). *Nuclear Power for Electrical Generation The*. 1–24.
- Western Governors ' Association. (2018). *An Introduction to Electric Power Transmission An Introduction to Electric Power Transmission – Table of Content (TOC)*.
- Wu, X., Shen, J., Li, Y., & Lee, K. Y. (2015). *Steam power plant configuration , design , and control*. <https://doi.org/10.1002/wene.161>

PERTEMUAN 2

DASAR RANGKAIAN LISTRIK

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Dasar Rangkaian Listrik”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan Mampu memahami serta menghitung arus, tegangan, dan hambatan yang ada pada rangkaian listrik.

B. URAIAN MATERI

1. Dasar Rangkain Listrik

Pada pertemuan ini akan dibahas mengenai dasar rangkain listrik seperti hukum ohm dimana pembahasan ini mengenai arus, tegangan dan tahanan . Rangkaian listrik merupakan suatu kumpulan komponen listrik yang saling dihubungkan dengan teknik;teknik tertentu yang paling sedikit mempunyai satu lintasan atau loop tertutup. Elemen atau komponen yang akan dibahas pada Rangkaian Listrik terbatas pada elemen atau komponen yang memiliki dua buah terminal atau kutub pada kedua ujungnya. Pembatasan elemen atau komponen listrik pada Rangkaian Listrik dapat dikelompokkan kedalam elemen atau komponen aktif dan pasif. Elemen aktif adalah elemen yang menghasilkan energi dalam hal ini adalah sumber tegangan dan sumber arus, Elemen lain adalah elemen pasif dimana elemen ini tidak dapat menghasilkan energi, dapat dikelompokkan menjadi elemen yang hanya dapat menyerap energi dalam hal ini hanya terdapat pada komponen resistor atau banyak juga yang menyebutkan tahanan atau hambatan dengan simbol R, dan komponen pasif yang dapat menyimpan energi juga diklasifikasikan menjadi dua yaitu komponen atau elemen yang menyerap energi dalam bentuk medan magnet dalam hal ini induktor atau sering juga disebut sebagai lilitan, belitan atau kumparan dengan simbol L, dan komponen pasif yang menyerap energi dalam bentuk medan magnet dalam hal ini adalah kapasitor atau sering juga dikatakan dengan kondensator dengan symbol C. (Suhadi, 2008; Sumardjati, 2008)

Berikut merupakan pembahasan yang akan disampaikan dalam dasar rangkain listrik

:

- a. Sumber Arus;
- b. Sumber Tegangan;
- c. Tahanan / resistor;
- d. Kapasitor;
- e. Induktor

Pembahasan tentang Rangkaian Listrik, pasti tidak jauh atau tidak terlepas dari pengertian dari rangkaian listrik itu sendiri, dimana suatu rangkaian merupakan interkoneksi dari sekumpulan elemen atau komponen penyusunnya ditambah dengan rangkaian penghubungnya dimana disusun dengan cara-cara tertentu dan minimal memiliki satu lintasan tertutup. Dengan kata lain hanya dengan satu lintasan tertutup saja kita dapat menganalisis suatu rangkaian. Adapun lintasan tertutup merupakan satu lintasan saat kita mulai dari titik yang dimaksud akan kembali lagi ketitik tersebut tanpa terputus dan tidak memandang seberapa jauh atau dekat lintasan yang kita tempuh. Rangkaian listrik merupakan dasar dari teori rangkaian pada teknik elektro yang menjadi dasar atas pondasi bagi ilmu-ilmu lainnya seperti elektronika, sistem daya, sistem computer, putaran mesin, dan teori control.

2. Sejarah Listrik



Sebelum membahas mengenai dasar rangkaian kelistrikan mari kita bahas sejarah eksperimen penemuan listrik, Benjamin Franklin dikenal karena penemuan listrik lahir pada tahun 1706, dia mulai mempelajari listrik pada awal 1750-an, diantaranya dengan melakukan pengamatan pada petir yang dirasa memiliki energi listrik percobaan pengamatannya dimulai untuk mengamati kekuatan sumber dari petir yaitu Eksperimen layang-layang memeriksa sifat listrik benyamin tahu kilatatan petir sangat kuat dan berbahaya. Eksperimen layang-layang 1752 yang terkenal, eksperimen tersebut dengan memasang pada bagian layang-layang di pasang sepotong logam runcing di bagian atas-nya dan batang logam di ujung bawah tali layang-layang, kemudian tali melewati batang dan melekat pada dua konduktor

logam yang dipisahkan oleh isolator. Dia memegang tali dengan bagian kecil dari sutra kering sebagai insulasi energi petir, kemudian menerbangkan layang-layang dalam badai, Dia mulai memainkan kunci dengan paking dan menerima sebuah sengatan listrik yang dialirkan ke bumi yang disebut dengan penangkal petir atau pembedaan yang digunakan sampai saat ini. Antara tahun 1750 dan 1850, ada banyak penemuan besar dalam prinsip-prinsip listrik dan magnet oleh Jota Volta, Coulomb, Gauss, Henry, Faraday, dan lainnya. Dikemukakan bahwa arus listrik menghasilkan medan magnet dan bahwa medan magnet yang bergerak menghasilkan listrik pada kawat. Ini menyebabkan banyak penemuan, seperti baterai (1800), generator (1831), motor listrik (1831), telegraf (1837) dan telepon (1876), di samping banyak penemuan lainnya. (Report & Solutions, 2013; Sumardjati, 2008; J. Wu, 2010; X. Wu et al., 2015)

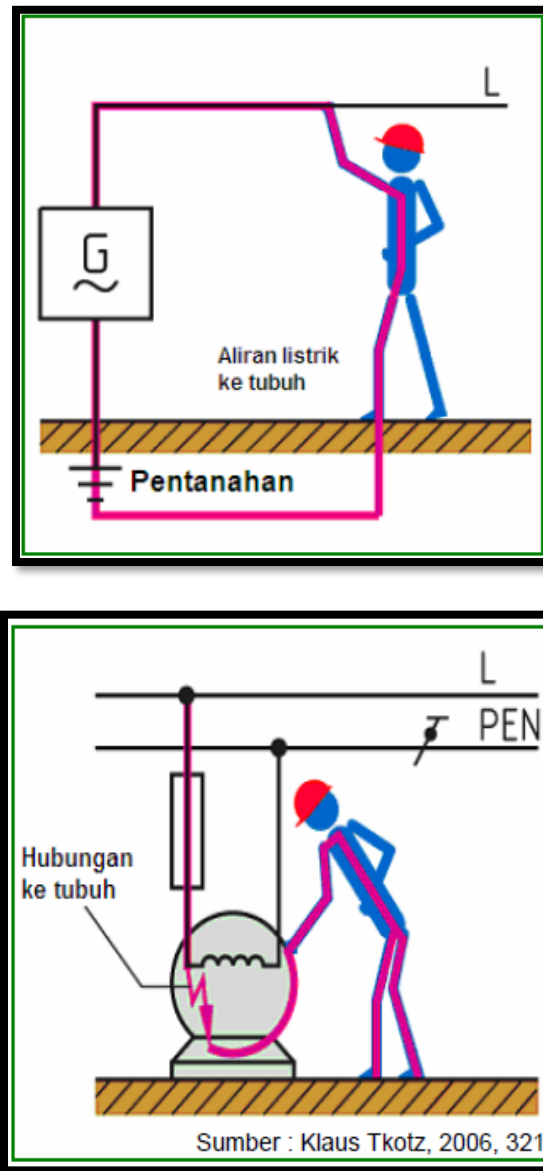
Pada tahun 1879, Thomas Edison menemukan lampu yang lebih efisien, mirip dengan lampu yang digunakan hari ini. Pada 1882, ia menjalankan Pearl Street yang bersejarah pembangkit listrik tenaga uap dan sistem distribusi arus searah pertama (dc), menyalakan lebih dari 10.000 bola lampu. Pada akhir 1880-an, Permintaan tenaga listrik untuk motor listrik membutuhkan perawatan 24 jam dan meningkatnya permintaan listrik secara drastis untuk transportasi dan kebutuhan industri lainnya. Akhir tahun 1880-an, Sebagian kecil daerah terdistribusi listrik yang terpusat tersebar di kota-kota AS. Setiap pusat distribusi terbatas pada satu jangkauan layanan beberapa blok karena ketidakefisienan transmisi arus searah, hal tersebut tidak mungkin untuk menambah atau mengurangi tegangan menggunakan sistem arus searah dan cara untuk mengangkut energi pada jarak yang lebih jauh. kecil membangki Untuk mengatasi masalah transportasi listrik jarak jauh, George Westinghouse mengembangkan perangkat yang disebut "transformator". Trafo memungkinkan energi listrik untuk diangkut jarak jauh menjadi lebih efisien. Ini memungkinkan untuk memasok listrik ke rumah-rumah dan bisnis yang terletak jauh dari pembangkit listrik. Aplikasi transformer mensyaratkan bahwa sistem distribusi diaktifkan tipe arus (AC) sebagai kebalikan dari tipe arus searah (DC). Pengembangan pembangkit listrik tenaga air terjun Niagara pada tahun 1896 memulai praktik menempatkan pembangkit listrik dari area konsumsi. Pabrik Niagara menyediakan listrik untuk Buffalo, New York, lebih dari 20 mil jauhnya. Dengan pembangkit Niagara,

Westinghouse meyakinkan menunjukkan keunggulan transportasi energi listrik jarak jauh menggunakan arus bolak-balik (AC). Pembangkit Niagara adalah sistem tenaga pertama untuk memasok beberapa konsumen besar hanya dengan satu saluran listrik. Sejak awal 1900-an, sistem arus bolak-balik sudah mulai muncul di Amerika Serikat. Sistem energi ini saling berhubungan untuk membentuk apa yang kita ketahui hari ini sebagai tiga jaringan energi teratas di Amerika Serikat Negara bagian dan Kanada. Sisa pertemuan bab ini membahas masalah mendasar istilah yang digunakan dalam sistem kelistrikan.

3. Bahaya Listrik

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai bahaya listrik, Pada satu sisi untuk melakukan kegiatan keseharian kita memerlukan adanya daya listrik, namun pada sisi yang lain listrik juga dapat juga berbahaya bagi keselamatan jika tidak adanya pengelolaan yang baik, mungkin Sebagian orang pernah merasakan akibat dari sengatan listrik dari yang hanya merasakan kejutan syok sampai dengan yang sangat merasa kesakitan. Maka dari itu agar mencegah dari hal-hal yang tidak diinginkan maka kita perlu meningkatkan kehati hatian pada adanya bahaya dari listrik dengan memahami sifat dasar kelistrikan yang kita gunakan. Adapun bahaya listrik terbagi menjadi bahaya primer dan bahaya sekunder, bahaya primer merupakan bahaya yang diakibatkan secara langsung semisal , terkena hubungan arus pendek dari kabel yang terbuka yang dialiri arus dan tegangan, lalu untuk bahaya sekunder ialah bahaya yang di akibatkan dari bukan sumber langsung misalnya kita memegang besi atau tiang yang ternyata terairi arus listrik dikarenakan tertempel dengan kabel yang terkelupas dialiri arus. (Aslimeri, 2008; Muslim, 2008)

Proses Terjadinya Sengatan Listrik terjadi dengan dua metode yaitu, listrik dapat menyengat dengan bersentuhan langsung dan juga tidak langsung. Bahaya sentuhan langsung merupakan akibat dari anggota tubuh bersentuhan langsung dengan bagian yang bertegangan sedangkan bahaya sentuhan tidak langsung merupakan akibat dari adanya tegangan liar yang terhubung ke bodi atau selungkup alat yang terbuat dari logam (bukan bagian yang bertegangan) sehingga bila tersentuh akan mengakibatkan sengatan listrik. Berikut dicontohkan ilustrasi tentang kedua bahaya ini.



Gambar 2. 1 Gambar sengatan langsung dan tidak langsung

Yang menjadi penyebab tinggi rendahnya keseriusan akibat sengatan listrik Ada tiga penyebab yang menentukan yaitu: besar arus yang mengalir, lintasan aliran, dan lama sengatan pada tubuh. Besar arus yang mengalir dalam tubuh akan ditentukan oleh tegangan dan tahanan tubuh. Tegangan tergantung sistem tegangan yang digunakan sedangkan tahanan tubuh manusia bervariasi tergantung pada jenis, kelembaban kulit dan penyebab lain seperti ukuran tubuh, berat badan, dan lain sebagainya. Tahanan kontak kulit bervariasi dari 1000 k Ohm (kulit kering) sampai

100 Ohm (kulit basah). Tahanan dalam (internal) tubuh sendiri antara 100– 500 Ohm

Contoh:

Jika sebuah tegangan sebesar 220 V, hitunglah kemungkinan besar arus yang mengalir pada tubuh manusia.

Kondisi terburuk:

Tahanan tubuh adalah tahanan kontak kulit di tambah tahanan internal tubuh,
(R_k) = 100 ohm + 100 ohm = 200 Ohm

Untuk menghitung Arus yang mengalir pada tubuh menggunakan persamaan hukum Ohm

$$I = V / R = 220 \text{ V} / 200 \text{ Ohm} = 1.1 \text{ Ampere}$$

Kondisi kemungkinan paling baik

Tahanan Tubuh R_k = 1000 k Ohm

$$I = V / R = 220 \text{ V} / 1000 \text{ k Ohm} = 0,22 \text{ mA.}$$

Jadi disini ada dua kemungkinan yang terjadi tergantung dari tahanan pada tubuh manusi sendiri, semakin besar tahanannya maka semakin kecil arus yang mengalir dan kecelakaan serius semakin kecil juga. Terdapat juga untuk meminimalisir terjadinya sengatana listrik yaitu dengan menggunakan alat pelindung diri , seperti topi isolasi yang berguna jika kepala menyentuh kabel listrik, sepatu pengaman atau safety shoes yang terbuat dari bahan isolasi tinggi seperti karet, kemudian sarung tangan isolasi yang memungkinkan terjadinya kontak langsung dengan tangan serendah mungkin.

4. Konsep Rangkaian Listrik

Pada sub bab ini membahas mengenai konsep dasar dari rangkaian listrik yang mana telah diceritakan pada bagian pengantar rangkaian listrik merupakan suatu kumpulan komponen yang dihubungkan dengan cara tertentu dan paling sedikit mempunyai satu lintasan tertutup. Ketika membicarakan tentang rangkaian listrik, pasti tidak bisa dipisahkan dari pengertian rangkaian, disebutkan rangkaian merupakan interkoneksi beberapa kumpulan komponene penyusun yang dihubungkan dengan teknik tertentu. Artinya hanya dengan minimal satu lintasan tertutup saja kita dapat menganalisa suatu rangkaian. Lintasan tertutup ialah suatu line atau lintasan saat dimulai dari suatu titik hingga Kembali ke titik tersebut tanpa memandang jauh dekatnya lintasan. Rangkaian listrik menjadi dasar dari rangkaian lain seperti

elektronika, *computer* dll. Konsep rangkain listrik tidak jauh dari membahas Hukum Ohm dimana Pada tahun 1826, Georg Simon Ohm menemukan bahwa untuk konduktor logam memiliki rasio yang secara substansial konstan dari perbedaan potensial antara ujung-ujung konduktor. Hukum Ohm menyatakan bahwa arus yang mengalir dalam rangkaian listrik berbanding lurus dengan voltase yang diberikan dan berbanding terbalik dengan tahanan material. Dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$I = V / R$$

Dimana

I = Arus

V = Tegangan

R= Hambatan

Hubungan antar Tegangan dan Arus dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini :



Gambar 2. 2 Gambar Grafik hubungan tegangan dan arus

Berdasarkan gambar grafik diatas dapat dijelaskan , semakin tinggi tegangan , maka arus akan semakin tinggi juga. Dalam pembahasan rangkain listrik kita tentu akan menggunakan satuan satuan listrik yang mengacu pada standar internasional yang disebut dengan SI , berikut standar internasional yang dipakai Pada pembahasan kelistrikan tidak lupa dijelaskan juga mengenai satuan – satuan yang dipakai, satuan dalam kelistrikan dapat dilihat pada table 2.1 dibawah ini :

Tabel 2. 1 Satuan Listrik

No	Jenis Satuan Listrik	Lambang	Satuan
1	Tegangan	V	Volt
2	Arus	I	Ampere

3	Tahanan / Resistensi	R	Ohm
4	Reaktansi	X	Ohm
5	Impedansi	$(Z)=R \pm jX$	Ohm
6	Daya	$(S) = P \pm jQ$	Volt Ampere
7	Daya Aktif	P	Watt
8	Daya Reaktif	Q	Volt Ampere
9	Faktor Daya	Cos Phi	-
10	Energi	E	Watt Hour

5. Tegangan

Istilah atau konsep pertama yang harus dipahami dalam rangkaian adalah tegangan. Tegangan adalah potensial sumber energi dalam rangkaian listrik yang membuat sesuatu terjadi. Terkadang disebut Gaya Electromotive atau EMF. Unit dasar (pengukuran) dari gaya gerak listrik (GGL) adalah volt. Volt dinamai untuk menghormati Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745–1827), orang Italia fisikawan yang juga menemukan baterai. Tegangan listrik diidentifikasi oleh simbol "e" atau "E." (Beberapa referensi menggunakan simbol "v" atau "V." Tegangan adalah sumber energi potensial sistem tenaga listrik. Tegangan tidak melakukan apa pun dengan sendirinya tetapi memiliki potensi untuk melakukan pekerjaan. Tegangan adalah dorongan atau sebuah kekuatan. Tegangan selalu muncul di antara dua titik. Biasanya, tegangan adalah konstan (mis., Langsung) atau bergantian. Listrik sistem tenaga didasarkan pada aplikasi tegangan bolak-balik dari tegangan rendah Sistem perumahan 120 volt ke transmisi ultra tinggi tegangan 765.000 volt sistem. Ada aplikasi tegangan yang lebih rendah dan lebih tinggi yang terlibat di dalamnya sistem tenaga listrik, tetapi ini adalah kisaran yang biasa digunakan untuk menutupi pembangkitan melalui distribusi dan konsumsi. Dalam sistem air, tegangan sesuai dengan tekanan(Aslimeri, 2008; Muslim, 2008)

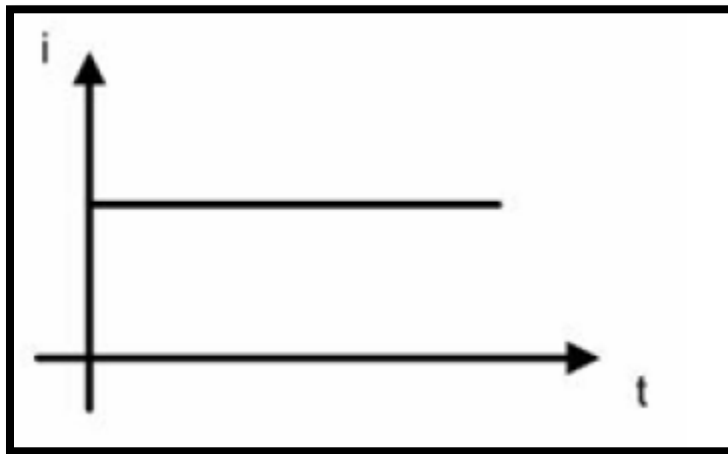
6. Arus Listrik

Arus adalah aliran elektron dalam suatu konduktor (kawat). Elektron didorong dan ditarik oleh tegangan melalui rangkaian listrik atau jalur loop tertutup. Itu elektron yang mengalir dalam konduktor selalu kembali ke sumber tegangannya. Saat ini

diukur dalam ampere, biasanya disebut amp. (Satu amp sama dengan 628×10^{16} elektron mengalir dalam konduktor per detik.) Jumlah electron tidak pernah berkurang dalam satu lingkaran atau rangkaian. Aliran elektron dalam sebuah konduktor menghasilkan panas karena hambatan konduktor (mis., gesekan). Tegangan selalu mencoba untuk mendorong atau menarik arus. Karena itu, ketika lengkap sirkuit atau jalur loop tertutup disediakan, tegangan akan menyebabkan arus mengalir. Itu resistensi di rangkaian akan mengurangi jumlah aliran arus dan akan menyebabkan panas harus disediakan. Energi potensial dari sumber tegangan dikonversi menjadi energi kinetik saat elektron mengalir. Energi kinetik kemudian digunakan oleh beban (mis., perangkat konsumsi) dan dikonversi menjadi pekerjaan yang bermanfaat. Satuan arus listrik ialah : Ampere (A) pada teori rangkaian, arus ialah pergerakan muatan positif. Ketika terjadi beda potensial disuatu elemen atau komponen maka akan muncul arus dimana arah arus positif mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah dan arah arus negatif mengalir sebaliknya.(Nugroho & Agustina, 2015; Setyawan et al., n.d.; Sudirham, 2012; Suharjo et al., n.d.; Syahputra, 2014)

a. Arus Searah (DC)

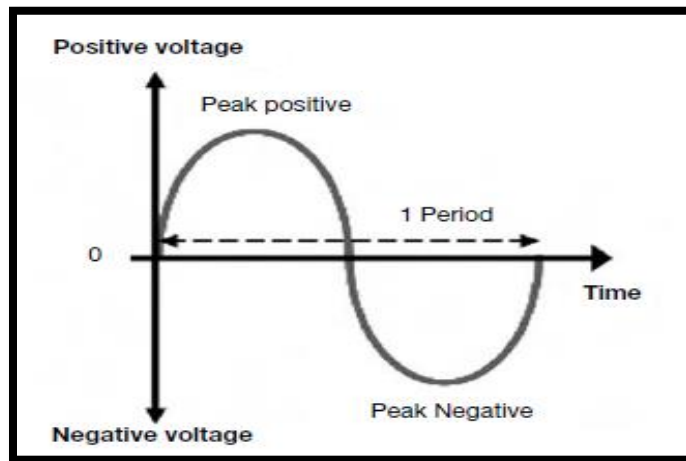
Arus searah (dc) adalah aliran elektron dalam suatu rangkaian yang selalu ada dalam arah yang sama. Arus searah (mis., Arus satu arah) terjadi Ketika tegangan dijaga konstan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar . Baterai, misalnya, menghasilkan arus dc ketika terhubung ke suatu rangkaian. Elektron meninggalkan terminal negatif baterai dan bergerak melalui sirkuit ke arah terminal positif baterai.



Gambar 2. 3 Gambar Frekuensi arus searah

b. Arus Bolak Balik (AC)

Ketika terminal sumber energi potensial (mis. Tegangan) bergantian antara positif dan negatif, arus mengalir dalam rangkaian listrik juga bergantian antara positif dan negatif. Dengan demikian, arus bolak-balik (ac) terjadi ketika sumber tegangan bergantian. Gambar, menunjukkan tegangan meningkat dari nol ke nilai puncak positif, kemudian menurun melalui nol ke nilai negatif, dan kembali melalui nol lagi, menyelesaikan satu siklus. Dalam istilah matematika, ini menggambarkan sinus gelombang. Gelombang sinus dapat diulang berkali-kali dalam satu detik, menit, jam, atau hari. Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus dalam satu detik disebut periode siklus.



Gambar 2. 4 frekuensi arus bolak balik

c. Frekuensi

Frekuensi adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan jumlah siklus dalam satu detik. Jumlah siklus per detik juga disebut hertz, dinamai Heinrich Hertz (1857–1894), seorang ahli fisika Jerman. Catatan: arus searah (dc) tidak memiliki frekuensi; oleh karena itu, frekuensi adalah istilah yang hanya digunakan untuk sirkuit ac. Untuk sistem tenaga listrik di Amerika Serikat, frekuensi standarnya adalah 60 siklus / detik atau 60 hertz. Negara-negara Eropa telah mengadopsi 50 hertz sebagai frekuensi standar. Negara-negara di luar Amerika Serikat dan Eropa gunakan 50 dan / atau 60 hertz. (Catatan: pada suatu waktu Amerika Serikat memiliki 25, 50, dan 60 sistem hertz. Ini kemudian distandarisasi hingga 60 hertz.). Untuk di Indonesia mengadopsi frekuensi 50 Hz

d. Perbandingan Arus AC dan DC

Membandingkan Tegangan dan Arus ac dan dc pada Beban listrik, seperti bola lampu, pemanggang roti, dan pemanas air panas, bisa jadi dilayani oleh tegangan atau arus ac atau dc. Namun, sumber tegangan dc terus memasok panas dalam beban, sedangkan sumber tegangan ac menyebabkan panas untuk menambah dan mengurangi selama bagian positif dari siklus, kemudian meningkat dan mengurangi lagi di bagian negatif dari siklus. Di sirkuit ac, sebenarnya ada saat-saat ketika tegangan dan arus adalah nol dan tidak ada tambahan terjadi pemanasan. Penting untuk dicatat bahwa ada tegangan dan arus ac yang setara akan menghasilkan efek pemanasan yang sama pada beban listrik seolah-olah itu adalah tegangan dc dan saat ini. Tegangan dan arus ekuivalen disebut sebagai akar berarti nilai kuadrat, atau nilai rms. Alasan mengapa konsep ini penting adalah bahwa semua sistem tenaga listrik memiliki voltase dan arus (rata Rata Kuadrat). Misalnya, stop kontak 120 Vac sebenarnya adalah nilai (rata Rata Kuadrat).. Secara teoritis, orang bisa memasukkan pemanggang 120 Vac ke sumber baterai 120 Vdc dan memasak roti dalam jumlah waktu yang sama. Nilai ac sama kemampuan pemanasan sebagai nilai dc.

7. Tegangan

Istilah atau konsep pertama yang harus dipahami adalah tegangan. Tegangan adalah potensial sumber energi dalam rangkaian listrik yang membuat sesuatu terjadi. Terkadang disebut Gaya Electromotive atau EMF. Unit dasar (pengukuran) dari gaya gerak listrik (EMF) adalah volt. Volt dinamai untuk menghormati Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745–1827), orang Italia fisikawan yang juga menemukan baterai. Tegangan listrik diidentifikasi oleh simbol "e" atau "E." (Beberapa referensi menggunakan simbol "v" atau "V." Tegangan adalah sumber energi potensial sistem tenaga listrik. Tegangan tidak melakukan apa pun dengan sendirinya tetapi memiliki potensi untuk melakukan pekerjaan. Tegangan adalah dorongan atau sebuah kekuatan. Tegangan selalu muncul di antara dua titik. Biasanya, tegangan adalah konstan (mis., Langsung) atau bergantian. Listrik sistem tenaga didasarkan pada aplikasi tegangan bolak-balik dari tegangan rendah Sistem perumahan 120 volt ke transmisi ultra tinggi tegangan 765.000 volt sistem. Ada aplikasi tegangan yang lebih

rendah dan lebih tinggi yang terlibat di dalamnya sistem tenaga listrik, tetapi ini adalah kisaran yang biasa digunakan untuk menutupi pembangkitan melalui distribusi dan konsumsi. Dalam sistem air, tegangan sesuai dengan tekanan yang mendorong air melalui pipa. Tekanan hadir meskipun tidak ada air yang mengalir. (Sumardjati, 2008)

8. Power

Unit dasar (ukuran) daya adalah watt (W), dinamai James Watt (1736-1819), yang juga menemukan mesin uap. Ketegangan sendirian tidak bekerja. Rantai itu sendiri tidak melakukan pekerjaan nyata. Namun, tegangan dan arus bersama dapat menghasilkan kerja nyata. Produk dari tegangan kali arus adalah daya. Energi digunakan untuk menghasilkan karya nyata. Misalnya, energi listrik dapat digunakan untuk membuat panas, memutar motor, cahaya lampu dan sebagainya. Fakta bahwa energi adalah bagian dari tegangan dan bagian dari arus berarti itu daya sama dengan nol jika tegangan atau arus adalah nol. Tegangan dapat muncul di outlet di rumah Anda dan pemanggang roti mungkin terhubung ke outlet, tetapi sampai seseorang menyalakan pemanggang, tidak ada arus mengalir dan karenanya tidak ada energi yang terjadi sampai sakelar dihidupkan dan arus mengalir melalui kabel.

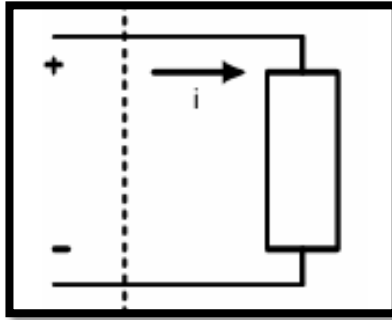
9. Energi

Satuan kerja yang dilakukan dalam satu newton meter. Energi Listrik adalah produk listrik dan waktu. Jumlah waktu di mana beban (yaitu arus mengalir) dikalikan jumlah energi yang digunakan oleh muatan (yaitu, watt) adalah energi. Pengukuran energi listrik adalah watt-jam (Whour). Unit daya yang paling umum dalam sistem tenaga listrik adalah kilowatt-jam (kWh, yaitu, 1.000 watt-jam) untuk penggunaan perumahan. aplikasi dan megawatt-jam (MWh, yaitu, 1.000.000 watt-jam) untuk aplikasi industri besar atau untuk perusahaan energi sendiri. Untuk menyatakan apakah energi dikirim atau diserap tidak hanya polaritas tegangan tetapi arah arus juga berpengaruh.

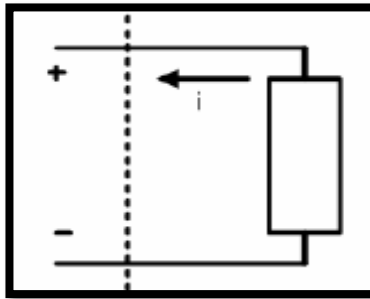
Komponen listrik dibagi menjadi dua yaitu yang menyerap energi dan yang mengirim energi:

Menyerap energi : Jika arus positif meninggalkan terminal positif menuju terminal elemen/komponen, atau arus positif menuju terminal positif elemen/komponen

tersebut.



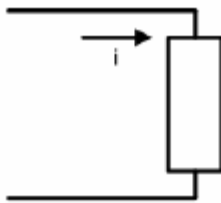
Mengirim energi : Jika arus positif masuk terminal positif dari terminal elemen/komponen, atau arus positif meninggalkan terminal positif elemen/komponen.



Energi yang diserap/dikirim pada suatu elemen yang bertegangan v dan muatan yang melewatinya Δq adalah $\Delta w = v\Delta q$ Satuannya : Joule (J)

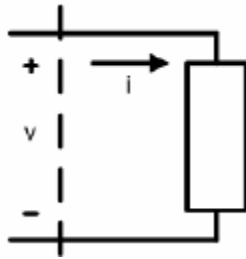
Contoh Soal

- a. Jika diketahui arus mengalir ialah 7 ampere , tentukan V jika elemen daya tersebut ialah 28 W



Jawab :

Hubungannya ialah menyerap daya jika arus positif meninggalkan terminal positif



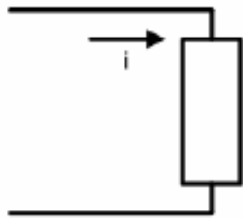
Arus positif karena dari potensial tinggi ke rendah

$$I = 7 \text{ Ampere}$$

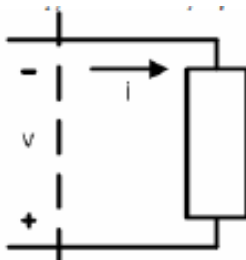
$$P = 28 \text{ W}$$

$$V = P/I = 28 / 7 = 4 \text{ Volt}$$

- b. Jika diketahui arus 8 ampere , tentukan V jika elemen mengirimkan daya 24 W



Jawab :



Arus negative karena dari potensial rendah ke potensial tinggi

$$I = -6 \text{ Ampere}$$

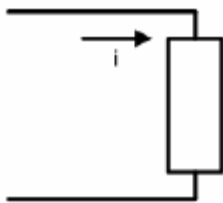
$$P = 24 \text{ Watt}$$

$$V = P/I = 24 / -6 = - 4 \text{ Volt}$$

Karena dari rendah ke tinggi aka nilai tegangan negatif

C. LATIHAN SOAL / TUGAS

1. Jelaskan konsep benyamin franklin dalam percobaan layang layang aayang apa yang didapatkan,
2. Sebutkan penyebab terjadinya ssengatan listrik pada manusia, dan dampak apa yang ditimbulkan
3. Jelaskan perbandingan arus listrik AC dan DC dan berikan contoh penerapnya pada peralatan listrik
4. Jika diketahui arus mengalir ialah 20 ampere , tentukan V jika elemen daya tersebut ialah 100 W



5. Hitunglah besaran arus yang mengalir pada tubuh manusia jika deketahui tegangan 110 Volt dengan kondisi tahanannya 500 Ohm!

D. DAFTAR PUSTAKA

- Aslimeri. (2008). *teknik Transmisi Tenaga Listrik*. Direktorat pembinaan sekolah menengah umum.
- Muslim, S. (2008). *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Skeolah Menengah Umum.
- Nugroho, N., & Agustina, S. (2015). *ANALISA MOTOR DC (DIRECT CURRENT) SEBAGAI PENGGERAK MOBIL LISTRIK*. 2(1), 28–34.
- Report, T., & Solutions, E. E. (2013). *Energy Efficiency Technologies ANNEX III Technical Report for Thermal Power Plants*. August, 1–30.
- Setyawan, O., Zakki, A. F., & Iqbal, M. (n.d.). *Analisa Estimasi Tingkat Kebisingan di Kamar Mesin dan Ruang Akomodasi pada Kapal Riset dengan Penggerak Motor Listrik Program Studi S1 Teknik Perkapalan , Fakultas Teknik , Universitas Diponegoro Semarang , Kata kunci : estimation noise , noise ship , kebisingan kapal Key Words : estimation noise , noise ship , kebisingan kapal Jurnal Teknik Perkapalan , Vol . 3 , No 1 Januari 2015 Jurnal Teknik Perkapalan , Vol . 3 , No 1 Januari 2015*. 3(1), 63–72.

- Sudirham, S. (2012). *Analisis Rangkaian Listrik*.
- Suhadi. (2008). *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Direktorat pembinaan sekolah menengah umum.
- Suharjo, I., Studi, P., Elektro, T., Mercu, U., & Yogyakarta, B. (n.d.). *ANALISIS PENGGUNAAN JARINGAN KABEL LISTRIK*. 31–36.
- Sumardjati, P. (2008). *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Skeolah Menengah Umum.
- Syahputra, A. (2014). *Estimasi Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Saluran Transmisi Tenaga Listrik*. 17(2), 106–115.
- Wu, J. (2010). *BASIC AC ELECTRICAL GENERATORS*.
- Wu, X., Shen, J., Li, Y., & Lee, K. Y. (2015). *Steam power plant configuration , design , and control*. <https://doi.org/10.1002/wene.161>

PERTEMUAN 3

RANGKAIAN LISTRIK LANJUTAN

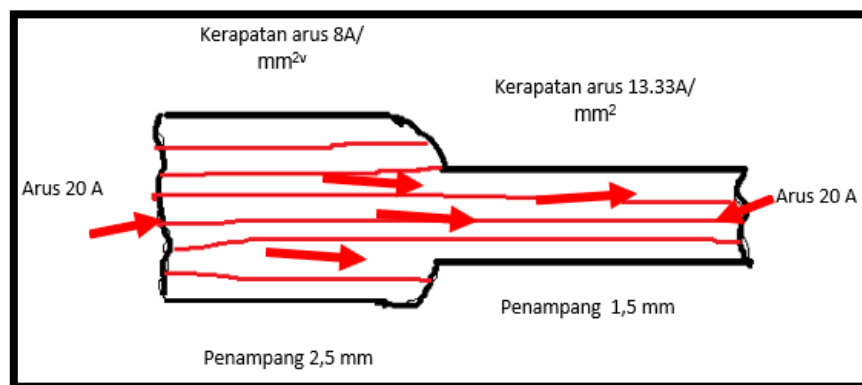
A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Rangkaian Listrik Lanjutan”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan Mampu menghitung kerapatan arus listrik serta menerapkan hukum Kirchof I dan II, Hukum, untuk diaplikasikan pada peralatan industri.

B. URAIAN MATERI

1. Kerapatan Arus

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai kerapatan arus listrik, kerapatan arus merupakan besar arus yang mengalir pada tiap satuan luas penghantar arus tersebut dalam satuan mm^2 , arus yang mengalir pada penghantar listrik atau konduktor pada kawat dialiri arus dengan merata sesuai dengan luas penampang kawat atau konduktor tersebut, semisal arus listrik mengalir sebesar 20 ampere pada kawat penghantar tembaga dengan luas penampang $2,5 \text{ mm}^2$ maka akan diketahui besarnya kerapatan arus ialah $8 \text{ ampere} / \text{mm}^2$ atau jika dibuat secara matematis ialah $20 \text{ A} / 2,5 \text{ mm}^2 = 8 \text{ A}$, namun Ketika luas penampangnya di perkecil misal sebuah kabel $2,5 \text{ mm}$ disambung dengan kabel berukuran $1,5 \text{ mm}$, maka kerapatan arusnya sebesar 13.33 A . (Suhadi, 2008; Sumardjati, 2008) Untuk lebih jelasnya lihat gambar dibawah ini :



Gambar 3. 1 ilustrasi kerapatan arus listrik

Luas penampang kabel yang biasa digunakan untuk instalasi suatu rangkain biasanya sudah ditentukan oleh pabrikan dan memiliki kemampuan hantar arus (KHA) yang telah ditetapkan, untuk melihat kemampuan hantar arus sesuai luas penampang yang ada maka dapat dilihat pada gambar table KHA dibawah ini :

Penampang Penghantar mm ²	Kemampuan Hantar Arus (A)			
	Kelompok B2		Kelompok C	
	Jumlah Penghantar			
	2	3	2	3
1,5	16,5	15	19,5	17,5
2,5	23	20	27	24
4	30	27	36	41
6	38	34	46	41
10	52	46	63	57
16	69	62	85	76
25	90	80	112	96

Gambar 3. 2 Tabel KHA

2. Tahanan Penghantar

Ada beberapa jenis penghantar yang digunakan pada instalasi listrik biasanya penghantar terbuat dari bahan logam yang mudah mengalirkan listrik diantaranya ialah, Aluminium dan tembaga yang memiliki daya hantar listrik paling tinggi , bahan logam sendiri terdiri dari sekumpulan atom , yang mana setiap atom terdiri dari elektron dan proton, Adapun aliran arus listrik yang mengalir merupakan elektron, Ketika sejumlah elektron bebas mengalir pada sebuah logam maka elektron tersebut mendapat hambatan Ketika melewati atom sebelahny yang mengakibatkan terjadinya gesekan elektron dengan atom dan hal ini menyebabkan penghantar konduktor menjadi panas. (Generation et al., 2019; Prayoga & S, 2010; Wu et al., 2015)Tahan berbahan konduktor dipengaruhi oleh empat faktor :

- Berbanding lurus dengan Panjang penghantar
- Berbandin terbalik dengan luas penghantar
- Bahan baku material penghantar
- Suhu penghantar

Besarnya tahanan berdasarkan hukum Ohm dinyatakan

$$R = \rho \cdot L/A \text{ ----- } \rho = \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$$

Dimana :

R = tahanan Konduktor Ω

P = Tahanan jenis Konduktor ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

L = Panjang Konduktor m

A = Luas Penampang Konduktor mm^2

Tabel 3. 1 Tahanan Jenis penghantar

Bahan Penghantar	$\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$	$\text{m}/\Omega \text{ mm}^2$
Alumunium (Al)	0,00278	36
Tembaga (Cu)	0,0178	56
Perak (Ag)	0,0167	60
Emas (Au)	0,022	45,7

Sebagai contoh penghantar alumunium mempunyai luas penampang $1,5 \text{ mm}^2$, dan panjang alumunium 50 m , tahanan alumunium 0,0278 , hitunglah tahanan penghantar tersebut

Jawab :

$$R = \rho \cdot L/A$$

$$0,0278 \Omega \text{ mm}^2/\text{m} \times 50 / 1,5 \text{ mm}^2$$

$$= 0,926 \Omega$$

3. Elemen Rangkaian Listrik

Pada suatu rangkain listrik ada elemen yang Menyusun pada rangkaian tersebut sehingga listrik dapat tersalurkan ada dua elemen yang akan dipelajari pada sub bab ertemuan ini yaitu elemen aktif termasuk sumber arus dan sumber tegangan, kemudian elemen pasif seperti resistor, kapasior dan inductor. Namun pada pembahasan disii semua elemen dihitung berdasarkan kedanaan normal /ideal tanpa adanya gangguan dari lingkungan luar. (Aslimeri, 2008; Norby, 2013; Prayoga & S, 2010).

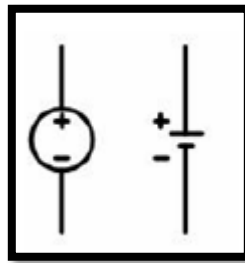
a. Elemen aktif

1) Sumber tegangan

Untuk elemen aktif sumber tegangan ideal sumber ini tidak dipengaruhi oleh arus yang berada mengalir pada sumber tegangan tersebut, walaupun sumber tegangan berdsarakan satuan waktu (t)

a) Sumber Tegangan Bebas

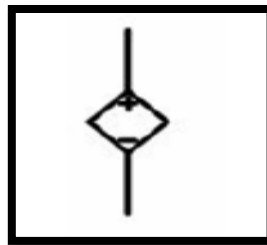
Dapat diartikan bahwa sumber tegangan bebas ialah tetap namun memiliki sifat special yaitu harga tegangannya tidak bergantung pada arus atau tegangan yang lain atau dengan kata lain berasal dari sumber itu sendiri.



Gambar 3. 3 Lambang sumber tegangan bebas

b) Sumber tegangan tak bebas

Dapat dinyatakan bahwa sumber tegangan ini dipengaruhi oleh arus atau tegangan lainnya.



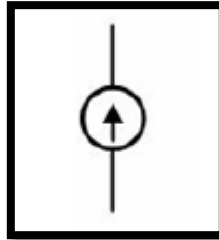
Gambar 3. 4 Lambang sumber tegangan tak bebas

2) Sumber Arus

Sumber arus ideal ialah sumber yang menghasilkan arus dan tidak bergantung pada arus lain dan tegangan lain.

a) Sumber Arus bebas

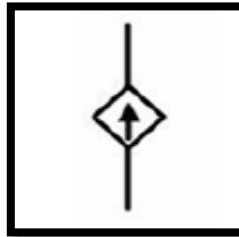
Dapat diartikan bahwa sumber Arus bebas ialah tetap namun memiliki sifat special yaitu harga Arus tidak bergantung pada arus atau tegangan yang lain atau dengan kata lain berasal dari sumber itu sendiri.



Gambar 3. 5 Lambang sumber arus bebas

b) Sumber Arus Tak bebas

Dapat dinyatakan bahwa sumber Arus ini dipengaruhi oleh arus atau tegangan lainnya.



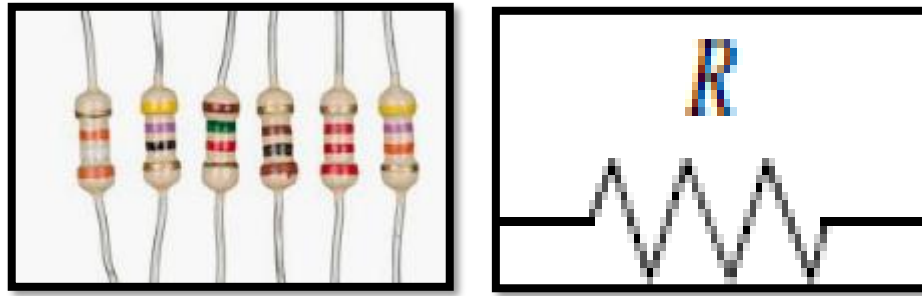
Gambar 3. 6 Lambang sumber arus tak bebas

b. Elemen Pasif

Pengertian elemen pasif yaitu elemen yang tidak dapat menghasilkan energi atau daya namun hanya bisa mengubah atau menyalurkan berdasarkan nilainya tetapi harus ada sumber arus atau tegangan yang masuk, sehingga dinamakan elemen pasif contohnya resistor, kapasitor dan *inductor*.

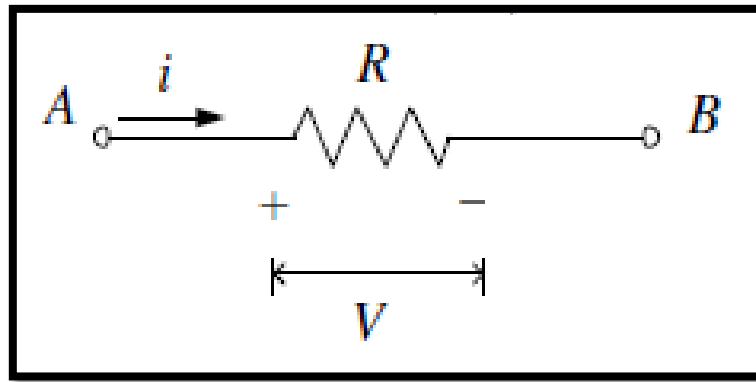
1) Resistor

Resistor merupakan eemen pasif yang berfungsi untuk menahan arus yang mengalir pada sebuah rangkaian, pada tahanan ideal arus yang mengalir berbanding lurus dengan tegangan, Resistor juga merupakan perangkat yang digunakan dalam berbagai rangkaian untuk membuat arus dan voltase sesuai keinginan kita. Simbol Resistor ialah R(Noor & Saputera, 2014)



Gambar 3. 7 resistor tetap dan lambang resitor pada rangkain

Perhatikan gambar dibawah ini :



Gambar 3. 8 contoh rangakain dan resitan

Pada gambar diatas dijelaskan tegangan AB ialah $V_{AB} = I \times R$

Dimana:

I = Arus

R = tegangan

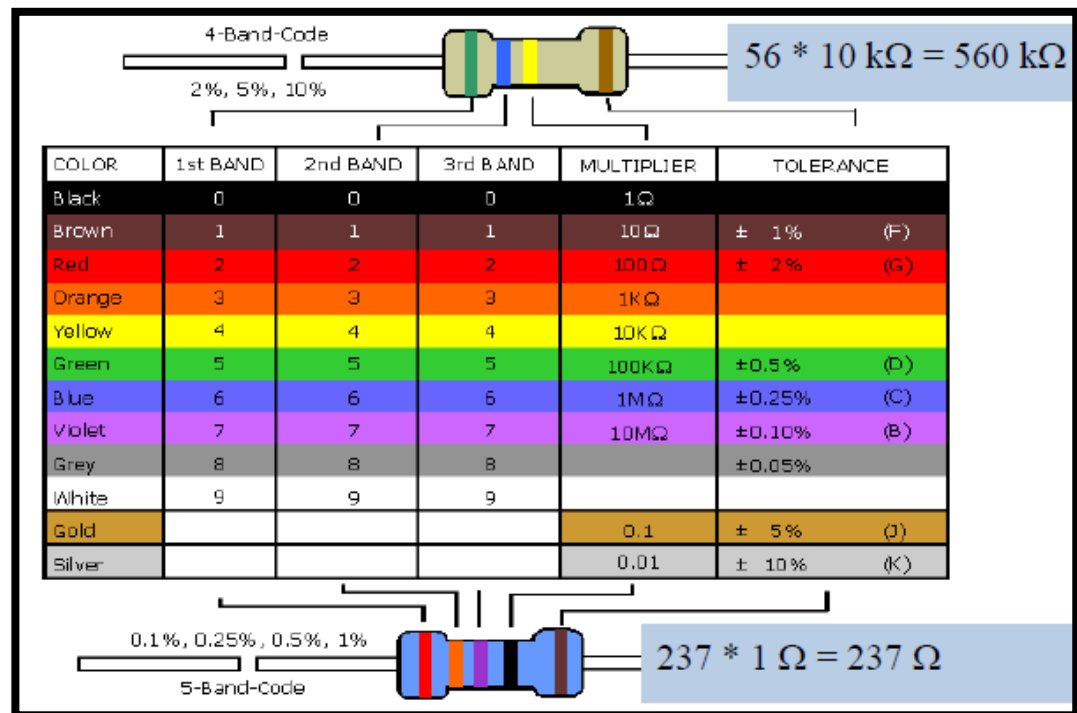
V_{AB} = Tegangan pada terminal

Berdasarkan hukum Ohm , resistor terbagi menajdi dua yaitu resistor linier dan resistor non linier.

2) Resistor linier

Resistor jenis ini basa digunakan pada rangkaian elektronika , untuk mengetahui nilai tahana pada resistor ini bisa dilihat berdasarkan nilai pada warna yang tertera pada jenis resistor ini

Untuk lebih jelas perhatikan gambar berikut :



Gambar 3. 9 Nilai warna pada resistor

Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui untuk mencari nilai tahan pada resitor dengan melihat garis gelang berwarna pada resistor tersebut, contoh diatas untuk gelang berjumlah empat (4 kode warna) warna pertama Hijau = 5 warna kedua Biru = 6 warna ke tiga sebagai faktor pengali kuning = 10 ohm warna ke empat gold yaitu ytoleransi pada resistor tersbeut yaitu = +- 5 % . Untuk resistor dengan jumlah gelang lima maka fakto rpengalinya terletak pada gelang ke empat.

3) Resistor non linier

Pada jenis resitor ini nilai tahanannya tidak tetap atau dapat dipengaruhi oleh kodnisi luar atau kondisi lingkungan misalnya, cahaya, getaran , atau suara. Tergantung dari kondisi yang memicu perubahan tersebut. Ada beberapa jenis resistor non linier diantaranya :

a) Fotoresistor

Merupakan jenis resistor yang prinsip kerjanya dengan beracuan pada sinar atau cahaya yang diterima semakin gelap maka nilai tahannnya semakin besar, ketika semakin terang cahaya maka nilai tahannya akan

semakin turun, untuk penggunaan resistor jenis ini biasa pada control lampu parker, control lampu otomotif sensor.

b) Termistor

Resistor jenis ini prinsip kerjanya didasari oleh suhu atau tempratur yang muncul pada resistor yang disebabkan dari panas dai luar maupun panas dari resistor itu sendiri, ketika mengalami perubahan suhu yang tinggi maka tahanan akan berubah juga, diaantar jenis resistor ini ilah (*Positif temperature Coeficient*) PTC dan (*negative temperature Coeficient*) NTC. Prinsip PTC ialah ketika tempratur naik maka tahan akan naik sedangkan NTC ialah sebaliknya. Contoh pengaplikasiannya ialah di mesin pendingin , *thermostat* pada *air conditioner* dan lain lain.

c) Volt defenden resistor (VDR)

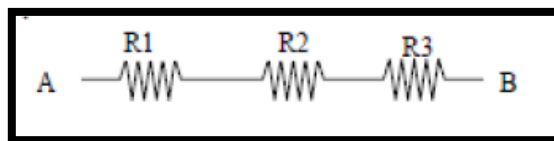
Prinsip kerja pada resistor ini ialah bergantung pada tegangan yang mengalir pada rangkain tersebut .

4) Rangkaian pada Resistor

Nila tahanan pada suatu rangkaian bisa berubah ubah tergantung dari skema rangkaian yang digunakan, [ada umumnya resistor terdiri dari rangkaian seri, pararel ,dan kombinasi.(Ilmiah, 2016)

a) Rangkaian seri

Pada rangakain ini posisi resistor disusun secara seri Adapun nilai total tahanan merupakan penjumlahan dari seluruh tahan yang ada , berikut contoh rangkaian seri :



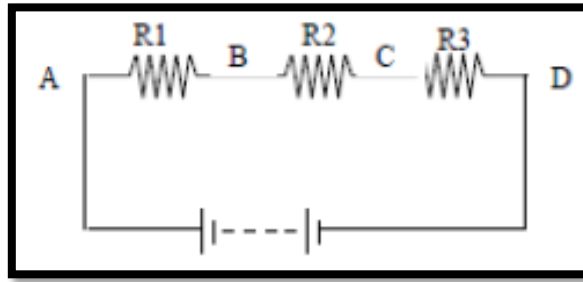
Gambar 3. 10 rangkain seri pada resistor

Besarnya tahanan total / R_{Tot} anantara A dan B = $R1 + R2 + R3$

Contoh :

Sebuah rangkaian resistor disusun secara seri , jika diketahui $R1 = 5$ Ohm $R2 = 6$ Ohm $R3 = 7$ Ohm dan diketahui tegangan sumbernya ialah 12 Volt , hitunglah tahanan total A-D dan besarnya tegangan pada titik

A- B.



Gambar 3. 11 Rangkaian tertutup

Jawab :

Besarnya tahanan A-D

$$R_{A-D} = R1 + R2 + R3$$

$$R_{A-D} = 5 + 6 + 7 = 18 \text{ Ohm}$$

$$\text{Tegangan } V1 = R1 \times I$$

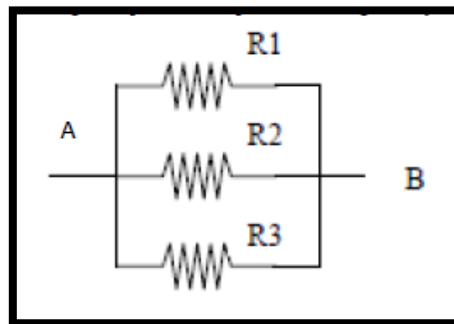
$$I = E / R_{A-D}$$

$$12/18 = 0,6 \text{ A}$$

$$V1 = 4 \times 0,6 = 2,4 \text{ Volt (jadi tegangan antara A ke B = 2.4 Volt$$

b) Rangkaian Pararel

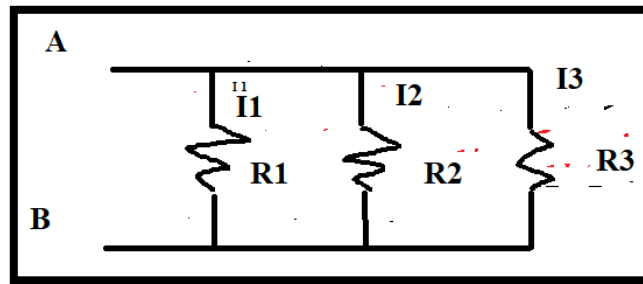
Pada rangkaian resistor pararael , resistor dihubungkan secara pararael seperti gambar dibawah ini :



Gambar 3. 12 rangkaian resistor pararel

Besarnya nilai tahanan tota ialah $1/ R \text{ Tot} = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3$

Contoh tentukan tahanan ada rangakain dibawah ini jika diketahui $R1 = 3$, $R2 = 6$, $R3 = 9$



Gambar 3. 13 contoh soal

Jawab

$$1/R_{\text{Tot}} = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3$$

$$1/R_{\text{Tot}} = 1/3 + 1/6 + 1/9 \rightarrow 6/18 + 3/18 + 2/18 = 11/18$$

$$1/R_{\text{Tot}} = 11/18 \rightarrow 18/11$$

Jadi total tahanannya ialah 18/11 ohm

5) Kapasitor (C)

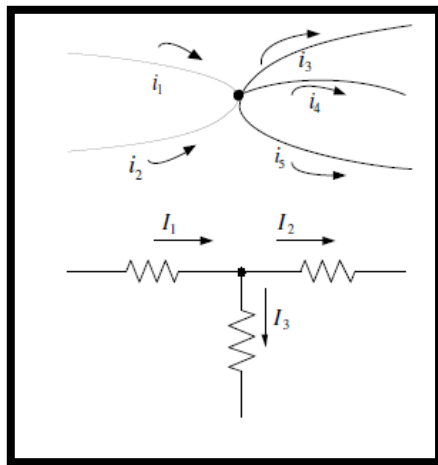
Kapasitor berfungsi untuk membatasi arus DC yang mengalirinya rangkaian pada kapasitor tersebut juga menyimpan energi dalam bentuk medan listrik secara sementara, misalnya sebuah kapasitor dialiri arus maka yang terjadi ialah pada kedua ujung kapasitor akan muncul beda potensial.

6) Induktor (L)

Merupakan komponen yang berfungsi untuk menyatakan tegangan dalam medan magnet, misal ketika arus listrik yang masuk pada induktor berubah, maka fluks magnet disekelilingnya akan mengalami perubahan, perubahan tersebut mengakibatkan terjadinya emf.

4. Hukum Kirchoff

- a. Hukum Kirchoff KCL (Kirchof Current Laws) jumlah arus yang menuju titik cabang jumlahnya sama dengan arus yang meninggalkan titik cabang.



$$i_1 + i_2 = i_3 + i_4 + i_5$$

atau

$$i_1 + i_2 - i_3 - i_4 - i_5 = 0$$

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

Gambar 3. 14 Hukum Kirchoof 1

Keterangan penjelasan :

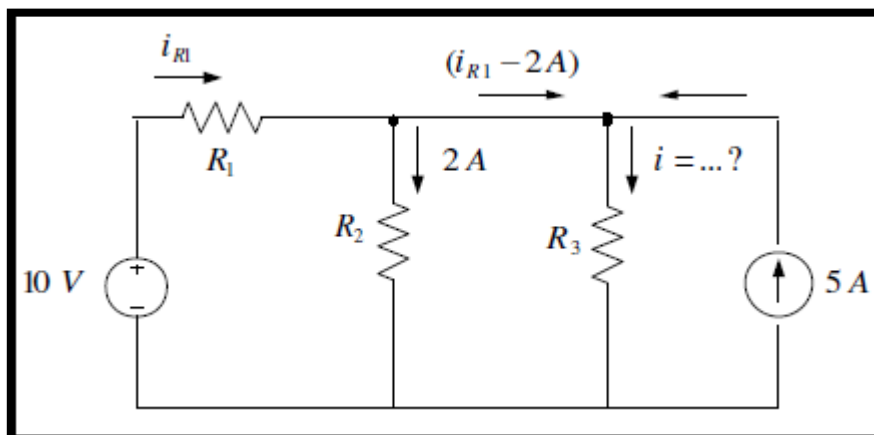
Loop : contoh loop merupakan lintasan yang kita mulai sampai kita Kembali lagi

Simpul : Tempat dua atau lebih dimana memiliki hubungan pada satu titik

Cabang: merupakan lintasan dalam sebuah jaringan dari sebuah elemen dan simpul tiap ujung elemen tersebut

Contoh 1 :

Perhatikan gambar dibawah ini ,diketahui sumber tegangan memasok arus sebesar 3 Ampere, ditanyakan hitunglah arus yang mengalir pada resistor R3



Untuk menjawab rangkaian diatas perhatikan anda diminta mengidentifikasi tujuan dari soal diatas :

Untuk arus yang mengalir R_3 sudah diberikan keterangan pada tanda $i = ?$

Arus tersebut mengalir dari titik simpul atas R_3 , yang kemudian dihubungkan pada tiga buah rangkaian lain, arus yang mengalir masuk kedalam node dari masing-masing cabang dan ditambahkan untuk membentuk arus I

Dengan mengkomulatifkan arus-arus yang mengalir masuk kedalam node akan diperoleh persamaan dibawah ini:

$$I - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

Pada sumber tegangan 10 Volt menyuplai arus sebesar 3 A, menunjukkan bahwa arus ini merupakan I_1

Maka didapatkan :

$$I - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

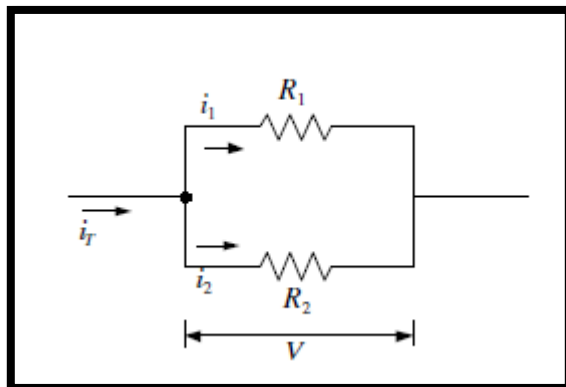
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I = 3 + 2 + 5$$

$$I = 10 \text{ A}$$

Contoh 2 :

Tentukan arus yang mengalir pada rangkaian resistor dibawah ini



Jawab :

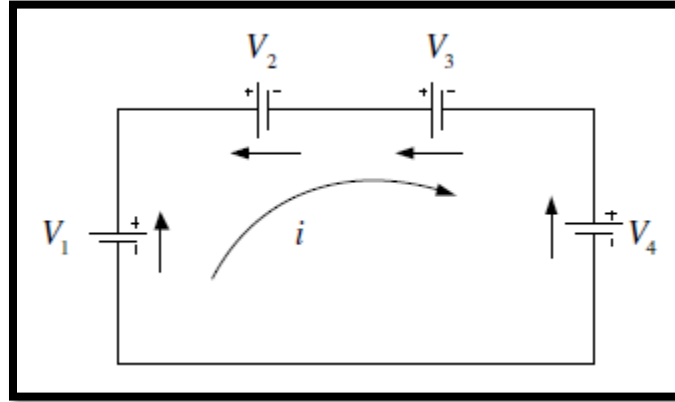
$$I_1 = V/R_1$$

$$I_2 = V/R_2$$

$$I_T = I_1 + I_2$$

5. Hukum Kirchoff II (*Kirchoff Voltage law*)

Hukum kirchoff II berbunyi semua atau seluruh tegangan yang mengelilingi sebuah rangkaian tertutup sama dengan nol (0)



$$V_1 = V_2 + V_3 + V_4$$

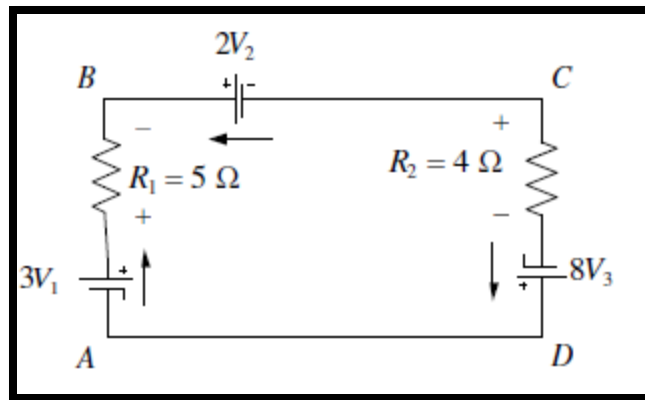
$$V_1 - V_2 - V_3 - V_4 = 0$$

Berikut penjelasanya mengenai rangkaian diatas :

- Tarik tanda arrow poytensial dari sumber negatif ke positif
- Tentukan arah mengalirnya arus
- Selain setiap resistor, gambarkan panah beda potensial dengan arah yang berlawanan dan dengan aliran arus
- Tulslah persamaan tegangan kirchof II ayang dimulai pada sembarang titik dan berakhir pada titik itu juga

Contoh :

Tentukan arus I ada rangkaian dibawah ini



Jawab :

$$V_1 - IR_1 - V_2 - IR_2 + V_3 = 0$$

$$V_1 - V_2 + V_3 = IR_1 + IR_2$$

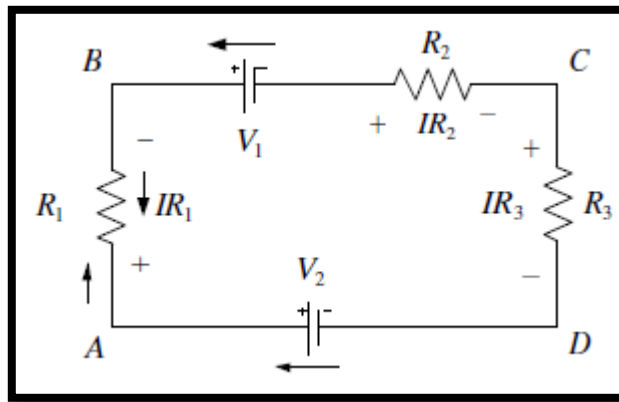
$$3 - 2 + 8 = I(5 + 4)$$

$$9 = I(9)$$

$$I = 1 \text{ Amere}$$

Contoh 2

Tentukanlah arus yang mengalir pada rangakain diabawah ini



Jawab :

Loop ABCD

$$-IR - V_1 - IR_2 - IR_3 + V_2 = 0$$

$$V_2 - V_1 = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

$$V_2 - V_1 = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

$$I = \frac{V_2 - V_1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Diketahui $R_1 = 5 \text{ Ohm}$, $R_2 = 3 \text{ Ohm}$, $R_3 = 4 \text{ Ohm}$

$V_1 = 10 \text{ Volt}$, $V_2 = 25 \text{ Volt}$

Maka Arus I adalah

$$I = \frac{25 - 10}{5 + 3 + 4} = \frac{15}{12} = 1,25$$

$I = 1,25 \text{ Ampere}$

C. LATIHAN SOAL / TUGAS

1. Jelaskan apa yang anda ketahui mengenai kerapatan arus
2. Faktor apa saja yang mempengaruhi nilai tahanan pada sebuah konduktor
3. Jelaskan apa yang anda ketahui mengenai resistor
4. Sebutkan jenis-jenis resistor yang dibutuhkan pada rangkaian listrik pada umumnya
5. Diketahui $R_1=3$ $R_2=4$ $R_3=5$ $R_4=8$ hitunglah nilai resistansi pada rangkaian tersebut jika disusun secara paralel pada sebuah rangkaian.

D. DAFTAR PUSTAKA

- Aslimeri. (2008). *teknik Transmisi Tenaga Listrik*. Direktorat pembinaan sekolah menengah umum.
- Generation, E. P., Practices, D. I., & Management, E. (2019). *Electric Power Generation , Transmission and Distribution Industry Practices and Environmental Characterization*. June, 1–11.
- Ilmiah, P. (2016). *RANCANG BANGUN DAN ANALISA RANGKAIAN PROTOTYPE Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada Jurusan*.
- Noor, S., & Saputera, N. (2014). *KAPASITOR BANK*. 6(2), 1–6.
- Norby, T. (2013). *Electrical measurements*. Department of Chemistry, University of Oslo Gaustadalléen 21, 0349.
- Prayoga, A., & S, E. M. (2010). *Teknik tenaga listrik* (Issue 0806365412).
- Suhadi. (2008). *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Direktorat pembinaan sekolah menengah umum.
- Sumardjati, P. (2008). *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Umum.
- Wu, X., Shen, J., Li, Y., & Lee, K. Y. (2015). *Steam power plant configuration , design , and control*. <https://doi.org/10.1002/wene.161>

PERTEMUAN 4

SUMBER TENAGA LISTRIK

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Sumber Tenaga Listrik”. Setelah mempelajari pertemuan ini, mahasiswa diharapkan Mampu memahami dan membuat rancangan energi yang masuk ke dalam Sumber Tenaga Listrik PLTU, PLTA dan PLTD .

B. URAIAN MATERI

1. Sejarah Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit listrik ditemukan oleh Benjamin Franklin, Alesandro volta dan Michael Faraday pada abad ke 19, dengan temuan yang berbeda tentunya. Michael faraday penemu hubungan pengantar antar listrik dan magnet, dengan berkembangnya pemerataan mesin uap dan penggunaan gas sebagai bahan bakar dan penerangan. Thomas Edison asal Amerika Serikat mengembangkan zat karbon filmen untuk menghasilkan cahaya melalui listrik. Peralatan untuk penerangan banyak digunakan sehingga penggunaannya banyak digunakan pada kereta listrik dan kereta bawah tanah di kota London sehingga, pada abad ke 19 menjadi ikon dalam pembangunan pembangkit listrik. Sehingga pada abad ke-20 pertumbuhan industri pembangkit listrik semakin meningkat dan menjadi sumber energi yang sangat penting di dunia. Key element (elemen kunci) dalam pembangkit listrik adalah transmisi dan distribusi. (Muslim, 2008)

Sumber pembangkit tenaga listrik pertama muncul yaitu pembangkit listrik tenaga uap, awalnya mesin uap hanya mengandalkan kecepatan rotasi yang tinggi agar generator bergerak secara efektif, sehingga Sir Charles Parsons menemukan turbin uap tahun 1884 dengan menggunakan batu bara untuk menaikkan uap air dalam boiler. Sumber pembangkit listrik kedua yaitu banyak menggunakan pembangkit listrik tenaga air dengan memanfaatkan kekuatan air mengalir.

Mesin disel terus diuji coba dan dikembangkan sebelum perang dunia kedua, sehingga muncul penggunaan energi angin dalam menghasilkan tenaga listrik pada abad ke-20. Jadi, pembangkit listrik menggunakan Uap berubah menjadi bahan bakar batu bara, minyak dan gas, menyediakan bersama dengan sumber listrik

tenaga air untuk seluruh masyarakat.(Sumardjati, 2008)

Sumber tenaga listrik yang muncul selanjutnya yaitu listrik tenaga nuklir, pemilihan tenaga nuklir karena murah, dan memiliki teknis yang handal. Tahun 1970-an di Amerika Serikat awalnya tenaga nuklir terus berkembang sehingga negara maju lainnya seperti Jepang, China dan negara lainnya membuat energi nuklir, tetapi tidak bertahan lama pada tahun 1970-an industri nuklir mulai melambat dan meredup.

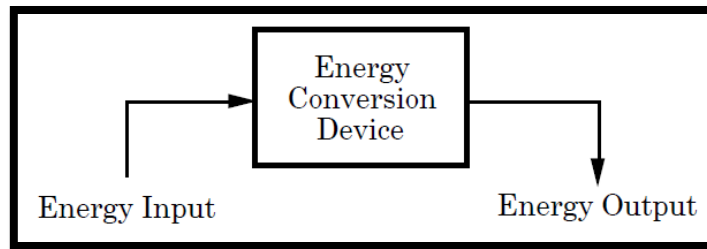
Tahun 1973 dimulai dari pergolakan harga minyak dunia, minyak sebagai bahan bakar utama dalam sistem pembangkit listrik namun harganya sangat melonjak tinggi. Banyak ilmuwan yang melakukan uji coba selama dua dekade untuk mendapatkan alternatif lain selain menggunakan bahan bakar minyak. Hingga tercipta pembangkit listrik tenaga surya dan pembangkit listrik tenaga angin pada abad ke-21. Pembangkit listrik ini elemennya berasal dari tenaga ombak, arus laut, panasnya air laut, tanaman sehingga menghasilkan etanol dan arus.(Prayoga & S, 2010)

Jika kita pahami ketersediaan sumber daya alam dibagi menjadi dua yaitu *renewable resource* (terbarukan) dan *non renewable resource* (tidak terbarukan). Sumber daya alam yang dapat diperbarui merupakan sumber input produksi yang terus menerus tidak dapat diprediksi waktunya sedangkan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui sumber input proses terbatas oleh jangka waktu. Contohnya sumber daya alam tidak terbarukan seperti batu bara, gas dan minyak bumi memerlukan rentang waktu proses jutaan tahun dalam proses pembentukannya dan sebenarnya minyak bumi, nuklir atau uranium, tenaga air, panas bumi, radiasi matahari merupakan energi primer, hasil olahan minyak disebut dengan energi sekunder.

2. Energi Listrik

Energi merupakan kebutuhan utama selama peradaban umat manusia, kebutuhan energi meningkat menjadi indikator kemakmuran manusia, tetapi dalam penerapannya terjadi masalah dalam penyediaan energi seiring menipisnya cadangan minyak bumi di dunia. Sehingga terbentuklah beberapa energi alam sebagai energi alternatif yang aman dan persediaannya tidak terbatas sering dikenal dengan Energi terbarukan. Diilustrasikan dalam gambar berikut untuk memahami mengapa pasokan energi dan permintaan pada skala makro dunia sangat

tergantung pada keseimbangan antara input energi dan output dalam perangkat yang kita gunakan di rumah maupun di tempat kerja kita.



Gambar 4. 1 Representasi skematis dari perangkat konversi energi

Keterangan gambar :

Energy Output = Energy Input (Hukum 1)

Useful Energy Output Energy Input (Hukum 2)

Efisiensi perangkat konversi energi adalah keseimbangan antara input energi dan output energi. Hal ini didefinisikan sebagai berikut :

$$\text{efisiensi energi} = \frac{\text{Energi output yang dikeluarkan}}{\text{input energi}}$$

Strategi energi Nasional mencerminkan komitmen Nasional untuk efisiensi yang lebih besar dalam setiap elemen produksi energi dan penggunaannya. Efisiensi energi yang lebih besar dapat mengurangi biaya energi kepada konsumen, meningkatkan kualitas lingkungan, mempertahankan dan meningkatkan standar hidup kita, meningkatkan kebebasan dan keamanan energi kita, dan meningkatkan perekonomian yang kuat.

Dengan adanya Energi tersebut terdapat muatan listrik sebagai gaya yang bekerja. Percobaan dilakukan gaya, kedudukan relatifnya dan kecepatannya bergantung pada muatan listrik. Gaya yang timbul terdapat dua perbedaan jika terdapat suatu muatan disebut dengan gaya listrik, apabila disebabkan oleh kecepatan muatan maka disebut dengan gaya magnet.

Dari energi terciptalah suatu pembangkit listrik yaitu suatu alat berskala besar untuk dapat memproduksi dan membangkitkan energi listrik sehingga dapat digunakan oleh masyarakat. Produksi dan pembangkitan energi listrik diperlukan

suatu sumber. sebagai tenaga pembangkitnya seperti sumber tenaga surya (PLTS), sumber tenaga air (PLTA), sumber tenaga uap (PLTU), sumber tenaga diesel (PLTD), sumber tenaga gas (PLTG), sumber tenaga panas bumi (PLTP) dan sumber tenaga nuklir (PLTN). (Aslimeri, 2008; Muslim, 2008; Sumardjati, 2008)

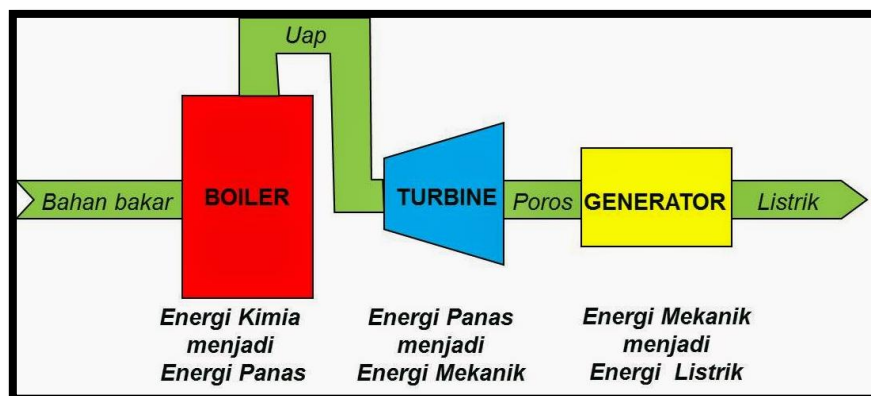
3. Konversi Energi

Konversi energi merupakan perubahan bentuk dari satu energi menjadi bentuk energi lain, dalam hukum konversi energi tidak dapat diciptakan bahkan dimusnahkan tetapi energi dapat berubah bentuk dari bentuk satu ke bentuk lain. Contohnya pada kehidupan manusia sehari-hari energi listrik merubah menjadi energi cahaya lampu, menyalakan tv dan charger handphone, energi listrik pada air conditioner motor listrik menyala dan adanya perputaran udara.

4. Pembangkit Listrik Tenaga UAP (PLTU)

PLTU adalah jenis pembangkit listrik termal yang dapat mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik dan memiliki biaya rendah atau sering disebut dengan ekonomis. Dalam konversi energi PLTU terdiri dari tiga tahapan :

- Energi kimia yang terdiri dalam bahan bakar dirubah menjadi energi panas dalam bentuk uap karena memiliki temperatur tinggi
- Energi panas berbentuk uap merubah menjadi energi mekanik bentuk putaran
- Energi mekanik tersebut merubah menjadi energi listrik



Gambar 4. 2 Prinsip kerja PLTU

5. Bagian-bagian PLTU

Terdapat bagian utama dan bagian penunjang dalam PLTU :

a. Bagian utama

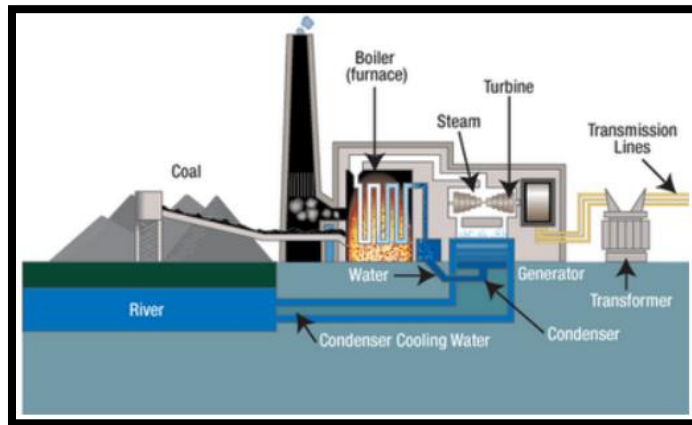
- 1) Terjadi perubahan air menjadi uap panas dan dipanaskan kembali agar turbin dapat memutar istilah tersebut dinamakan Boiler.
- 2) Istilah kedua Kondesor agar mengkondensasi uap setelah digunakan, setelah itu proses generator dapat mengubah turbin kedalam energi listrik.

b. Peralatan penunjang

- 1) Desalination plant dengan proses penyulingan dapat mengubah air laut menjadi air tawar Bahasa ilmiah evaporasi dan kondensasi, karena sifat air laut dapat menyebabkan korosi pada kerusakan peralatan.
- 2) Reverse osmosis untuk menyaring garam yang ada pada air laut hampir sama dengan desalination plant.
- 3) Pre-treatment atau unit pendinginan dapat menghilangkan endapan kotoran dengan menggunakan air tanah atau sungai
- 4) Hydrogen unit
Berfungsi untuk mendinginkan generator
- 5) Chlorination unit
Untuk mengecilkan organisme mikro pada area water intake, agar meminimasi organisme laut berkembangbiak.
- 6) Auxiliary boiler
Sebagai bantuan dalam menghasilkan uap saat air merubah menjadi uap panas, berbahan bakar minyak.
- 7) Unit pelayanan batu bara
Proses bongkar muat di dermaga sampai ke unit-unit yang membutuhkan.
- 8) Unit pelayanan abu
Pelayanan proses pengolahan abu, pada saat abu jatuh dan terbang sampai ke unit penampungan abu atau unit utama.

6. Proses Kerja PLTU

Dalam proses pembangkit listrik tenaga uap proses menggunakan fluida untuk sirkulasi secara berulang dengan proses sirkulasi :



Gambar 4. 3 proses kerja PLTU

Air dimasukkan kedalam boiler sampai terisi penuh dan terjadi pemindahan panas, lalu dilakukan pembakaran dengan gas dan udara sehingga terjadinya uap. Uap hasil produksi boiler dijadikan daya mekanik diarahkan dalam memutar turbin. pada saat turbin memutar, generator menghasilkan energi listrik dari output generator. Setelah proses berlangsung uap yang dipanaskan keluar, dilakukan proses pendinginan dan berubah menjadi air kondensat, air kondensat dimasukkan kembali kedalam boiler, proses kerja ini berlangsung terus menerus pada pembangkit listrik tenaga uap.

Air yang disimpan pada DAM melebihi ketinggian yang dapat mengalir normal dapat dikatakan dengan Head, terdapat perhitungan efisiensi head efektif dengan head netto dengan kerugian terjadi pada pesat pipa sama, sehingga penghentian menyebabkan head terjadi tekanan terbalik dalam turbin yang masih dalam proses.

7. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Kelemahan dan Kelebihan Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Kelemahan pembangkit listrik tenaga surya :

- Proses pembangkit energi listrik hanya dapat dilakukan pada siang hari saat adanya matahari, jika musim hujan konversi energi listrik tidak optimal.

- b. Bahan pembuatan jenis sel fotovoltaik pembangkit listrik tenaga surya masih mahal.

Kelebihan pembangkit listrik tenaga surya :

- a. Bentuknya mudah dan ringkas, perawatan mudah dan sederhana
- b. Dapat bekerja secara otomatis, tidak berdampak negatif pada lingkungan
- c. Pemasangannya tidak memerlukan kabel distribusi
- d. Tidak terdapat peralatan yang bergerak sehingga tidak perlu penggantian suku cadang penyetelan mesin pada pelumasan.

8. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

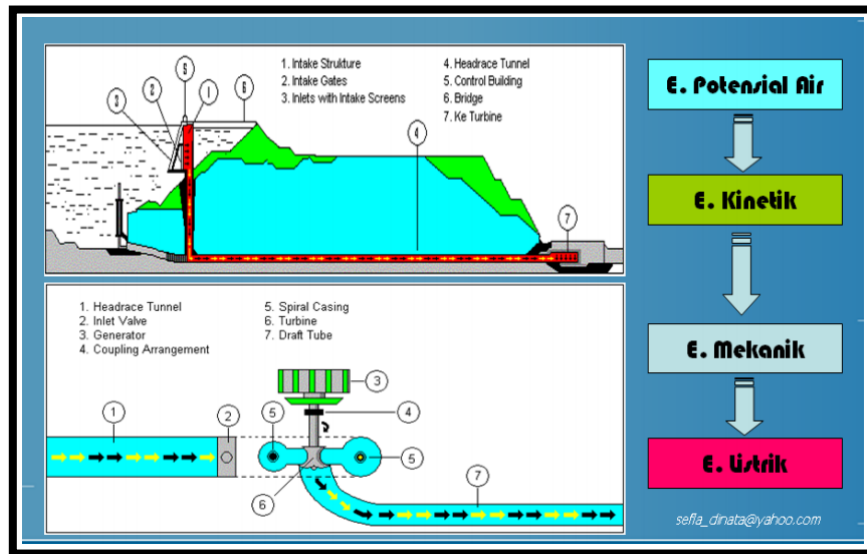
Dalam beberapa tahun terakhir meningkatnya minat tantara energi dengan air yang sering disebut dengan energi air. Sebagian besar abad ke-20 sumber daya tersebut memiliki hubungan yang berkelanjutan, sehingga perlu dikelola lebih komperhensif dan memiliki manajemen terpadu. Dengan air dapat digunakan untuk mengekstrak dan memproduksi energi, proses, memperbaiki bahan bakar, membangun, mengoperasikan dan memelihara fasilitas energi listrik, hydroelectric, dan membuang limbah sektor energi.

Penggunaan energi juga dapat mempengaruhi kualitas air dan berdampak pada kesehatan manusia dan lingkungan. Contohnya pada lingkungan, pembuangan limbah panas dari sistem pendinginan, misalnya, menaikkan suhu sungai dan danau, yang mempengaruhi ekosistem akuatik. Sampah akibat penambangan mengandung bahan bakar fosil, keretakan hidrolik, jika dilakukan pendinginan dalam suatu proses energi akan terkontaminasi dengan logam berat, asam, bahan organik dan bahan kimia lainnya. Padahal bagaimanapun, kualitas air juga sangat diperlukan dalam proses energi pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Terdapat sistem pembangkit energi listrik dengan mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik oleh turbin bahkan dapat diubah menjadi energi listrik lagi yang dapat bermanfaat untuk manusia oleh generator, dengan memanfaatkan ketinggian dan kecepatan dari aliran air, sistem tersebut yaitu sistem pembangkit tenaga air (PLTA). Pada saat bahan bakar minyak banyak menghasilkan polusi pada lingkungan dan menipisnya bahan bakar minyak PLTA mulai di lirik oleh sejumlah

pengusaha, karena PLTA memiliki persediaan air yang dapat diperbaharui dan tidak habis, ramah lingkungan karena tidak memakai bahan bakar, sedikit kemungkinannya terdapat resiko meledak, jika dibandingkan dengan generator jenis lainnya dapat lebih menguntungkan. (Charles & Gustaf, 2011; Circutor, 2018; Engineering, n.d.)

Jenis energi dalam PLTA

Terdapat tiga jenis energi dalam PLTA pada proses pertama ialah energi potensial diproses menjadi energi kinetik, energi kinetik dengan prosesnya merubah menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini yang merubah proses menjadi listrik yang diteruskan melalui generator. Komponen dasar PLTA adalah Turbin, generator dan transmission.



Gambar 4. 4 Energi PLTA

a. Jenis Energi Potensial

Dalam mengalirnya air mengalir merubah menjadi energi potensial akibat adanya perbedaan ketinggian, dengan persamaan berikut :

$$\text{Energi potensial} = m \cdot g \cdot h$$

Keterangan :

m = massa (kg)

g = gravitasi (9.8 kg/m^2)

h = ketinggian (m)

b. Energi mekanik

Energi mekanik terjadi karena proses turbin sedang berlangsung (bergerak), dengan persamaan berikut :

$$\text{Energi mekanik} = T \times w \times t$$

Keterangan :

T = torsi

w = sudut putar

t = waktu (s)

c. Energi kinetik

Terdapat aliran air, aliran air tersebut memiliki kecepatan yang berbeda-beda dinamakan dengan energi kinetik, dengan persamaan :

$$\text{Energi kinetik} = 0.5 \times m \times v$$

Keterangan =

m = massa (kg)

v = kecepatan (m/s)

d. Energi listrik

Akibat adanya perputaran pada generator rotor poros turbin berputar menghasilkan listrik, dengan persamaan :

$$\text{Energi Listrik} = V \times I \times t$$

Keterangan :

V = tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

t = waktu (s)

9. Bagian PLTA

a. PLTA Bendungan

Bendungan sering disebut dengan DAM berfungsi sebagai pembendung sungai terlihat seperti waduk untuk menaikkan permukaan atas air sehingga permukaan naik agar mempercepat energi listrik. Tipe dari DAM adalah bendungan urugan tanah jenis PLTA kapasitas kecil dan bendungan urugan batu untuk PLTA kapasitas sedang. (Short, 2004)



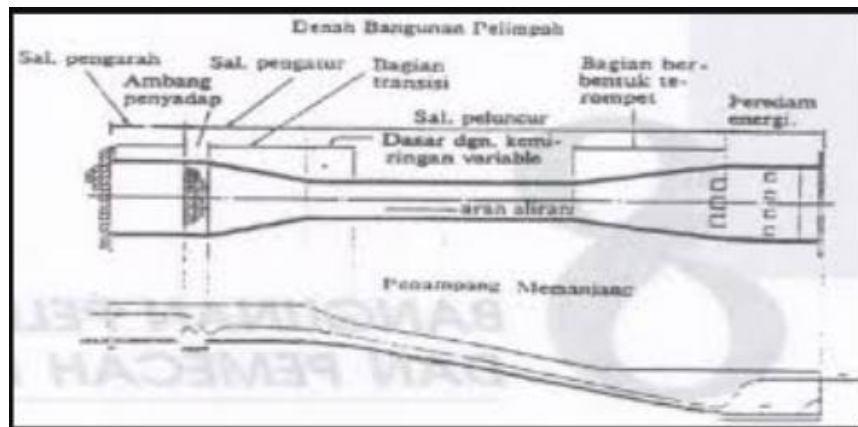
Gambar 4. 5 DAM PLTA

b. Waduk

Waduk dibuat untuk mendapatkan tampungan air sebanyak mungkin dan pembuatannya tentu diatas permukaan air sehingga mendapatkan air sesuai dengan yang dibutuhkan, tempat pergerakan turbin.

c. Bendungan pelimpah

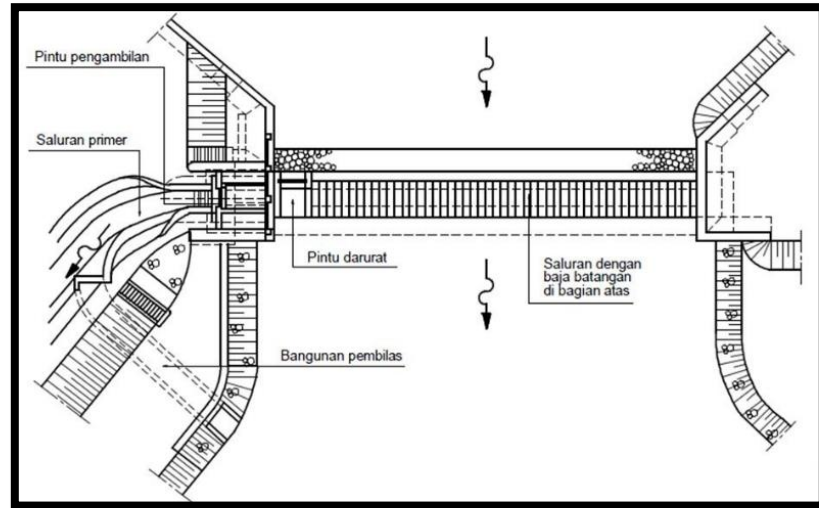
Yang didesain untuk melimpahkan air apabila kondisi banjir tentunya permukaan air pada waduk melampaui batas.



Gambar 4. 6 sistem bendungan pelimpah

d. Saringan pada bendungan

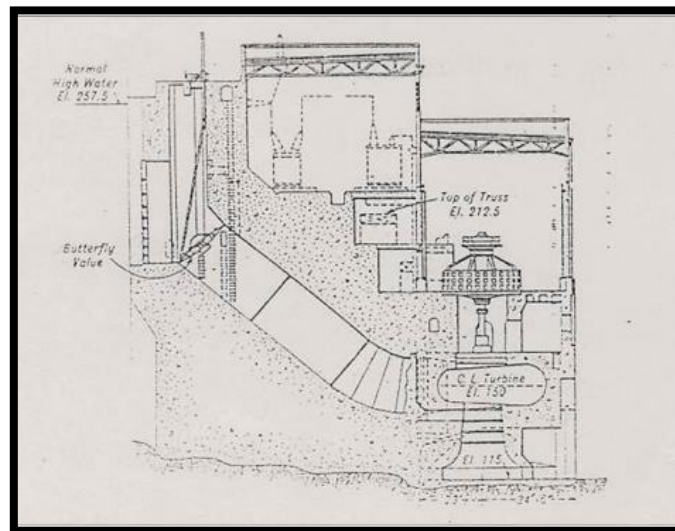
Bertujuan untuk menyaring kotoran-kotoran samoaah agar air tetap bersih sehingga tidak mengganggu proses mesin sat beroperasi



Gambar 4. 7 sistem saringan bendungan

e. Bangunan pengambil air

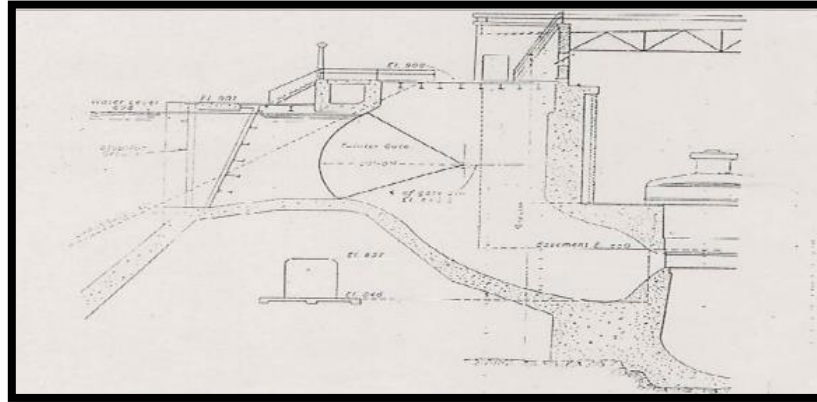
Bagunan ini berfungsi untuk mengukur kebutuhan air, mengontrol masuknya sampah kedalam bendungan agar mudah dalam pengontrolannya.



Gambar 4. 8 sistem pengambilan air

f. Intake Gate

Merupakan pintu untuk pengambilan air jika pipa pusat dalam keadaan kosong, intake gate sering disebut pintu pemeliharaan.



Gambar 4. 9 sistem intake gate

g. Gedung sentral

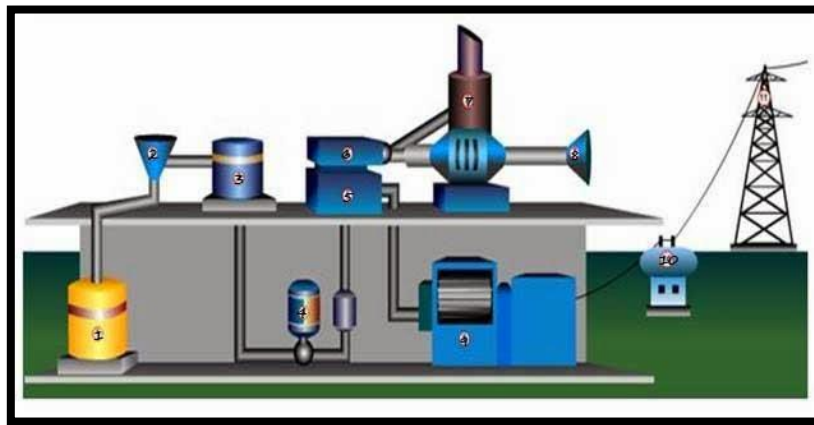
Gedung sentral merupakan pusat untuk mengontrol pembangkit, yang terdiri dari turbin air, generator peralatan bantuan sampai dengan ruang control. Jenis bangunan beradadiatas permukaan tanah, semi bawah tanah, dan dibawah tanah.



Gambar 4. 10 gedung sentral PLTA

10. Bagian Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Pusat pembangkit listrik tenaga diesel memiliki bahan dasar dari bahan bakar minyak atau bahan bakar gas, pembangkit listrik tenaga mesin diesel ini menggunakan penggerak pemula yaitu motor diesel, berfungsi dalam memutar rotor pada generator. Motor diesel, cara bekerja motor diesel dengan menyemprotkan bahan bakar ke dalam temperatur udara tekanan tinggi, jika dibandingkan dengan motor lain, motor pada diesel tidak banyak mengandung komponen beracun sehingga meminimasi pencemaran udara, sebagai penggerak mesin di industri harga motor diesel cenderung lebih murah. Motor diesel digunakan untuk listrik daerah kecil atau pedesaan dan kebutuhan listrik pabrik skala beban kecil. Pembangkit listrik tenaga diesel memiliki beberapa komponen hingga tersambung, bagian tersebut sebagai berikut :

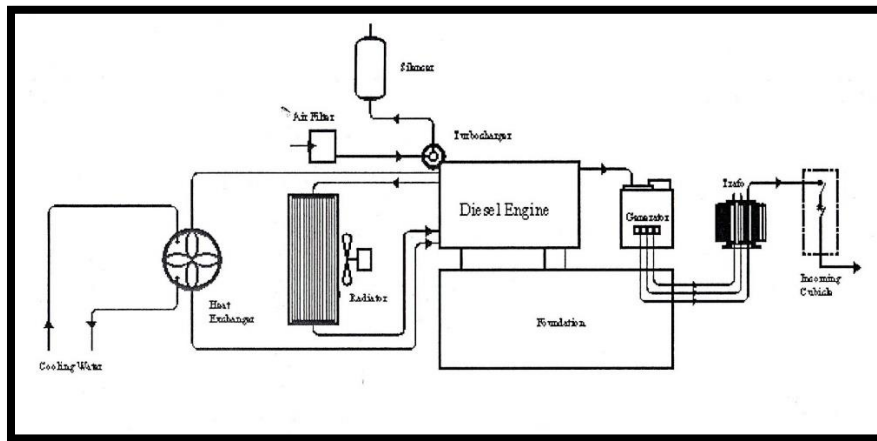


Gambar 4. 11 bagian pembangkit tenaga diesel

- a. Tangki penyimpanan bahan bakar
- b. Penyaring bahan bakar
- c. Tangka bahan bakar yang telah disaring
- d. Nozel (pengabut)
- e. Mesin diesel
- f. Charger turbo
- g. Gas pembuangan (penyaringan)
- h. Tempat pembuangan gas

- i. Generator
- j. Trafo
- k. Saluran transmisi

11. Skema PLTD



Gambar 4. 12 Skema PLTD

Skema diatas menjelaskan dalam pembakaran membutuhkan oksigen diudara pusat disel atau disel engine untuk mendapatkan kinerja optimal, sehingga air filter dapat menyaring udara masuk ke turbocharger. Dalam disel engine menggunakan solar untuk bahan bakar sehingga menghasilkan listrik karena berputarnya generator, listrik dihubungkan ke trafo dan gardu listrik. Setelah itu terdapat sistem pendingin pada minyak pelumas mesin, yang sering dipakai yaitu heat exchanger air didinginkan dan dialirkan terus dari sumber terdekat seperti laut, danau, sungai atau kolam. Air dialirkan secara konstan melalui pipa-pipa hingga pipa minyak pelumas. Terdapat sistem pendingin lain yaitu sistem pendingin radiator minyak pelumas didinginkan menggunakan kipas sehingga menghasilkan angin untuk pelumas.

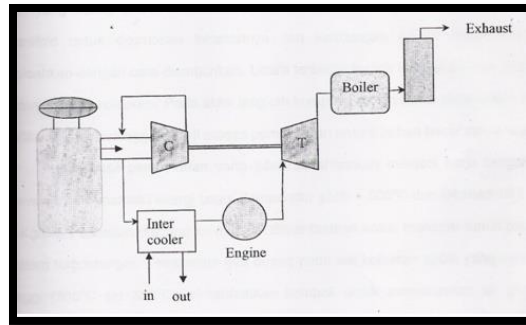
12. Sistem Kinerja PLTD

Dari skema yang ada, sistem PLTD memiliki beberapa sistem kerja yaitu :

- a. Udara gas buang

Sistem ini memiliki fungsi menyediakan udara bersih dalam proses pembakaran,

terdiri dari turbocharger untuk memanfaatkan gas buang yang keluar dari silinder. Turbocharger terdiri dari turbin, blower atau compressor dan intercooler.



Gambar 4. 13 sistem udara gas buang turbocharge

Setelah gas dibuang keluar dari tabung silinder untuk memutar turbin mengenai poros blower, blower menyerap udara pada temperature 30 derajat C dengan tekanan 1 atm ($1,033 \text{ Kg/cm}^2$) kedalam tabung silinder dan keluar dari tabung 120 derajat celcius dengan tekanan $1,5 \text{ Kg/cm}^2$. Tekanan udara 120 derajat celcius udara perlu didinginkan, hingga kurang lebih 50 derajat celcius kedalam intercooler, udara dari intercooler masuk ke intake manifold untuk diturunkan tekanan dan kandungan air di embunkan dengan cara dipisahkan dan di kompersi atau blower, lalu di injeksi sehingga terjadi proses pembakaran, gas hasil pembakaran yang masih memiliki energi tinggi (temperatur $\pm 350 \div 500^\circ\text{C}$ dan tekanan $\pm 0,5 \div 2 \text{ Kg/Cm}^2$) sebelum dibuang dimanfaatkan untuk memutar energi turbin.

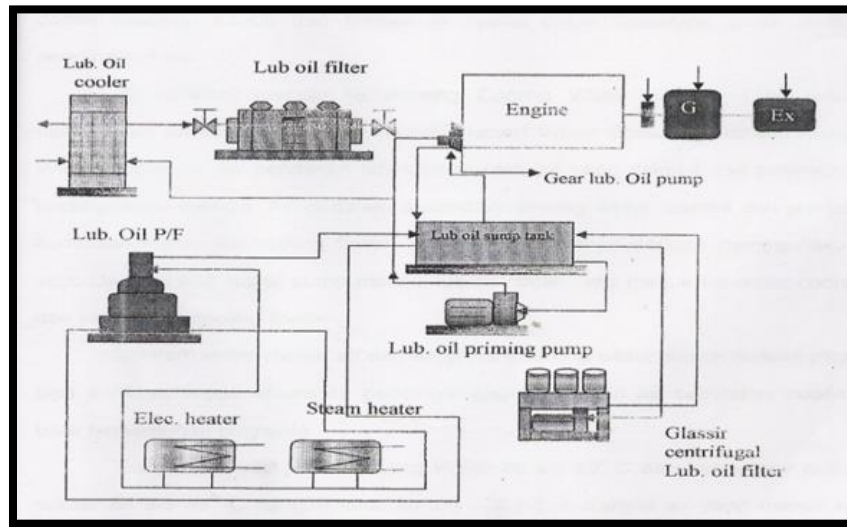
b. Starter

PLTD sistem ini menggunakan udara tekan untuk start awal, menggunakan botol angin udara dikompersi dan untuk masuk kedalam botol dan diambil dari sekitar kompresor. Terdapat manometer untuk mengukur tekanan dalam tangka, kran dari botol angin dibuka sehingga udara yang memiliki tekanan yang sudah melewati reducer dan filter masuk otomatis ke starting valve. Setelah mesin beroperasi normal maka botol angin ditutup karena suplay udara masuk dari intake manifold.

c. Pelumasan

Sistem ini masuk dari diagram lub oil steam maka lub oil sump tank menuju mesin melewati lub oil cooler dan pelumasan bergerak ke bawah silinder. Berikut

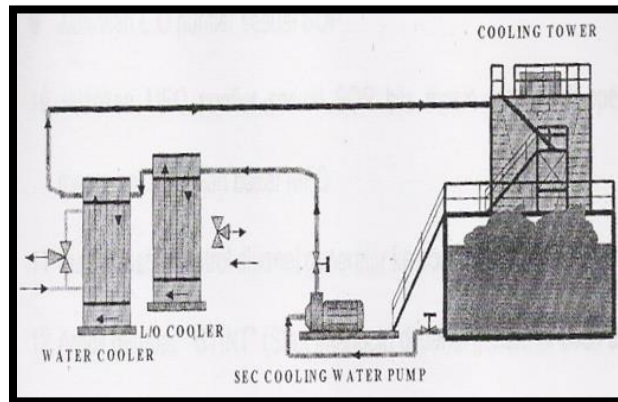
gambar sistem pelumasan PLTD



Gambar 4. 14 pelumasan PLTD

d. Air pendingin

Sistem pendingin PLTD masuk ke dalam chemical water tank menuju priming cooling water ekspansi tank melalui pipa saluran jacket water cooler. Temperature pada jacket water cooling 70 sampai dengan 80 derajat celcius dan temperature outlet 85 sampai dengan 95 derajat celcius dengan tekanan 2,5 sampai dengan 3,5 bar, tentunya air yang masuk tidak sama dengan air keluar.



Gambar 4. 15 sistem pendinginan PLTD

C. LATIHAN SOAL / TUGAS

1. Deskripsikan sejarah perkembangan sumber tenaga listrik !
2. Jelaskan sumber energi masuk ke dalam tenaga listrik !
3. Jelaskan perbedaan sumber pembangkit listrik tenaga Uap, sumber pembangkit listrik tenaga air dan sumber pembangkit listrik tenaga diesel !
4. Jelaskan macam-macam bagian dari pembangkit listrik tenaga air !
5. Berikanlah contoh penjelasan skema pembangkit listrik tenaga diesel !

D. DAFTAR PUSTAKA

- Aslimeri. (2008). *teknik Transmisi Tenaga Listrik*. Direktorat pembinaan sekolah menengah umum.
- Charles, S., & Gustaf, S. E. (2011). *Turbines and its types*.
- Circutor. (2018). *Distribution of electrical energy*.
- Engineering, E. (n.d.). *Transmission and distribution*. 2011, 1–154.
- Muslim, S. (2008). *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Umum.
- Prayoga, A., & S, E. M. (2010). *Teknik tenaga listrik* (Issue 0806365412).
- Short, T. A. (2004). *distribution handbook* (Issue C).
- Sumardjati, P. (2008). *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Umum.

PERTEMUAN 5

SUMBER TENAGA LISTRIK LANJUTAN

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Sumber Tenaga Listrik Lanjutan”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan Mampu memahami dan mengidentifikasi rancangan pembangkit listrik tenaga nuklir, pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya.

B. URAIAN MATERI

1. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

PLTN menggunakan sumber bahan bakar energi nuklir, terdiri dari bagian utama reaktor nuklir bagian yang berkaitan dengan listrik dan reaktor nuklir mengubah energi bahan bakar nuklir menjadi panas sehingga menghasilkan uap air, uap air berubah menjadi energi listrik. Panas tersebut yang biasanya menghasilkan ledakan, radiasi panas yang dapat merusak lingkungan. (Cooley, 2009; En, 2011; Sumardjati, 2008)

Tabel Resiko pencemaran akibat bahan bakar nuklir

Tabel 5.1 Tabel Resiko

Pencemaran	Keterangan
Air	Limbah terbuang saat penambangan, air penambangan mengandung zat kimia uranium panas.
Udara	Debu penambangan, radioaktif
Tanah	Tanah rusak akibat penambangan
Limbah padat	Material terambil, limbah proses dressing dan limbah bahan bakar
Radiasi	Limbah radiasi saat pembangkitan panas

Pencemaran bahan bakar nuklir memiliki nilai kalor sangat tinggi, 1 kilogram uranium 234 dapat menghasilkan nilai kalor 2,5 juta kg batubara atau 4,54 juta kg

minyak, 3,57 juta alcohol dan 4,54 juta gas alam. Emisi gas CO₂ terhindar bila PLTN sebanyak 438 juta ton karbon. Kesimpulannya dalam pencemaran lingkungan energi nuklir lebih bersih jika dilihat total pencemaran.

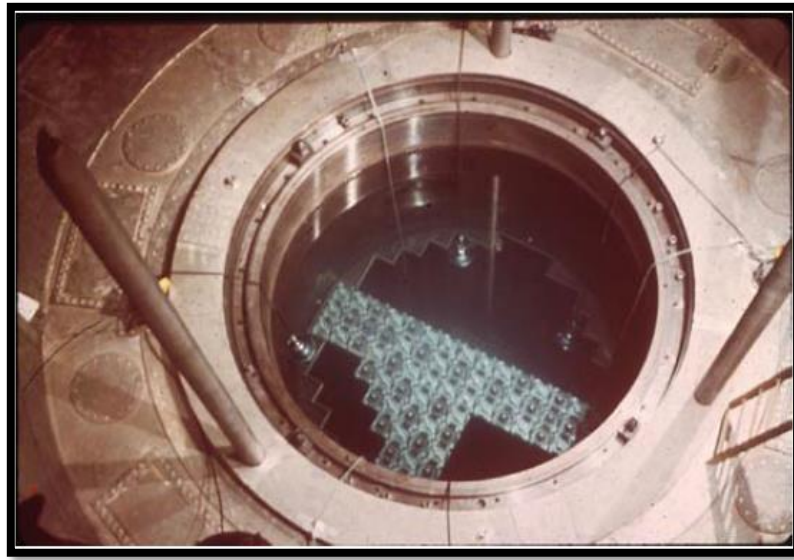
2. Bahan Bakar Perakitan Reaktor

Batang bahan bakar mengandung pelet bahan bakar keramik. Batang bahan bakar memiliki sekitar 12 kaki panjang dan berisi ruang di bagian atas untuk koleksi gas apapun yang dihasilkan oleh proses fisi. Batang ini disusun dalam matriks persegi mulai dari 17 x 17 untuk reaktor air bertekanan untuk 8 x 8 untuk merebus reaktor air.

Grid spacer memisahkan batang individu dengan potongan logam yang diproses. Ini memberikan kekakuan rakitan dan memungkinkan air pendingin mengalir dengan bebas melalui rakitan dan melewati di sekitar batang bahan bakar. Beberapa kisi spacer mungkin memiliki alur pencampuran aliran yang digunakan untuk mempromosikan pencampuran pendingin saat mengalir di sekitar perakitan bahan bakar.(Veron, 2013)

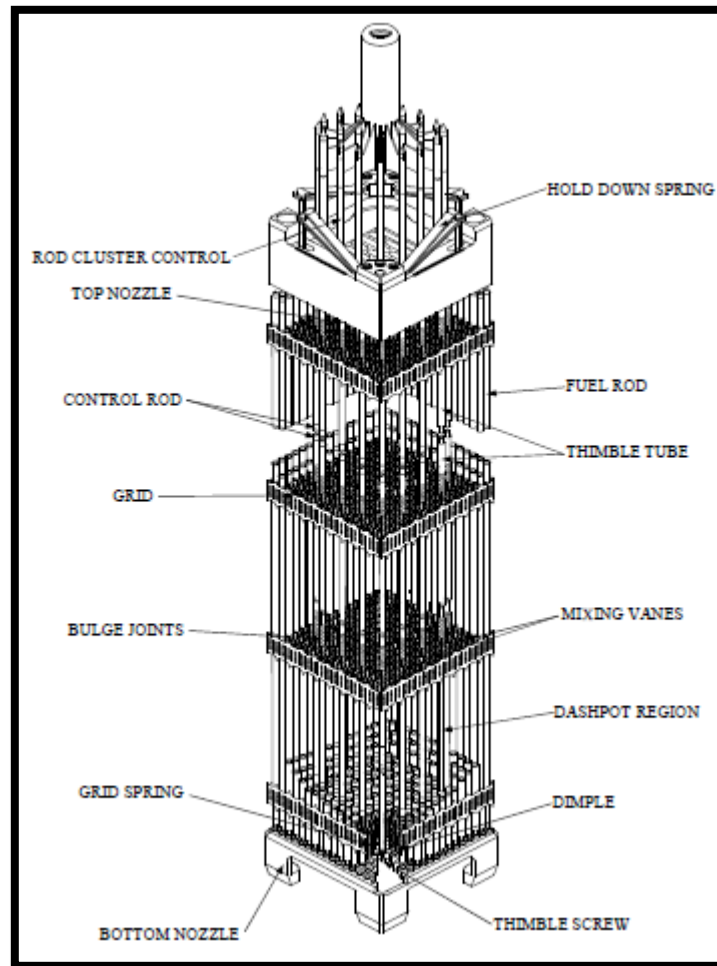
Fitting ujung atas dan bawah berfungsi sebagai elemen struktural atas dan bawah dari rakitan. Fitting yang lebih rendah (atau nozel bawah) akan mengarahkan aliran pendingin ke perakitan melalui beberapa lubang kecil yang dimesin ke dalam pemasangan. Ada juga lubang dibor di atas pas untuk memungkinkan aliran pendingin untuk keluar dari perakitan bahan bakar. Fitting ujung atas juga akan memiliki titik penghubung untuk peralatan pengisian bahan bakar untuk dipasang untuk pemindahan bahan bakar dengan derek.

Untuk bahan bakar reaktor air memiliki tekanan, ada juga arah tabung di mana batang kontrol perjalanan. Tabung panduan akan dilas ke grid spacer dan melekat pada Fitting ujung atas dan bawah. Tabung panduan menyediakan saluran untuk gerakan batang kontrol dan menyediakan dukungan dari batang. Ujung atas batang kontrol akan dilampirkan ke poros penggerak, yang akan digunakan untuk memposisikan batang selama operasi. Gambar bahan bakar reaktor air mendidih :



Gambar 5. 1 alat inti reaktor

Lanjutan

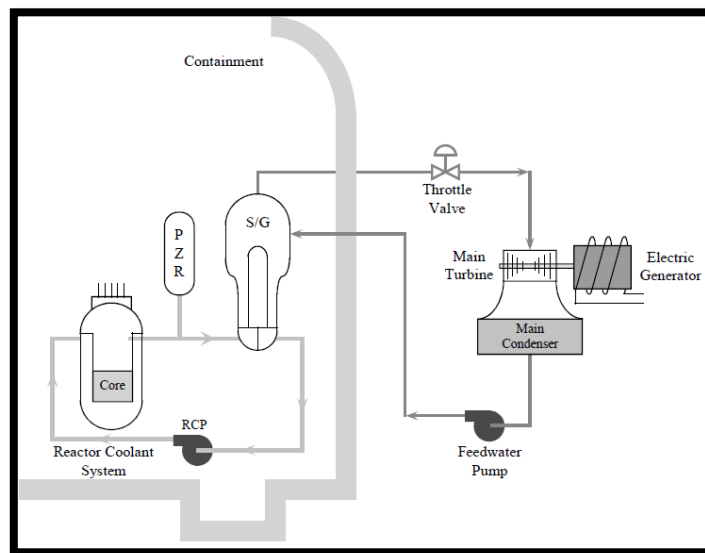


Gambar 5. 2 skema inti reaktor

Pada pembangkit listrik tenaga nuklir, rakitan bahan bakar dimasukkan secara vertikal ke dalam bejana reaktor (tangki baja besar yang diisi dengan air dengan atas yang dapat dilepas). (Prayoga & S, 2010) Bahan bakar ditempatkan dalam pola grid yang tepat yang dikenal sebagai "inti reaktor". Jenis PLTN reaktor sebagai berikut :

- a. Jenis reaktor air tekan (PWR)
- b. Jenis reaktor air didih (BWR)
- c. Jenis reaktor air didih moderator grafit (GMBWR)
- d. Jenis reaktor air berat tekan (PHWR)
- e. Jenis reaktor magnox (MR)
- f. Jenis reaktor maju pendinginan gas (AGR)

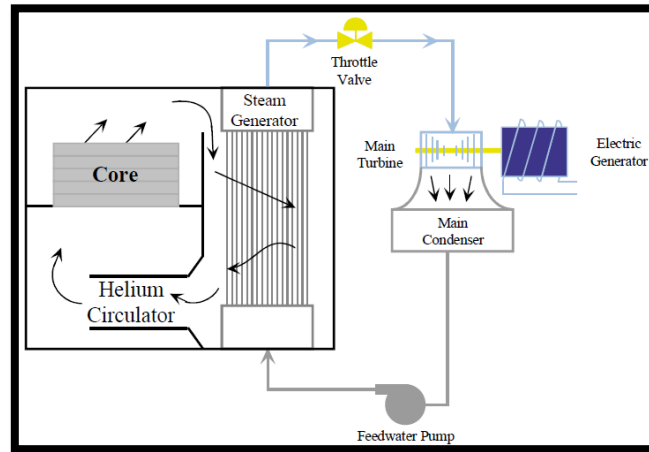
Jenis reaktor yang sering digunakan dalam sumber tenaga listrik nuklir adalah reaktor air mendidih (BWR) dan reaktor air bertekanan (PWR). Reaktor air mendidih beroperasi pada dasarnya dengan cara yang sama sebagai pembangkit berbahan bakar fosil. Di dalam tabung reaktor, campuran uap/air dihasilkan ketika air yang sangat murni (pendingin reaktor) bergerak ke atas melalui inti menyerap panas. Perbedaan utama dalam operasi reaktor air mendidih dibandingkan dengan sistem nuklir lainnya adalah pembentukan kekosongan uap di inti. Campuran uap/air meninggalkan bagian atas inti dan memasuki dua tahap pemisahan kelembaban, di mana tetesan air dihapus sebelum uap diperbolehkan untuk memasuki jalur Uap. Jalur Uap, bergantian, mengarahkan uap ke turbin utama, menyebabkan itu untuk mengubah turbin dan Generator listrik yang terpasang. Uap yang tidak terpakai habis untuk kondensor di mana ia dikondensasi ke dalam air. Air yang dihasilkan (kondensat) dipompa keluar dari kondensor dengan serangkaian pompa dan kembali ke pembuluh reaktor. Pompa resirkulasi dan Pompa Jet memungkinkan operator untuk bervariasi aliran pendingin melalui inti dan untuk mengubah kekuatan reaktor.



Gambar 5. 3 reaktor air mendidih BWR

Reaktor air bertekanan (PWR) berbeda dari reaktor air mendidih dalam uap yang diproduksi di generator uap pada tabung reaktor. Penambah alat untuk menjaga air

yang mengalir melalui pembuluh reaktor di bawah tekanan yang sangat tinggi (lebih dari 2.200 pound per inci persegi) untuk mencegahnya dari mendidih, bahkan pada suhu operasi lebih dari 600^oF. Reaktor air bertekanan diproduksi di Amerika Serikat oleh Westinghouse Electric Corporation (Pittsburgh, Pennsylvania), Babcock dan Wilcox Company (Lynchburg, Virginia), dan perusahaan teknik pembakaran (Windsor, Connecticut).



Gambar 5. 4 reaktor air bertekanan (PWR)

3. Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLT ANGIN)

Energi angin adalah bentuk dikonversi energi matahari yang dihasilkan oleh fusi nuklir hidrogen (H) ke helium (HE) dalam intinya. Proses fusi $H \rightarrow$ yang ia ciptakan membuat radiasi panas dan elektromagnetik mengalir keluar dari matahari ke angkasa dalam segala arah. Meskipun hanya sebagian kecil dari radiasi matahari yang dicor oleh bumi, ini menyediakan hampir semua kebutuhan energi bumi. (Cooley, 2009)

Energi angin mewakili sumber energi utama pembangkit listrik baru pada masanya. Sebagai teknologi energi terkemuka, kedewasaan teknis tenaga angin dan kecepatan pengerahan angin sudah diakui, bersama dengan fakta bahwa tidak ada batas atas praktis untuk persentase angin yang dapat diintegrasikan ke dalam sistem listrik. Diperkirakan bahwa total tenaga surya yang diterima oleh bumi adalah sekitar $1,8 \times 10^{11}$ MW. Dari masukan matahari ini, hanya 2% (yaitu $3,6 \times 10^9$ MW) dikonversi menjadi energi angin dan sekitar 35% dari energi angin yang menghilang

dalam 1000 m dari permukaan bumi. Oleh karena itu, tenaga angin yang tersedia yang dapat dikonversi menjadi bentuk energi lainnya adalah sekitar $1,26 \times 10^9$ MW. Karena nilai ini mewakili 20 kali laju konsumsi energi global saat ini, energi angin pada prinsipnya dapat memenuhi seluruh kebutuhan energi dunia. (Suhadi, 2008)

Dibandingkan dengan sumber energi tradisional, energi angin memiliki sejumlah manfaat dan keuntungan. Tidak seperti bahan bakar fosil yang memancarkan gas berbahaya dan tenaga nuklir yang menghasilkan limbah radioaktif, tenaga angin adalah sumber energi yang bersih dan ramah lingkungan. Sebagai sumber energi yang tak ada habisnya dan bebas, tersedia dan berlimpah di sebagian besar wilayah di bumi. Selain itu, penggunaan yang lebih luas dari tenaga angin akan membantu mengurangi tuntutan untuk bahan bakar fosil, yang mungkin kehabisan suatu waktu di abad ini, menurut konsumsi mereka sekarang. Selanjutnya, biaya per kWh tenaga angin jauh lebih rendah daripada tenaga surya. Dengan demikian, sebagai sumber energi yang paling menjanjikan, energi angin diyakini memainkan peran penting dalam pasokan listrik global di abad ke-21. (Johnson, 2012)

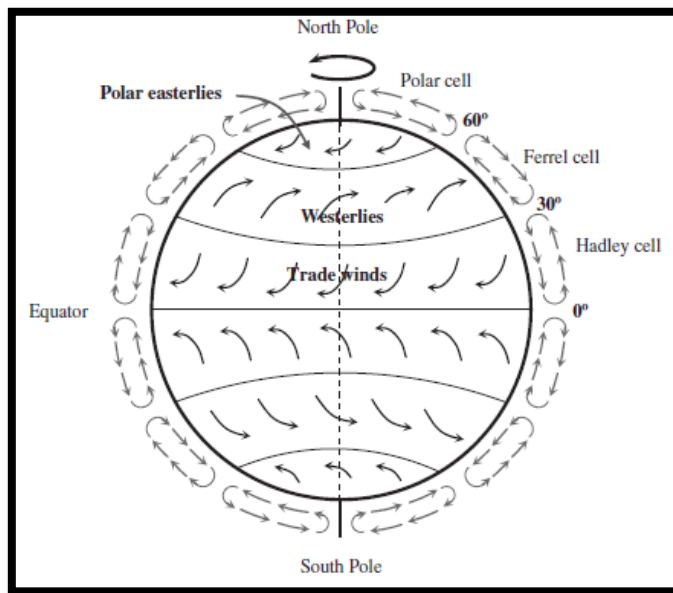
Pergerakan angin melalui hasil dari gerakan udara akibatkan gradien tekanan atmosfer Angin mengalir dari daerah tekanan yang lebih tinggi ke daerah tekanan yang lebih rendah. Semakin besar gradien tekanan atmosfer, semakin tinggi kecepatan angin dan dengan demikian, semakin besar kekuatan angin yang dapat ditangkap dari angin dengan cara mesin konversi energi angin. Generasi dan gerakan angin yang rumit karena sejumlah faktor. Di antara mereka, faktor yang paling penting adalah pemanasan matahari tidak merata, efek Coriolis karena rotasi diri bumi, dan kondisi geografis lokal.

4. Gaya Coriolis

Rotasi diri bumi adalah faktor penting lainnya yang mempengaruhi arah dan kecepatan angin. Gaya Coriolis, yang dihasilkan dari rotasi diri bumi, menentang arah gerakan atmosfer. Di atmosfer Utara angin tercekam ke kanan dan di atmosfer Selatan di sebelah kiri. Gaya Coriolis bergantung pada lintang bumi; itu adalah nol di khatulistiwa dan mencapai nilai maksimum di kutub. Selain itu, jumlah penolakan pada angin juga tergantung pada kecepatan angin; Angin bertiup perlahan hanya bertahan dalam jumlah kecil, sementara angin yang lebih kuat dapat bertahan lebih

banyak.

Dalam skala besar gerakan atmosfer, kombinasi dari gradien tekanan karena radiasi matahari tidak merata dengan gaya Coriolis karena self rotasi bumi menyebabkan sel Meridional tunggal memecah menjadi tiga sel konveksional di setiap belahan bumi: sel Hadley, sel Ferrel, dan sel seperti pada gambar berikut :



Gambar 5. 5 perputaran atmosphere

5. Karakteristik Energi Angin

Energi angin adalah bentuk khusus dari energi kinetik di udara mengalir. Energi angin dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan mesin konversi listrik atau langsung digunakan untuk memompa air, berlayar kapal, atau menggiling gandum.

a. Power Angin

Kinetic energy exists whenever an object of a given mass is in motion with a translational or rotational speed. When air is in motion, the kinetic energy in moving air can be determined as.

$$E_k = 1/2 m \bar{u}^2$$

where m is the air mass and $\bar{u}$ is the mean wind speed over a suitable time period. The wind power can be obtained by differentiating the kinetic energy in wind with respect to time, i.e.:

$$P_w = \frac{dE_k}{dt} = \frac{1}{2} m \bar{u}^2$$

However, only a small portion of wind power can be converted into electrical power. When wind passes through a wind turbine and drives blades to rotate, the corresponding wind mass flow rate is

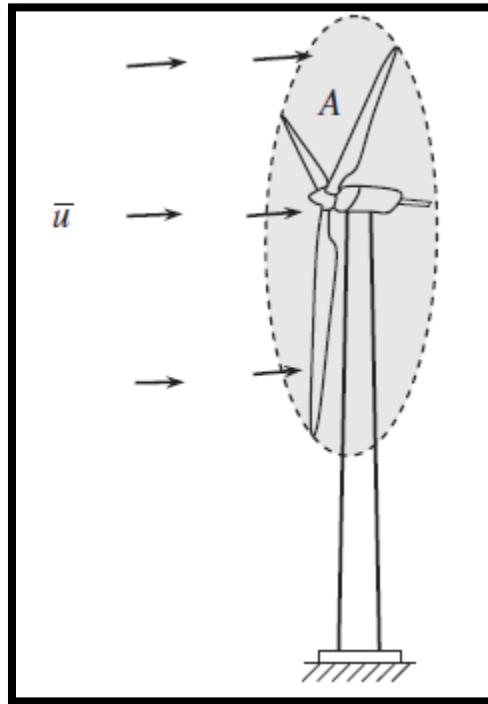
$$\dot{m} = \rho A \bar{u}$$

where ρ is the air density and A is the swept area of blades, as shown in Fig. 3. Substituting (3) into (2), the available power in wind P_w can be expressed as.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A \bar{u}^3$$

An examination of eqn (4) reveals that in order to obtain a higher wind power, it requires a higher wind speed, a longer length of blades for gaining a larger swept area, and a higher air density. Because the wind power output is proportional to the cubic power of the mean wind speed, a small variation in wind speed can result in a large change in wind power.

b. Blade swept area



Gambar 5. 6 Swept area of wind turbine blades

As shown in Fig. 3 , the blade swept area can be calculated from the formula :

$$A = \pi[(l + r)^2 - r^2] = \pi l(l + 2r)$$

where l is the length of wind blades and r is the radius of the hub. Thus, by doubling the length of wind blades, the swept area can be increased by the factor up to 4. When $l \gg 2r$, $A \approx \pi l^2$.

c. Kepadatan udara

Parameter penting lainnya yang secara langsung mempengaruhi pembangkit tenaga angin adalah kepadatan udara, dapat dihitung dari persamaan :

$$\rho = p / RT$$

di mana p adalah tekanan udara lokal, R adalah konstanta gas (287 J/kg-K untuk udara), dan T adalah suhu udara lokal di K. Persamaan hidrostatik menyatakan

bahwa setiap kali tidak ada gerak vertikal, perbedaan tekanan antara dua ketinggian disebabkan oleh massa lapisan udara:

$$dp = - \rho g dz$$

di mana g adalah percepatan gravitasi. Menggabungkan rumus sebelumnya, hasil,

$$\frac{dp}{p} = - \frac{g}{RT} dz$$

Percepatan gravitasi g menurun dengan tinggi di atas permukaan bumi z :

$$g = g_0 \left(1 - \frac{4z}{D} \right)$$

dimana g_0 adalah percepatan gravitasi di tanah dan D adalah diameter bumi. Namun, untuk percepatan gravitasi g , variasi tinggi dapat diabaikan karena D jauh lebih besar dari $4z$. Selain itu, suhu berbanding terbalik dengan tinggi. Asumsikan bahwa $dT/dz = -c$, rumus turunannya.

$$p = p_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-\frac{g}{cR}}$$

di mana p_0 dan T_0 adalah tekanan udara dan suhu di tanah, masing-masing.

$$p = p_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-\left(\frac{g}{cR}+1\right)} = p_0 \left(1 + \frac{cz}{T_0} \right)^{-\left(\frac{g}{cR}+1\right)}$$

persamaannya menunjukkan bahwa kepadatan udara menurun non-linearly dengan ketinggian di atas permukaan laut.

d. Power Angin density

Kepadatan tenaga angin merupakan indeks yang komprehensif dalam mengevaluasi sumber daya angin di situs tertentu. Ini adalah tenaga angin yang tersedia dalam aliran udara melalui area unit lintas-penampang tegak lurus dalam periode waktu unit. Kelas kepadatan tenaga angin di dua ketinggian pengukuran angin standar tercantum dalam gambar 5.8 tabel. Beberapa penilaian sumber daya angin memanfaatkan 50 m menara dengan sensor diinstal pada tingkat

menengah (10 m, 20 m, dll). Untuk tanaman angin skala besar, peringkat kelas 4 atau lebih tinggi lebih disukai.

Tabel level kekuatan angin

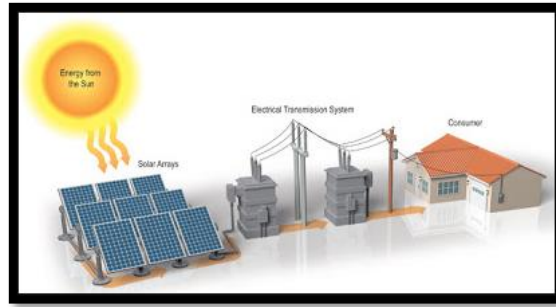
Wind power class	10 m height		50 m height	
	Wind power density (W/m^2)	Mean wind speed (m/s)	Wind power density (W/m^2)	Mean wind speed (m/s)
1	<100	<4.4	<200	<5.6
2	100–150	4.4–5.1	200–300	5.6–6.4
3	150–200	5.1–5.6	300–400	6.4–7.0
4	200–250	5.6–6.0	400–500	7.0–7.5
5	250–300	6.0–6.4	500–600	7.5–8.0
6	300–350	6.4–7.0	600–800	8.0–8.8
7	>400	>7.0	>800	>8.8

Gambar 5. 7 Tabel kekuatan angin

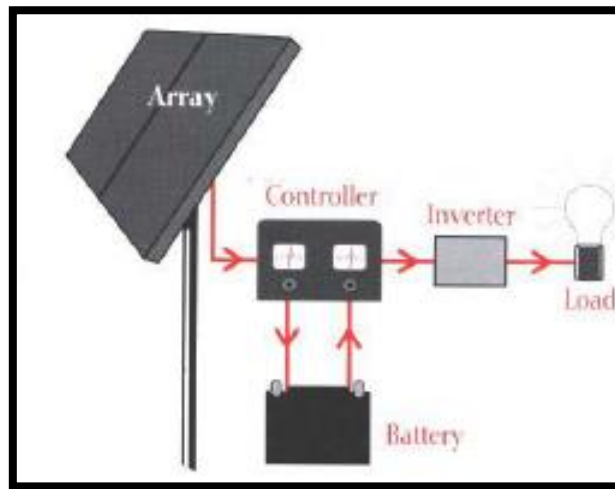
6. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem pembangkit merubah cahaya matahari menjadi listrik dengan menggunakan fotovoltaik yang biasanya disebut juga sel surya adalah semikonduktor yang dapat merubah cahaya secara langsung menjadi menjadi arus listrik searah (DC) dengan menggunakan kristal silikon (Si) yang tipis. (Cooley, 2009) Struktur dan cara kerja fotovoltaik yaitu, sel surya terdiri dari semikonduktor tipe n (elektron) dan tipe p (hole) yang disatukan membentuk pn junction, dengan cara kerja sebagai berikut :

- Medan listrik terbentuk saat matahari menyinari sel surya
- Cahaya diserap di zona sambungan antara tipe p dan tipe n, menyebabkan elektron bebas.
- Jika cahaya memiliki cukup energi, elektron akan dapat melewati medan listrik di junction dan bebas bergerak melalui silikon dan masuk ke sirkuit eksternal.
- Saat melewati sirkuit eksternal, energi dilepaskan untuk menyalakan lampu dan kembali ke sel surya.



Gambar 5. 8 pembangkit surya fotovolatik



Gambar 5. 9 rangkaian sistem senyawa fotovolatik

Surya fotovoltaiik adalah semikonduktor bekerja dalam proses seimbang. Dalam prosenya sel surya menghasilkan tegangan 0,5-1 volt tergantung intensitas cahaya yang dipakai. Intensitas energi sekitar 1000 watt terdapat sinar matahari sampai ke permukaan bumi. Terjadi komversi energi listrik berdasarkan surya fotovoltaiik mencapai 25 % dalam produksi listrik. Solar cell yang dapat merubah cahaya matahari dengan menggunakan fotovoltaiik.

7. Kelemahan dan Kelebihan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Kelemahan pembangkit listrik tenaga surya :

- a. Proses pembangkit energi listrik hanya dapat dilakukan pada siang hari saat adanya matahari, jika musim hujan konversi energi listrik tidak optimal.
- b. Bahan pembuatan jenis sel fotovoltaiik pembangkit listrik tenaga surya masih mahal.

Kelebihan pembangkit listrik tenaga surya :

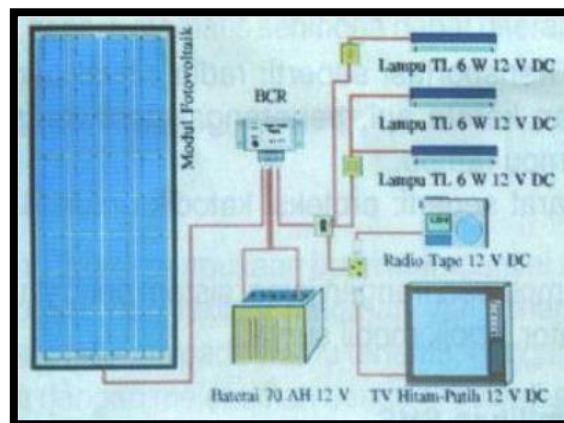
- a. Bentuknya mudah dan ringkas, perawatan mudah dan sederhana
- b. Dapat bekerja secara otomatis, tidak berdampak negatif pada lingkungan
- c. Pemasangannya tidak memerlukan kabel distribusi
- d. Tidak terdapat peralatan yang bergerak sehingga tidak perlu penggantian suku cadang penyetelan mesin pada pelumasan.

8. Solar Home Sistem

Solar Home Sistem atau SHS merupakan penerapan solar tenaga surya paling banyak digunakan pada pedesaan dikarenakan pola pemukiman antara rumah di desa cukup besar, sulit dalam moda transportasi, sulit menemukan pembangkit listrik lain pada pemukiman, alat dalam membuat SHS mudah ditemukan dan harga terjangkau.

Daya terpasang 48 – 55 Wp dengan jumlah daya sebesar 50 Wp per rumah sudah dapat membantu penerangan masyarakat dalam kebutuhan penerangan dan alat komunikasi. Sehingga sistem PLTS dapat melestarikan desa. Komponen utama dalam SHS yaitu :

- a. Fotovoltaik daya untuk menghasilkan energi matahari
- b. Baterai penyimpanan energi
- c. Alat pengatur baterai
- d. Beban alat komunikasi seperti televisi dan radio



Gambar 5. 10 komponen SHS

9. Contoh Perhitungan PLTS Home Sistem

Akan diberikan contoh perhitungan dalam listrik tenaga surya pada skala rumah tangga, dengan langkah-langkah berikut :

a. Menentukan langkah-langkah sebelum menentukan sel surya yang tepat,:

- 1) Jumlah daya dengan satuan watt yang dibutuhkan dalam pemakaian sehari-hari
- 2) Besaran arus yang dihasilkan solar cells panel dalam satuan jam ampere, untuk menghitung jumlah panel surya yang harus dipasang
- 3) Beberapa unit baterai untuk kapasitas yang diinginkan dan pertimbangan penggunaan tanpa sinar matahari dalam satuan jam ampere.

b. Perhitungan keperluan daya

- 1) Peneranga pada rumah

10 lampu CFL @ 15 watt x 4 jam / hari = 600 watt hour

- 2) Penggunaan televisi dalam rumah

21 " : @ 100 watt x 5 jam sehari = 500 watt hour

- 3) Penggunaan kulkas dalam rumah

360 liter : @ 135 watt x 24 jam x 1/3 (kulkas bekerja jika pintu kulkas sering dibuka) = 1080 watt hour

- 4) Perkiraan penggunaan komputer

@150 watt x 6 jam = 900 watt hour

- 5) Perangkat lainnya = 400 watt hour

- 6) Total kebutuhan daya = 3480 watt hour

c. Perhitungan jumlah panel surya

- 1) Jumlah solar cells panel yang dibutuhkan satu panel dihitung 100 watt dihitung dalam 5 jam maksimum dengan tenaga surya.

- 2) Kebutuhan solar cells panel :

Total kebutuhan daya / satu panel yang dibutuhkan / 5 jam maksimum tenaga surya = $34800 / 100 / 5 = 7$ panel surya

d. Perhitungan jumlah baterai

- 1) Jumlah baterai 120 Volt dengan masing-masing 100 Ah.

- 2) Kebutuhan baterai 1 minimum (baterai hanya digunakan untuk 50% pemenuhan kebutuhan listrik), dengan demikian kebutuhan daya dikali 2x lipat :

$34800 \times 2 \text{ watt hour} = 6960 / 12\text{volt} / 100 \text{ ampere} = 5 \text{ baterai } 100 \text{ Ah.}$

- 3) Kebutuhan baterai dengan pertimbangan dapat melayani kebutuhan 3 gari tanpa sinar matahari) : $3480 \times 3 \times 2 = 20880 \text{ watt hour} = 20880 / 12 \text{ volt} / 100 \text{ ampere} = 17 \text{ batrai } 100 \text{ Ah.}$

C. LATIHAN SOAL / TUGAS

1. Jelaskan yang anda pahami mengenai energi pembangkit listrik !
2. Jelaskan perbedaan dari pembangkit listrik tenaga nuklir, pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya !
3. Jelaskan risiko pencemaran yang terjadi pada pembangkit listrik tenaga nuklir!
4. Jelaskan gaya Coriolis pada pembangkit listrik tenaga angin!
5. Jelaskan yang dimaksud dengan solar home sistem dan berikan contohnya!

D. DAFTAR PUSTAKA

- Cooley, H. (2009). *Water for Energy: Future Water Needs for Electricity in the Intermountain West*.
- En, W. P. (2011). *Nuclear Energy as part of the electricity generation system — Balancing and the grids — William D ' haeseleer TME WORKING P APER - Energy and Environment Last update : February 2011. February*.
- Johnson, G. L. . (2012). *WIND ENERGY SYSTEMS*.
- Prayoga, A., & S, E. M. (2010). *Teknik tenaga listrik* (Issue 0806365412).
- Suhadi. (2008). *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Direktorat pembinaan sekolah menengah umum.
- Sumardjati, P. (2008). *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Skeolah Menengah Umum.
- Veron, L. (2013). *Nuclear Power for Electrical Generation The*. 1–24.

PERTEMUAN 6

JENIS TURBIN PADA PEMBANGKIT

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Jenis Turbin Pada Pembangkit”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan Mampu memahami dan menjelaskan mengenai turbin implus dan turbin reaksi.

B. URAIAN MATERI

1. Turbin

Turbin dalam istilah umum merupakan perangkat yang mengekstraksi dengan mekanis dari fluida umumnya mengubahnya menjadi energi putar dari roda turbin. Terdapat cairan yang biasanya disebut dengan “*turbin hidrolis*” atau “*hydroturbine*”. Dalam bentuk gas, biasanya disebut dengan “*turbin angin*”, “*turbin gas*”, atau “*turbin uap*” tergantung pada jenis gas yang digunakan. (Luknanto et al., 2014; Subagyo, 2018)

Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Gaya jatuh air yang mendorong baling-baling menyebabkan turbin berputar. Turbin air kebanyakan seperti kincir angin, dengan menggantikan fungsi dorong angin untuk memutar baling-baling digantikan air untuk memutar turbin. Perputaran turbin ini di hubungkan ke generator.(Ilmiah, 2016)

2. Jenis-jenis Turbin pada Pembangkit

Turbin bekerja dengan dua cara, yaitu turbin Air dan turbin Uap. Turbin air adalah alat untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik, sedangkan turbin uap adalah proses pendidihan diperlukan energi panas yang diperoleh dari sumber panas, misalnya dari pembakaran bahan bakar (padat, cair dan gas) serta tenaga listrik dan gas panas sebagai sisa proses kimia serta tenaga nuklir.(Charles & Gustaf, 2011)

Menurut teori James Watt, uap adalah suatu media yang elastic, dapat mengembang hingga vakum. James Watt merancang mesin uap dengan silinder

(tabung) dan sebuah piston (pengempa/penghisap) dengan sebuah kondensor dan sebuah pompa udara. Banyak rancangan mesin dibuat oleh James, sesudah itu, diantaranya *Mesin Tuas Putar Kerja Ganda* dengan di perkenalkannya mesin ini maka berubahlah gerak vertikal menjadi gerak rotasi.

3. Turbin Air

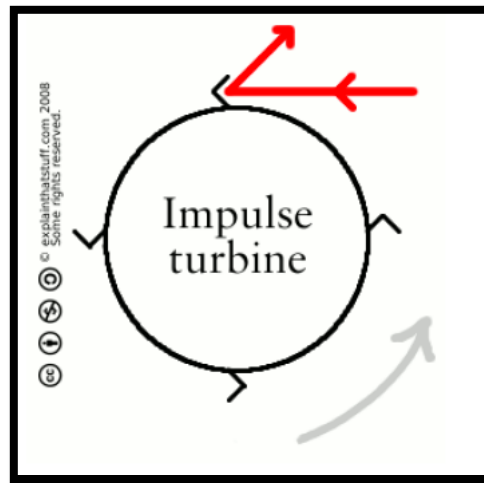
Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA) turbin air merupakan peralatan utama selain generator. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi : (Nagpurwala, 2013)

a. Turbin Impuls

Dalam turbin impuls, cairan bergerak cepat ditembakkan melalui nozzle sempit di pisau turbin untuk membuat mereka berputar di sekitar. Pisau dari turbin impuls biasanya berbentuk ember (Bucket) sehingga mereka menangkap cairan dan langsung turun pada suatu sudut atau kadang bahkan kembali cara itu datang (karena yang memberikan transfer energi yang paling efisien dari fluida ke turbin). Dalam turbin impuls, fluida dipaksa untuk memukul turbin dengan kecepatan tinggi. Bayangkan mencoba membuat roda seperti ini berbalik dengan menendang bola sepak ke dalam dayung. Anda akan membutuhkan bola untuk memukul keras dan bangkit kembali dengan baik untuk mendapatkan roda berputar-dan mereka impuls energi konstan adalah kunci untuk cara kerjanya. Turbin Reaksi. Contoh turbin implus adalah turbin pleton.



Gambar 6. 1 Turbin Implus



Gambar 6. 2 grafik turbin impulse

b. Turbin reaksi

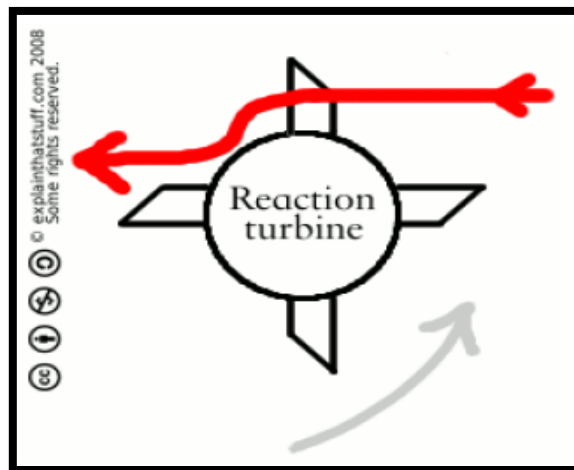
Dalam turbin reaksi, pisau duduk dalam volume yang jauh lebih besar dari cairan mengalir berbalik. Sebuah turbin reaksi tidak mengubah arah aliran fluida secara drastis sebagai turbin impuls: hanya berputar sebagai fluida mendorong melalui dan melewati pisau. Jika turbin impuls sedikit seperti menendang sepak bola, sebuah turbin reaksi lebih seperti berenang-secara terbalik.

Contohnya pada sepakbola Pikirkan tentang bagaimana Anda melakukan Freestyle (merangkak depan) dengan mengangkat lengan Anda melalui air, dimulai dengan setiap tangan sejauh di depan seperti yang Anda dapat mencapai dan berakhir dengan "tindak lanjut" yang melempar lengan Anda dengan baik di belakang Anda. Apa yang Anda coba capai adalah untuk menjaga tangan dan lengan Anda mendorong terhadap air selama mungkin, sehingga Anda mentransfer energi sebanyak yang Anda bisa dalam setiap stroke.

Sebuah turbin reaksi menggunakan ide yang sama secara terbalik: Bayangkan air mengalir cepat bergerak melewati Anda sehingga membuat lengan dan kaki Anda bergerak dan memasok energi untuk tubuh Anda.(Report, 2018)



Gambar 6. 3 Turbin Reaksi



Gambar 6. 4 Grafik Turbin Reaksi

4. Turbin Uap

Dalam ilmu turbin uap terdapat istilah ketel uap, pada dasarnya terdiri dari bumbung (drum) yang tertutup pada ujung pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. Banyak orang mengklasifikasikan ketel uap tergantung kepada sudut pandang masing-masing. Ketel uap diklasifikasikan dalam kelas, antara lain:

a. Berdasarkan Fluida yang mengalir dalam pipa, maka ketel diklasifikasikan sebagai :

1) Ketel pipa api (*fire tube boiler*).

Pada ketel pipa api, fluida yang mengalir dalam pipa adalah gas nyala (hasil pembakaran), yang membawa energi panas (*thermal energy*), yang segera mentransfer ke air ketel melalui bidang pemanas (*heating surface*). Tujuan pipa-pipa api ini adalah untuk memudahkan distribusi panas (kalori) kepada air ketel.

2) Ketel pipa air (*water tube boiler*).

Pada ketel pipa air, fluida yang mengalir dalam pipa adalah air, sedangkan di luar pipa adalah gas nyala (hasil pembakaran), yang membawa energi panas (*thermal energy*), yang segera mentransfer ke air ketel melalui bidang pemanas (*heating surface*).

b. Berdasarkan pemakaiannya, ketel dapat diklasifikasikan sebagai :

1) Ketel stasioner (*stationary boiler*) atau ketel tetap.

Yang termasuk stasioner ialah ketel–ketel yang didudukkan di atas pondasi yang tetap, seperti boiler untuk pembangkit tenaga, untuk industry dan lain lain yang sepertinya.

2) Ketel Mobil (*Mobile Boiler*), ketel pindah atau *portable boiler*.

Yang termasuk ketel mobil, ialah ketel yang dipasang pada pondasi yang berpindah-pindah (*mobile*), seperti boiler lokomotif, loko mobil dan ketel panjang serta lainnya yang sepertinya termasuk juga ketel kapal (*marine boiler*).

c. Berdasarkan letak dapur (*furnace position*), ketel uap diklasifikasikan menjadi

1) Ketel dengan pembakaran di dalam (*internally fired steam boiler*)

Dalam hal ini dapur berada (pembakaran terjadi) di bagian dalam ketel. Kebanyakan ketel pipa api memakai system ini.

2) Ketel dengan pembakar di luar (*outternally fired steam boiler*)

Dalam hal ini dapur berada (pembakaran terjadi) di bagian luar ketel, kebanyakan ketel pipa air memakai system ini.

d. Menurut jumlah lorong (*boiler tube*), ketel diklasifikasikan sebagai:

1) Ketel dengan lorong tunggal (*single tube steam boiler*).

Pada *single tube steam boiler*, hanya terdapat satu lorong saja, apakah itu lorong api atau saluran air saja. *Cornish boiler* adalah *single file tube boiler* dan *simple vertikal boiler* adalah *water tube boiler*.

- 2) Ketel dengan lorong ganda (*multi tubeler steam boiler*).
Multi file tube boiler misalnya ketel scotch dan *muti water tube boiler* misalnya ketel B dan W dan lain-lain.
- e. Tergantung kepada poros tutup drum (shell), ketel diklasifikasikan sebagai :
 - 1) Ketel tegak (*Vertikal steam boiler*)
Seperti ketel Cochran, ketel Clarkson dan lain-lain sebagainya.
 - 2) Ketel mendatar (*horizontal steam boiler*)
Seperti ketel Cornish, Lancashire, Scotcth dan lain-lain.
- f. Menurut bentuk dan letak pipa, ketel uap diklasifikasikan sebagai :
 - 1) Ketel dengan pipa lurus, bengkok dan berlekak-lekuk (*straight, bent, and sinus tubeler heating suface*).
 - 2) Ketel dengan pipa miring-datar dan miring tegak (*horizontal, inclined or vertical tubeler heating suface*).
- g. Menurut system peredaran air ketel (*water circulation*), ketel uap diklasifikasikan sebagai : (Muslim, 2008)
 - 1) Ketel dengan peredaran alam (*natural circulation steam boiler*).
Pada *natural circulation boiler*, peredaran air dalam ketel terjadi secara alami, yaitu air yang ringan naik sedang air yang berat turun, sehingga terjadilah aliran konveksi alami. Umumnya ketel beroperasi secara aliran alami, seperti ketel Lancashire, Babcock dan Willcox dan lain-lain.
 - 2) Ketel dengan peredaran paksa (*forred circulation steam boiler*).
Pada ketel dengan aliran paksa (*forred circulation steam boiler*), aliran paksa diperoleh dari sebuah pompa centrifugal yang digerakkan dengan electric motor misalnya. System aliran paksa dipakai pada ketel-ketel yang bertekanan tinggi seperti La-Mont Boiler, Benson Boiler, Loeffler Boiler dan Velcan Boiler.
 - 3) Berdasar sumber panasnya (*heat source*) untuk pembuatan uap, ketel uap dapat diklasifikasikan sebagai :
 - a. Ketel uap dengan bahan bakar alami.
 - b. Ketel uap dengan nahan bakar buatan
 - c. Ketel uap dengan dapur listrik.
 - d. Ketel uap dengan energi nuklir

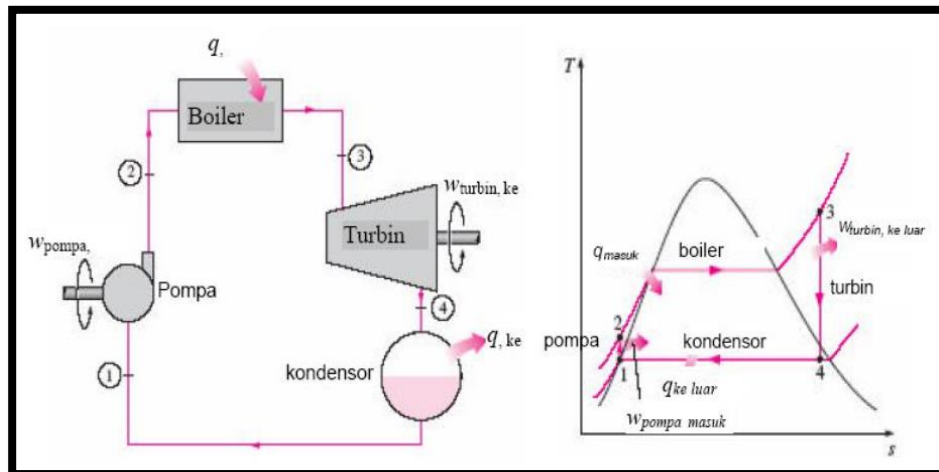
Penggunaan air sebagai pengisi ketel uap, memerlukan persyaratan-persyaratan tertentu sehingga dengan ditaatinya persyaratan-persyaratan itu ketel lebih aman dan akibat-akibat negatif yang akan terjadi dapat dihindarkan. Persyaratan air pengisi ketel/pesawat uap pada dasarnya ditentukan oleh tipe dari pesawat dan tekanan kerjanya. Air pengisi ketel uap yang memenuhi syarat adalah air yang tidak merusak dinding ketel uap pada temperature tinggi dan tekanan tertentu. Syarat-syaratnya adalah :

- a. Air tidak boleh membentuk kerak/endapan yang membahayakan (pada dinding ketel saluran uap dan lain-lain).
- b. Air tidak boleh bersifat korosif terhadap dinding ataupun pipa-pipa dari pesawat uapnya.
- c. Air tidak boleh menimbulkan terjadinya proses-proses pembusaan, priming dan carry over.
- d. Air tidak boleh menyebabkan dinding ketel menjadi rapuh (caustic embrittlement).

Satuan- satuan air ketel :

- 1) ppm = part per million = mg/l
- 2) epm = aquivalen per million = ppm / berat aquivalen
- 3) GPG = Grains per US Gallen = GPG x 17,1 = ppm
- 4) Pounds per 1000 gallon = 1 b per 1000 gal x 12 = ppm
- 5) Gram per liter = g per liter : 1000 = ppm

Siklus thermodinamika pembangkit uap, siklus ideal (siklus rankin)



Gambar 6. 5 siklus ideal Rankine

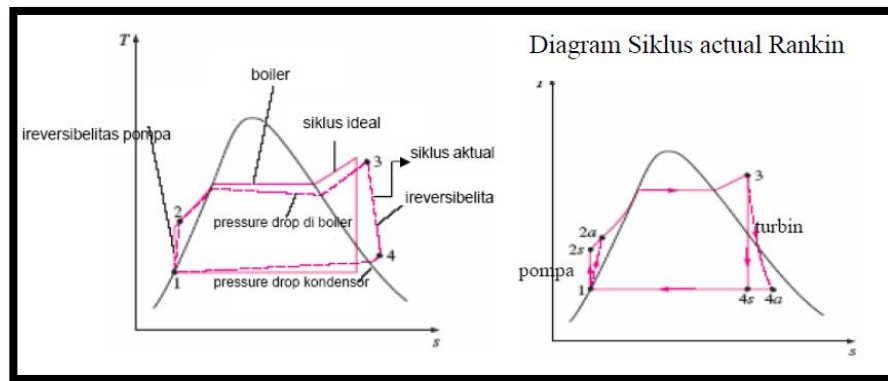
Proses *thermodinamika Siklus Ideal Rankin* :

- 1-2 Proses kompresi adiabatik berlangsung pada pompa
- 2-3 Proses pemasukan panas pada tekanan konstan terjadi boiler
- 3-4 Proses ekspansi adiabatik berlangsung pada turbin uap
- 4-1 Proses pengeluaran panas pada tekanan konstan pada kondensor.

Fluida kerja berupa air jenuh dari kondensor dikompresi di pompa sampai masuk boiler. Dari proses kompresi pada pompa terjadi kenaikan temperatur T_1 ke T_2 kemudian di dalam boiler air dipanaskan dari T_2 ke T_3 . Sumber energi panas (q masuk) berasal dari proses pembakaran bahan bakar. Uap panas masuk turbin dan berekspansi sehingga temperatur dan tekanan turun ($T_3 \sim T_4$). Selama proses ekspansi pada turbin terjadi perubahan dari energi fluida menjadi energi mekanik pada sudu-sudu dan menghasilkan putaran poros turbin. Uap yang ke luar dari turbin kemudian dikondensasi (pendinginan) pada kondensor sehingga sebagian besar uap air menjadi mengembun, kemudian siklus berulang lagi. (IAEA, 2018)

Dalam siklus Rankine terdapat penyimpangan siklus aktual dari siklus ideal disebabkan karena beberapa faktor seperti gesekan fluida, kerugian panas, dan kebocoran uap. Gesekan fluida mengakibatkan tekanan jatuh pada banyak peralatan seperti boiler, kondensor dan di pipa-pipa yang menghubungkan banyak peralatan. Tekanan jatuh yang besar pada boiler mengakibatkan pompa membutuhkan tenaga

yang lebih untuk mempompa air ke boiler. Tekanan jatuh juga mengakibatkan tekanan uap dari boiler ke turbin menjadi lebih rendah sehingga kerja turbin tidak maksimal. Kerugian energi panas juga banyak terjadi pada peralatan. Pada turbin karena proses ekspansi uap panas pada sudu-sudu dan rumah turbin banyak kehilangan panas. Kebocoran uap juga mengakibatkan kerugian yang tidak dapat diremehkan. biasanya terjadi di dalam turbin. Karena sebab-sebab tersebut mengakibatkan efisiensi menjadi turun.



Gambar 6. 6 siklus actual Rankine

5. Jenis Kerak

Penggunaan bahan baku air pengisi ketel yang kurang baik, sangat berpengaruh terhadap komponen boiler, khususnya yang bersentuhan langsung dengan air umpan. Jadi jangan menggunakan air untuk mengisi ketel jika belum mengetahui mengenai komposisi kimiawai yang dikandungnya secara jelas. Jenis-jenis kerak yang ditimbulkan oleh air umpan yang kurang baik, antara lain :

- Kerak karbonat (CaCO_3)
- Kerak gips (CaSO_4).
- Kerak silikat (CaSiO_3).
- Kerak analciet ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- Endapan atau kerak lumpur.

6. Korosi

Korosi adalah merupakan suatu materi tersendiri yang memerlukan pembahasan lebih mendalam, sebab-sebab terjadinya korosi pada pesawat uap, yaitu :

- pH yang terkandung didalam air terlalu rendah.

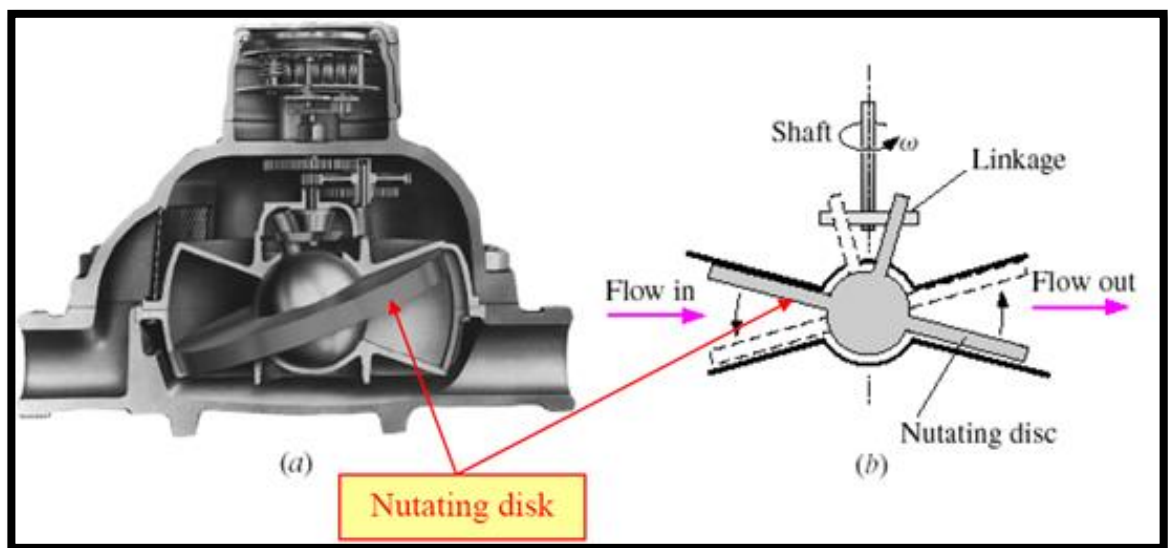
- b. Gas-gas yang masih ada didalam air seperti oksigen, karbondioksida dan sebagainya.
- c. Garam-garam magnesium Klorida dan besi sulfa! yang agak terlalu tinggi kadarnya.
- d. Aliran lisirik lokal.
- e. Reaksi antara besi/bahan dan uap yang terjadi karena sirkulasi uap dan air yang kurang sempurna (design fault).
- f. Tegangan tegangan pada las-lasan kelingan-kelingan, sambungan-sambungan dan lain-lain.

7. Contoh Turbine pada Pompa

Dari penjelasan turbine diatas dapat diberikan contoh dari turbine, contoh nya dalam Pompa, terdapat dua tipe dasar turbin pada pompa yaitu turbin positif dan turbin dinamis seperti berikut :

a. Turbin perpindahan positif

Fluida dipaksa masuk ke volume tertutup kemudian fluida didorong keluar. Flowmeter yang bias digunakan untuk mengukur volume air yang disuplai ke bagian dalam bagian inti “rumah mesin”, contoh turbin perpindahan positif sebagai berikut :



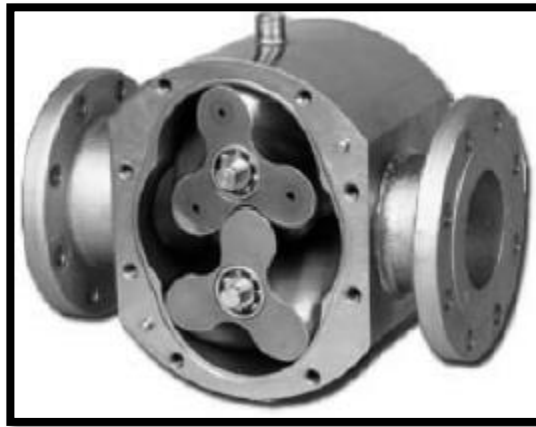
Gambar 6. 7 Flowmeter cairan cakram jenis turbin perpindahan positif mengukur laju aliran volume

Keterangan pada gambar :

(a) Tampilan terpotong

(b) Diagram yang menunjukan gerakan dari piringan atau lempengan. Flowmeter jenis turbin perpindahan positif dengan mengalirkan air sampai kedalam bagian inti “rumah mesin”.

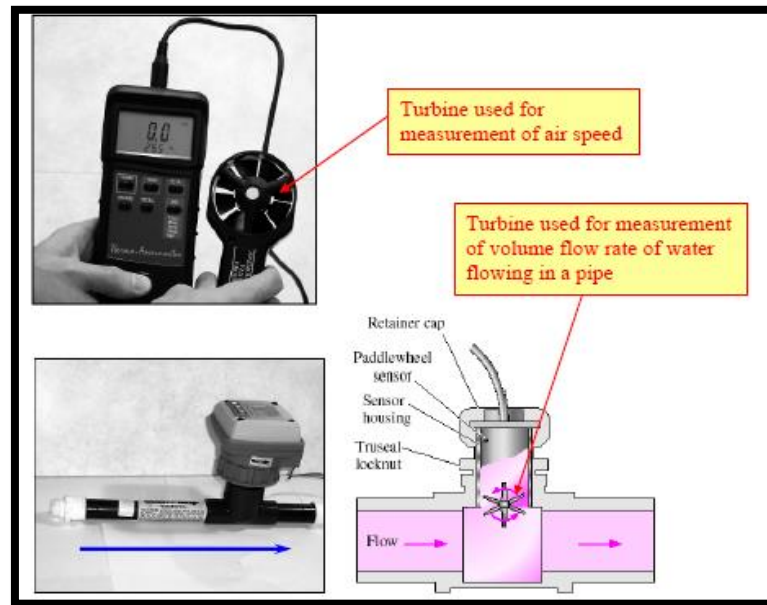
Geometri lain juga digunakan untuk turbin perpindahan positif. Misalnya, flowmeter yang menggunakan desain impeller. Seperti pada gambar berikut :



Gambar 6. 8 perpindahan positif flowmeter dengan double helical-lobe impeller desain.

b. *Turbin dinamis*

Turbin dinamis tidak memiliki volume tertutup yang terlibat sebagai penggantinya, pisau pemintal turbin berputar mentransfer energi kinetik dan mengekstraksi momentum energi fluida. Turbin dinamis digunakan untuk pengukuran aliran dan produksi daya. Misalnya, turbin untuk udara dan air, seperti pada contoh berikut :

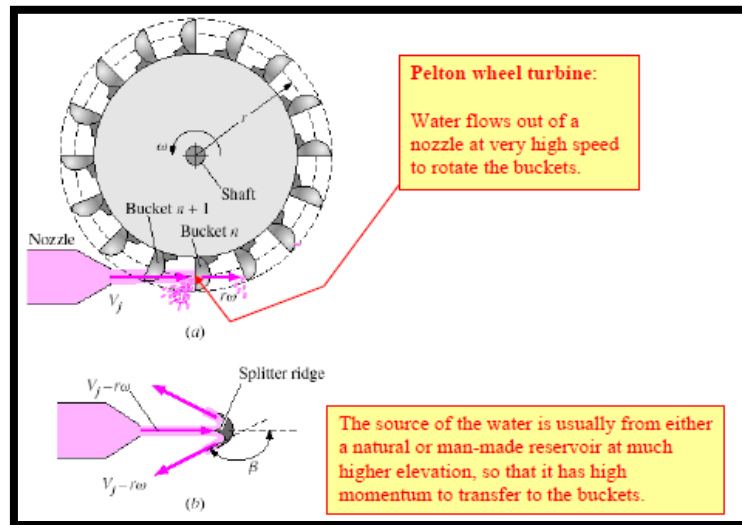


Gambar 6. 9 turbin dinamis udara dan air

Turbin digunakan untuk pengukuran kecepatan udara, turbin digunakan untuk pengukuran laju aliran volume air yang mengalir dalam pipa. Terdapat dua jenis turbin dinamis yaitu :

1) Impulse turbines dalam pipa :

Cairan dikirim melalui nozzle kemudian mengenai baling-baling dan berputar, bagian Bucket. Dibandingkan dengan turbin reaksi turbin implus membutuhkan bagian kepala yang lebih tinggi dan bekerja dengan laju aliran volume yang rendah. Contoh turbin ini adalah turbin roda pelton sebagai berikut :



Gambar 6. 10 diagram skema turbin jenis implton pelton.

Poros turbin diputar ketika fluida berkecepatan tinggi dari impinges pada buckets mengenai turbin shaft.

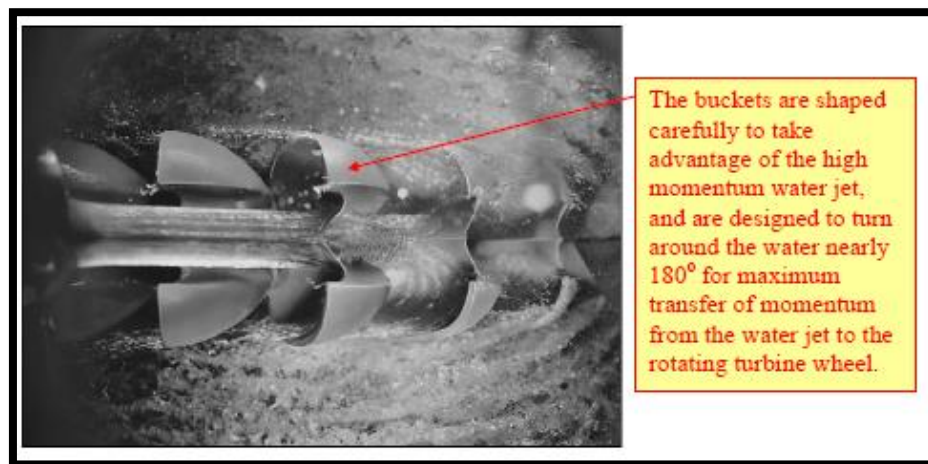
Keterangan pada gambar

a) Tampilan samping kerangka pelton turbine

Air mengalir keluar dari nozzle dengan kecepatan tinggi untuk memutar Buckets

b) Tampilan bawah penampang bucket n, tampilan perputaran

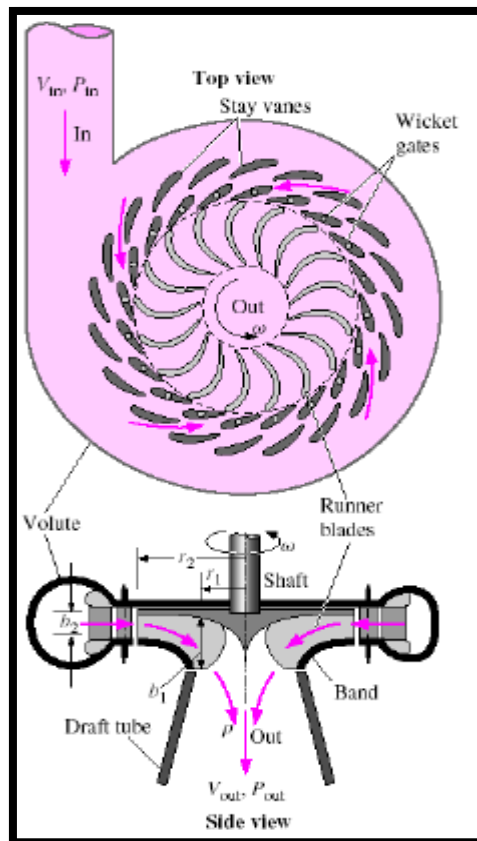
Sumber air yang diberikan oleh pengguna turbin berguna untuk evaluasi kecepatan turbin, sehingga memiliki momentum tinggi ke dalam Bucket.



Gambar 6. 11 Tampilan bawah.

2) Reaction turbines dalam pipa :

Menggunakan jet air turbin reaksi mengisi volute dengan air yang berputar yang memutar baling-baling pisau. Dibandingkan dengan turbin implus, turbine reaksi memiliki kepala yang lebih kecil dan kecepatan kerja (flowrate) lebih tinggi. Reaction turbin menggunakan elektrik produksi (hydroelectric dams).



Gambar 6. 12 reaksi tribun signifikan dari impulse turbin

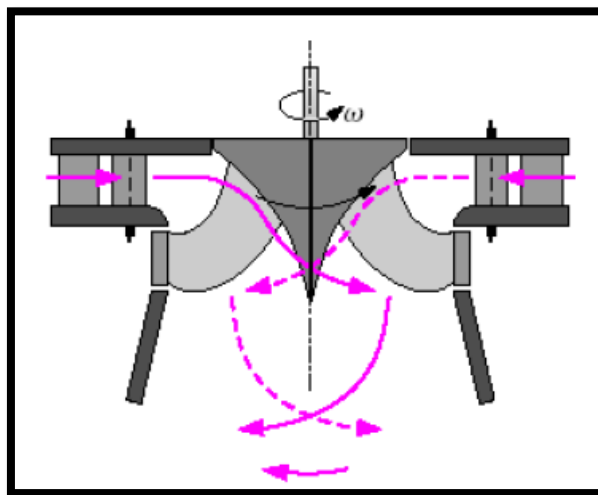
Stay vanes menjadi pengarah untuk mendorong pusaran. Wicket gates adalah baling-baling yang dapat disesuaikan untuk mendorong laju aliran volume turbin. Biasanya dapat ditutup dengan wicket gates sepenuhnya untuk menutup aliran ke turbin.

Terdapat berbagai jenis desain hydrotribune, seperti yang ada dalam teks

seperti :

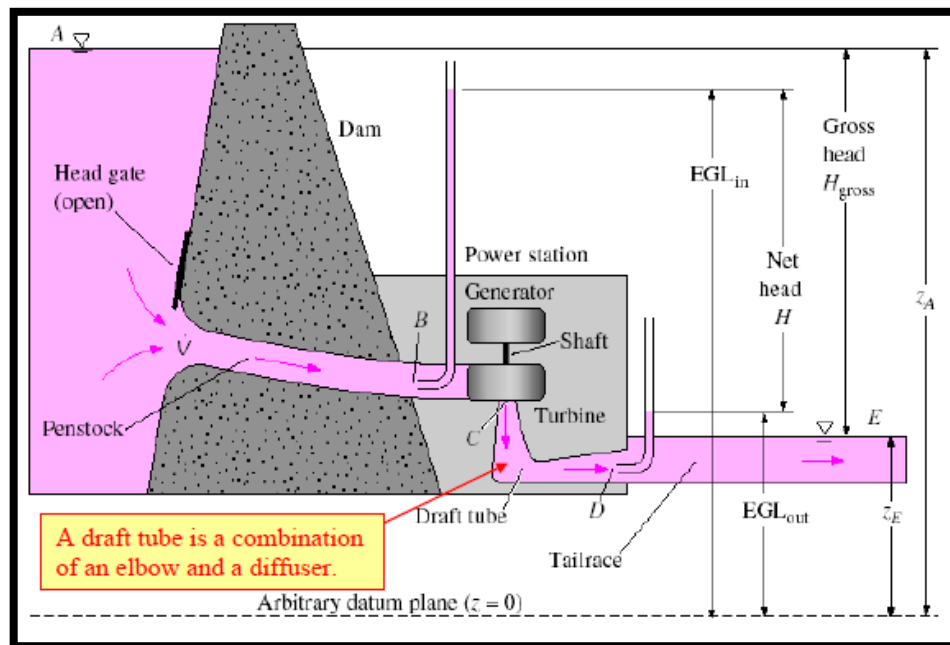
- a. Radial flow (aliran radial)
- b. Mixed flow (aliran campuran)
- c. Propeller mixed flow (baling-baling aliran campuran)
- d. Propeller axial flow (baling-baling aliran aksial).

Dalam banyak hidroturbin aliran campuran Francis modern, aliran yang keluar dari turbin berputar ke arah yang *berlawanan* dengan pelari itu sendiri. Ini disebut *swirl* terbalik, dan dirancang untuk mengekstrak momentum maksimum yang mungkin dari air, mirip dengan bagaimana Pelton roda turbin bucket air hampir 180°. (Generation et al., 2019; ST, 2016; Western Governors' Association, 2018)



Gambar 6. 13 reverse swirl

Berikut ini adalah pengaturan khas untuk pembangkit listrik tenaga air yang menghasilkan listrik dengan hydroturbine dan generator. Perhatikan bahwa head net H melintasi turbin diukur dari hulu turbin ke hilir draft tube, sementara *gross head* H_{gross} diukur dari permukaan reservoir hulu ke permukaan tailrace hilir. Seperti gambar berikut :



Gambar 6. 14 Pembangkit Air

3) Turbine efficiency

Turbine efficiency : $n_{\text{turbine}} = \frac{W_{\text{shaft}}}{W_{\text{water horsepower}}} = \frac{\text{bhp}}{\rho g H V}$

4) Efisiensi turbin kebalikan dari efisiensi pompa

$$n = \text{efficiency} = \frac{\text{Actual output}}{\text{required input}}$$

Untuk pompa,

$$n_{\text{pump}} = \frac{W_{\text{water horsepower}}}{W_{\text{shaft}}} = \frac{\rho g H V}{\text{bhp}}$$

untuk turbin,

$$n_{\text{turbine}} = \frac{W_{\text{shaft}}}{W_{\text{water horsepower}}} = \frac{\text{bhp}}{\rho g H V}$$

Secara umum, turbin perpindahan positif digunakan untuk pengukuran aliran, bukan untuk memproduksi daya listrik. Sedangkan turbin dinamis digunakan untuk pembangkit listrik dan pengukuran aliran.

C. LATIHAN SOAL / TUGAS

1. Jelaskan yang anda pahami mengenai Turbin !
2. Jelaskan jenis-jenis turbin pada pembangkit !
3. Jelaskan perbedaan turbin impulse dan turbin reaksi !
4. Jelaskan persyaratan keamanan katel uap !
5. Berikanlah contoh turbin dalam pompa !

D. DAFTAR PUSTAKA

- Charles, S., & Gustaf, S. E. (2011). *Turbines and its types*.
- Generation, E. P., Practices, D. I., & Management, E. (2019). *Electric Power Generation , Transmission and Distribution Industry Practices and Environmental Characterization*. June, 1–11.
- IAEA. (2018). *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050* (Issue 1).
- Ilmiah, P. (2016). *RANCANG BANGUN DAN ANALISA RANGKAIAN PROTOTYPE Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada Jurusan*.
- Luknanto, I. D., Sc, M., & Ph, D. (2014). *Bangunan Tenaga Air*. 1–14.
- Muslim, S. (2008). *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Skeolah Menengah Umum.
- Nagpurwala, Q. H. (2013). *Hydraulic Turbines*.
- Report, G. (2018). *New electricity frontiers*. May.
- ST, L. augmented. (2016). *An introduction to electric motors What is an electric motor*.
- Subagyo, R. (2018). *TURBIN UAP HMKB760*.
- Western Governors ' Association. (2018). *An Introduction to Electric Power Transmission An Introduction to Electric Power Transmission – Table of Content (TOC)*

PERTEMUAN 7

GENERATOR LISTRIK

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Generator Listrik”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan Mampu memahami dan mengidentifikasi generator listrik AC dan generator DC, membuat aliran prinsip kerja generator untuk kebutuhan industri.

B. URAIAN MATERI

1. Pengantar Generator Listrik

Generator Listrik merupakan sebuah alat yang dapat memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik biasanya menggunakan induksi elektromagnetik,

.

Kegunaan menggunakan listrik sebagai berikut :

- a. Pencahayaan, pemanasan, pendinginan dan peralatan listrik domestik lainnya yang digunakan di rumah.
- b. Penerangan jalan, pencahayaan banjir area olahraga, pencahayaan gedung kantor, menyalakan PC dll.
- c. Irigasi lahan pertanian yang luas menggunakan pompa dan operasi penyimpanan dingin untuk berbagai produk pertanian.
- d. Menjalankan motor, tanur dari berbagai jenis, dalam industri.
- e. Menjalankan lokomotif (kereta listrik) dari kereta api.

Dalam penjelasan di atas masih banyak lagi kegunaan dari Listrik, intinya adalah tanpa listrik, kehidupan modern ini akan mati. Bahkan, jika melihat dari kemajuan suatu negara sudah diukur oleh konsumsi Indeks per kapita listrik lebih lanjut.(Generation et al., 2019; ST, 2016; Western Governors ' Association, 2018)

2. Generator

Generator listrik adalah mesin yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik dapat disuplai oleh mesin utama, dimana mesin pembakaran, mesin uap, dapat membasahi air yang melewati turbin atau bahkan motor listrik atau

mekanisme lain yang dapat menjadi sumber energi mekanik. Energi ini biasanya diperoleh dari poros berputar yang juga disebut generator angker. Energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan untuk transmisi energi di tingkat komersial, industri atau bahkan domestik. Generator memasok arus yang biasanya memiliki frekuensi 50 Hz, yang digunakan di sini. Generator listrik memiliki dua bagian: (Nugroho & Agustina, 2015; Setyawan et al., n.d.; Suharjo et al., n.d.)

a. Stator

b. Rotor

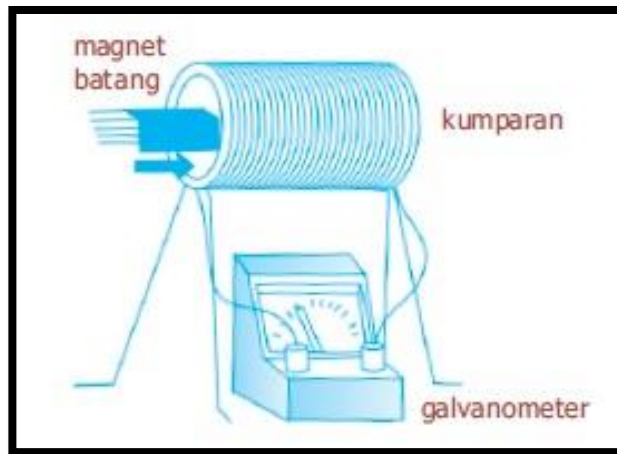
Stator terdiri dari kutub magnet stasioner, sedangkan armature berputar termasuk dalam rotor. Pekerjaan generator listrik Generator umumnya bekerja dengan hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik. Hukum ini menjelaskan bahwa dengan memutar konduktor listrik dalam medan magnet, ggl diinduksi, yang menciptakan aliran muatan. Ketika konduktor berputar di medan magnet, perbedaan tegangan dibuat antara kedua ujungnya dan aliran berubah dan ggl sebanding dengan laju perubahan aliran ($e = -N d\Phi / dt$) diinduksi dan, oleh karena itu, arus mengalir. Konduktor listrik berputar disebut generator angker



Gambar 7. 1 Generator listrik

Gaya gerak listrik dalam induksi dapat diperbesar jika memperbanyak lilitan pada kumparan, dan menggunakan magnet yang permanen akan mempercepat putaran dalam kumparan, gaya gerak listrik yang terjadi disebut dengan arus imbas atau arus

induksi seperti pada gambar berikut : (Ilmiah, 2016; Noor & Saputera, 2014; Studi et al., n.d.)



Gambar 7. 2 Gaya gerak listrik akibat perubahan magnet

Jika magnet digerakkan mendekati atau menjauhi jarum galvanometer, jarum bergerak menyimpang berate arus induksi timbul selama terdapat gaya medan magnet pada kumparan. Sementara, jika jarum galvanometer tidak menyimpang berarti tidak adanya magnet dalam kumparan maka tidak terjadi induksi. Arus induksi timbul karena memiliki beda potensial antara gaya gerak listrik pada ujung-ujung kumparan. Gaya gerak listrik sebanding terhadap laju perubahan fluks magnetik berikut.

$$\Phi_B = B \perp A = B A \cos \Theta$$

Keterangan :

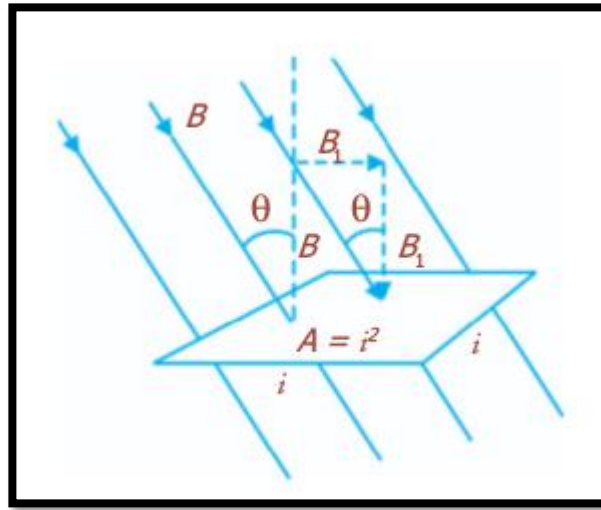
Φ_B = fluks magnetic

B = Induksi magnetic

A = Luas bidang

$B \perp$ merupakan komponen magnet B yang tegak lurus pada permukaan kumparan, Θ merupakan sudut antar B dengan garis tegak lurus kumparan. berikut merupakan contoh kumparan bujur sangkar berisi l seluas $A = l^2$, sejajar dengan permukaan kumparan B , $\Theta = 90^\circ$ dan $\Phi_B = 0$. Jika B tegak lurus pada kumparan

maka, $\theta = 0^\circ$ dan $\Phi_B = BA$.



Gambar 7. 3 garis medan magnet sejajar dengan luas A

3. Prinsip Kerja Generator

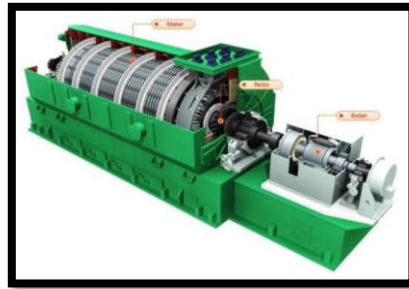
Prinsip kerja generator merujuk pada hukum Faraday apabila suatu penghantar diputar pada medan magnet, sehingga memotong garis gaya magnet sering disebut dengan garis gaya listrik (ggl) dalam satuan volt.

4. Jenis-jenis Generator

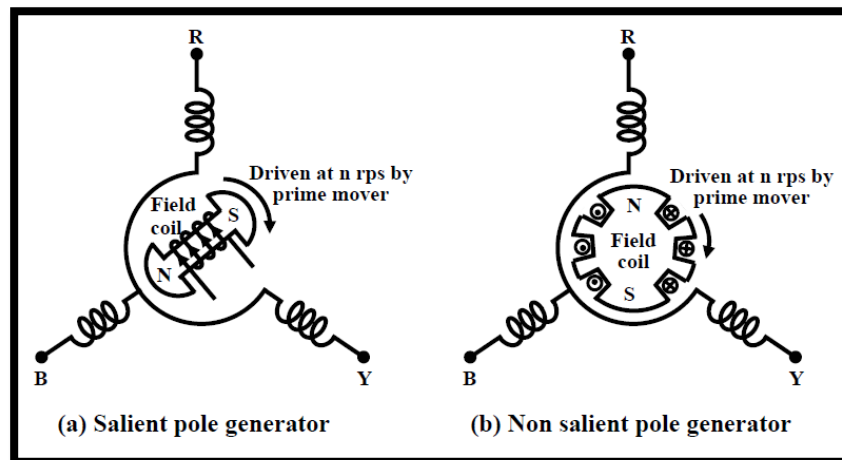
Generator terbagi menjadi dua yaitu :

a. Generator AC

Generator arus bolak-balik (AC) berfungsi untuk mengkonversi energi mekanik (gerak) menjadi energi elektrik dengan perantara induksi medan magnet, listrik AC dihasilkan dari induksi elektromagnetik kutub permanen diputar sumbunya, maka diujung sumbu terdapat tegangan listrik yang ditunjukkan oleh jarum V meter. Generator AC merujuk pada hukum Faraday yang menyatakan sebatang penghantar listrik berada pada medan yang berubah-ubah maka penghantar tersebut terbentuk gaya gerak listrik.



Gambar 7. 4 generator AC



Gambar 7. 5 generator 3-fasa

Prinsip kerja generator AC berawal pada kumparan yang terdapat pada rotor dihubungkan medan berputar menginduksi tiga fasa kumparan jangkar, dengan sumber eksitasi dan disuplai oleh arus searah sehingga menimbulkan fluks. Prime mover yang sudah terkelupas pada rotor segera dioperasikan sehingga motor berputar, dengan persamaan :

$$N = 120 f / p$$

Keterangan :

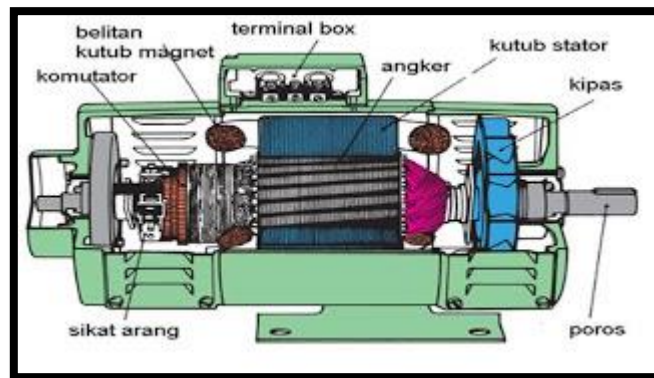
n = kecepatan putar rotor (rpm)

p = jumlah kutub rotor

f = frekuensi (Hz)

b. Generator DC

Generator DC disebut dengan arus searah mempunyai komponen dasar hampir sama dengan generator AC. Generator DC merupakan alat konversi energi mekanis berupa putaran menjadi energi listrik arus searah. Energi ini sama dengan AC berdasarkan hukum Faraday, maka kawat penghantar timbul gaya gerak listrik sebanding dengan perubahan laju fluksi oleh kawat penghantar. Perbedaan dengan generator AC hanya pada penggerakannya di dalam mesin, generator AC memiliki arus bolak-balik sedangkan DC searah pada bagian putar (rotor) dan bagian diam (stator).



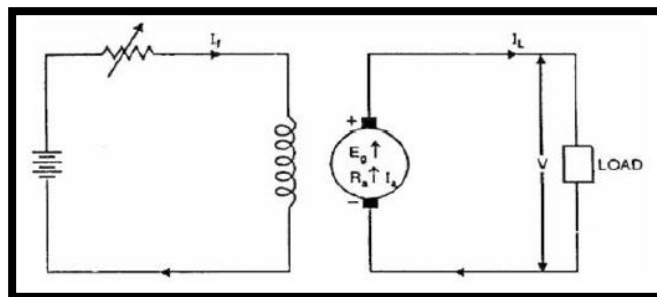
Gambar 7. 6 generator DC

5. Bagian-bagian generator

Terdapat lima bagian-bagian utama dari jenis utama generator :

a. Excited Generator

Dalam generator yang tereksitasi terpisah, fluks medan berasal dari sumber daya terpisah yang tidak tergantung pada generator itu sendiri. Rangkaian ekuivalen dari generator secara terpisah ditunjukkan berikut ini :



Gambar 7. 7 Excited Generator

Tegangan total diwakili oleh V_T .

I_a adalah armature saat ini dan V_a adalah tegangan dynamo. I_L adalah arus beban dan E_A adalah ggl yang diinduksi. Hubungan nya sebagai berikut :

$$V_T = E_A - I_a R_a$$

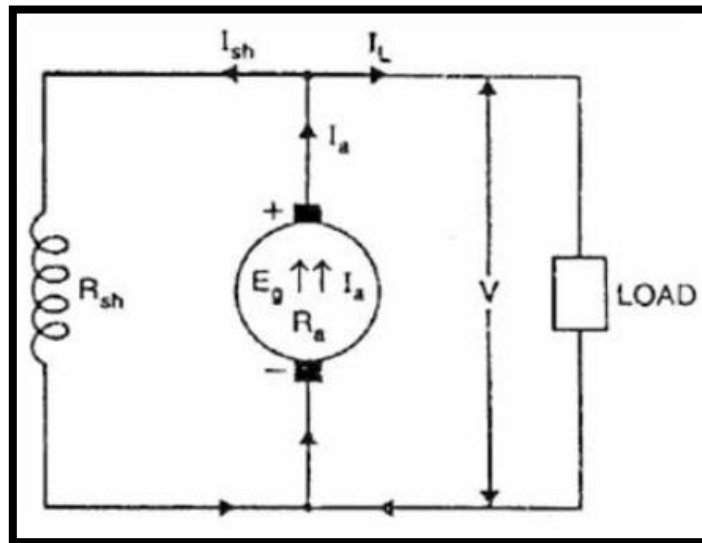
Dimana $I_L = I_a$

Karakteristik output : $I_L = E_A$

Grafik ini idealnya garis lurus tetapi menyimpang karena reaksi jangkar.

b. Shunt Generator

Dalam Generator shunt, fluks medan diperoleh dengan menghubungkan sirkuit medan langsung di terminal generator. Shunt generator merupakan generator yang memasok arus medan sendiri dengan menghubungkan medan langsung di terminal mesin. Rangkaian ekivalen dari generator shunt ditunjukkan berikut ini :



Gambar 7. 8 Shunt Generator

Dalam rangkaian arus armature persediaan mesin kedua sirkuit dan beban melekat pada mesin. Hubungan antara ketiga arus sebagai berikut :

$$I_a = I_F + I_L$$

Dimana :

I_a = armature

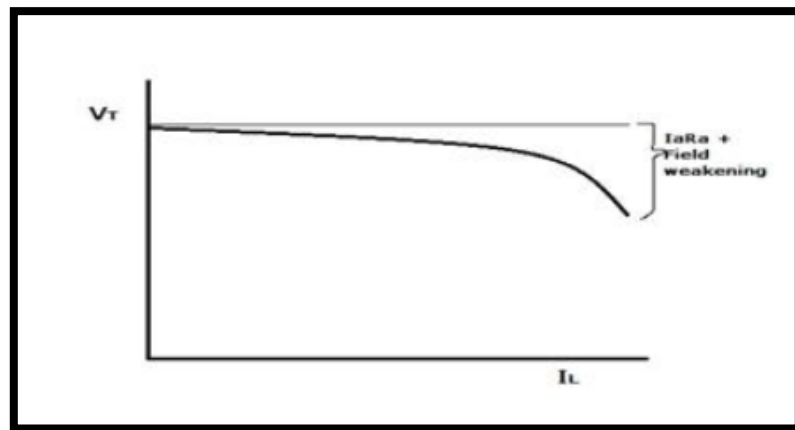
I_F = arus rangkaian medan

I_L = arus beban

Persamaan hukum tegangan Kirchhoff untuk rangkaian mesin :

$$V_T = E_A - I_A R_A$$

Jenis generator ini memiliki keunggulan berbeda dibandingkan generator yang memiliki power supply terpisah memerlukan daya eksternal dalam membuat rangkaian medan. Berikut grafik outputnya :

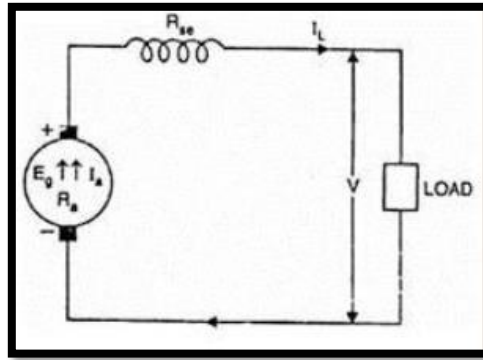


Gambar 7. 9 Output Shunt Generator

c. Series Generator

Dalam Generator seri, fluks medan diproduksi dengan menghubungkan rangkaian medan secara seri dengan jangkar generator. Series Generator adalah generator yang bidangnya terhubung secara seri dengan armature-nya. Karena armature-nya memiliki arus yang jauh lebih tinggi dari pada Shunt medan. Gulungan medan seri hanya akan memiliki beberapa belokan tetapi kawat lebih tebal.

Hampir sama dengan sirkuit seperti contoh berikut :



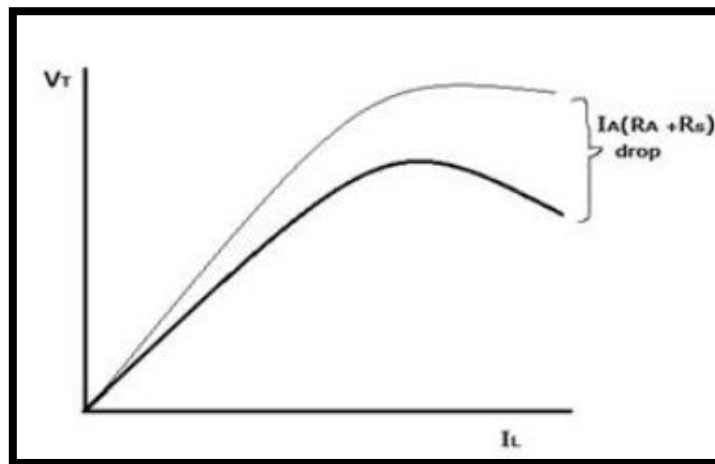
Gambar 7. 10 Series Generator

$$I_A = I_L = I_S$$

Dan persamaan hokum Kirchhoff-nya ditulis sebagai berikut :

$$V_T = E_A - I_A (R_A + R_S)$$

Grafik outputnya seperti berikut :



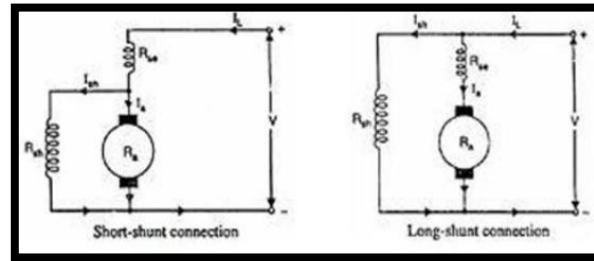
Gambar 7. 11 output series generator

d. Commutatively Compounded Generator

Dalam generator yang diperparah secara komutatif, merupakan kedua bidang seri shunt, yang terhubung dengan kekuatan magnet sehingga kedua bidang bertemu dan bertambah. Hal ini dapat dibagi menjadi dua kategori :

- 1) Panjang Shunt Compound
- 2) Pendek Shunt Compound

Rangkaian ekivalen sebagai berikut :



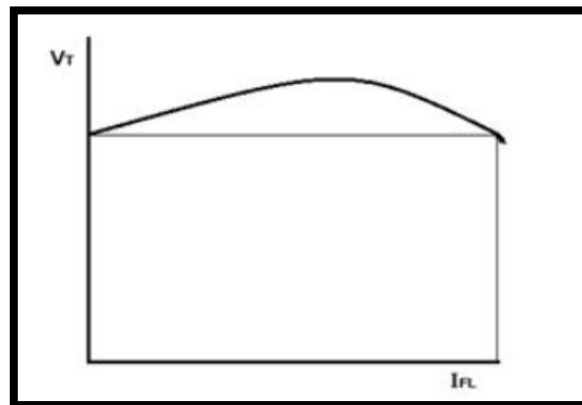
Gambar 7. 12 Commutatively Compounded Generator

Persamaan Commutatively Compounded Generator :

$$I_A = I_F + I_L$$

$$V_T = E_A - I_A (R_A + R_S)$$

Dengan grafik karakteristik terminal generator sebagai berikut :



Gambar 7. 13 Output Cummutatively Compounded Generator

e. Differentially Compound Electric Generator

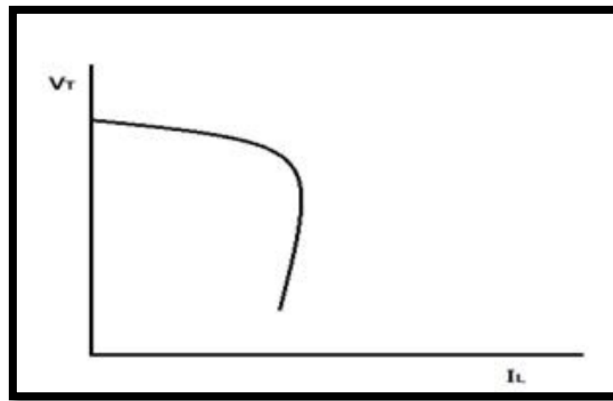
Dalam jenis generator ini terdapat medan shunt dan seri. Ketika dijalankan keduanya magnet mengurangi satu sama lain dan kekuatan magnet lebih sedikit. Rangkaian ekivalen dari generator senyawa diferensial kurang lebih sama

dengan generator senyawa komersial, hanya arah kekuatan motif magnet yang dihasilkan dalam sirkuit berbeda.

Persamaan dapat ditulis sebagai berikut :

$$I_F^* = I_F + I_{ea}$$

Tegangan terminalnya dibandingkan grafik arus beban seperti berikut :



Gambar 7. 14 tegangan grafik arus beban Differentially Compound Electric Generator

6. Gagasan Generator Listrik

Sebelum penemuan Hukum Elektromagnetik Faraday, tenaga listrik tersedia dari baterai dengan tegangan dan level arus yang terbatas. Meskipun rumit dalam konstruksi, generator DC dikembangkan terlebih dahulu untuk menghasilkan daya dalam jumlah besar. Namun, karena keterbatasan mesin DC untuk menghasilkan tegangan di atas beberapa ratus volt, itu tidak ekonomis untuk mengirimkan sejumlah besar daya pada jarak yang jauh. Untuk jumlah daya tertentu, besarnya arus ($I = P / V$), maka bagian konduktor tembaga akan besar. Dengan demikian pembangkitan, transmisi, dan distribusi daya as dibatasi pada area beberapa radius kilometertanpa interkoneksi antara pembangkit listrik. Oleh karena itu, stasiun pembangkit khusus area beserta jaringan distribusinya harus digunakan.

7. Perubahan dari DC ke AC

Pada setengah akhir tahun delapan puluhan, pada abad kesembilan belas, diusulkan untuk memiliki sistem tenaga dengan 3 fase, 50 Hz AC generasi, jaringan transmisi dan distribusi. Setelah sistem ac diadopsi, transmisi daya besar (MW) pada tegangan transmisi yang lebih tinggi menjadi kenyataan dengan menggunakan

transformator. Level tegangan dapat diubah secara virtual ke level lain yang diinginkan dengan transformer - yang sejauh ini tidak mungkin dilakukan dengan sistem DC. Nicola Tesla menyarankan bahwa motor listrik yang secara konstruksi lebih sederhana (motor induksi, tanpa kerumitan segmen komutator dari motor DC) yang beroperasi dari pasokan ac 3 fase dapat diproduksi. Bahkan, argumennya yang mendukung sistem pasokan AC memiliki perdebatan tentang beralih dari sistem DC ke AC. (Nugroho & Agustina, 2015)

8. Komponen Generator

Komponen utama generator terdiri dari stator dan rotor.

a. Stator

Terdiri dari 3 komponen utama :

1) Rangka stator

Rangka stator adalah kerangka (rumah) menjaga jangkar generator terbuat dari besi tuang terdiri dari tempat-tempat kumparan. Memiliki celah ventilasi udara sehingga udara dapat keluar dan masuk ke inti stator sebagai pendingin.

2) Inti stator

Inti stator merupakan laminasi-laminasi memiliki jarak dengan isolasi sehingga udara pendingin dapat melewatinya dan terdapat slot tempat konduktor.

3) Kumparan stator

Kumparan stator sering disebut dengan kumparan jangkar merupakan tempat timbulnya gaya gerak listrik (ggl), terminal output generator memperoleh energi listrik yang siap untuk disalurkan.

b. Rotor

Terdiri dari 3 bagian komponen utama :

1) Slip ring

Bagian yang dihubungkan dengan sumber DC, sumber energi melalui sikat yang menempel pada slip ring, memiliki sifat konduktif dan koefisien gaya gesek sangat rendah.

2) Kumparan rotor atau kumparan medan

Kumparan medan ini adalah unsur atau peran utama dalam menghasilkan

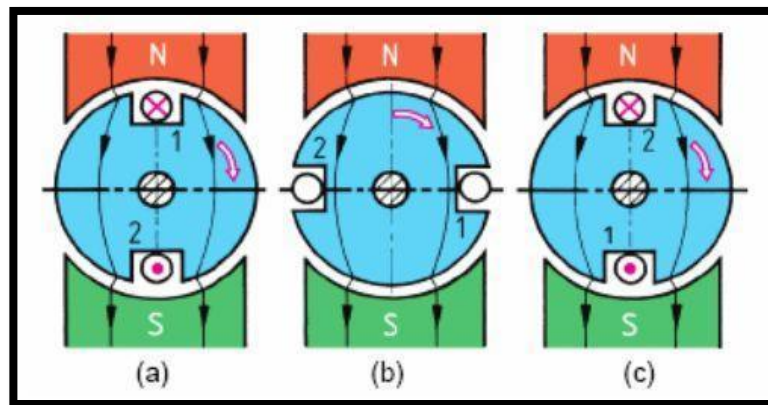
medan magnet, berada di bagian rotor dari generator, memiliki arus searah dari sumber eksitasi tertentu.

3) Poros rotor

Tempat peletakan medan kumparan dimana poros rotor berbentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor, penempatan kumparan medan dapat diatur sesuai dengan rancangan.

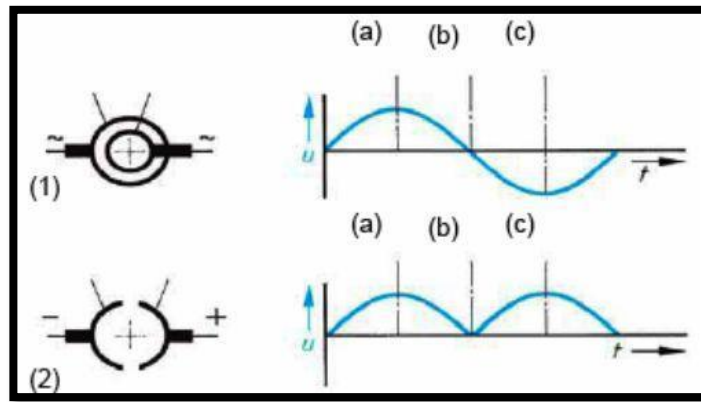
9. Prinsip kerja rotor

Tegangan induksi sebuah generator dilakukan dengan dua cara, menggunakan cincin seret sehingga menghasilkan tegangan induksi bolak balik dan dengan menggunakan komutator menghasilkan tegangan searah. Berikut merupakan gambaran dari pembangkit tegangan induksi



Gambar 7. 15 Pembangkit Tegangan Induksi

Rotor diputar mempengaruhi medan magnet sehingga terjadi perpotongan medan magnet pada lilitan kawat rotor, sehingga menghasilkan tegangan induksi. Tegangan induksi pada (a) dan (c) merupakan induksi terbesar sehingga terjadi perpotongan medan magnet maksimum, pada bagian (b) tidak terjadi tegangan induksi dapat dikatakan netral, dikarenakan tidak adanya potongan penghantar pada rotor.



Gambar 7. 16 tegangan rotor yang dihasilkan cincin seret komutator

Jika ujung belitan rotor dihubungkan dua cincin (cincin seret), pada gambar (1) maka menghasilkan listrik arus bolak balik AC. Bila ujung belitan rotor dihubungkan dengan komutator satu cincin bagian (2) menghasilkan tegangan listrik searah dengan dua gelombang positif. Rotor berasal dari generator DC menghasilkan tegangan induksi bolak balik, sehingga tegangan listrik yang dihasilkan generator DC sebanding dengan banyaknya putaran dan arus sebagai penguat medan.

C. LATIHAN SOAL / TUGAS

1. Jelaskan manfaat kegunaan menggunakan listrik di era modern ini !
2. Jelaskan yang dimaksud dengan generator AC dan generator DC !
3. Jelaskan 5 bagian utama generator listrik !
4. Jelaskan prinsip kerja generator !
5. Berikanlah contoh generator listrik disekitar anda dan jelaskan prinsip kerja nya!

D. DAFTAR PUSTAKA

- Generation, E. P., Practices, D. I., & Management, E. (2019). *Electric Power Generation , Transmission and Distribution Industry Practices and Environmental Characterization*. June, 1–11.
- Ilmiah, P. (2016). *RANCANG BANGUN DAN ANALISA RANGKAIAN PROTOTYPE Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada Jurusan*.
- Noor, S., & Saputera, N. (2014). *KAPASITOR BANK*. 6(2), 1–6.

- Nugroho, N., & Agustina, S. (2015). *ANALISA MOTOR DC (DIRECT CURRENT) SEBAGAI PENGGERAK MOBIL LISTRIK*. 2(1), 28–34.
- Setyawan, O., Zakki, A. F., & Iqbal, M. (n.d.). *Analisa Estimasi Tingkat Kebisingan di Kamar Mesin dan Ruang Akomodasi pada Kapal Riset dengan Penggerak Motor Listrik Program Studi S1 Teknik Perkapalan , Fakultas Teknik , Universitas Diponegoro Semarang , Kata kunci : estimation noise , noise ship , kebisingan kapal Key Words : estimation noise , noise ship , kebisingan kapal Jurnal Teknik Perkapalan , Vol . 3 , No 1 Januari 2015 Jurnal Teknik Perkapalan , Vol . 3 , No 1 Januari 2015*. 3(1), 63–72.
- ST, L. augmented. (2016). *An introduction to electric motors What is an electric motor*.
- Studi, P., Pendidikan, S., Elektro, T., Teknik, F., Surabaya, U. N., Elektro, J. T., Teknik, F., & Surabaya, U. N. (n.d.). *PENGEMBANGAN JOB SHEET MEMPERBAIKI MOTOR LISTRIK SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN PRAKTIK SISWA KELAS XI TIPTL DI SMK PGRI 1 LAMONGAN* Joko. 6(1), 753–758.
- Suharjo, I., Studi, P., Elektro, T., Mercu, U., & Yogyakarta, B. (n.d.). *ANALISIS PENGGUNAAN JARINGAN KABEL LISTRIK*. 31–36.
- Western Governors ' Association. (2018). *An Introduction to Electric Power Transmission An Introduction to Electric Power Transmission – Table of Content (TOC)*.

PERTEMUAN 8

TRANSFORMATOR

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang "Transformator". Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan Mampu menghitung kebutuhan daya Transfromator pada industri sesuai dengan penggunaan.

B. URAIAN MATERI

1. Pengantar

Transformator berfungsi untuk mengubah energi listrik dari tegangan rendah ke tegangan tinggi atau sebaliknya, pada tarsnfromator enegri tersebt dapat berubah karena meiliki belitan sekunder dan belitan primer, fungsi transformator didasarkan pada prinsip bahwa energi listrik adalah efisien ditransfer oleh induksi magnetik dari suatu rangkaian lain. Ketika belitan transformator diberi energi dari sebuah sumber arus bolak-balik (AC), medan magnet bolak-balik didirikan pada inti transformator. Garis magnetik bolak-balik dari kekuatan, yang disebut "aliran", beredar melalui nukleus. Dengan belitan kedua di sekitar nukleus yang sama, suatu tegangan disebabkan oleh garis aliran bolak-balik. Sirkuit yang terhubung ke terminal hasil belitan kedua di aliran arus. Setiap fase transformator terdiri dari dua gulungan koil terpisah luka pada inti bersama. Gulungan tegangan rendah ditempatkan sedekat mungkin inti; belitan tegangan tinggi kemudian ditempatkan di sekitar tegangan rendah berliku dan inti. Inti biasanya dibuat sangat tipis laminasi baja, masing-masing dilapisi dengan isolasi. Mengisolasi antara laminasi individu, kerugian berkurang. Inti baja menyediakan sebuah jalur resistansi rendah terhadap fluks magnet. Tegangan tinggi dan rendah gulungan diisolasi dari inti dan dari satu sama lain, dan dibawa keluar melalui bushing isolasi. Tiga fase transformator biasanya memiliki inti dengan tiga kaki dan keduanya memiliki tegangan tinggi dan gulungan tegangan rendah di sekitar masing-masing kaki. Kertas khusus dan kayu digunakan untuk isolasi dan dukungan struktural internal.(Sumardjati, 2008).

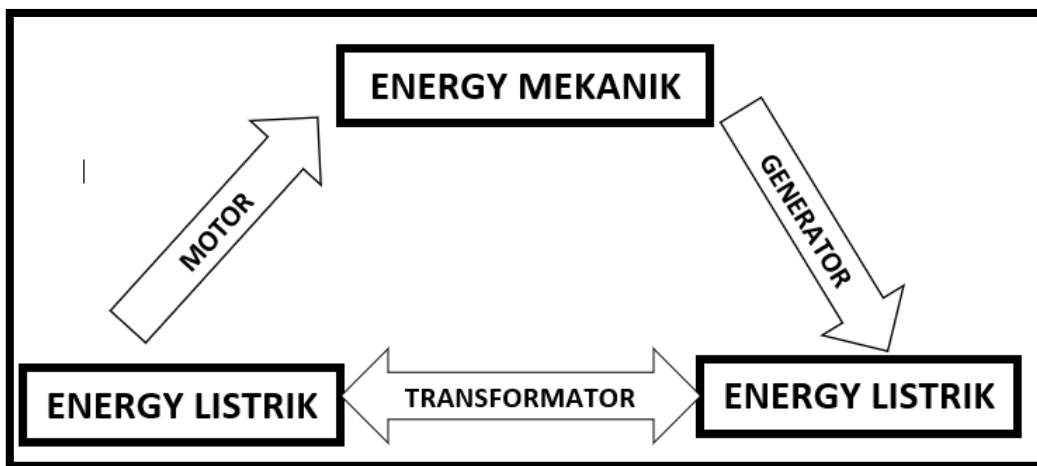
Trafo merupakan perangkat yang mentransfer energi listrik dari satu rangkaian ke sirkuit lainnya melalui konduktor berpasangan induktif - kumparan transformator. Arus variable belitan pertama atau primer menciptakan fluks magnet variabel pada inti transformator, dan dengan demikian medan magnet variabel melalui belitan sekunder. Ini bervariasi medan magnet menginduksi gaya gerak listrik variabel (EMF) atau "tegangan" pada gulungan sekunder. Efek ini disebut saling induksi. (Reclamation, 2005; Sutrisno, 2010)



Gambar 8. 1 contoh transformator

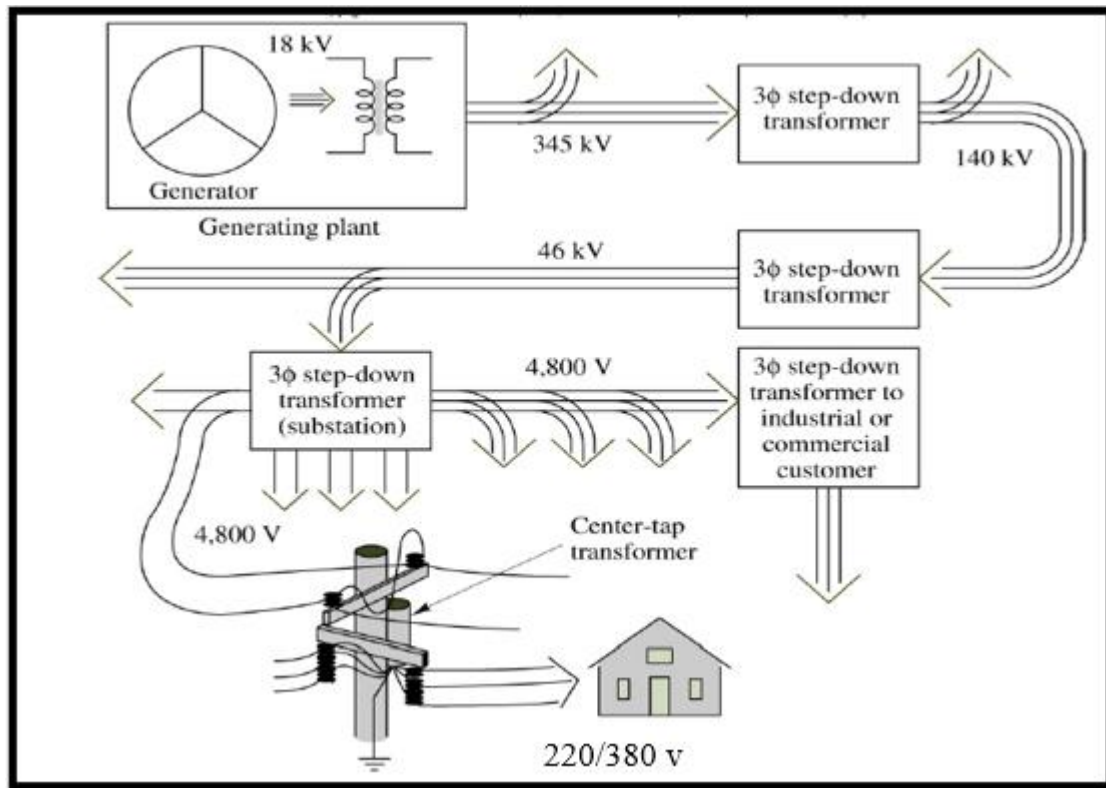
Transformer merupakan alat listrik yang dapat memindahkan atau mengubah energy listrik dari satu tingkatan ke tingkatan tegangan yang lain, melalui suatu prinsip induksi elektromagnetik, umumnya transformer atau trafo merupakan golongan mesin listrik yang terdiri dari sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis kemudian kumparan primer dan juga kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan dipengaruhi banyaknya lilitan pada kedua kumparan primer dan sekunder tersebut, pada umumnya kumparan berupa lilitan tembaga yang dibelit pada kaki inti transformator. Transformator banyak digunakan pada praktiknya di bidang listrik maupun elektronika. Penggunaan trafo pada sistem pembangkit tenaga ini memungkinkan tegangan yang diinginkan sesuai dengan kebutuhan sehingga menyebabkan menjadi nilai ekonomis yang baik untuk setiap kegunaannya, untuk mengirimkan daya pada jarak jauh transformator dibutuhkan, pemakaian transformator yang baik dan memiliki keandalannya yang tinggi merupakan salah

satu kenapa transformator digunakan dalam membantu penyaluran tenaga listrik arus AC, dikarenakan arus AC merupakan arus yang banyak digunakan untuk pembangkitan tenaga listrik. Ketika proses penyaluran tenaga listrik arus bolak balik (AC) mengalami kerugian energy sebesar $I \times R$ watt. Kerugian ini akan berkurang Ketika pada saluran tersebut dinaikan tegangannya setinggi mungkin, sehingga saluran tranmisi tenaga listrik menggunakan tegangan yang tinggi. Hal tersbut dilakukan untuk mengurangi kerugian tenaga listrik yang timbul, dengan menggunakan trasnformator untuk menaikan tegangan listrik pada pusat pembangkit dari tegangan generator listrik yang berkisar antara 6 KV sampai dengan 20 KV yang pada awalnya dinaikan sehingga tersalur ke trasnmisi sampai 100 KV hingga 1000 Kv , setelah sampai di gardu induk masing masing di turunkan lagi ketegangan rendah sesuai dengan kebutuhan.(Corporation & Instruments, 2018)



Gambar 8. 2 perbandingan perubahan energy

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa system perubahan energy pada trasnformator merupakan perubahan energy listrik yang rendah ke enrgy listrik yang tinggi (*Step Up*) atau sebaliknya dari energy lisrik yang tinggi ke energy listrik yang rendah (*Step Down*). Berikut akan digambarkan proses kerja trasnformator pada saluran pembangkit ke trasnmisi dan distribusi hngg sampai bisa digunakan.



Gambar 8. 3 proses system kerja transfromator

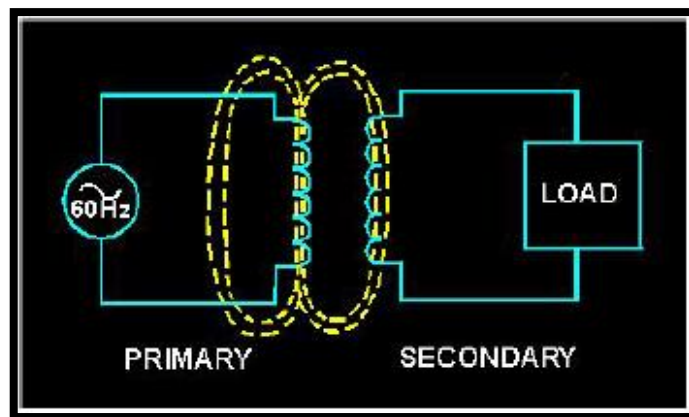
Berdasarkan gambar diatas dapat dijelaskan generator listrik yang menghasilkan daya sebesar 18 Kv (18.000 Volt) dinaikan tegangannya dengan trafo *step up* sehingga menjadi 345 Kv (345.000 V) untuk menghilangkan rugi rugi daya akibat jarak yang Panjang dari sumber pembangkit, hingga kemudian daya di turunkan lagi dengan trafo *step dwon* sehingga menjadi 140 KV (140.000V) untuk menuju gardu induk yang ada pada pasaing masig wilayah, setelah sampai gardu induk daya listrik diturunkan kembali dengan trafo *step down* menjadi 46 Kv (46000 v), sampai di gardu daya listrik yang di dapatkan di sebar ke masing-masing tujuan area wilayah kebutuhan diturunkan menjadi 4,8 Kv atau (4800 Volt)disebar ke industri dan rumahan. Samapi di gardu tiang yang seperti kita lihat trafo diturunkan Kembali menjadi tengan rendah yaitu sebesar 220 / 380 Volt yang biasa kita gunakan sehari hari untuk alat dan peralatan elektronik atau permesinan.(Kasus et al., 2008).

2. Prinsip Kerja Transformator

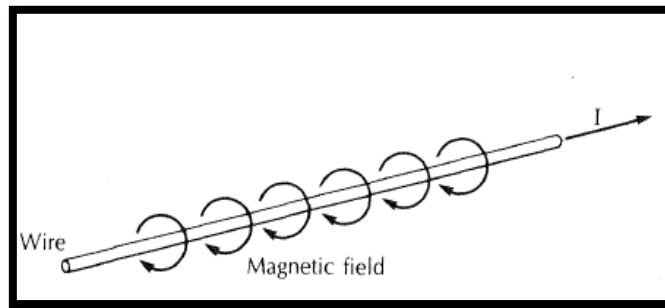
Trafo adalah perangkat elektrostatis yang digunakan untuk mentransfer energi listrik (tegangan atau arus) dari satu rangkaian ke sirkuit lain dengan saling menginduksi dua rangkaian listrik tanpa mengubah frekuensi, yang bekerja sesuai dengan prinsip induksi elektromagnetik. (Mukhammad Rif'at Za'im, 2014)

Berikut dijelaskan prinsip kerja pada transformator (Trafo)

- Trafo bekerja di bawah prinsip induksi elektromagnetik.
- Menggunakan prinsip ini, yang mentransfer energi listrik dari satu belitan ke belitan lainnya dengan induksi bersama antara kedua belitan
- Aliran bolak-balik terbentuk pada inti magnetik ketika belitan primer dialiri energi dari sumber arus bolak-balik (V1) dan yang sekunder berada dalam sirkuit terbuka.
- Aliran ini menghubungkan belitan primer dan sekunder; dengan demikian, ggl diinduksi di dalamnya karena laju perubahan koneksi aliran dengan belitan
Keamanan kehidupan manusia dan hewan, membatasi sentuhan dan tegangan step ke nilai yang aman
- Kompatibilitas elektromagnetik (*Elektromagnetic Compatibility*), yaitu membatasi gangguan elektromagnetik Operasi yang benar dari jaringan pasokan listrik dan memastikan kualitas daya yang baik.

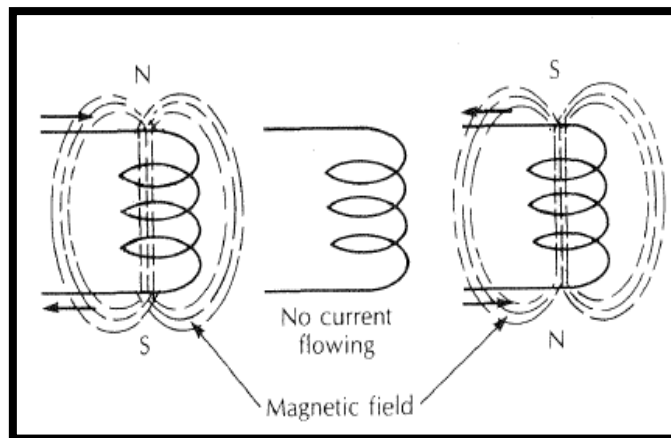


Gambar 8. 4 prinsip kerja transformator



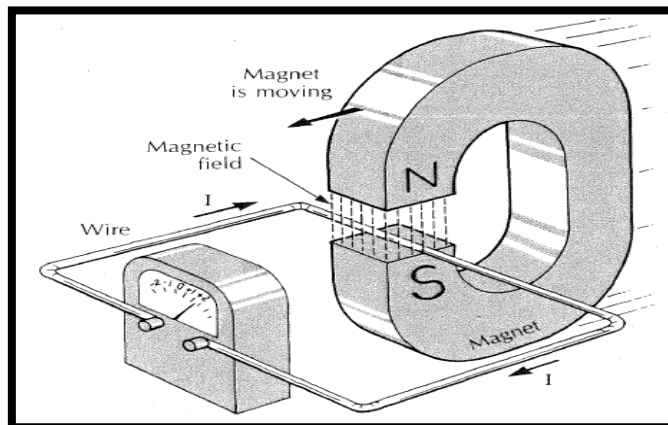
Gambar 8. 5 prinsip kerja transformator

Ketika arus listrik mengalir melalui sebuah kawat, medan magnet dibangun di sekitar kawat.



Gambar 8. 6 Lanjutan prinsip kerja transformator

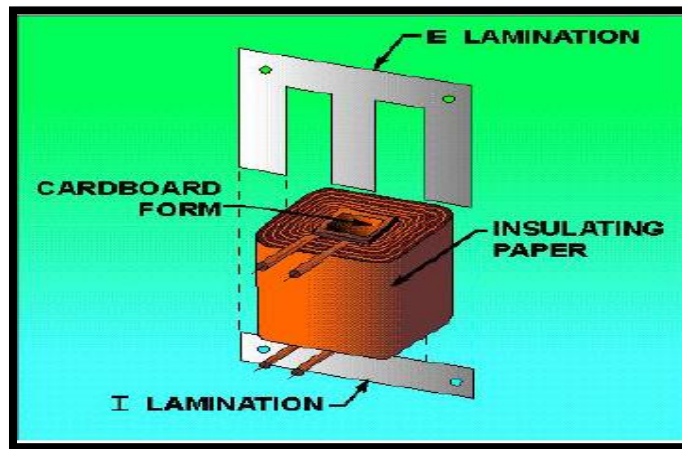
Ketika arus listrik bolak balik mengalir pada sebuah belitan, maka menimbulkan medan magnet yang terus bergerak, tanda panah menunjukkan aliran elektron



Gambar 8. 7 ketika medan magnet bergerak, arus listrik mengalir di kawat

Komponen Bagian penting dalam transformator adalah yaitu :

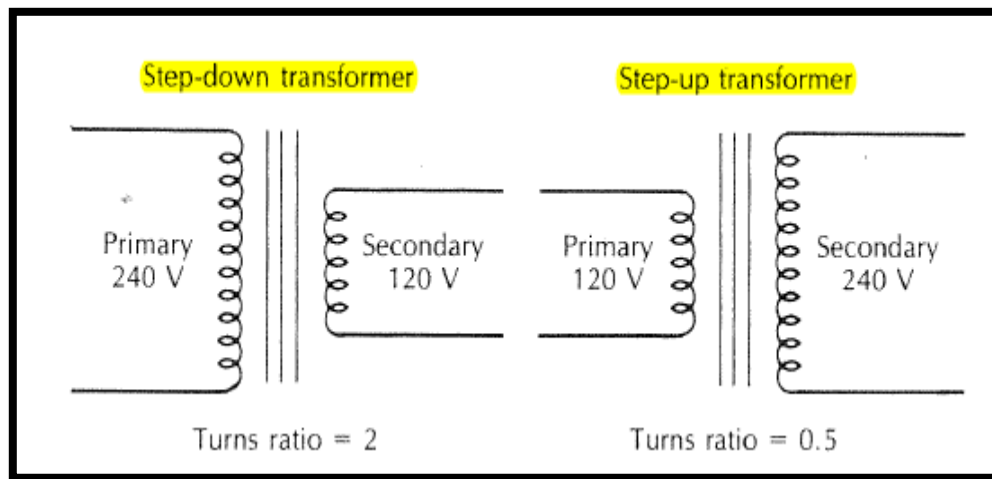
- a. Inti magnet yang baik
- b. Dua belitan
- c. Fluks magnet yang bervariasi waktu.



Gambar 8. 8 komponen pada trafo

3. Perubahan Tegangan pada Transformator

Input yang belitan yang melingkar ke transfonner disebut belitan primer, kemudian belitan keluaran disebut belitan sekunder. Jika ada lebih banyak lilitan kawat pada belitan primer dari pada yang sekunder, tegangan output akan lebih rendah dari tegangan input. Ini diilustrasikan dalam gambar dibawah , untuk step-down dan step-up transfonner. Perhatikanbahwa belitan dengan jumlah belokan yang lebih besar memiliki tegangan lebih tinggi. satu belitan memiliki dua kali lipat banyak belokan seperti yang lainnya. Dalam satu kasus tegangannya turun menjadi setengah, sedangkan yang lain tegangannya.melangkah ke dua kali lipat. Penting untuk mengetahui rasio jumlah belitan kawat pada belitan primer dibandingkan dengangulungan sekunder. Ini disebut rasio belokan dari transformator, (Suhadi, 2008; Sumardjati, 2008) Untuk lebih jelasnya lihat gambar dibawah ini :



Gambar 8. 9 trafo step up dan step down

Pada gambar diatas terlihat untuk jenis step down jumlah belitan sekunder lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah belitan primer, dan untuk trafo step up jumlah belitan sekunder lebih banyak daripada jumlah belitan primer, hal ini yang mempengaruhi turun naiknya tegangan pada transformator.

4. Jenis jenis Transformator menurut penggunaannya

a. Trafo penaik tegangan pada generator

ketika rel pada *electrical centre* menggunakan tegangan melebihi tegangan generator sinkron 3 fasa, maka tegangan dari generator dinaikkan terlebih dahulu melalui trafo *step up* sebelum dihubungkan ke rel. Trafo *step up* generator ialah suatu kesatuan dengan generator jika dilihat dari sisi pengamanan.

b. Trafo unit pembangkit

Semua Unit Pembangkit yang memiliki kapasitas *High* (di atas 10 MW) umumnya mempunyai trafo unit pembangkit, yaitu trafo yang mengambil daya langsung dari generator untuk memasok alat-alat bantu unit pembangkit yang bersangkutan, seperti: motor pompa pendingin, motor pompa minyak pelumas, dan lain-lain.

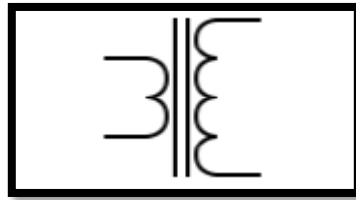
c. Trafo pemakaian sendiri

rafo ini berjenis yang digunakapada penggunaan sndiri seperti untuk rangkai mesin, penerangan, batrai, alat elektronik dan lai lain.

5. Jenis Trafo Tegangan masuk dan keluar

1) Transformator *step up*

Merupakan trafo yang memiliki jumlah lilitan sekunder lebih banyak dibandingkan jumlah lilitan primernya, hal ini berguna sebagai penaik tegangan, trafo ini biasa ditemui pada pembangkit tenaga listrik yang digunakan untuk menaikkan tegangan pada output dari generator sehingga menjadi tegangan yang lebih tinggi untuk disalurkan ke transmisi jarak jauh.



Gambar 8. 10 Lambang Trafo Step Up

2) Transformator *Step Down*

Pada trafo jenis step down jumlah lilitan sekunder lebih sedikit dibandingkan jumlah belitan pada primer, sehingga berguna untuk menurunkan tegangan, hal ini biasanya digunakan untuk menurunkan tegangan dari gardu induk ke pusat pusat gardu wilayah untuk disalurkan ke konsumen.



Gambar 8. 11 lambang trafo step down

3) Auto Transformator

Trafo paa type seperti ini hanya memiliki satu belitan yang kemudian berlanjut kepada listrik dengan sadapan di tengahnya. Pada jenis trafo ini lilita primer juga menjadi lilitan sekunder, fasa arus pada lilitan sekunder berlawanan dengan arus primer, sehingga untuk daya yang sama belitan sekunder dapat dibuat dengan kawat lebih kecil atau dibandingkan transformator jenis step up maupun step down. Adapun kelebihan dari jenis trafo ini ialah bentuk fisiknya yang lebih kecil dan kerugian yang lebih rendah dibandingkan jenis dua lilitan. Namun jenis ini

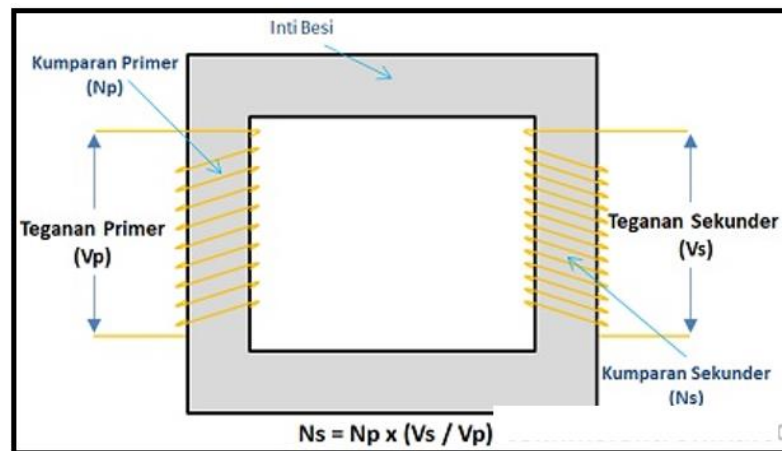
tidak dapat memberikan isolasi antart belitan sekunder dan primer, selain itu jenis ini hanya maksimal penaikan tegangannya 1,5 kali saja tidak bisa berlipat lipat dibandingkan jenis biasa.



Gambar 8. 12 lambang traf auto

6. Menghitung Trafo tanpa beban

Sebuah Trafo dikatakan Step Up apabila $N_p < N_s$ sehingga $V_p < V_s$, sedangkan Trafo Step Down adalah jika $N_p > N_s$ sehingga $V_p > V_s$. Dimana N_p dan N_s adalah jumlah lilitan masing-masing pada Kumparan Primer dan Kumparan Sekunder Trafo sedangkan V_p dan V_s adalah Tegangan pada Kumparan Primer dan Kumparan Sekunder. (Mikko, 2019) Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 8. 13 Keterangan input dan output

Dari gambar diatas dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

Atau

$$NS = NP \times (VS \times VP)$$

Dimana :

N_p =Belitan primer

N_s =Belitan Sekunder

V_p =Tegangan primer

V_s =Teagang Sekunder

I_p =Arus Primer

I_s =Arus Sekunder

Efisiensi pada trafo ialah suatu perbandingan daya yang masuk (primer)dengan daya yang keluar (sekunder). Lambang untuk effisiesi pada trafo ialah “eta”. Misalnya disaat transformator sedang beroperasi maka akan menimbulkan panas pada transformator tersebut. Ketika panas terjadi, maka aka ada energy yang hilang yang disebut energi kalor. Pada kenyataanya untuk mendapatkan efisiensi trafo yang 100 % sulit atau jarang di dapatkan , beriku rumus efisiensi pada trafo

Rumus Effisiensi pada trafo

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \times 100 \%$$

Atau

$$\eta = \frac{V_s \cdot I_s}{V_p \cdot I_p} \times 100 \%$$

Dimana :

P_p = Daya Listrik Primer

P_s = Daya Listrik Sekunder

Contoh Soal

- a. Sebuah Transformator penaik tegangan mempunyai jumlah belitan primer 100 Lilitan dan jumlah belitan sekunder 200 Lilitan. Ketika transformator tersebut dihubungkan dengan tegangan sejumlah 220 volt , tentukan besar tegangan pada lilitan sekundernya?

Diketahui :

Belitan Primer (N_p) = 100

Belitan Sekunder (N_s) = 200

Tegangan Primer (V_p) = 220 Volt

Ditanyakan

Tegangan Sekunder (Vs) = ...?

Jawab :

$$\frac{NP}{NS} = \frac{VP}{VS}$$

$$VS = \frac{NS \cdot VP}{NP}$$

$$VS = \frac{200 \cdot 220}{100}$$

$$VS = 440 \text{ Volt}$$

- b. Diketahui Trafo memiliki tegangan masuk sebesar 300 Volt , kemudian tegangan keluarnya ialah 100 Volt, jika diketahui arus pada belitan primernya ialah 1 ampere , berapakah kuat arus pada belitan keluarnya (IS)

Diketahui :

Tegangan Primer (Vp) = 300 V

Tegangan Sekunder (Vs) = 100 V

Kuat Arus Primer = 1 A

Ditanyakan :

Kuat Arus Sekunder Is.....?

Jawab :

$$\frac{Vp}{Vs} = \frac{Is}{Ip}$$

$$Is = \frac{Vp \cdot Ip}{VS}$$

$$Is = \frac{300 \cdot 1}{100}$$

Is = 3 Ampere, maka arus sekundernya ialah sebesar 3 ampere

- c. Diketahui Trafo memiliki Kuat arus masuk sebesar 2 ampere , kemudian kuat arus keluarnya ialah 4 ampere, berapakah jumlah belitan primernya jika diketahui jumlah belitan sekundernya 250 lilitan

Diketahui :

$$\text{Arus Primer (} I_p) = 2 \text{ A}$$

$$\text{Arus Sekunder (} I_s) = 4 \text{ A}$$

$$\text{Belitan Sekunder (} N_s) = 250 \text{ Belitan}$$

Ditanyakan :

Belitan Primer N_p?

Jawab :

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

$$N_p = N_s \times \frac{I_s}{I_p}$$

$$N_p = 250 \times \frac{4}{2}$$

$$N_p = \frac{1000}{2} = 500 \text{ lilitan}$$

- d. Jika diketahui sebuah trafo memiliki efisiensi sebesar 60 % , berapa daya masukannya jika diketahui daya keluaran atau outputnya 300 Watt

Diketahui :

$$\text{Efisiensi} = 60 \%$$

$$\text{Daya Sekunder (} P_s) = 300 \text{ watt}$$

Ditanyakan Daya primer P_p ...?

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \times 100 \%$$

$$60 \% = \frac{300}{P_p} \times 100 \%$$

$$P_p = \frac{300}{60} \times 100 \%$$

$$P_p = 50 \text{ Watt}$$

- e. Diketahui Trafo step up dapat merubah tegangan dari 110 v ke 220 v mempunyai jumlah lilitan pada kumpaan primernya ialah sejumlah 50 lilitan, ditanyakan berapa jumlah lilitan pada belitan sekundernya ?

Diketahui :

Tegangan Primer = 110 Volt

Tegangan Sekunder = 220 Volt

Lilitan Primer = 50 Lilitan

Ditanya N_s?

Jawab :

Untuk menjawab kita harus mengetahui kriteria mencari lilitan primer , pada jenis step up lilitan primer lebih banyak dari lilitan sekundernya maka dengan pernyataan tersebut dapat diketahui

$$N_s = N_p \times \frac{V_s}{V_p}$$

$$N_s = 50 \times \frac{220}{110}$$

$N_s = 100$ Lilitan

C. LATIHAN SOAL / TUGAS

1. Jelaskan prinsip dasar pad atransformator
2. Kenapa transformator bisa merubah tegangan masuk dan kelaor
3. Sebutkan jenis trafo berdasarkan penggunaanya
4. Apa yang anda ketahu mengenai trafo *step up* dan *step down*
5. Jika diketahui sebuah trafo memiliki effisisensi sebesar 80 % , berapa daya masukannya jika diketahui daya keluaran atau outputnya 500 Watt

D. DAFTAR PUSTAKA

- Corporation, T. E., & Instruments, C. (2018). *Transformer*.
- Kasus, S., Gtg, T., Tambak, P., & Semarang, L. (2008). *TRANSFORMATOR TENAGA*. 1–8.
- Mikko. (2019). *ELECTRICITY - A Secondary Energy Source*.
- Mukhammad Rif'at Za'im. (2014). GARDU INDUKUNGERAN PLN DISTRIBUSI SEMARANG. *Edu Elekrika Journal* [Http://Journal.Unnes.Ac.Id/Sju/Index.Php/Eduel](http://Journal.Unnes.Ac.Id/Sju/Index.Php/Eduel) ANALISIS, 3(2), 9–16.
- Reclamation, U. S. D. of the I. B. of. (2005). *Transformers : Basics , Maintenance ,. April*.
- Suhadi. (2008). *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Direktorat pembinaan sekolah menengah umum.
- Sumardjati, P. (2008). *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Skeolah Menengah Umum.
- Sutrisno. (2010). *Transformer*.

PERTEMUAN 9

SALURAN TRANSMISI LISTRIK

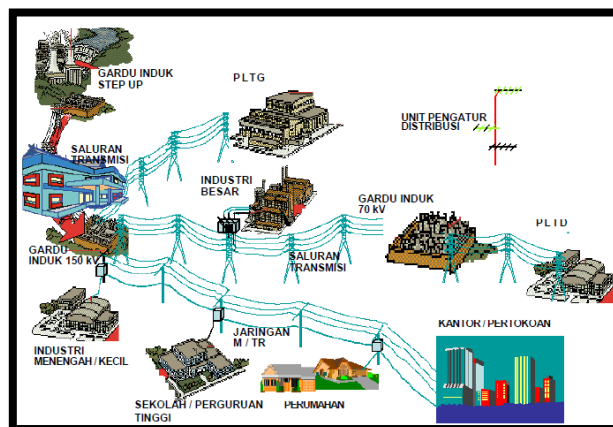
A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Saluran Transmisi Listrik”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan Mampu memahami dan mengidentifikasi kebutuhan transmisi tenaga listrik dengan membedakan tegangan-tegangan listrik yang ada pada gardu.

B. URAIAN MATERI

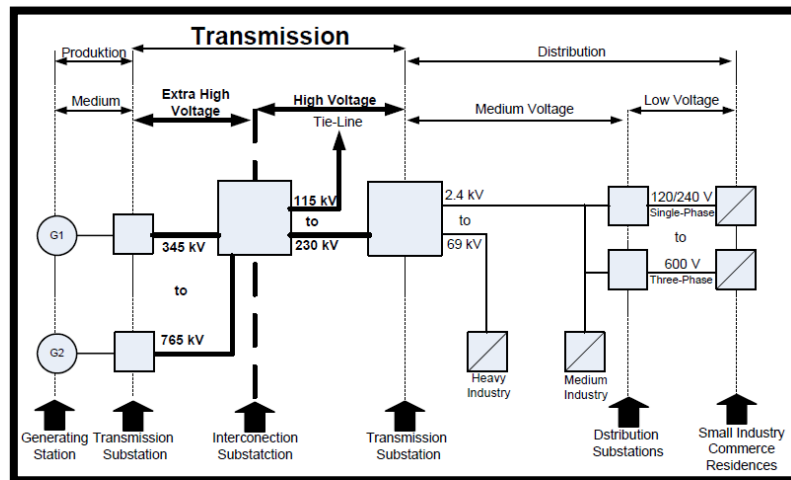
1. Transmisi Tenaga Listrik

Proses penyaluran transmisi tenaga listrik awalnya melewati tempat pembangkit tenaga listrik mengalir sampai ke saluran distribusi listrik hingga disalurkan sampai kepada pengguna listrik atau konsumen. Pusat pembangkit energi listrik memiliki turbin untuk penggerak awal. generator sehingga dapat membangkitkan listrik dan gardu induk terdiri dari transformer menaikkan 11,5 kV generator menjadi 150 Kv tegangan transmisi (tegangan tinggi). Jenis umum pusat pembangkit listrik yang telah dipelajari pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN), dan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). (Aslimeri, 2008; Muslim, 2008; Suhadi, 2008)



Gambar 9. 1 sistem tenaga listrik

Pada dasar sistem transmisi dan distribusi terdiri dari dua generating station (stasiun pembangkit) dan beberapa hubungan substasiun yaitu interconnecting substation dan sub commercial residential dan industri loads, fungsi dari transmisi sub stasiun untuk menaikkan dan menurunkan tegangan pada saluran tegangan serta regulasi tegangan. Diagram blok menggambarkan gambaran dari sistem umum tenaga listrik. Secara internasional memiliki standarisasi range 345 kV sampai 765 kV, saluran tegangan tinggi 230 kV sedangkan saluran ekstra tinggi 11 kV.



Gambar 9. 2 Diagram blok sistem tenaga listrik

Distribution station merubah tegangan listrik dari tingkat medium menjadi tegangan listrik rendah dengan tingkat 120 / 240 Volt single pasha, tiga-fasa 600 Volt. Sedangkan, interconnecting substation menambah kestabilan tegangan ke seluruh jaringan dengan menggunakan sambungan cabang transmisi. Substation dalam menjaga keamanannya memiliki circuit breakes, switching, lighting arresters dan fuses. Desain energi listrik terdapat empat bagian Extra-high Voltage (EHV), High Voltage, Medium Voltage (MV) dan Low Voltage (LV). (Circutor, 2018; Ir. Imam Santoso Ernawi, MCM, 2013; Mikko, 2019)

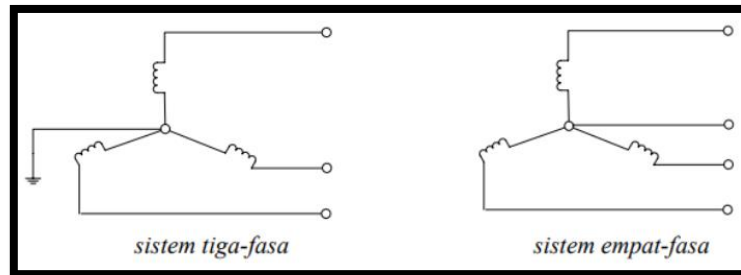
Tabel 9.1 sistem tegangan power industri dan komersial

Klasifikasi tingkat tegangan	Dua kabel	Tiga kabel	Empat kabel
Tegangan Rendah (LV)	120 single phase	120 / 240 single phase	- 120/208 277/480

		480 V 600 V	347/600
Tegangan Medium (MV)		2400 4160 4800 6900 13800 23000 34500 46000 69000	7200/12470 7620/13200 7970/13800 14400/24940 19920/34500
Tegangan Tinggi (HV)		115000 138000 161000 230000	
Tegangan Extra Tinggi (EHV)		345000 500000 735000 – 765000	

2. Saluran Transmisi Listrik

Saluran transmisi berupa media berupa kawat-kawat atau kabel yang dipasang pada menara atau tiang dan juga bisa melalui kabel pada permukaan tanah. Saluran ini menyalurkan energi tenaga listrik dari pembangkit listrik ke gardu induk sampai ke tegangan distribusi hingga sampai ke konsumen. Penyaluran tenaga listrik pada transmisi dengan menggunakan penggunaan arus sistem tiga-fasa atau dengan sistem empat-fasa.



Gambar 9. 3 sistem tiga-fasa dan sistem empat-fasa

3. Kategori Saluran Transmisi

Terdapat tiga kategori dalam saluran transmisi yaitu saluran udara, saluran kabel bawah tanah dan saluran isolasi gas. (Laurie & Esq, 2012; Mukhammad Rif'at Za'im, 2014)

a. Saluran udara

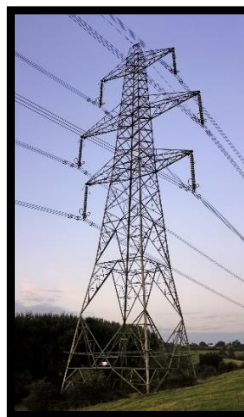
Saluran udara (overhead lines) merupakan saluran yang menyalurkan energi listrik melalui kawat-kawat pada tiang ataupun menara. Di Indonesia saluran udara tersebut adalah SUTT (saluran udara tegangan tinggi) dan SUTET (saluran udara tegangan ekstra tinggi). Terdapat keuntungan dan kerugian sebagai berikut :

Keuntungan :

- 1) Mudah dalam melakukan perawatan
- 2) Mudah dalam pengontrolan jika terjadi gangguan
- 3) Lebih murah

Kerugian :

- 1) Dari estetika kurang memadai, sehingga saluran transmisi tidak dipasang di dalam kota.
- 2) Mudah terkena gangguan, karena diruang terbuka cuaca sangat berpengaruh, misalnya jika tersambar petir.



Gambar 9. 4 saluran listrik udara tegangan tinggi (SUTT)

b. Saluran kabel bawah tanah

Saluran transmisi kabel bawah tanah menyalurkan energi listrik melalui kabel yang dipendam dibawah tanah. Diaplikasikan didalam kota karena tidak mengganggu keindahan dan minim gangguan, namun mahalnya instalasi serta jika terdapat gangguan sulit dalam perbaikannya.

Jenis-jenis kabel bawah tanah yang dapat digunakan :

- 1) Penghantar :
 - a) bahan tembaga
 - b) bahan campuran aluminium
- 2) Inti penghantar
 - a) Kabel inti tunggal
 - b) Kabel inti dua
 - c) Kabel inti tiga
 - d) Kabel inti empat
- 3) Bentuk inti :
 - a) Kabel bulat
 - b) Kabel oval
- 4) Kontruksi
 - a) Semua kabel dibungkus timah
 - b) Masing-masing kabel dibungkus timah
 - c) Kabel berisi minyak
 - d) Kabel berisi gas
 - e) Kabel berkulit pelindung
 - f) Kabel tidak memiliki kulit pelindung
- 5) Isolasi
 - a) Kabel isolasi kertas campur minyak
 - b) Kabel isolasi dengan thermoplastic



Gambar 9. 5 saluran kabel bawah tanah



Gambar 9. 6 saluran kabel bawah laut

c. Saluran isolasi gas

Saluran yang diisolasi dengan gas merupakan saluran gas insulated line (GIL). Tetapi saluran ini jarang digunakan karena memiliki resiko yang tinggi terhadap lingkungan.

4. Besaran Tegangan Transmisi Tenaga Listrik

Transmisi tenaga listrik mempunyai beberapa besaran tegangan, tegangan ultra tinggi (UHV), tegangan ekstra tinggi (EHV), tegangan tinggi (HV), tegangan menengah (MHV) dan tegangan rendah (LV).

a. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)

Saluran transmisi SUTET memiliki kapasitas tegangan 200kV-500kV. Bertujuan

drop tegangan dari kawat dengan hasil reduksi yang maksimal sehingga efektif dan efisien. pembangunan SUTET merupakan konstruksi tower besar dan tinggi memerlukan lahan yang cukup luas.

b. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

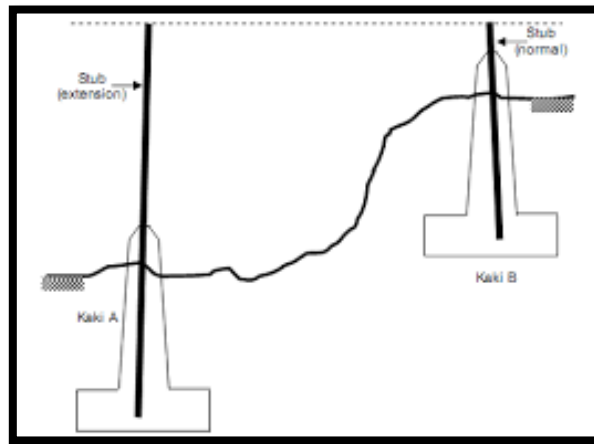
Saluran transmisi SUTT memiliki kapasitas tegangan 30kV-150kV. memiliki single sirkuit atau double sirkuit, dalam 1 sirkuit terdapat 3 fasa dengan 3 sampai 4 kawat. Jika kapasitas daya disalurkan besar penghantar pada fasa terdiri dari dua atau empat kawat. Jarak terjauh pada saluran transmisi 100km, jika tegangan dibawah 100km tegangan transmisi menjadi rendah.

c. Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT)

Saluran menggunakan kabel bawah tanah dengan tegangan 30kV-150kV, ditengah kota besar sulit mendapatkan tanah untuk untuk tower, masyarakat tidak setuju karena banyak bangunan tinggi dan pertimbangan keamanan dan estetika.

5. Kabel penahan transmisi tower

Dalam transmisi tower terdapat kabel penahan yang terdiri kaki A, kaki B dan stub normal, stub extension, memiliki common body, struktur dan tanda bahaya. Seperti pada penjelasan berikut : (Laurie & Esq, 2012; Mukhammad Rif'at Za'im, 2014)



Gambar 9. 7 kabel penahan transmisi tower

a. Stub

Stub merupakan bagian bawah dari kaki tower dipasang saat pemasangan pondasi sehingga menyatu pada pondasi

b. Leg

Leg dikaitkan antara stub dengan body tower, jika mengaplikasikan pada tanah yang tidak rata menambah atau mengurangi tinggi Leg dan body harus sama tinggi dengan permukaan

c. Common body

Common body merupakan badan tower bawah memiliki hubungan antara leg dan body tower bagian atas, tinggi tower dapat diatur dengan pengaturan tinggi common body.

d. Super structure

Super structure merupakan badan bagian atas yang terhubung dengan common body dan cross arm kawat petir dan kawat fasa.

e. Cross arm

Cross arm memiliki fungsi mengaitkan isolator kawat fasa dan clam, cross arm berbentuk segitiga memiliki belokan besar berbentuk segi empat.

f. Bridge

Pada tengah-tengah Bridge terdapat penghubung cross arm kiri dan tengah. Tower ini bukan tower bentuk piramida.

g. Tanda bahaya

Ini merupakan rambu untuk peringatan bahaya pada instalasi SUTT ataupun SUTET.

6. Gardu Induk

Gardu induk merupakan sub sistem dari penyaluran transmisi tenaga listrik. Sebagai sub sistem gardu induk mempunyai peran penting dalam pengoperasian transmisi secara keseluruhan tidak dapat dipisahkan. Gardu induk menjadi satu kesatuan tenaga listrik dari rel daya, peralatan penghubung, transformator daya. Fungsi gardu induk antara lain: (Short, 2004; Syahputra, 2014)

a. Pusat penerimaan dan penyaluran tenaga / daya listrik sesuai dengan kebutuhan tegangan

b. Pengukuran dan pengawasan operasi serta pengaturan keamanan

- c. Pengaturan daya ke gardu-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan gardu distribusi melalui tegangan menengah

7. Gardu Induk Gas Insulated Switchgear

Gardu listrik dengan gas sebagai media isolasi antar peralatan yang bertegangan. Dengan menggunakan gas SF₆ peralatan dimasukkan ke media isolasi. Peralatan yang dimaksud pemutus tenaga, pemisah tanah, trafo arus dan trafo tegangan. Gardu induk GIS terbagi menjadi 5 subsistem :

- a. Subsistem primary

Subsistem ini memiliki fungsi menyalurkan energi listrik dengan nilai losses wajar.

- b. Subsistem secondary

Subsistem ini memiliki fungsi *trigger* subsistem yang bekerja untuk mengaktifkan subsistem mechanical agar tepat waktu

- c. Subsistem dielectric

Subsistem ini memiliki fungsi untuk memadamkan api dan mengisolasi peralatan yang aktif

- d. Subsistem driving mechanism

Subsistem ini memiliki mekanik penggerak untuk menyimpan energi kontak utama. Terdapat tiga jenis,

- 1) *Pneumatic* merupakan penggerak menggunakan tenaga udara yang memiliki tekanan
- 2) *Hydraulic* merupakan penggerak tenaga minyak bertekanan hidrolik.
- 3) *Spring* merupakan penggerak energi yang disimpan oleh pegas.

- e. Subsistem mechanical

Subsistem memiliki peralatan penggerak yang menghubungkan driving mechanism untuk mentransfer *driving energy* menjadi gerakan pada waktu yang diperlukan.

8. Komponen saluran transmisi tenaga listrik

Saluran transmisi tenaga listrik terdiri atas tiga bagian konduktor, isolator dan tiang penyangga.

a. Konduktor

Kawat yang memiliki bahan tembaga atau aluminium dengan inti baja besar mengalirkan arus listrik.

Terdapat tiga tipe kawat :

- 1) Konduktivitas tembaga cu 100 %
- 2) Konduktivitas tembaga cu 97,5 %
- 3) Konduktivitas aluminium Al 61%

Jika dibandingkan kawat tenaga lebih kuat dalam tarikan listrik jika dibandingkan dengan aluminium, tetapi lebih mahal dan berat. Maka dari itu, banyak menggunakan aluminium dalam tenaga listrik. Kawat pengantar aluminium terbagi menjadi beberapa jenis sebagai berikut :

1) All-Aluminium conductor (AAC)

Kawat penghantar terdiri dari aluminium secara keseluruhan, aluminium keras, diperbolehkan pada temperature 20°C sekitar $0,028264\text{ Ohm mm}^2/\text{m}$, dilihat dari berat jenis pada temperatur 20°C sekitar 2,703 dan kekuatan Tarik bahan 7 kg/mm^2 .

2) All-Aluminium-Alloy conductor (AAAC)

Kawat penghantar terdiri dari campuran aluminium, magnesium dan silikon. Untuk ketahanannya diuji terlebih dahulu, pertama pengujian dengan pengukuran tahanan penghantar pada temperatur antara 10° sampai 30°C , harga ketahanan pengantar dibandingkan dengan 20°C hasilnya tidak boleh melebihi $0,328\text{ Ohm mm}^2/\text{m}$ dengan kekuatan minimum Tarik 30 kg/mm^2 .

3) Aluminium conductor steel-reinforced (ACSR)

Kawat penghantar aluminium dengan kawat baja, memiliki lapisan penunjang, dengan syarat-syarat

- a. Kekuatan Tarik minimum $126,9\text{ kg/mm}^2$
- b. Berat lapisan seng sesuai dengan ketentuan
- c. Tidak diperbolehkan memiliki sambungan
- d. Lapisan seng benar-benar rata

4) Aluminium conductor alloy-reinforced (ACAR)

Kawat penghantar aluminium dengan logam campuran.

b. Isolator

Isolator memiliki fungsi tenaga listrik menahan konduktor terhadap bagian bawah. Terbuat dari bahan porseline dengan bahan gelas dan isolasi sintetik, dengan memiliki standar resistensi untuk melindungi kebocoran arus dengan ketebalan mencegah breakdown pada tekanan listrik tegangan tinggi. biasanya jenis isolator seing digunakan dalam transmisi jenis porselin. Dalam klasifikasi terdiri menjadi tiga:

- 1) Tipe isolator pasak
- 2) Tipe isolator pos-saluran
- 3) Tipe isolator jenis gantung

Isolator tipe a dan b memiliki tegangan kerja 22-33kV tegangan rendah. Sedangkan isolator jenis c jika satu piring isolator terdapat tegangan sebesar 15kV.

c. Tiang penyangga

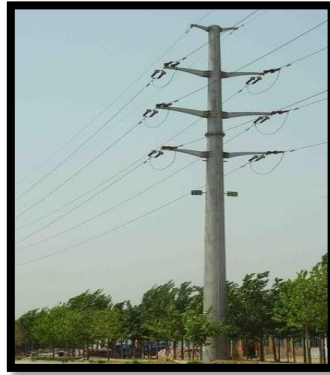
Tiang penyangga menurut konstruksinya terbagi menjadi tiga macam :

- 1) Lattice tower



Gambar 9. 8 Sluran Latice tower

2) Tubular steel pole



Gambar 9. 9 saluran tubular steel pole

3) Concerete pole



Gambar 9. 10 concerete pole

Menurut fungsinya, Menara tower listrik terbagi menjadi tujuh macam :

1) Dead end tower

Dead tower merupakan tiang akhir yang berada didekat gardu induk, memiliki tanggungan gaya tarik yang besar.

2) Section tower

Section tower merupakan penyekat antara banyaknya tower penyangga dengan tower penyangga lain, memiliki sudut belokan kecil.

3) Suspension tower

Suspension tower merupakan penyangga yang menanggung daya berat dan tidak memiliki belokan sudut.

4) Tension tower

Tension tower yaitu tower penegang memiliki tanggungan daya listrik yang besar, memiliki sudut belok.

5) Transpasion tower

Transpasion tower sebagai tempat merubah posisi kawat fasa, untuk memperbaiki impedansi transmisi.

6) Gantry tower

Berbentuk portal persilangan dua saluran transmisi, bangunan ini ada di bawah saluran transmisi existing.

7) Combined tower

Combined tower merupakan dua buah saluran transmisi yang memiliki tegangan berbeda.

9. Proteksi sistem transmisi

Terdapat perubahan sistem saluran transmisi listrik, sehingga harus memiliki pengaman atauantisipasi. Permasalahan yang sering terjadi diantaranya :

a. Pengaruh perubahan frekuensi sistem

Perubahan frekuensi dari sistem daya akan berubah secara terus menerus memiliki Batasan-batasan tertentu. Pengaruh yang terjadi saluran transmisi pada reaktansi, karena perubahan gangguan frekuensi dapat menyebabkan kerugian. Perubahan reaktansi ω_1 ke ω_1' dengan kenaikan ω_1 , reaktansi saluran berubah dari X ke X' menjadi X dengan perubahan ini terjadi perubahan impedansi yang terukur.

b. Pengaruh dari ayunan daya sistem

Sistem ayunan daya sistem kestabilan terganggu, menyebabkan sinkronasi satu generator menjadi motor generator dan memiliki beban lebih sehingga ayunan berganti. Perubahan arus daya yang masuk dalam jangkauan sistem proteksi dapat memutuskan aliran arus transmisi.

c. Pengaruh gangguan sistem transmisi

Sering terjadi terputusnya penyaluran beban secara kontinyu, berdampak kepada ruginya pelanggan khususnya industri. Gangguan dapat diantisipasi dengan memisahkan bagian yang terganggu pada sistem, gangguan saluran transmisi 50% pada sistem tenaga listrik dan 85% total gangguan saluran udara.

10. Proteksi komponen-komponen transmisi

Proteksi sistem transmisi terdiri dari seperangkat alat yang memiliki komponen-komponen.(Cronshaw, 2005; Salih, 2012)

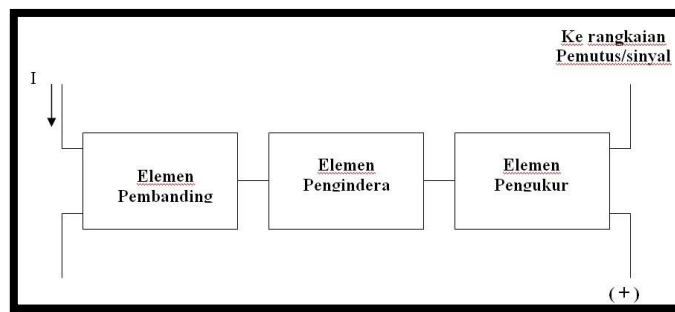
a. Relay

Relay merupakan alat mendeteksi gangguan sehingga memberi perintah trip kepada PMT (Pemutus Tegangan).

b. Arus trafo atau trafo tegangan

Mentransfer arus besaran listrik primer dari sistem yang diamankan ke relay

- 1) Tenaga pemutus memisahkan listrik yang terkena gangguan
- 2) Baterai dan alat pengisi daya sebagai sumber tenaga bekerja relay.
- 3) Pada wiring terdapat sirkuit sekunder, sirkuit tripping dan peralatan bantu.



Gambar 9. 11 Relay Proteksi

Terdapat tiga elemen yang memiliki fungsi berbeda-beda :

a. Elemen pengindra

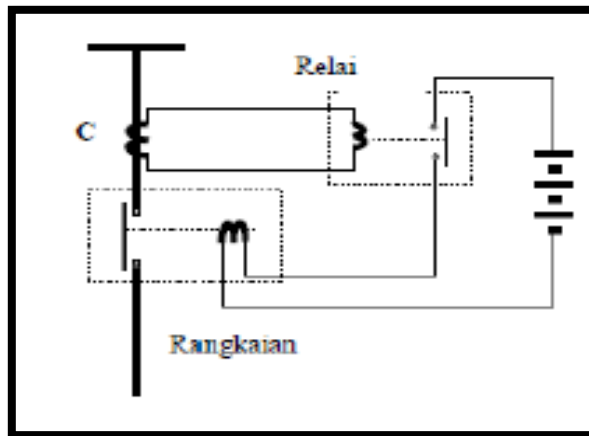
Elemen pengindra memiliki fungsi merasakan besaran listrik, arus, frekuensi dan tegangan pada saat relay dijalankan. Besaran masuk akan diproteksi kedalam keadaan normal sehingga besaran dikirim ke elemen selanjutnya, elemen pembanding.

b. Elemen pembanding

Elemen pembanding memiliki fungsi menerima besaran elemen pengindra dan dibandingkan besaran listrik keadaan normal dengan arus kerja relay.

c. Elemen pengukur

Elemen pengukur memiliki fungsi merubah secara cepat tegangan untuk membuka PMT (Pemutus tegangan) seperti gambar berikut :



Gambar 9. 12 proteksi relay

Transformator arus (CT) sebagai alat pengindera apakah dapat memproteksi keadaan normal atau terdapat gangguan, jika besaran arus tidak sesuai dalam penyetelannya maka kumparan relay menarik ke trip-coil untuk melepaspemutus tegangan (PMT).

C. LATIHAN SOAL / TUGAS

1. Jelaskan yang anda pahami transmisi tenaga listrik dan saluran transmisi listrik !
2. Jelaskan klasifikasi tingkat tegangan tenaga listrik !
3. Jelaskan subsistem penyaluran tegangan tenaga listrik !
4. Sebutkan dan jelaskan komponen-komponen saluran transmisi listrik !
5. Jelaskan bagaimana cara proteksi saluran transmisi listrik !

D. DAFTAR PUSTAKA

- Aslimeri. (2008). *teknik Transmisi Tenaga Listrik*. Direktorat pembinaan sekolah menengah umum.
- Circutor. (2018). *Distribution of electrical energy*.
- Cronshaw, B. G. (2005). *EARTHING EARTHING* : 18–24.
- Ir. Imam Santoso Ernawi, MCM, Ms. (2013). *Perencanaan, Tata Cara Dan, Operasi Sistem, Pemeliharaan Perencanaan, Tata Cara Dan, Pembangunan*

- Pemeliharaan, Operasi Pompa, Sistem Pengantar, Kata* (Issue 20). Kemnetrian Pekerjaan Umum.
- Laurie, P., & Esq, A. W. (2012). *Transmission Basics*. 1–25.
- Mikko. (2019). *ELECTRICITY - A Secondary Energy Source*.
- Mukhammad Rif'at Za'im. (2014). GARDU INDUKUNGAN PLN DISTRIBUSI SEMARANG. *Edu Elekrika Journal* [Http://Journal.Unnes.Ac.Id/Sju/Index.Php/Eduel](http://Journal.Unnes.Ac.Id/Sju/Index.Php/Eduel) ANALISIS, 3(2), 9–16.
- Muslim, S. (2008). *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Skeolah Menengah Umum.
- Salih, M. A. (2012). *Content :Earthing Systemn*. 1–21.
- Short, T. A. (2004). *distribution handbook* (Issue C).
- Suhadi. (2008). *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Direktorat pembinaan sekolah menengah umum.
- Syahputra, A. (2014). *Estimasi Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Saluran Transmisi Tenaga Listrik*. 17(2), 106–115.

PERTEMUAN 10

SALURAN DISTRIBUSI LISTRIK

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Saluran Distribusi Listrik”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan Mampu menjelaskan dan mengidentifikasi rancangan rangkaian saluran distribusi primer dan sekunder.

B. URAIAN MATERI

1. Saluran Distribusi Tenaga Listrik

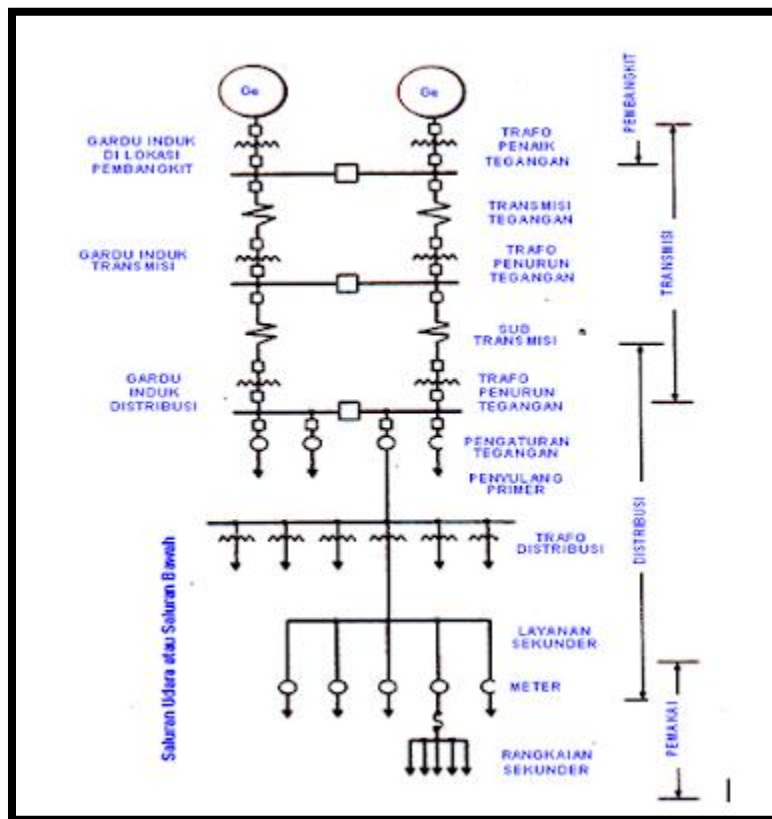
Dalam sistem tenaga listrik terdapat sistem distribusi yang berguna menyalurkan tegangan listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen. Fungsi distribusi listrik untuk pembagian dalam penyaluran listrik ke beberapa tempat dan sub sistem listrik yang memiliki pusat-pusat pelayanan melalui jaringan distribusi hubungan erat terhadap pelanggan. Pembangkit listrik menghasilkan pembangkit tenaga listrik sebesar 11 Kv – 24 kV dinaikkan menggunakan gardu induk melalui transformator menjadi 70 kV, 154 kV, 220 Kv atau 500 kV yang akan disalurkan melalui saluran transmisi. Menaikkan tegangan bertujuan memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi. Karena jika daya sama tetapi tegangan diperbesar arus yang mengalir kecil sehingga daya juga akan kecil. Tegangan melalui gardu-gardu saluran distribusi primer akan diturunkan tegangannya oleh disitribusi trafo menghasilkan sistem tegangan rendah 220/380 Volt, yang akan dialirkan ke konsumen-konsumen melalui saluran distribusi sekunder. Nilai tegangan HV, UHV dan EHV menimbulkan konsekuensi karena memiliki tegangan sangat tinggi sehingga berbahaya terhadap lingkungan sekitar dan mahalnya perlengkapan dan nilai tegangan pada beban tidak cocok terhadap tegangan yang dibutuhkan pada beban. Sehingga pada saluran ini di step-down untuk menurunkan tegangan menggunakan trafo, maka bagian-bagian saluran memiliki nilai tegangan berbeda yang terdiri sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder. (Prayoga & S, 2010; Wu et al., 2015)

2. Pengelompokan Jaringan Distribusi Listrik

Dalam pengelompokan jaringan distribusi tenaga listrik terdapat 4 bagian daerah sebagai berikut :

- Daerah 1 : bagian pembangkit (generation)
- Daerah 2 : bagian penyaluran (transmision), tegangan tinggi (HV, UHV dan EHV)
- Daerah 3 : bagian distribusi primer, tegangan menengah 6 atau 20kV
- Daerah 4 : instalasi tegangan rendah dalam bangunan beban/ konsumen

Pembatasan-pembatasan memiliki porsi yang dapat diklasifikasikan menurut beberapa cara, untuk apa klasifikasi tersebut dibuat. Dapat dijelaskan melalui gambar 10.1 berikut ini :



Gambar 10. 1 pengelompokan jaringan distribusi tenaga listrik

3. Bagian Jaringan Distribusi

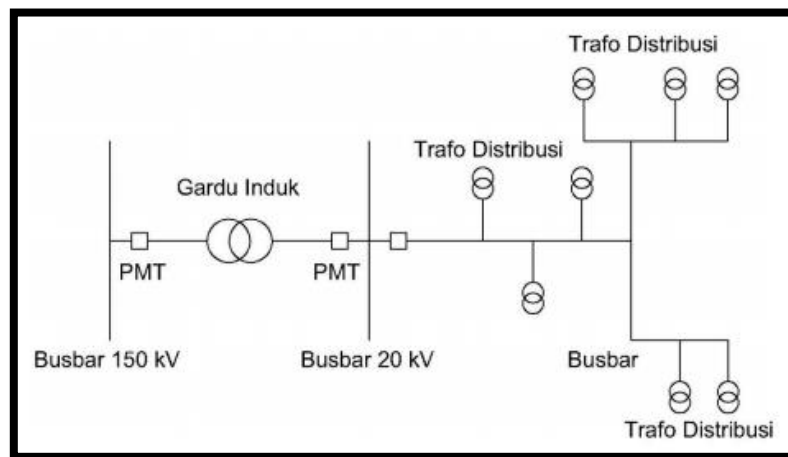
Jaringan distribusi terbagi menjadi dua bagian yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder, sebagai berikut : (Ananda et al., n.d.; Nurdin & Nugraha, 2013; Syahputra, 2014)

a. Jaringan distribusi primer

Jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik melalui gardu induk sub transmisi menyalurkan ke gardu distribusi. Berdasarkan konfigurasi jaringan, terdapat tiga macam jaringan distribusi primer, yaitu radial, loop dan spindle

1) Jaringan distribusi radial

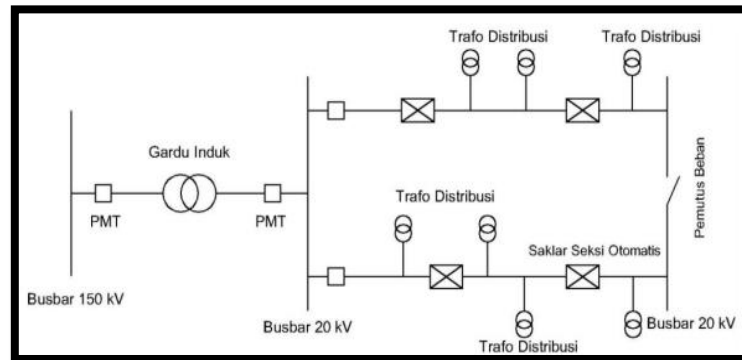
Dalam bentuknya jaringan distribusi radial paling sederhana dan murah sehingga banyak digunakan. Saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan beban dari jaringan ke cabang-cabang lain, seperti gambar berikut :



Gambar 10. 2 sistem jaringan distribusi radial

2) Jaringan distribusi loop

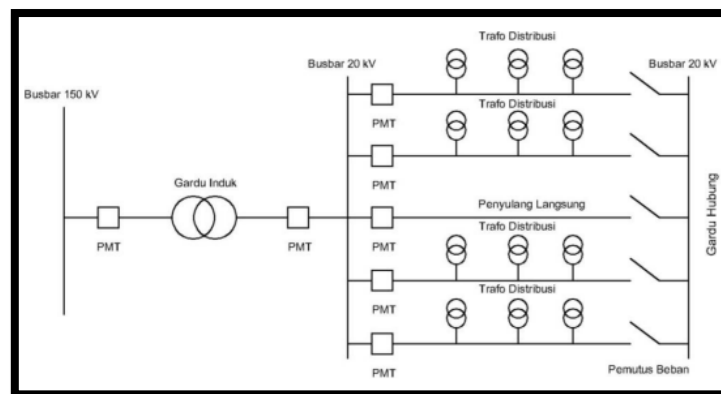
Bentuk jaringan ini tertutup sering disebut dengan bentuk jaringan ring. Titik beban memiliki saluran dua arah kontinuitas dan kualitas daya lebih terjamin. Karena drop tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil. Terdapat dua macam distribusi loop yaitu open loop dilengkapi dengan normal open switch pada gardu distribusi dengan rangkaian terbuka dan close loop, dengan normal close switch diantara gardu distribusi dengan keadaan rangkaian selalu tertutup.



Gambar 10. 3 jaringan distribusi loop

3) Jaringan distribusi spindel

Jaringan distribusi spindel saluran kabel tegangan tabung menengah (SKTM) sering digunakan pada kota-kota besar. Biasanya digunakan untuk peningkatan keandalan pelayanan sistem, menurunkan atau menaikkan rugi-rugi yang mengakibatkan gangguan dan sangat baik dalam suplay daerah dengan beban yang cukup tinggi.



Gambar 10. 4 jaringan distribusi spindle

b. Jaringan distribusi sekunder

Jaringan ini merupakan bagian sistem distribusi daya listrik yang pergerakannya dimulai melalui gardu transformator hingga pemakaian akhir ke konsumen. dalam penyaluran daya terdapat jaringan tegangan rendah terbagi menjadi dua bagian

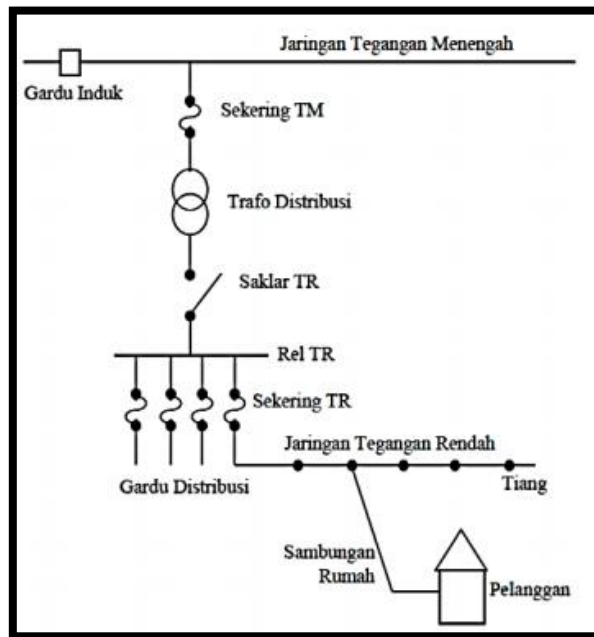
yaitu : (Muslim, 2008; Suhadi, 2008; Sumardjati, 2008)

1) SUTR (Saluran udara tegangan rendah)

Jenis penghantar adalah kabel AAAC dan kabel ACSR keduanya kabel tanpa isolasi.

2) SKUTR (Saluran kabel udara tegangan rendah)

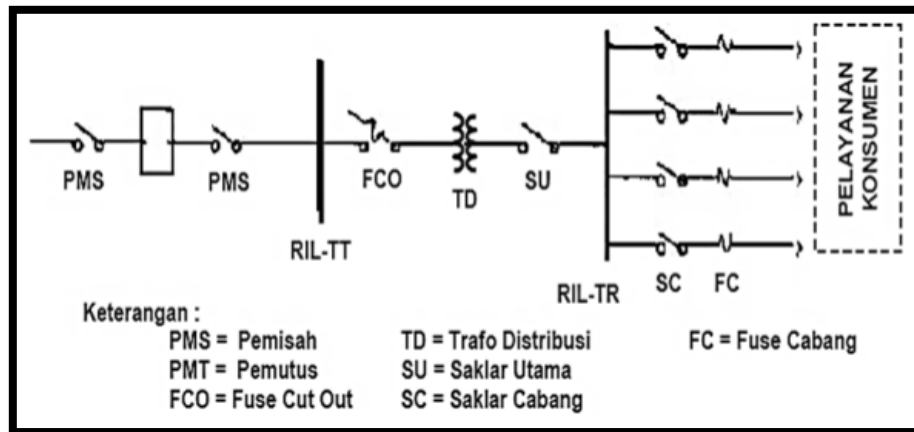
Kabel yang dipakai merupakan kabel Low Voltage Twisted Cable (LVTC) dengan ukuran $2 \times 10 \text{ mm}^2$, $2 \times 16 \text{ mm}^2$, $4 \times 25 \text{ mm}^2$, $3 \times 50 \text{ mm}^2$ dan $3 \times 70 \text{ mm}^2$, kabel LVTC merupakan kabel terisolasi.



Gambar 10. 5 tegangan menengah ke tegangan rendah sampai ke konsumen

Sistem distribusi sekunder menyalurkan tegangan listrik melalui gardu distribusi ke beban-beban konsumen, paling banyak digunakan sistem radial. Sering dikatakan dengan sistem tegangan rendah yang dihubungkan langsung kepada konsumen melalui :

- 1) Papan pembagi transformator
- 2) Tegangan rendah
- 3) Saluran layanan pelanggan
- 4) Alat pembatas pengukur daya Kwh. Meter



Gambar 10. 6 komponen sistem distribusi sekunder

4. Jenis gardu distribusi

a. Sistem pemasangan

Gardu distribusi dibagi menjadi dua, yaitu sistem pemasangan luar dan sistem pemasangan dalam, dengan keterangan sebagai berikut :

1) Pemasangan luar

Pole mounting merupakan gardu yang peralatannya dipasang langsung pada tiang, pemasangan menggunakan trafo kapasitas 50 kVA.

H-pole mounting merupakan gardu dipasang pada lengan antara dua tiang dengan kapasitas 200 Kva.

Plat form mounting merupakan gardu memiliki empat tiang untuk penempatan trafo, kapasitas maksimal 200 Kva.

Pemasangan lantai gardu distribusi untuk semua ukuran, untuk kapasitas lebih besar dari 250 kVA.

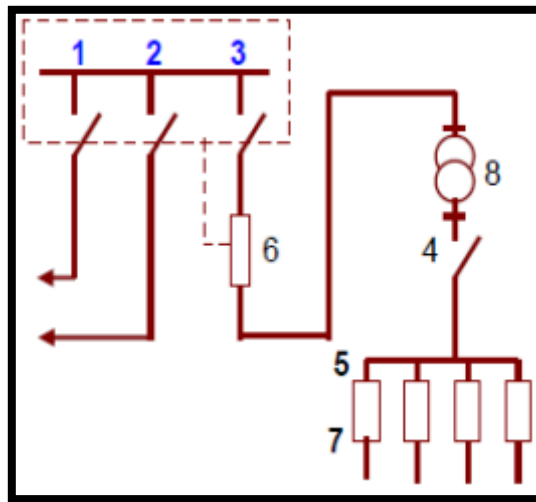
2) Pemasangan dalam

Pemasangan dalam merupakan pemasangan yang memiliki jarak minimum untuk rumah trafo dengan ketentuan, jarak sisi dinding pada satu sisi minimum 1,25 m, jarak sisi dinding pada dua sisi minimum 0,75 m, jarak sisi dinding pada tiga sisi minimum 100 m, dan jarak sisi minimum 1,25 m.

b. Bentuk Tampilan

Dalam bentuk tampilan disesuaikan dengan kebutuhan wilayah seperti luas lahan pemasangan, daya yang dibutuhkan. Berdasarkan hal tersebut bentuk gardu distribusi terbagi beberapa tampilan :

1) Distribusi beton



Gambar 10. 7 Rangkaian satu garis gardu beton

Keterangan gambar diatas sebagai berikut poin pertama terjadi pemisah saat kabel masuk (load break) poin ke dua kabel keluar sakelar beban, poin ketiga pengaman transformator sakelar beban dan pengaman lebur, lalu masuk ke poin ke 4 empat sakelar beban sisi TR, poin ke lima merupakan rak TR memiliki empat sirkit , poin ke enam pengaman lebur TM, poin ke tujuh pengaman lebur TR, dan poin ke delapan transformator.



Gambar 10. 8 gardu beton

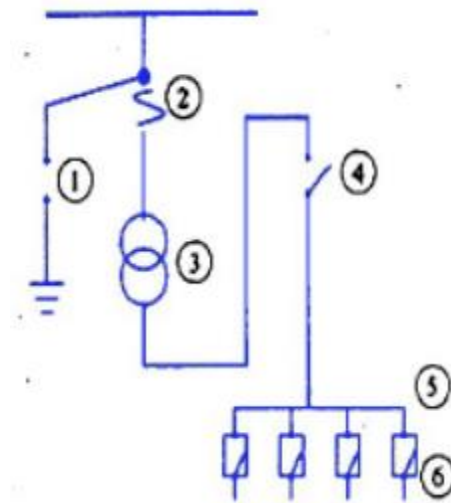
2) Distribusi tiang

Terdapat dua jenis gardu distribusi tiang yaitu gardu tiang tipe portal, gardu tipe cantol, gardu distribusi metal clad dan gardu mobil.

Gardu jenis portal, merupakan bangunan penyangga berbentuk tiang, sehingga gardu tiang melayani daya listrik terbatas. Gardu tiang dengan trafo satu fasakapasitas maksimum 50 kVA, sedangkan gardu tiang dengan trafo tiga fasa kapasitas maksimum 160 kVA, gardu tiang tipe portal seperti contoh berikut : (Engineering, n.d.; Suhadi, 2008)



Gambar 10. 9 Gardu tiang jenis portal

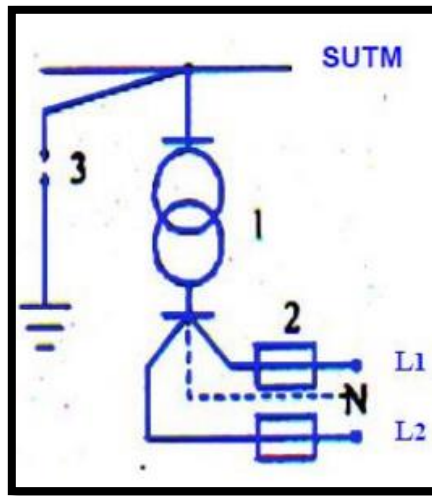


Gambar 10. 10 Satu garis gardu tiang tipe portal

Keterangan poin nomor satu merupakan arrester, poin ke dua proteksi cut out fused, poin ketiga trafo distribusi, poin ke empat sakelar beban tegangan rendah, poin ke lima PHB tegangan rendah, poin nomor enam sikrit keluar dilengkapi pengamanan lebur. Tipe kedua gardu tiang tipe cantol memiliki kekuatan 500daN, instalasi gardu dapat berupa one cut out fused, one lighting arrester dan one panel PHB.



Gambar 10. 11 Gardu tiang jenis cantol



Gambar 10. 12 rangkaian gardu tiang jenis cantol

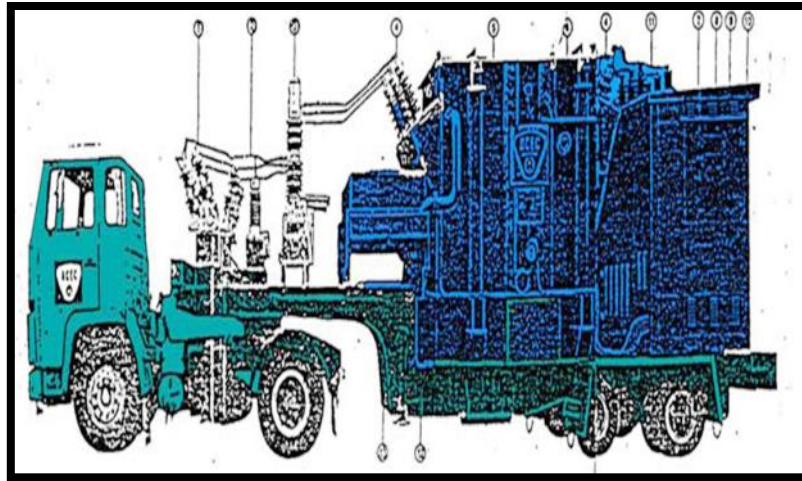
Poin pertama yaitu transformator, poin kedua merupakan sikrit 2 fasa, poin ketiga arrester dan poin keempat saklar beban ada pada dalam transformator. Jenis gardu ketiga yaitu gardu metal clad terbentuk dari besi bagian pondasi.



Gambar 10. 13 gardu tipe metal clad

Jenis gardu terakhir yaitu jenis gardu mobil, gardu mobil dipakai pada saat darurat untuk mengatasi daya temporer, gardu jenis ini memiliki bentuk fisik lebih panjang dan memiliki pemisah trafo tampak dari luar, terdiri dari empat bagian pengukuran tegangan, bagian penyambungan, bagian pemutusan,

bagian pengukuran tegangan, trafo distribusi tegangan rendah. Berikut gambaran dari gardu mobil : (Muslim, 2008; Suhadi, 2008; Sumardjati, 2008)



Gambar 10. 14 Jenis gardu mobil

Keterangan gambar :

1. Saklar pemisah
2. Penyalur petir
3. Pemutus
4. Isolator
5. Transformator
6. Pengubah uap
7. Pemutus
8. Kontak control
9. Trafo bantu
10. Baterai nikad
11. Saklar pemisah
12. Poros berganda
13. Gudang peralatan

5. Faktor keandalan sistem distribusi

Terdapat tiga faktor yang harus diperhitungkan dalam keandalan sistem distribusi :

a. Suhu

Tegangan dipengaruhi oleh suhu mekanis, maka dari itu cuaca sangat mempengaruhi keadaan dalam berbagai keadaan.

b. Ekonomis

Ekonomi mempengaruhi tingkat pembebanan, jika kota padat penduduk memiliki beban yang tinggi beban yang normal untuk kota dibawah batas ekonomi, demi mengurangi kerugian dan batas energi dalam keadaan darurat.

c. Tegangan jatuh

Tegangan jatuh pada saluran ini merupakan selisih tegangan pengiriman dan tegangan ujung penerimaan tenaga listrik.

6. Model saluran distribusi

Model saluran distribusi digunakan untuk menghitung tegangan aliran daya dipengaruhi dari panjang aliran saluran, dirangkai melalui ekivalen model dengan parameter suatu baris per-fasa, tegangan digambarkan melalui saluran netral sehingga sistem distribusi tiga fasa berkurang menjadi fasa tunggal. Berikut persamaan model saluran distribusi :(Laurie & Esq, 2012; Western Governors ' Association, 2018)

$$Z = (r + j\omega L) \iota$$

$$Z = R + j X$$

$$V_s = V_r + V_z$$

$$P_L = 3 I^2 R$$

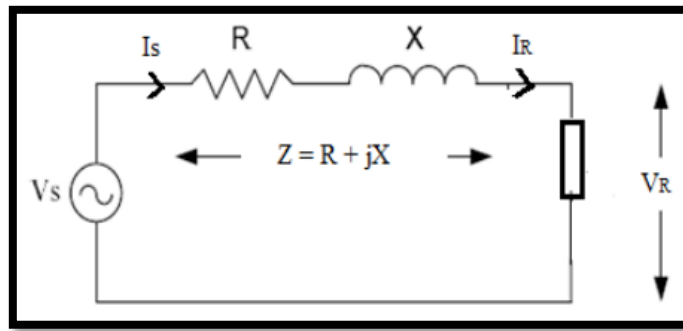
Dimana :

P_L = rugi daya dalam satuan watt

R = tahanan kawat per fasa

ι = Panjang saluran (Km)

I = Arus per fasa (A)



Gambar 10. 15 Rangkaian ekivalen distribusi

Persamaan :

$$P_L = P_s - P_R$$

Dengan daya persentase dinyatakan sebagai berikut :

$$P_{in} = P_{out} + P_{rugi}$$

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

Dimana :

P_R = daya yang dipakai (KW)

P_s = daya yang dikirimkan (KW)

H = Effisiensi daya trafo (%)

P_L = Rugi-rugi daya (KW)

7. Rugi tegangan

Rugi tegangan merupakan perbedaan antara tegangan kirim dengan tegangan terima, terdapat beberapa ketentuan jaringan tegangan menengah (JTM) rugi tegangan tidak diperbolehkan diatas 5% dan minimum – 10%. Penyebab drop tegangan :

- Transformator dari gardu induk memiliki jarak yang jauh
- Rendahnya tegangan transformator distribusi
- Pemasangan sambungan penghantar bermasalah
- Arus dihasilkan berlebih

Persamaan rugi tegangan jatuh (drop voltage) :

$$V_z = I_s \times Z_L$$

Dimana :

Z_L = impedansi saluran

Tegangan jatuh saluran dengan persamaan :

$$V_R = V_S - V_z$$

Keterangan :

I = Arus (A)

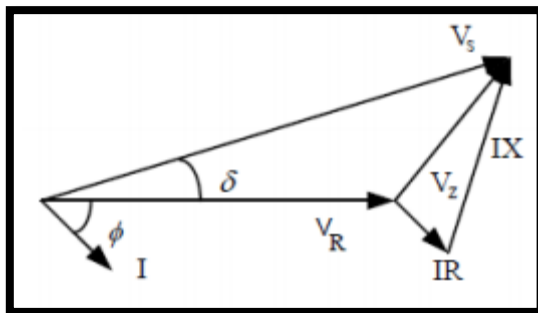
V = Tegangan Kerja (Volt)

V_z = Tegangan drop (Volt)

Jika dilihat presentase susut tegangan pada distribusi primer dapat dihitung dengan :

$$\% V_z = \frac{\Delta V}{V} \times 100 \%$$

Berdasarkan persamaan diatas dapat digambarkan diagram fasor sebagai berikut :



Gambar 10. 16 fasor saluran distribusi

C. LATIHAN SOAL / TUGAS

1. Jelaskan yang anda pahami saluran distribusi listrik !
2. Jelaskan bagian-bagian saluran distribusi listrik !
3. Jelaskan jenis gardu saluran distribusi !
4. Buatlah rangkaian distribusi listrik primer dan rangkaian distribusi listrik sekunder !
5. Jelaskan skema rangkaian ekivalen model distribusi !

D. DAFTAR PUSTAKA

- Ananda, S. A., Kusumandoyo, V. A., Industri, F. T., Elektro, J. T., & Petra, U. K. (n.d.). *Penyadapan Saluran Transmisi dengan Kopling Kapasitif untuk Suplai Daerah Terpencil*. 1–8.
- Engineering, E. (n.d.). *Transmission and distribution*. 2011, 1–154.
- Laurie, P., & Esq, A. W. (2012). *Transmission Basics*. 1–25.
- Muslim, S. (2008). *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Umum.
- Nurdin, I., & Nugraha, E. K. A. (2013). *Penerapan dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro dengan Turbin Propeller Open Flume TC 60 dan Generator Sinkron Satu Fasa 100 VA di UPI Bandung*. 1(4), 328–338.
- Prayoga, A., & S, E. M. (2010). *Teknik tenaga listrik* (Issue 0806365412).
- Suhadi. (2008). *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Direktorat pembinaan sekolah menengah umum.
- Sumardjati, P. (2008). *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Umum.
- Syahputra, A. (2014). *Estimasi Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Saluran Transmisi Tenaga Listrik*. 17(2), 106–115.
- Western Governors ' Association. (2018). *An Introduction to Electric Power Transmission*
An Introduction to Electric Power Transmission – Table of Content (TOC).
- Wu, X., Shen, J., Li, Y., & Lee, K. Y. (2015). *Steam power plant configuration , design , and control*. <https://doi.org/10.1002/wene.161>

PERTEMUAN 11

JENIS KABEL DAN INSTALASI LISTRIK

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Jenis Kabel Dan Instalasi Listrik”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan Mampu memahami dan merencanakan kebutuhan kabel dan instalasi listrik pada suatu industri atau bangunan.

B. URAIAN MATERI

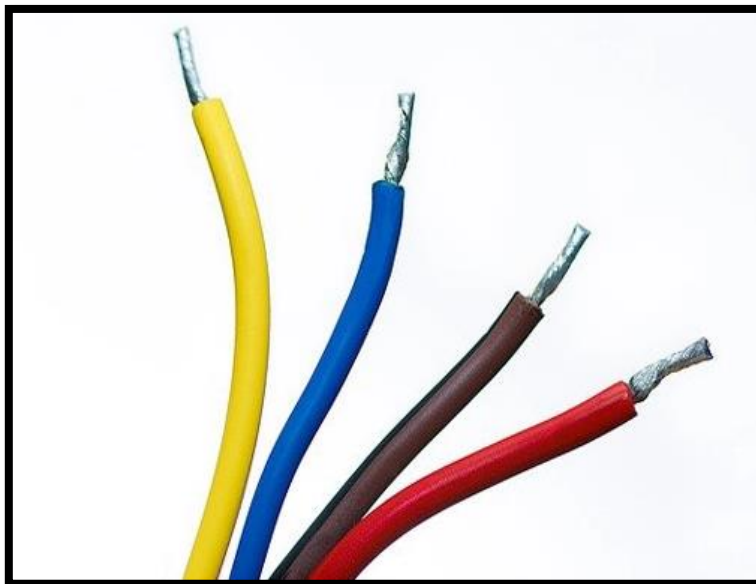
1. Pengantar

Kabel merupakan alat konduktor yang berfungsi untuk menghantarkan arus listrik, dalam kehidupan sehari-hari kita sering melihat kabel namun adakah pertanyaan pada diri kita kenapa kabel yang terpasang atau terinstal berbeda-beda bentuknya, warnanya, dan jenisnya. Ternyata pada kabel memiliki banyak variasi yang dibuat berdasarkan fungsi dan kegunaannya, meskipun begitu pada dasarnya kabel terdiri dari dua buah komponen utama yaitu konduktor yang berfungsi menyalurkan arus dan tegangan, serta isolator yang melindungi bagian konduktor agar lebih aman. Ketika kabel dipasang pada instalasi perumahan atau industri. Daya hantar pada sebuah kabel listrik ditentukan oleh parameter yang disebut KHA (Kemampuan hantar Arus). (Bachtiar & Abstract, 2014; Nagpurwala, 2013; Western Governors' Association, 2018) Kabel listrik adalah seperangkat satu atau lebih kabel yang berdampingan atau dibungkus, yang digunakan untuk membawa arus listrik. Unit kabel adalah komposisi dari satu atau lebih kabel listrik dan konektornya yang sesuai. Satu set kabel belum tentu cocok untuk menghubungkan dua perangkat, tetapi dapat berupa produk parsial (misalnya, disolder pada papan sirkuit tercetak dengan konektor yang dipasang di rumah). Rakitan kabel juga dapat berupa pohon atau kabel harness, yang digunakan untuk menghubungkan banyak terminal.

Istilah kabel awalnya mengacu pada garis panjang tertentu, di mana beberapa tali digabungkan untuk menghasilkan garis tebal yang kuat yang digunakan untuk menjangkar kapal besar. Ketika teknologi listrik berkembang, orang beralih dari menggunakan kabel tembaga telanjang untuk kelompok kabel dan

berbagai metode pelapisan yang menyerupai pemasangan kabel mekanis, sehingga istilah ini diadopsi untuk kabel listrik. Pada abad ke-19 dan awal ke-20, kabel listrik sering diisolasi menggunakan kain, karet atau kertas. Bahan plastik umumnya digunakan saat ini, kecuali untuk kabel daya yang sangat andal. Istilah ini juga dikaitkan dengan komunikasi karena penggunaannya dalam komunikasi listrik. Prayoga, A., & S, E. M. (2010)

Kabel listrik digunakan untuk menghubungkan dua perangkat atau lebih, memungkinkan transfer sinyal listrik atau daya dari satu perangkat ke perangkat lainnya. Kabel digunakan untuk berbagai tujuan, dan masing-masing harus disesuaikan untuk tujuan itu. Kabel digunakan secara luas dalam perangkat elektronik untuk rangkaian daya dan sinyal. Komunikasi jarak jauh terjadi melalui kabel bawah laut. Kabel daya digunakan untuk transmisi massal energi bolak-balik dan arus searah, terutama menggunakan kabel tegangan tinggi. Kabel listrik banyak digunakan dalam membangun kabel untuk penerangan, listrik dan sirkuit kontrol yang dipasang secara permanen di gedung. Karena semua konduktor sirkuit yang diperlukan dapat dipasang pada satu kabel pada saat yang sama, pekerjaan instalasi disimpan dibandingkan dengan metode pengkabelan lainnya.



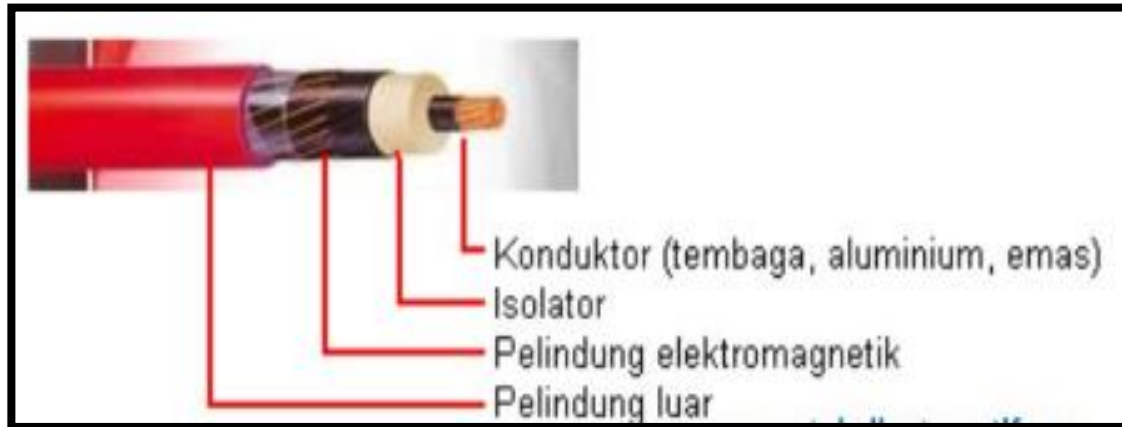
Gambar 11. 1 Ilustrasi kabel Listrik

Secara fisik, kabel listrik adalah seperangkat yang terdiri dari satu atau lebih konduktor dengan insulasi sendiri dan layar opsional, penutup individu, pelindung set dan penutup pelindung. Kabel listrik dapat dibuat lebih fleksibel dengan mengikat kabel. Dalam proses ini, untaian individu yang lebih kecil dipelintir atau dikepang bersama untuk menghasilkan untaian yang lebih besar yang lebih fleksibel daripada kabel padat dengan ukuran yang sama. Mengikat utas kecil sebelum konsentris menambah kelenturan. Kabel tembaga dalam kabel bisa telanjang atau ditutupi dengan lapisan tipis logam lain, biasanya timah, tetapi kadang-kadang emas, perak atau bahan lainnya. Timah, emas dan perak jauh lebih rentan terhadap oksidasi daripada tembaga, yang dapat memperpanjang umur kawat dan memfasilitasi pengelasan. Timah juga digunakan untuk menyediakan pelumasan di antara kabel. Timah digunakan untuk membantu menghilangkan isolasi karet. Pengaturan yang kuat selama pengampelasan membuat kabel dapat diperpanjang (CBA - seperti pada kabel telepon). [Penjelasan lebih lanjut diperlukan, Kabel dapat terpasang dan diatur dengan aman, seperti trunking, baki, klem atau klem. Kabel fleksibel atau terus-menerus fleksibel yang digunakan dalam aplikasi seluler pada pembawa kabel dapat dilindungi menggunakan perangkat pelepas ketegangan atau ikatan kabel. Pada frekuensi tinggi, arus cenderung mengalir di sepanjang permukaan konduktor. Ini dikenal sebagai efek kulit. Prayoga, A., & S, E. M. (2010)

2. Kabel dan Medan Elektromagnetik

Setiap konduktor saat ini, termasuk kabel, memancarkan medan elektromagnetik. Demikian juga, setiap konduktor atau kabel menangkap energi dari medan elektromagnetik di sekitarnya. Efek-efek ini biasanya tidak diinginkan, dalam kasus pertama setara dengan transmisi energi yang tidak diinginkan yang dapat mempengaruhi peralatan di dekatnya atau bagian lain dari peralatan yang sama; dan dalam kasus kedua, noise capture yang tidak diinginkan yang dapat menutupi sinyal yang diinginkan ditransmisikan oleh kabel atau, jika kabel membawa catu daya atau mengendalikan voltase, mencemari mereka hingga menyebabkan kerusakan peralatan. Solusi pertama untuk masalah ini adalah menjaga panjang kabel di gedung tetap pendek, karena pengumpulan dan transmisi pada dasarnya sebanding dengan panjang kabel. Solusi kedua adalah membelokkan kabel dari masalah.

Selain itu, ada desain kabel khusus yang meminimalkan transmisi dan penangkapan elektromagnetik. Tiga teknik desain utama adalah pelindung, geometri koaksial, dan geometri pasangan terpuntir.



Gambar 11. 2 Kabel dan pelindung elektromagnetik

Kabel dibungkus sepanjang aluminium foil atau *wire mesh*. Semua kabel yang melewati lapisan pelindung ini sebagian besar dipisahkan dari medan listrik eksternal, terutama jika pelindung terhubung ke titik tegangan konstan, seperti bumi atau bumi. Namun, pelindung sederhana semacam itu tidak terlalu efektif terhadap medan magnet frekuensi rendah - seperti "buzz" magnetik dari transformator daya terdekat. Sebuah perisai yang dibumikan dalam kabel yang beroperasi pada 2,5 kV atau lebih mengumpulkan arus bocor dan arus kapasitif, melindungi orang dari sengatan listrik dan menyamakan tekanan pada isolasi kabel.

Desain koaksial membantu mengurangi transmisi dan pickup magnetik frekuensi rendah. Dalam proyek ini, pelindung lembaran atau jala memiliki penampang melintang dan konduktor dalam persis berada di tengah. Hal ini menyebabkan tegangan yang disebabkan oleh medan magnet antara perisai dan konduktor inti terdiri dari dua besaran yang hampir sama yang membatalkan satu sama lain. Sepasang yang dipilin memiliki dua kabel dari kabel yang dipilin bersama. Ini dapat ditunjukkan dengan menempatkan salah satu ujung kabel di bor tangan dan berputar, mempertahankan ketegangan moderat pada saluran. Dimana sinyal interferensi memiliki panjang gelombang yang panjang dibandingkan dengan nada

dari pasangan bengkok, panjang kawat alternatif mengembangkan tegangan yang berlawanan, cenderung membatalkan efek interferensi. Muslim, S. (2008).

3. Proteksi kebakaran

Dalam konstruksi, material selubung kabel listrik merupakan sumber potensial bahan bakar untuk kebakaran. Untuk membatasi penyebaran api, bahan pelapis kabel atau pelapis yang tahan api dapat digunakan. Penutup plastik dari beberapa kabel berlapis logam dapat dilepas di instalasi untuk mengurangi sumber bahan bakar untuk kebakaran. Selubung anorganik dan rumah di sekitar kabel melindungi area yang berdekatan dari ancaman kebakaran terkait dengan selubung kabel yang tidak terlindungi. Namun, proteksi kebakaran ini juga menahan panas yang dihasilkan oleh kehilangan konduktor, sehingga proteksi harus tipis. Untuk memberikan proteksi kebakaran pada kabel, insulasi diperlakukan dengan bahan tahan api atau insulasi mineral tidak mudah terbakar digunakan. Muslim, S. (2008).

4. Jenis-Jenis Kabel

Pada dasarnya kabel berfungsi sebagai penghantar aliran listrik yang berbahan konduktor namun seiring Semakin berkembangnya jaman dan kebutuhan maka kabel pada penggunaannya terbagi kedalam berbagai jenis sesuai dengan tingkat kebutuhan instalasi, namun pada dasarnya walaupun banyak jenis kabel baisanya kabel terdiri dari dua komponen utama yaitu konduktor yang biasa nya menggunakan logam, dan isolator yang berfungsi sebagai pelapis dari kabel tersebut agar tidak terjadi konsleting ketika terjadi sentuhan antara kabel yang satu dengan yang lain.

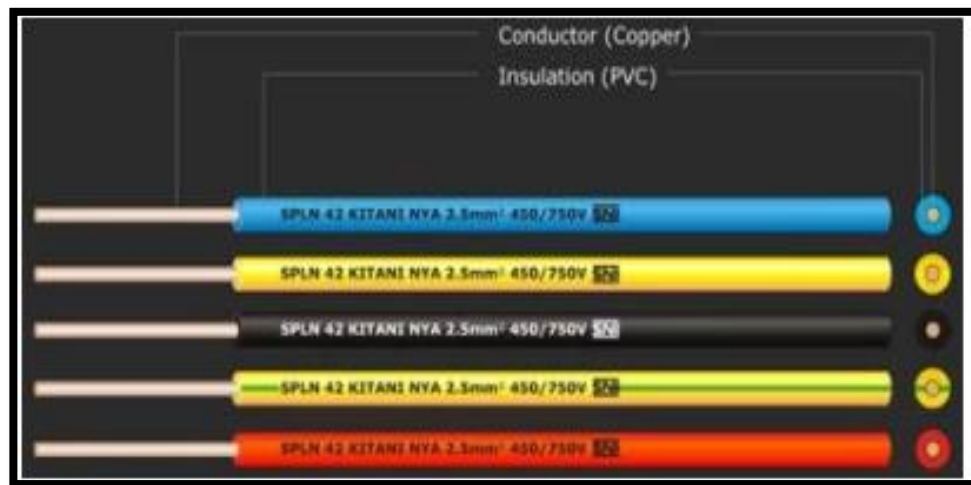


Gambar 11. 3 Jenis jenis kabel listrik

Adapun jenis kabel menurut penggunaannya ialah sebagai berikut :

a. Kabel NYA

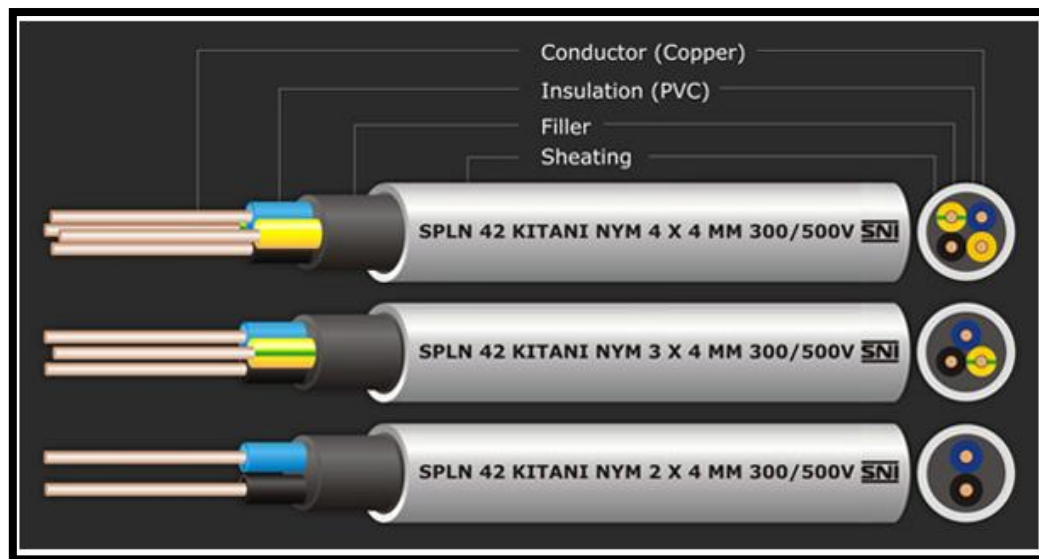
Biasanya jenis kabel ini penggunaannya ialah untuk instalasi pada perumahan untuk meyambungkan aliran listrik dari pusat Mini Circuit Braker (MCB) PLN ke dalam instalasi dalam rumah. Ukuran jenis kabel yang biasa digunakan ialah 1,5 mm dan juga 2,5 mm yang berinti tunggal dan dilapisi isolator berbahan PVC, pada umumnya terdapat 2 sampai 3 kabel didalamnya yang berwarna Biru, Hitam, Kuning. Pada lapisan isolasi jenis kabel ini hanya dilapisi satu lapis karena umumnya digunakan di udara atau tidak ditanam didalam tanah, untuk keamanan lebih diusahakan agar di lapisi dengan penambahan pipa plastic agar terhindar dari gigitan tikus. Berikut contoh jenis kabel NYA:



Gambar 11. 4 Contoh kabel NYA

b. Kabel NYM

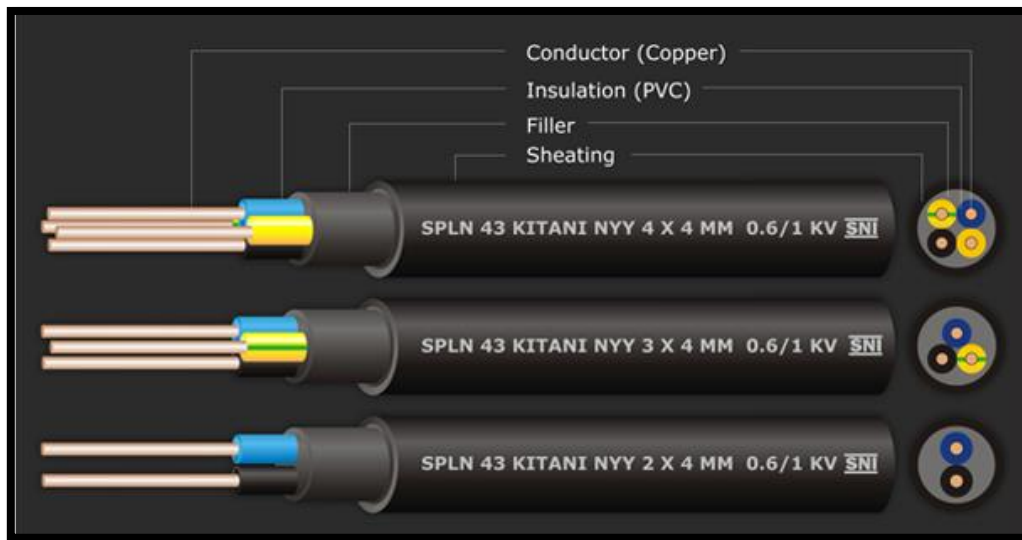
Untuk jenis kabel ini biasanya disarankan hanya untuk instalasi yang permanen pada sebuah bangunan bisanta di tempatkan pada bagian dalam tembok dan harus dilapisi pipa untuk pengamananan, kabel jenis NYM umumnya berinti lebih dari satu , dan memiliki lapisan PVC berwarna abu abu ataupun warna putih, jenis ini pada intiny ada yang berinti dua, tiga, ataupun empat dan mempunyai lapisan berlapis dua kabel ini lebih baik disbanding dengan kabel jenis NYA. Berikut contoh kabel jenis NYM :



Gambar 11. 5 Contoh kabel NYM

c. Kabel NYY

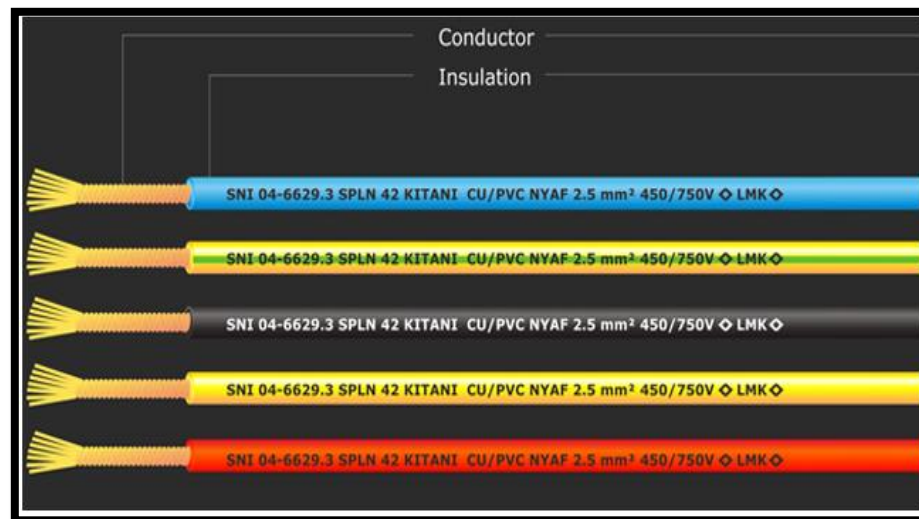
Untuk kabel jenis NYY biasanya dibuat untuk perancangan instalasi yang tetap didalam tanah karena memiliki lapisan ekstra dan juga disarankan walaupun telah memiliki lapisan ekstra harus memakai pipa besi atau pipa PVC, bahan isolasinya pun biasanya berjenis bahan yang tidak disukai tikus karena berada didalam tanah, penggunaannya pada umumnya untuk instalasi lampu taman dll., berikut contoh gambar kabel NYY:



Gambar 11. 6 jenis kabel NYY

d. Kabel NYAF

Jenis kabel ini umumnya digunakan untuk instalasi box panel pada instalasi listrik, karena kabel jenis NYAF berjenis kabel flexible dan dapat di tekuk sehingga dalam pemasangan pada box panel dimudahkan terutama ketika menemukan belokan yang cukup tajam pada box panel yang ruangnya kecil. Untuk inti kabel atau konduktor jenis kabel NYAF biasanya berjenis serabut. Berikut contoh jenis kabel NYAF.



Gambar 11. 7 Contoh kabel NYAF

e. Kabel NYFGbY/ NYBY / NYRGby

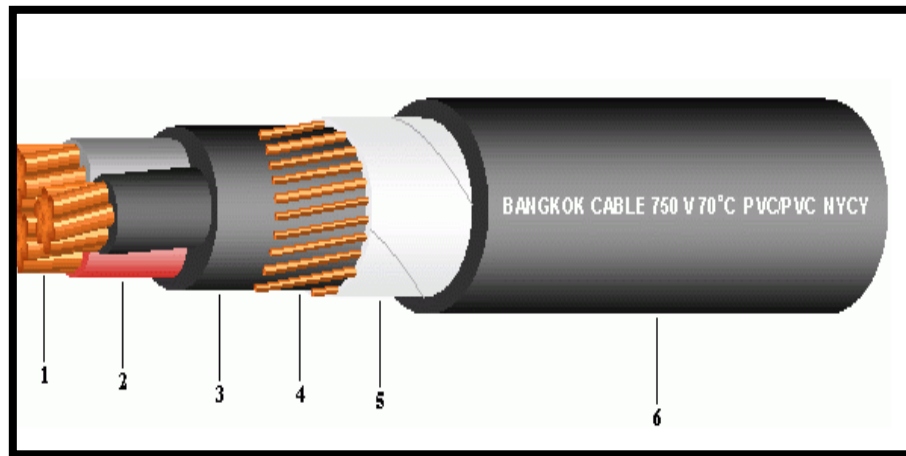
Jenis kabel ini umumnya ditanam didalam tanah dan tidak memerlukan lagi pelindung dari pipa kerana telah memiliki lapisan pelindung bawaan namun ketika dipasang melintasi jalan raya kabelini harus tetap dilindungi dengan pipa besi agar menghindari terjadinya tekanan dari kendaraan yang melintas.



Gambar 11. 8 Contoh jenis kabel NYFGby

f. Kabel NYCY

Unujur jenis kabel ini digunakan untuk jaringan listrik didalam tanah , dilaam ruangan maupun ruang terbuka , jenis kabel ini memiliki dua lapis pelindung pita CU cable, untuk pemasangan bisa dimanapun baik di kondisi kering maupun lembab.



Gambar 11. 9 Contoh Kabel NYCY

g. Kabel BC

Kabel BC bias adigunakan untuk pembumian pada instalasi bangunan , kabel ini tidak dilapisi isolasi PVC seperti kabel umumnya kerena memiliki kendalanya yang tinggi.



Gambar 11. 10 Kabel BC

h. Kabel ACSR

Yaotu jenis kabel yang terdiri dari alumunium berinti kawat baja , bisanay penggunaanya utuk saluran trasnmisi tegangan tinggi dan dengan jarak jauh mencapai rautsan meter sehingg akebl ini memeiliki daya Tarik yang kuat.



Gambar 11. 11 Contoh kabel ACSR

i. Kabel ACAR

Kabel ini hamir sama dnegan kabel ACSR namun memiliki kenadalan dankeuatan yang lebih tinggi bisanay untuk transmisi saluran tegangan ekstra tinggi.



Gambar 11. 12 Kabel ACAR

5. Jenis Instalasi Listrik

Instalasi listrik merupakan suatu rangkaian yang berguna dalam menyalurkan energy listrik sebagai kebutuhan mesin atau manusia pada umumnya, adapun instalasi pada dasarnya terbagi menjadi dua yaitu : Sudirham, S. (2012)

a. Instalasi Daya Listrik

Merupakan saluran instalasi yang berguna untuk menyalurkan listrik dari sumber untuk diaplikasikan pada permesinan, peralatan pada umumnya misalnya , motor listrik pompa, elevator, mesin industri dan lain sebagainya.

b. Instalasi Penerangan

Instalasi ini berguna untuk menyalurkan listrik baik itu didalam bangunan atau diluar bangunan , tujuan nya ialah memberikan kenyamanan bagi orang yang berada disekitar Gedung atau bangunan ketika dalam menjalani pekerjaan atau kehidupannya.

Instalasi listrik juga tidak terlepas dari peraturan yang mengatur mengenai syarat instalasi yang baik yang diatur pada PUIL (Persyaratan Umum Instalasi listrik) untuk local dan juga *Intenational Electrical Commision* (IEC) pada skala internasional.

Adapun prinsip dalam instalasi listrik bisa diuraikan beberapa prinsip sebagai berikut :

- a. Safety artinya tidak mengganggu aktifitas kehidupan makhluk hidup dan dapat terjaga dari bahaya
- b. Handal artinya pada peraturan instalasi ketika terjadi gangguan dapat mudah diatasi.
- c. Availability artinya kondisi instalasi dalam keadaan siap kapanpun akan digunakan
- d. Keindahan artinya selain handal dan memiliki availability yang baik instalasi juga harus nyaman dilihat oleh pandangan jangan sampai instalasinya acak acakan.
- e. Dan yang terakhir instalasi listrik harus ekonomis artinya tidak memakan biaya yang cukup mahal.

Rencana instalasi juga harus memiliki kejelasan dalam tahapan pelaksanaan pemasnaganya , maka dari itu sebelum instalai terpasanag harus memiliki beberapa hal berikut :

- a. Gambar situasi yaitu menggambarkanletak denah lokasi bangunan yang akan di pasang.
- b. Gamabr instalasi setelah ad agambar denah bangunan, maka dibuat gambar jalur listriknya.
- c. Diagram garis tunggal diagram ini termasuk diagram PHB atau perlengkapan hubung bagi
- d. Gambar rinci yaitu gambar detail dari instalasi
- e. Perhitungan teknis mengenai seberapa banyak kebutuhan listrik yang akan disalurkan.
- f. 6. Perkiraan biao yang akan digunakan.

1) Instalasi penerangan

Pada instalasi ini biasanya terbagi menjadi tiga yaitu :

a) Lampu Pijar, lampu pijar biasanya digunakan pada penerangan tertentu , lampu jenis cukup meerangin area terutam ketika dimalam hari karena cahayanya tidak terlalu menyilaukan.

b) Lamu TL

Lampu TL bisanya berjensi Panjang dan adapu penggunnya biasaya pada ruangan luas area dan koridr ridor pada bangunan.

c) Lampu LED

Lampu LED meripakan lampu yang paling hemat energi yang diguakan saat ini lampu ini menghidari pemborosan energy yang digunak oleh lampu pijar dan lampu TL

2) Instalasi Daya Listrik

Pada sebuah industri bisanay memiliki banayk sekali mesin atau peralatan yang akan di berikan instalasi atau daya listriknya untuk menggunakan mesin atau peralatan tersebut sperti motor listri, mesin produksi, pompa, computer dll, maka dari itu diperlukan juga isntalasi yang baik denga aturan yang telah di syaratkan baisanya pada isntalasi daya listrik terbagi menjadi :

- a) Persediaan tenaga listrik : PLN, GenSET , atau TM (tegangan Menengah)
- b) Sistem Pembagi ; yaitu saluran yang membagi daya listrik ke beberapa bangunan misal memasang Box CT, atau Ohm saklar pada masing masing Gedung
- c) Saluran day alistrik , yaitu inslaasi kabel kabel ke peralatan atau mesin
- d) Pengamanan seperti MCB, MCCB dll
- e) Pembumian, pembumian disini artinya setiap instalasi untuk menghindari terjadi ganguna dari petir ataupun ganguna arus pendek maka disarankan untuk memasang pembumian atau grounding.

C. LATIHAN SOAL / TUGAS

1. Kenap kabel dapa menghantarkan arus listrik
2. Jelskan konspe dasar pad akabel sehingg atidak mudah terbakar ketika dialiri arrus listrik
3. Sebutkan jenis kabel yang bisa digunakan pad aistalasi rumah dan jelskan cara menentkan jenis kabel yang akan digunakan pada isntalasi rumah
4. Sebutkan jenis jensi kabel yang anda ketahui beserta kegunannya minimal lima kabel
5. Faktor apa saja yang memepengaruhi baik buruknya suatu isntalasi pada bangunan atau Gedung.

D. DAFTAR PUSTAKA

- Bachtiar, M., & Abstract. (2014). *Prosedur perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya untuk perumahan (solar home system)*.
- Blume, S. W. (n.d.). *ELECTRIC POWER SYSTEM BASICS*. 2007.
- Charles, S., & Gustaf, S. E. (2011). *Turbines and its types*.
- Cooley, H. (2009). *Water for Energy : Future Water Needs for Electricity in the Intermountain West*.
- Eltamaly, A. M. (2018). *Introduction to Wind Energy Systems*.
- En, W. P. (2011). *Nuclear Energy as part of the electricity generation system — Balancing and the grids — William D ' haeseleer TME WORKING P APER - Energy and Environment Last update : February 2011. February*.

- Generation, E. P., Practices, D. I., & Management, E. (2019). *Electric Power Generation , Transmission and Distribution Industry Practices and Environmental Characterization*. June, 1–11.
- IAEA. (2018). *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050* (Issue 1).
- Johnson, G. L. . (2012). *WIND ENERGY SYSTEMS*.
- Mahmud, N., Yahya, A., Rafiq, M., Kadir, A., Liyana, N., & Hashim, S. (2013). *Jurnal Teknologi Pulse Power Generator Design for Machining Micro-pits on Hip Implant*. 2, 33–38.
- Mikko. (2019). *ELECTRICITY - A Secondary Energy Source*.
- Muhammed, A. S. (2012). *Araz Salih Muhammed*. 1–19.
- Muslim, S. (2008). *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Skeolah Menengah Umum.
- Nagpurwala, Q. H. (2013). *Hydraulic Turbines*.
- Nugroho, N., & Agustina, S. (2015). *ANALISA MOTOR DC (DIRECT CURRENT) SEBAGAI PENGGERAK MOBIL LISTRIK*. 2(1), 28–34.
- Pembinaan, D., & Menengah, S. (2008). *teknik Transmisi Tenaga Listrik*. Direktoratn pembinaan sekolah menengah umum.
- Prayoga, A., & S, E. M. (2010). *Teknik tenaga listrik* (Issue 0806365412).
- Ramdhani, M. (2005). *Rangkaian listrik*.
- Subagyo, R. (2018). *TURBIN UAP HMKB760*.
- Sudirham, S. (2012). *Analisis Rangkaian Listrik*.
- Suhadi. (2008). *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Direktoratn pembinaan sekolah menengah umum.
- Sumardjati, P. (2008). *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Skeolah Menengah Umum.
- Veron, L. (2013). *Nuclear Power for Electrical Generation The*. 1–24.
- Western Governors ' Association. (2018). *An Introduction to Electric Power Transmission An Introduction to Electric Power Transmission – Table of Content (TOC)*.
- Wu, X., Shen, J., Li, Y., & Lee, K. Y. (2015). *Steam power plant configuration , design , and control*. <https://doi.org/10.1002/wene.161>

PERTEMUAN 12

MOTOR LISTRIK

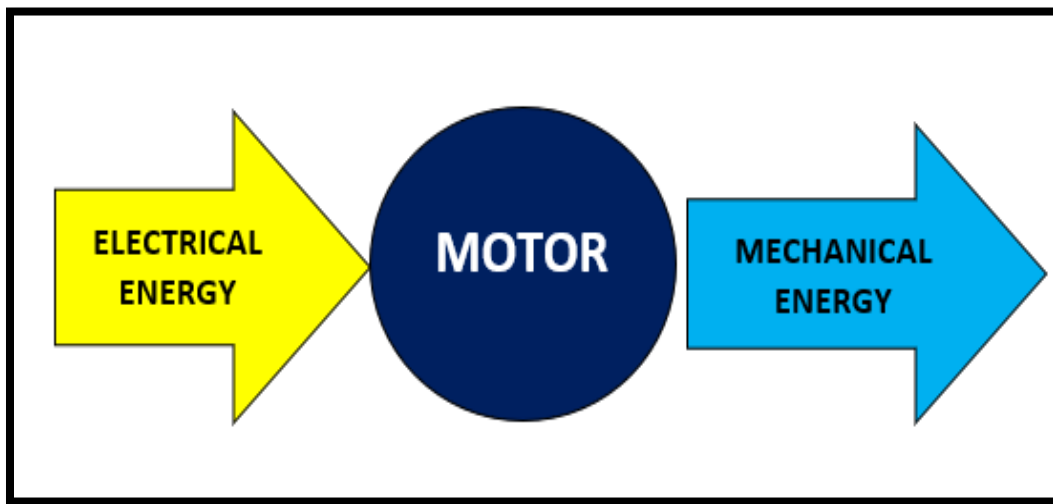
A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Motor Listrik”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan Mampu mengidentifikasi dan merencanakan kebutuhan jenis motor listrik yang akan digunakan di industri.

B. URAIAN MATERI

1. Pengantar Motor Listrik

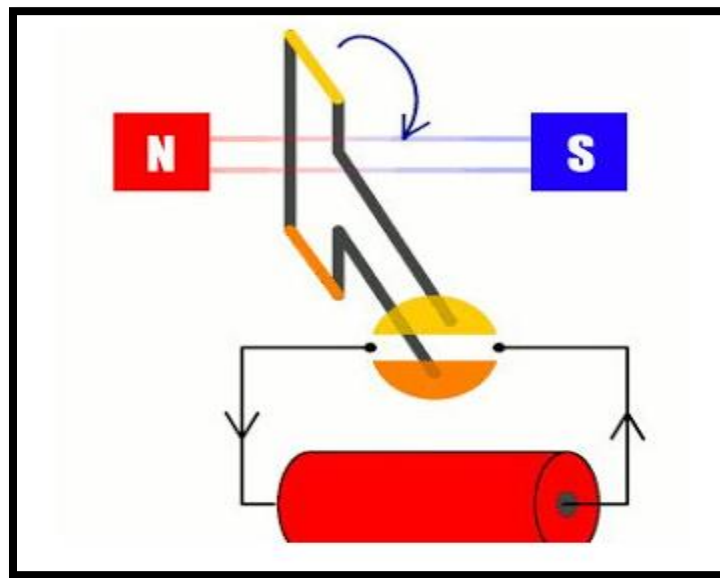
Motor listrik adalah mesin yang mampu mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi adalah jenis mesin yang paling banyak digunakan, karena menggabungkan semua kelebihan yang ditawarkan oleh energi listrik, seperti biaya rendah, pasokan mudah dan distribusi, penanganan bersih dan kontrol sederhana - bersama dengan kontrol build sederhana dan keserbagunaannya untuk disesuaikan dengan rentang muatan yang luas dan efisiensi yang lebih besar. (Wu et al., 2015)



Gambar 12. 1 konversi energy pada motor listrik

Motor listrik juga dapat di jelaskan sebagai alat yang bisa merubah energi listrik menjadi energi mekanik, sedangkan sebaliknya yang mengubah dari energi mekanik menjadi energi listrik ialah generator yang telah kita bahas pada pertemuan

terdahulu. Motor listrik juga bagian dari kehidupan sehari-hari yang sering kita jumpai, sebagai contoh Ketika kita menghidupkan bor listrik maka mata bor berputar jika kontak ON dihidupkan akibat adanya sumber arus yang masuk kedalam bor listrik tersebut, ketika arus masuk pada motor listrik yang ada didalam bor, maka terjadi gelombang elektromagnetik yang membuat kumparan berputar pada porosnya sehingga mata bor bisa berputar seperti yang kita lihat. Motor listrik sederhana terdiri dari kumparan gulungan tembaga yang dilaminasi baja atau disebut stator dan poros yang berputar yang disebut dengan rotor.(Generation et al., 2019; Report & Solutions, 2013; ST, 2016)

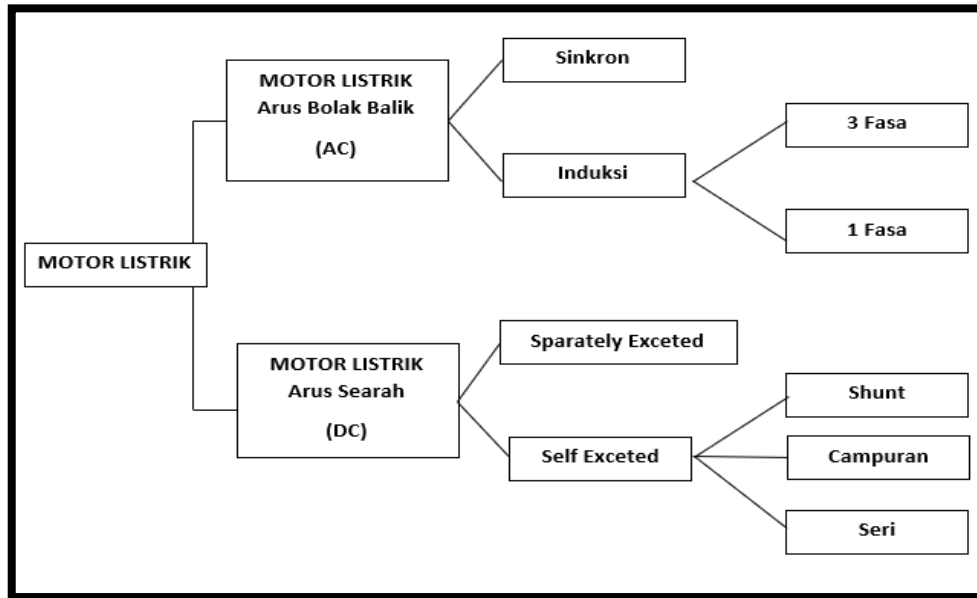


Gambar 12. 2 ilustrasi sederhana motor listrik

Prinsip kerja pada motor listrik ialah mengubah energi listrik menjadi energy mekanik, perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektro magnetic, masing masing kutub dari magnet yang sama akan saling tolak menolak dan kutub yang tidak sama akan bekerja saling Tarik menarik, maka dari itu kita mendapatkan Gerakan jika kita menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang bisa bergerak atau berputar. Ketika kawat listrik yang membawa arus dibengkokan menjadi sebuah lingkaran / loop maka kedua sisi lingkaran akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan, dan pasangan gaya tersebut akan menghasilkan tenaga putar / torque untuk memutar kumparan.(Mikko, 2019; Ramdhani, 2005)

2. Jenis jenis motor listrik

Pada buku ajar ini dijelaskan jenis jenis motor listrik yang digunakan pada industri maupun dalam kehidupan sehari hari, motor listrik terbagi menjadi dua jenis yaitu motor listrik AC (Alternatif Current) dan motor listrik DC (Dirrect Current) Untuk lebih jelasnya jenis jenis motor listrik tersebut dapat dilihat pada gambar dan penjelasan berikut :



Gambar 12. 3 Jenis motor listrik

a. Motor Listrik AC

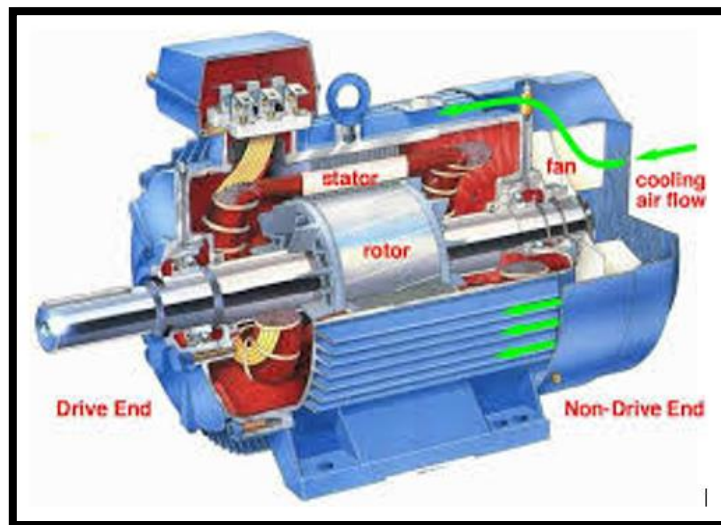
Motor yang bergerak Ketika dialiri arus AC atau arus bolak balik, pada motor ini terdiri dari dua buah bagian utama yaitu , rotor yang merupakan komponen bergerak , dan stator merupakan kmpinen yang diam atau statis pada motor listrik AC juga dapat dilengkapi dengan penggerak frekuensi atau variable speed untuk mengendalikan kecepatan sekaligus menurunkan konsumsi daya pada motor listrik.(Nugroho & Agustina, 2015; Studi et al., n.d.)

Motor Ini paling sering digunakan, karena daya biasanya disuplai oleh arus bolak-balik. Kebanyakan jenis motor ini yaitu:

- 1) Motor sinkron: motor sinkron terdiri dari tiga fase Motor AC yang berjalan pada kecepatan tetap tanpa terpeleset dan sedang umumnya diterapkan

untuk hasil yang bagus (karena relatif tinggi biaya dalam ukuran bingkai yang lebih kecil).

- 2) Motor induksi: motor ini umumnya beroperasi pada konstanta kecepatan yang berubah sedikit ketika beban mekanis berada diterapkan pada poros motor. Karena kesederhanaannya, kekokohnya dan berbiaya rendah, jenis mesin ini yang paling banyak digunakan dan, secara praktis, sangat cocok untuk hampir semua jenis mesin. Saat ini dimungkinkan untuk mengontrol kecepatan motor induksi oleh inverter frekuensi atau variable speed drive (VSD).



Gambar 12. 4 komponen motor listrik AC

b. Motor Listrik DC

Merupakan motor yang bergerak dengan arus sumber tegangan DC atau direct Current, motor ini biasanya digunakan ketika membutuhkan torque yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran yang luas. Motor-motor ini cukup mahal, membutuhkan arus searah sumber atau perangkat konversi untuk mengonversi toggle normal arus searah. Motor tersebut dapat beroperasi dengan kecepatan yang dapat disesuaikan pada rentang yang luas dan sangat cocok untuk kontrol kecepatan yang tepat dan fleksibel. Karena itu, penggunaannya adalah terbatas pada aplikasi khusus di mana persyaratan ini mengimbangi instalasi dan pemeliharaan yang jauh lebih tinggi biaya. (Nugroho & Agustina, 2015; Studi et al., n.d.)

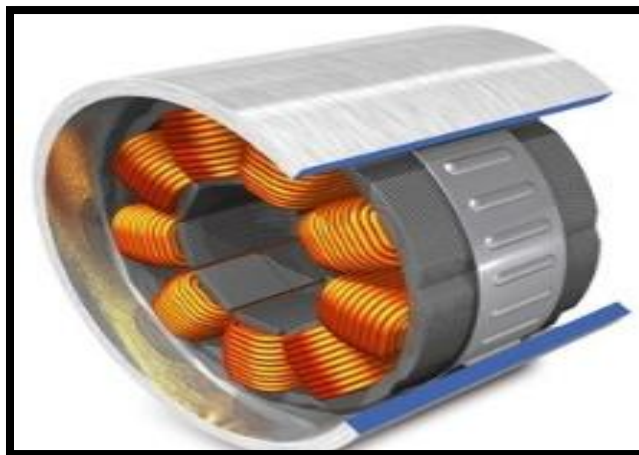


Gambar 12. 5 Motor Listrik DC

3. Komponen komponen pada motor listrik

Pada motor listrik terdiri dari beberapa komponen yang Menyusun sebuah motor listrik tersebut, komponen komponen nya ialah sebagai berikut :

- a. Stator yaitu merupakan komonen utama pada motor listrik , komponen ini bersinggungan langsung dengan kinerja dari sbuah motor listrik, stator dterdiri dari lilitan tembaga yang letaknya mengelilingi poros utama, tujuan dari kegunaan stator ialah membangkitkan medan magnet Ketika di aliri arus listrik. Komponen ini terdiri dari kumparan dan kabel tembaga yang dihubungkan ke sumber arus.



Gambar 12. 6 Stator

b. Rotor

Rotor ini hamper sama dengan stator namun bedanya rotor merupakan lilitan tembaga yang bersifat dinamis atau bergerak , kenapa disebut dinamis karena rotor berada pada poros utama atau mainshaft yang berputar , sama halnya dengan statorketika semakin banyak jumlah ilitan pad rotor maka semakin besar juga putaran ayang akan dihasilkan



Gambar 12. 7 Rotor

c. Main Shaft / poros Utama

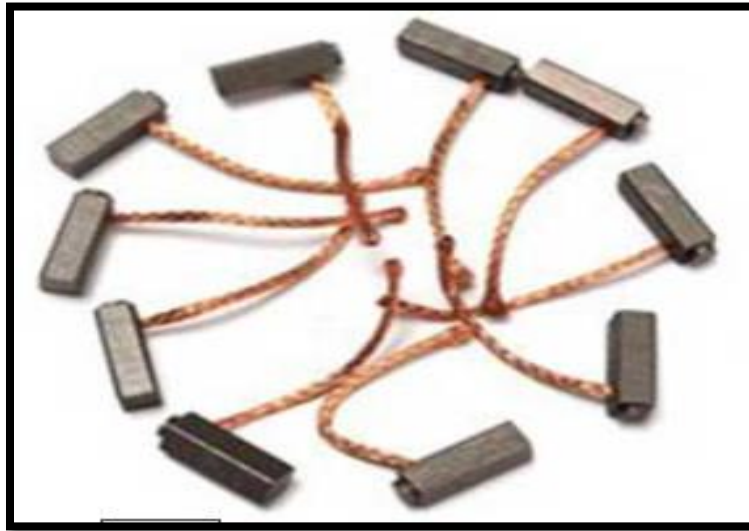
Poros utama ialah sebuah komponen berbahan logam yang bentuknya bergeometric lingkaran dan memanjang , berfungsi sebagai tempat dudukan beberapa komponen yaitu rotor, dan drive pulley. Biasanya komonenini terbuat dari bahan logam alumunium campuran karena harus menahan dari korosi dan suhu yang tinggi.



Gambar 12. 8 Mainshaft

d. Brush

Brush atau sikat tembaga merupakan penghubung antara sumber arus dengan rotor, brush ini menempel pada bagian rotor kecil yang terletak pada ujung utama rotor, Ketika gesekan terjadi maka akan mengalirkan arus listrik dengan arah yang sama meskipun rotor tersebut sedang bergerak memutar., sehingga putaran motor dapat sinkron dan continue. Ketika terjadi gesekan brush dibantu dengan pegas yang ada dibelakang letaknya dari brush, pegas tersebut selalu menekan brush yang mengakibatkan brush selalu menempel pada rotor walaupun berputar pada kecepatan yang tinggi. Brush juga menjadi hal yang paling sering mengalami kegagalan dalam penggunaannya karena diakibatkannya gesekan yang terjadi secara terus menerus dan kotoran yang menempel pada brush harus sering di maintenance.



Gambar 12. 9 Brush

e. Drive Pulley

Part ini letaknya pada ujung bagian luar mainshaft fungsi dari drive pulley ialah untuk mentransfer putaran motor menuju komponen lain, biasanya komponen ini berbentuk gear atau pulley pada fan menjadi penghubung antara motor dengan komponen lain sesuai output.



Gambar 12. 10 Drive Pulley

f. Motor Housing

Bagian ini berfungsi untuk melindungi bagian bagian motor listrik yang ada didalamnya sehingga dapat terdapat dari kerusakan, suhu, air, panas berlebih dan lainnya, selain itu casing atau motor housing berfungsi menjaga manuasdari sengatan listrik akibat adanya electromagnetic



Gambar 12. 11 Motor Housing

g. Bearing

Bearing berguna sebagai bantalan , karena motor listrik bekerjanya berputar maka diperlukan bantalan agar putaran tetap stabil dan beraturan, bahan baku

bearing umumnya dari logam aluminium campuran.



Gambar 12. 12 Bearing

h. Fan / Kipas

Fan berfungsi untuk mendinginkan suhu motor listrik karena suhu didalam housing sangat panas maka diperlukannya alat pendingin yaitu fan atau kipas.



Gambar 12. 13 Kipas Motor

4. Konsep Dasar

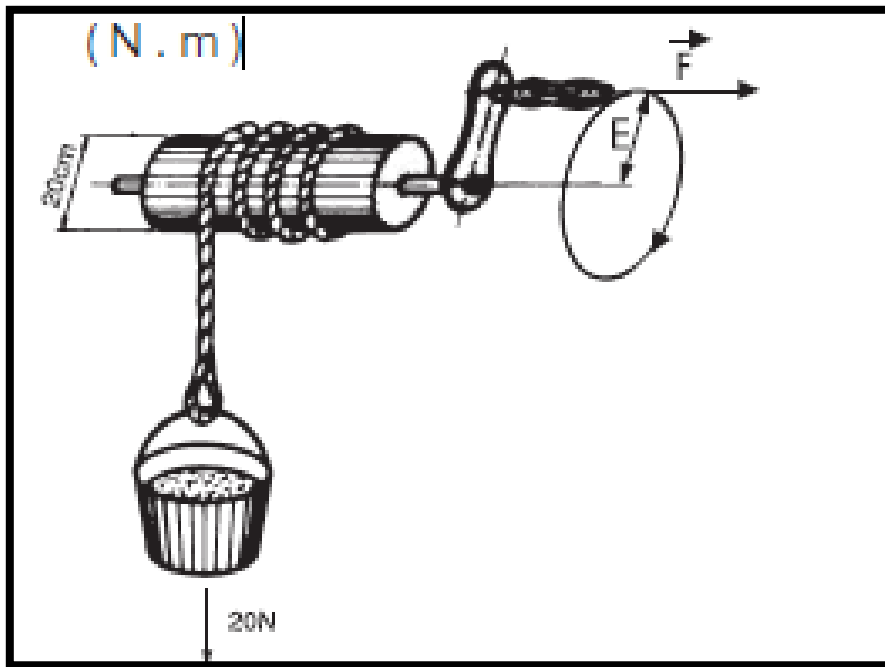
Untuk pemahaman yang lebih baik dari bagian prinsip dasar pada motor listrik berikut, akan dijelaskan mengenai motor listrik berdasarkan prinsip Fisika tentang energi dan kekuatan:

a. Torsi

Torsi, juga dikenal sebagai momen kekuatan, adalah ukurannya energi yang dibutuhkan untuk memutar poros. Melalui praktis pengalaman kita dapat mencatat bahwa untuk mengangkat beban mirip dengan satu digunakan di sumur air (lihat gambar. 12.1). kekuatan yang dibutuhkan "F" untuk diterapkan pada katrol lerekan tergantung pada panjang "E" dari pegangan engkol. Semakin lama engkol menangani semakin sedikit kekuatan diperlukan. Dengan menggandakan panjang "E" dari pegangan engkol, itu kekuatan yang dibutuhkan "F" berkurang setengahnya. Gambar 12.2 menunjukkan bahwa bucket memiliki bobot 20 N sementara diameter drum adalah 0,20 m, sehingga memungkinkan untuk tali mentransmisikan kekuatan 20 N pada permukaan drum, yaitu hingga 0,10 dari pusat sumbu. Untuk mengimbangi kekuatan ini, 10 N harus diterapkan pada pegangan engkol jika "E" memiliki sebuah panjang 0,20 m. Jika "E" dua kali lebih banyak, mis. 0,40 m, paksa "F" menjadi setengah, atau 5 N. Seperti yang Anda lihat, untuk mengukur "Energi" diperlukan untuk membuat poros berputar, itu tidak cukup untuk menentukan gaya yang diterapkan tetapi juga perlu untuk menunjukkan pada jarak berapa dari pusat poros gaya diterapkan. Anda juga harus memberi tahu pada jarak berapa dari pusat poros gaya diterapkan. "Energi" diukur oleh torsi. itu adalah hasil dari "F" (kekuatan) x "E" (jarak). $F \times E$. Dalam contoh yang diberikan, torsi adalah:

$$C = 20 \text{ N} \times 0.10 \text{ m} = 10 \text{ N} \times 0.20 \text{ m} = 5 \text{ N} \times 0.40 \text{ m} = 2.0 \text{ Nm}$$

$$C = F \cdot E \text{ (N . m)}$$



Gambar 12. 14 contoh energy perubahan

b. Energi dan tenaga mekanik

Daya adalah ukuran seberapa cepat energi diterapkan atau dikonsumsi. Dalam contoh sebelumnya, jika sumurnya 24,5 m memperdalam pekerjaan atau energi (W) yang dihabiskan untuk mengangkat ember bagian bawah sumur ke kepala sumur akan selalu menjadi sama: $20 \text{ N} \times 24,6 \text{ m} = 490 \text{ Nm}$

Catatan: unit pengukuran energi mekanik. Nm, sama dengan digunakan untuk torsi - namun, nilainya berbeda dan oleh karena itu dijelaskan dengan note $W = F \cdot d$ (N. m) CATATAN: $1 \text{ Nm} = 1 \text{ J} = \text{Daya} \times \text{waktu} = \text{Watt} \times \text{detik}$

Kekuatan mengungkapkan seberapa cepat energi diterapkan dihitung dengan membagi total energi atau pekerjaan pada saat dilakukan. Karena itu dengan menggunakan motor listrik untuk mengangkat ember air masuk 2,0 detik, Daya yang dibutuhkan adalah:

$$P_{\text{mech}} = F \cdot d / t$$

$$P_1 = 490 / 2.0 = 245 \text{ W}$$

Jika kami menggunakan motor peringkat daya yang lebih tinggi, dapat melakukan pekerjaan ini masuk 1,3 detik, daya yang dibutuhkan adalah:

$$P_2 = 490/1.3 = 377 \text{ W}$$

Unit yang paling umum digunakan untuk mengukur tenaga mekanik adalah HP (tenaga kuda), setara dengan 0,736 kW (unit pengukuran yang digunakan secara internasional untuk tujuan yang sama).

c. Energi & Daya Listrik

Meskipun energi selalu satu dan hal yang sama, ia bisa disajikan dalam beberapa bentuk. Dengan menghubungkan perlawanan ke suplai tegangan, arus listrik akan mengalir

resistensi yang akan dipanaskan. Resistansi menyerap energi, mengubahnya menjadi panas yang juga merupakan bentuk energi. Motor listrik menyerap energi listrik dari

catu daya, mengubahnya menjadi energi mekanik tersedia di ujung poros.

d. Faktor daya

Faktor daya ditunjukkan oleh $\cos \phi$, di mana ϕ adalah sudutnya perpindahan tegangan yang berkaitan dengan arus. Itu adalah hubungan antara aktif (P) dan kekuatan semu (S):

Cos phi bisa dicari dengan rumus :

$$\cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{Px1000}{3.U.I}$$

Dimana :

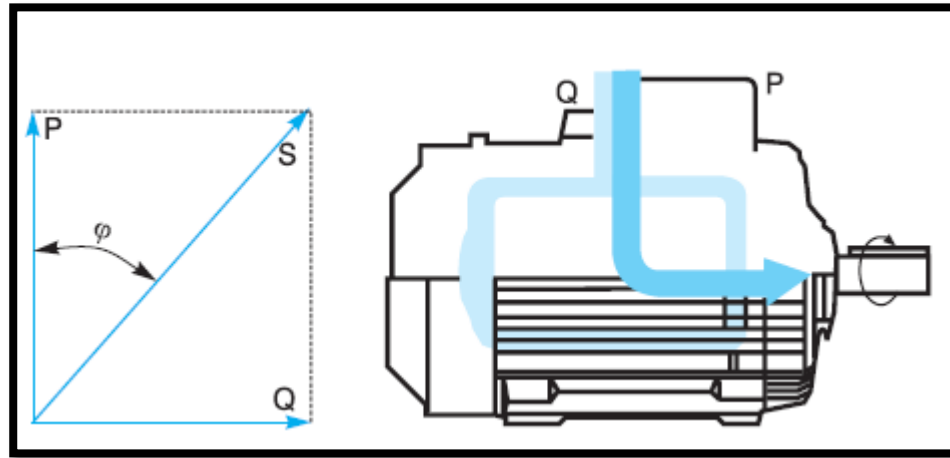
P = Power

S = 3.U.I

U = Line Voltage

I = Line Current

Motor tidak hanya menarik daya aktif yang diubah setelahnya dalam kekuatan mekanik dan panas (kerugian), tetapi juga menyerap daya reaktif diperlukan untuk magnetisasi, tetapi itu tidak menghasilkan pekerjaan. Pada diagram gambar 12.3, vektor P mewakili daya aktif dan Q Daya reaktif, yang menambahkan hasil dalam kekuatan nyata S



Gambar 12. 15 diagram vector

Motor listrik memainkan peran yang sangat penting dalam industri, karena mewakili lebih dari 60% konsumsi energi. Karena itu, sangat penting untuk menerapkan motor dengan

output dan fitur yang disesuaikan dengan fungsinya sejak faktor daya berubah dengan beban motor.

Koreksi faktor daya Peningkatan faktor daya dibuat oleh koneksi beban kapasitif, secara umum, kapasitor atau sinkron motor dengan eksitasi berlebihan, paralel dengan beban.

Sebagai contoh: Motor listrik tiga fase, 100 HP (75 kW), memiliki 4 kutub, berjalan pada 100% daya terukur, dengan Faktor Daya asli 0,87 dan efisiensi 93,5%. Sekarang kekuatan reaktif seharusnya untuk menaikkan faktor daya ke 0,95.

Solusi:

Dengan Menggunakan tabel 1.2, di persimpangan 0,87 baris dengan kolom 0,95, kita mendapatkan nilai 0,238 yang dikalikan dengan motor menyerap daya dari saluran di KW, memberikan jumlah dari daya reaktif yang diperlukan untuk meningkatkan faktor daya dari 0,87 hingga 0,95.

$$\text{kVar} = \frac{P (\text{HP}) \times 0.736 \times F \times 100\%}{\text{Eff. \%}}$$

$$\frac{100 \times 0.736 \times 0.238 \times 100\%}{100\%}$$

93.5%

kVAr = 18.735 kVAr

Original Power Factor	Required Power Factor																				
	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
0.50	0.982	1.008	1.034	1.060	1.086	1.112	1.139	1.165	1.192	1.220	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.442	1.481	1.529	1.590	1.732
0.51	0.937	0.962	0.989	1.015	1.041	1.067	1.094	1.120	1.147	1.175	1.203	1.231	1.261	1.292	1.324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687
0.52	0.893	0.919	0.945	0.971	0.997	1.023	1.060	1.076	1.103	1.131	1.159	1.187	1.217	1.248	1.280	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643
0.53	0.850	0.876	0.902	0.928	0.954	0.980	1.007	1.033	1.060	1.088	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349	1.397	1.457	1.600
0.54	0.809	0.835	0.861	0.887	0.913	0.939	0.966	0.992	1.019	1.047	1.075	1.103	1.133	1.164	1.196	1.230	1.267	1.308	1.356	1.416	1.359
0.55	0.769	0.795	0.821	0.847	0.873	0.899	0.926	0.952	0.979	1.007	1.035	1.063	1.090	1.124	1.156	1.190	1.228	1.268	1.316	1.377	1.519
0.56	0.730	0.756	0.782	0.808	0.834	0.860	0.887	0.913	0.940	0.968	0.996	1.024	1.051	1.085	1.117	1.151	1.189	1.229	1.277	1.338	1.480
0.57	0.692	0.718	0.744	0.770	0.796	0.822	0.849	0.875	0.902	0.930	0.958	0.986	1.013	1.047	1.079	1.113	1.151	1.191	1.239	1.300	1.442
0.58	0.655	0.681	0.707	0.733	0.759	0.785	0.812	0.838	0.865	0.893	0.921	0.949	0.976	1.010	1.042	1.076	1.114	1.154	1.202	1.263	1.405
0.59	0.618	0.644	0.670	0.696	0.722	0.748	0.775	0.801	0.828	0.856	0.884	0.912	0.943	0.973	1.005	1.039	1.077	1.117	1.165	1.226	1.368
0.60	0.584	0.610	0.636	0.662	0.688	0.714	0.741	0.767	0.794	0.822	0.850	0.878	0.905	0.939	0.971	1.005	1.043	1.083	1.131	1.192	1.334
0.61	0.549	0.575	0.601	0.627	0.653	0.679	0.706	0.732	0.759	0.787	0.815	0.843	0.870	0.904	0.936	0.970	1.008	1.048	1.096	1.157	1.299
0.62	0.515	0.541	0.567	0.593	0.619	0.645	0.672	0.698	0.725	0.753	0.781	0.809	0.836	0.870	0.902	0.938	0.974	1.014	1.062	1.123	1.265
0.63	0.483	0.509	0.535	0.561	0.587	0.613	0.640	0.666	0.693	0.721	0.749	0.777	0.804	0.838	0.870	0.904	0.942	0.982	1.000	1.091	1.233
0.64	0.450	0.476	0.502	0.528	0.554	0.580	0.607	0.633	0.660	0.688	0.716	0.744	0.771	0.805	0.837	0.871	0.909	0.949	0.997	1.066	1.200
0.65	0.419	0.445	0.471	0.497	0.523	0.549	0.576	0.602	0.629	0.657	0.685	0.713	0.740	0.774	0.806	0.840	0.878	0.918	0.966	1.027	1.169
0.66	0.388	0.414	0.440	0.466	0.492	0.518	0.545	0.571	0.598	0.626	0.654	0.692	0.709	0.742	0.755	0.809	0.847	0.887	0.935	0.996	1.138
0.67	0.358	0.384	0.410	0.436	0.462	0.488	0.515	0.541	0.568	0.596	0.624	0.652	0.679	0.713	0.745	0.779	0.817	0.857	0.906	0.966	1.108
0.68	0.329	0.355	0.381	0.407	0.433	0.459	0.486	0.512	0.539	0.567	0.595	0.623	0.650	0.684	0.716	0.750	0.788	0.828	0.876	0.937	1.079
0.69	0.299	0.325	0.351	0.377	0.403	0.429	0.456	0.482	0.509	0.537	0.565	0.593	0.620	0.654	0.686	0.720	0.758	0.798	0.840	0.907	1.049
0.70	0.270	0.296	0.322	0.348	0.374	0.400	0.427	0.453	0.480	0.508	0.536	0.564	0.591	0.625	0.657	0.691	0.729	0.769	0.811	0.878	1.020
0.71	0.242	0.268	0.294	0.320	0.346	0.372	0.399	0.425	0.452	0.480	0.508	0.536	0.563	0.597	0.629	0.663	0.701	0.741	0.783	0.850	0.992
0.72	0.213	0.239	0.265	0.291	0.317	0.343	0.370	0.396	0.423	0.451	0.479	0.507	0.534	0.568	0.600	0.624	0.672	0.712	0.754	0.821	0.963
0.73	0.186	0.212	0.238	0.264	0.290	0.316	0.343	0.369	0.396	0.424	0.452	0.480	0.507	0.541	0.573	0.607	0.645	0.685	0.727	0.794	0.936
0.74	0.159	0.185	0.211	0.237	0.263	0.289	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.480	0.514	0.546	0.580	0.618	0.658	0.700	0.767	0.909
0.75	0.132	0.158	0.184	0.210	0.236	0.262	0.289	0.315	0.342	0.370	0.398	0.426	0.453	0.487	0.519	0.553	0.591	0.631	0.673	0.740	0.882
0.76	0.106	0.131	0.157	0.183	0.209	0.235	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.399	0.426	0.460	0.492	0.526	0.564	0.604	0.652	0.713	0.855
0.77	0.079	0.106	0.131	0.157	0.183	0.209	0.236	0.262	0.289	0.317	0.345	0.373	0.400	0.434	0.466	0.500	0.538	0.578	0.620	0.686	0.829
0.78	0.053	0.079	0.105	0.131	0.157	0.183	0.210	0.236	0.263	0.291	0.319	0.347	0.374	0.408	0.440	0.474	0.512	0.562	0.594	0.661	0.803
0.79	0.026	0.062	0.078	0.104	0.130	0.153	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.347	0.381	0.403	0.447	0.485	0.525	0.567	0.634	0.776
0.80	0.000	0.026	0.062	0.078	0.104	0.130	0.157	0.183	0.210	0.238	0.266	0.294	0.321	0.355	0.387	0.421	0.459	0.499	0.541	0.608	0.750
0.81		0.000	0.026	0.062	0.078	0.104	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.295	0.329	0.361	0.395	0.433	0.473	0.515	0.582	0.724
0.82			0.000	0.026	0.062	0.078	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0.269	0.303	0.335	0.369	0.407	0.447	0.496	0.556	0.696
0.83				0.000	0.026	0.062	0.079	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0.243	0.277	0.309	0.343	0.381	0.421	0.463	0.536	0.672
0.84					0.000	0.026	0.053	0.079	0.106	0.14	0.162	0.190	0.217	0.251	0.283	0.317	0.355	0.395	0.437	0.504	0.645
0.85						0.000	0.027	0.053	0.080	0.108	0.136	0.164	0.194	0.225	0.257	0.191	0.229	0.369	0.417	0.476	0.620
0.86							0.000	0.026	0.053	0.081	0.109	0.137	0.167	0.198	0.230	0.265	0.301	0.343	0.390	0.451	0.593
0.87								0.026	0.053	0.081	0.109	0.137	0.167	0.198	0.230	0.265	0.301	0.343	0.390	0.451	0.593
0.88									0.028	0.056	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.290	0.337	0.398	0.464	0.540
0.89										0.028	0.056	0.086	0.117	0.149	0.183	0.220	0.262	0.309	0.370	0.442	0.512
0.90											0.028	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.234	0.281	0.342	0.414	0.484
0.91												0.030	0.061	0.093	0.127	0.164	0.206	0.253	0.314	0.386	0.456
0.92													0.031	0.063	0.097	0.134	0.176	0.223	0.284	0.356	0.426
0.93														0.032	0.068	0.103	0.145	0.192	0.253	0.325	0.395
0.94															0.034	0.071	0.113	0.160	0.221	0.293	0.363
0.95																0.037	0.079	0.126	0.187	0.259	0.329
0.96																	0.042	0.089	0.149	0.221	0.291
0.97																		0.108	0.179	0.251	0.321
0.98																			0.161	0.233	0.303
0.99																				0.203	0.273
																					0.142

Efisiensi

Efisiensi menentukan seberapa efisien konversi dari jalur menyerap energi listrik itu menjadi mekanik energi tersedia di ujung poros. Efisiensi menentukan caranya

transformasi ini dibuat. Dengan memanggil tenaga mekanik tersedia di "output" (Pu) ujung poros dan energi listrik diserap oleh motor dari pasokan "input" (Pa), yang efisiensi adalah rasio antara keduanya, yaitu, efisiensi sebuah sepeda motor dinyatakan dalam persentase perbandingan antar daya output yang dapat diberikan P2 terhadap daya input P1 yang dibutuhkan oleh motor, umumnya pada papan nama pada motor listrik tidak terlalu jelas penggambaran yang menyebutkan efisiensi namun bisa dihitung berdasarkan data data yang tertera pada nameplate tersebut Adapun rumus menentukannya ialah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \%$$

Dimana

η = Efisiensi

P2 = Power Output

P1 Power Input

Contoh soal :

Sebuah motor listrik memiliki power output sebesar 22 KW, nilai Cos Phi 0.84, Arus 40.5 A dan tegangan 400 V hitunglah efisiensi motor listrik tersebut :

Sebelum mencari efisiensi terlebih dahulu dicari daya input Yaitu P1 dapat dihitung dengan rumus $P_1 = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \Phi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 40.5 \cdot 0.84$

$$= 23,59$$

Jadi daya inputnya atau P1 ialah 23,59

Sehingga rugi dayanya yaitu $23,59 - 22 = 1,59$ kW

Sedangkan effisiensinya ialah $= P_2 / P_1 \times 100 \%$

$$= 22 / 23,59 \cdot 100\%$$

$$= 93 \%$$

C. LATIHAN SOAL / TUGAS

1. Jelaskan konsep dasar pada motrolistrik
2. Sebutkan Jenis jenis motor listrik yang ada di industry
3. Kenapa Motor listrik tidak menghasilkan arus listrik
4. Jelaskan perbedaan dantar torsi dan daya
5. Ketika akan memilih motor listrik untuk penggunaan pada beban pompa , hal apa saja yang mesti dipertimbangkan agar motor listrik sesuai kapasitasnya

D. DAFTAR PUSTAKA

- Generation, E. P., Practices, D. I., & Management, E. (2019). *Electric Power Generation , Transmission and Distribution Industry Practices and Environmental Characterization*. June, 1–11.
- Mikko. (2019). *ELECTRICITY - A Secondary Energy Source*.
- Nugroho, N., & Agustina, S. (2015). *ANALISA MOTOR DC (DIRECT CURRENT) SEBAGAI PENGGERAK MOBIL LISTRIK*. 2(1), 28–34.
- Ramdhani, M. (2005). *Rangkaian listrik*.
- Report, T., & Solutions, E. E. (2013). *Energy Efficiency Technologies ANNEX III Technical Report for Thermal Power Plants*. August, 1–30.
- ST, L. augmented. (2016). *An introduction to electric motors What is an electric motor*.
- Studi, P., Pendidikan, S., Elektro, T., Teknik, F., Surabaya, U. N., Elektro, J. T., Teknik, F., & Surabaya, U. N. (n.d.). *PENGEMBANGAN JOB SHEET MEMPERBAIKI MOTOR LISTRIK SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN PRAKTIK SISWA KELAS XI TIPTL DI SMK PGRI 1 LAMONGAN* Joko. 6(1), 753–758.
- Wu, X., Shen, J., Li, Y., & Lee, K. Y. (2015). *Steam power plant configuration , design , and control*. <https://doi.org/10.1002/wene.161>

PERTEMUAN 13

SISTEM PEMBUMIAN

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Sistem Pembumian”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan Mampu mengidentifikasi jenis tahanan tanah yang baik untuk pembumian pada instalasi listrik dan tahanan pada setiap instalasi.

B. URAIAN MATERI

1. Pengantar Sistem Pembumian

Sistem pentanahan, kadang-kadang hanya disebut "pentanahan", adalah serangkaian tindakan yang digunakan untuk menghubungkan bagian konduktif listrik ke tanah. Sistem pentanahan adalah bagian penting jaringan listrik pada kedua level tegangan tinggi dan rendah. Tujuan digunakannya sistem pentanahan yang baik ialah untuk:

- a. Perlindungan bangunan dan instalasi terhadap petir
- b. Keamanan kehidupan manusia dan hewan, membatasi sentuhan dan tegangan step ke nilai yang aman
- c. Kompatibilitas elektromagnetik (*Elektromagnetic Compatibility*), yaitu membatasi gangguan elektromagnetik
- d. Operasi yang benar dari jaringan pasokan listrik dan memastikan kualitas daya yang baik.

Semua fungsi ini disediakan oleh sistem pembumian tunggal yang harus dirancang untuk memenuhi semua persyaratan. Beberapa elemen dari sistem pentanahan dapat disediakan untuk memenuhi sebuah tujuan khusus, tetapi masih merupakan bagian dari sistem pentanahan tunggal. Standar membutuhkan semua tindakan pentanahan dalam suatu instalasi harus digabungkan bersama, membentuk suatu system. (Sumardjati, 2008)



Gambar 13. 1 Ilustrasi Petir

What is earthing ?

Seluruh dunia menganggap bahwa earthing ialah mengacu pada titik Zero (0). Di Inggris, bias disebut sebagai 'Earth' namun orang-orang Amerika menyebutnya 'ground'. Orang-orang umumnya selalu berhubungan dengan tanah, oleh karena itu, jika bagian lain yang terbuka untuk disentuh dibebankan pada tegangan yang berbeda ada risiko syok atau kaget. Proses pentanahan adalah untuk menghubungkan semua bagian-bagian yang dapat dibawa ke massa tanah umumnya untuk menyediakan jalur bagi gangguan arus dan menahan bagian sedekat mungkin ke tanah. Dalam teori sederhana, ini akan mencegah perbedaan potensial antara bumi dan bagian yang dibumikan, memungkinkan juga arus gangguan mengalir yang akan menyebabkan sistem perlindungan beroperasi. Metode standar untuk mengikat sistem pasokan listrik ke tanah adalah dengan membuat sebuah koneksi langsung antara keduanya. Ini biasanya dilakukan dalam pengiriman transformator, di mana konduktor netral (biasanya titik bintang dari rangkaian tiga fase) pasokan terhubung ke bumi menggunakan elektroda pbumian atau selubung logam dan melindungi kabel yang tertanam. Grounding System konduktif harus terhubung ke tempat pemasangan dengan konduktor tidak lebih besar di area penampang daripada konduktor pentanahan. (Cronshaw, 2005; Muslim, 2008; Ramdhani, 2005)

Pembumian juga merupakan faktor utama pada setiap pengamanan perlindungan peralatan atau rangkaian listrik. Maka dari itu agar instalasi pembumian bekerja dengan baik dibutuhkan hal hal sebagai berikut :

- a. Kuat Tahanan earthing harus mengikuti standar yang berlaku dan sesuai dengan kebutuhan pemakai;
- b. Bahan elektroda yang ditanam pada system pembumian harus merupakan konduktor yang baik, tahan terhadap korosi, dan juga cukup kuat dari sisi logam;
- c. Elektroda tersebut harus memiliki kontak yang cukup baik dengan tanah disekelilingnya;
- d. Tahanan pembumian harus cukup baik jika terjadi beberapa musim, misal musim panas, hujan, salju, dsb;
- e. Agar tidak terlalu boros maka pembumian harus serendah mungkin.

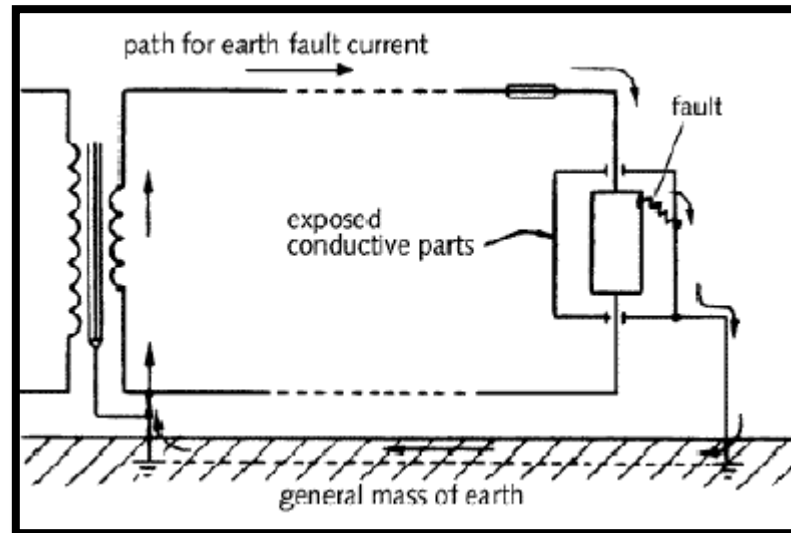
Adapun faktor yang mempengaruhi baik buruknya system pembumian yang dipasang pada suatu instalasi perumahan atau industri ialah ;

- a. Tahanan elektroda pembumian serta sambungan pada elektroda itu sendiri;
- b. Tahanan penghantar kabel BC yang berhubungan dengan peralatan atau alat elektronik;
- c. Tahanan kontak diantara tanah dengan elektroda;
- d. Tahanan dari massa tanah disekitar elektroda pembumian.

Keuntungan dari grounding Praktik pembumian tersebar luas, tetapi tidak semua negara di dunia menggunakannya. Tentu ada biaya tinggi yang terlibat, jadi pasti ada beberapa keuntungan. (Kasus et al., 2008; Luknanto et al., 2014) Masuk sebenarnya ada dua. Mereka adalah:

- 1) Seluruh sistem kelistrikan terkait dengan potensi massa umum tanah dan tidak bisa "mengapung" pada potensi lain. Misalnya, kita bisa masuk akal yakin bahwa netral dari pasokan kami sama dengan atau mendekati nol volt (potensi bumi) dan bahwa konduktor fasa dari sumber standar kami berbeda dari bumi sebesar 240 volt.

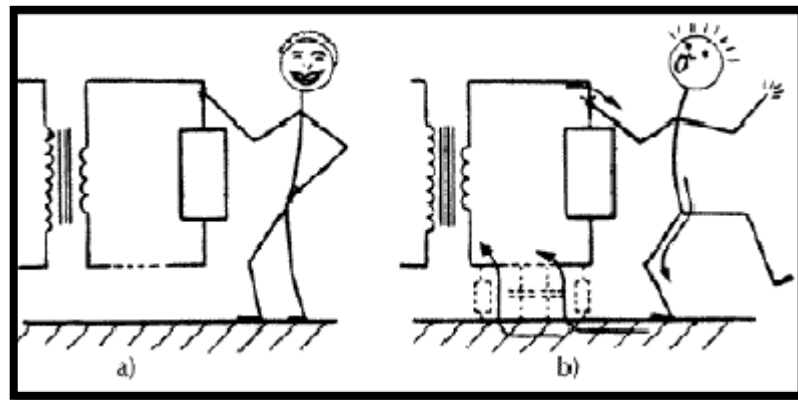
- 2) Menghubungkan tanah ke metalurgi yang tidak dimaksudkan untuk membawa arus (a bagian konduktif atau bagian konduktif terbuka) menggunakan sebuah konduktor pelindung, jalur untuk arus gangguan disediakan yang dapat terdeteksi dan, jika perlu, rusak. Jalur ke arus gangguan ini ditunjukkan pada gambar



Gambar 13. 2 ilustrasi pembumian pada instalasi

Kerugian dari pembumian Dua kelemahan penting adalah

- 1) Biaya: penyediaan sistem konduktor pelindung lengkap, bumi elektroda dll. ini sangat mahal.
- 2) Kemungkinan risiko keamanan: Dikatakan bahwa isolasi lengkap tanah akan menghindari guncangan karena kontak tidak langsung, karena tidak ada jalan ke syok saat ini untuk kembali ke sirkuit jika koneksi arde tidak dibuat lihat gambar a Namun pendekatan ini mengabaikan keberadaan lahan resistensi kebocoran (karena isolasi tidak sempurna) dan fase tanah kapasitansi (insulasi berperilaku seperti dielektrik). Dalam banyak situasi, Impedansi gabungan karena resistansi isolasi dan kapasitif pentanahan reaktansi cukup rendah untuk memungkinkan arus kejut yang signifikan lihat gambar b



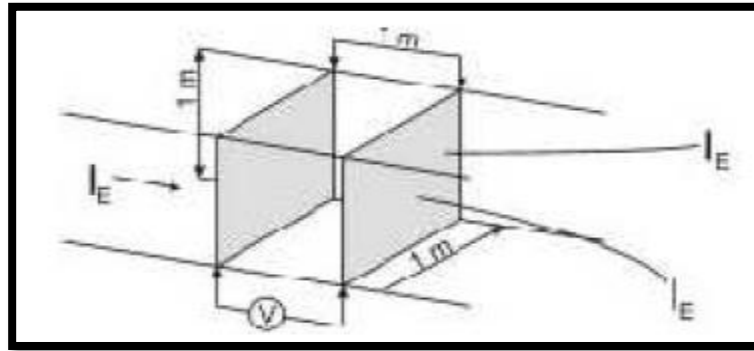
Gambar 13. 3 ilustrasi Ketika terjadi kejutan listrik

2. Konsep Dasar Pembumian

Sistem pentanahan adalah total dari semua sarana dan ukuran dimana bagian dari sebuah sirkuit listrik, bagian konduktif yang dapat diakses dari peralatan listrik bagian konduktif) di bagian yang hidup dari instalasi listrik (konduktor asing bagian) terhubung ke bumi. (Generation et al., 2019; Tong, 2009; Wu et al., 2015; Yuasa, 2010)

- Elektroda pembumian adalah konduktor logam atau sistem konduktor logam yang saling berhubungan, atau bagian logam lainnya yang bekerja dengan cara yang sama, tertanam di lantai dan secara elektrik terhubung atau misalnya fondasi tertanam dalam apa yang bersentuhan dengan bumi lebih dari area yang luas (dari sebuah bangunan).
- Konduktor pentanahan: konduktor yang menghubungkan bagian dari sebuah pemasangan, bagian konduktif terbuka atau bagian konduktif asing ke bumi elektroda atau yang menghubungkan elektroda ground. Konduktor pembumian ditempatkan di tanah atau tertanam di dalam tanah.
- Sumber Tanah: bagian dari tanah, khususnya di permukaan bumi, terletak Di luar lingkup pengaruh elektroda bumi dianggap, yaitu antara dua titik acak di mana tidak ada tegangan nyata yang dihasilkan dari pentanahan aliran arus melalui elektroda ini. Potensi lahan rujukan selalu diasumsikan nol.
- Tegangan pentanahan (potensial pentanahan) V_E : adalah tegangan yang terjadi di antara sistem pembumian dan pembumian referensi pada nilai arus bumi yang mengalir melalui sistem pentanahan ini.

- e. Tahanan tanah p (tahanan tanah spesifik): adalah tahanan, diukur antara dua wajah yang berlawanan, dari kubus tanah satu meter lihat gambar . Itu resistivitas bumi dinyatakan dalam m.
- f. Potensi permukaan bumi V_x : adalah tegangan antara titik x pada permukaan bumi dan sumber tanah.



Gambar 13. 4 diagram yang menggambarkan sensitifitas fisik dari resistivitas bumi p

3. Sifat listrik tanah

Sifat kelistrikan tanah dicirikan oleh resistivitas tanah p . Meskipun relative Menentukan nilainya sering merupakan tugas yang rumit untuk dua utama

- a. Tanah tidak memiliki struktur homogen, tetapi dibentuk oleh lapisan bahan yang berbeda
- b. Tahanan jenis tanah tertentu sangat bervariasi (Tabel 1) dan sangat tergantung pada kelembaban

Perhitungan resistensi pentanahan membutuhkan sifat tanah, khususnya nilai p adalah masalah. Dalam banyak situasi praktis, sebuah struktur akan diasumsikan dengan nilai rata-rata berdasarkan analisis atau pengukuran tanah. Ada yang mapan teknik untuk mengukur resistivitas bumi. Poin penting adalah bahwa distribusi arus dalam lapisan tanah digunakan selama pengukuran harus mensimulasikan itu untuk final di selalu ditafsirkan dengan hati-hati. Di mana tidak ada informasi tersedia tentang nilai $= 100 \text{ Ohm m}$. Namun demikian tes penerimaan variasi yang mungkin karena kondisi iklim dan sepanjang masa manfaat tercapai. Untuk nilai tahanan jenis tanah dapat dilihat pada table berikut :

Tabel 13. 1 nilai tahanan tanah

Type of ground	Ground resistivity (Ωm)	
	Range of values	Average value
Tanah Kering	2 – 50	30
Tanah Liat / Lempung	2-200	40
Tanah Lumpur, Pasir Tanah	20-260	100
Pasir dan Tanah Berpasir	50-3,000	200 lembab
Tanah Gambut	>1,200	2000
Kerikil	50-3,000	1,000 lembab
Tanah Berbatu Batu	100-8,000	2000
Beton gabungan semen dan pasir	50-300	150
Beton Gabungan Semen dan kerikil	100-8,000	400

4. Sifat listrik dari sistem terrestrial

Sifat listrik tanah pada dasarnya tergantung pada dua parameter:

- Resistensi pentanahan
- Konfigurasi elektroda pembumian.

Hambatan pembumian menentukan hubungan antara tegangan arde VE dan nilai tanah saat ini. Konfigurasi elektroda pentanahan menentukan distribusi potensial di permukaan bumi, yang terjadi sebagai akibat dari aliran arus di bumi. Distribusi potensial dalam permukaan tanah merupakan pertimbangan penting dalam menilai derajat perlindungan terhadap sengatan listrik, karena menentukan sentuhan dan nada potensial. Pertanyaan-pertanyaan ini dibahas secara singkat di bawah ini.

Resistor pembumian memiliki dua komponen:

- a. RD disipasi resistance, yang merupakan resistansi bumi antara elektroda arde dan sumber tanah
- b. Resistensi RL pada bagian logam dari elektroda pembumian dan konduktor

pentanahan , resistansi RL umumnya jauh lebih sedikit daripada kerugian resistansi RD.

5. Resistensi bumi dan distribusi potensial

Pada sirkuit AC, impedansi dari tanah ZE harus dipertimbangkan, impedansi antara sistem pentanahan dan landasan sumber di frekuensi operasi yang diberikan. Reaktansi dari sistem pentanahan adalah reaktansi konduktor pembumian dan bagian logam dari elektroda pembumian. Di bawahnya frekuensi - frekuensi suplai dan harmonik terkait – reaktansinya umumnya tidak signifikan dibandingkan dengan resistensi terhadap bumi, tetapi harus diperhitungkan bertanggung jawab atas frekuensi tinggi, seperti kilat sementara. Jadi, untuk frekuensi rendah, diasumsikan grounding itu impedansi ZE sama dengan resistansi terhadap disipasi RD, dianggap kira-kira sama dengan resistensi pentanahan, $R: \approx \approx RD \approx R (1)$

Resistensi pentanahan (R) elektroda pembumian tergantung pada resistivitas pentanahan ρ , serta geometri elektroda. Untuk mencapai nilai R rendah, kerapatan arus yang mengalir dari logam elektroda ke bumi harus rendah, yaitu, volume bumi di mana arus mengalir sebesar mungkin. Setelah arus mengalir dari logam ke bumi, itu menyebar, mengurangi arus kepadatan. Jika elektroda kecil secara fisik, efek ini bagus, tapi sangat rendah di mana penyebarannya merata.

Ada empat nilai untuk resistensi pembumian:

- a. Resistansi pembumian untuk sistem proteksi petir tidak boleh melebihi 5 OHM.
- b. Resistansi pembumian untuk pembumian sistem tenaga pada pembangkit listrik dan pembangkit listrik tidak boleh melebihi 5 OHM.
- c. Tahanan pembumian untuk pembumian listrik (pembumian peralatan) harus tidak melebihi 4 OHM.
- d. Resistansi pembumian untuk instrumentasi perangkat elektronik tidak boleh melebihi 1 OHM.

Untuk ukuran ideal nilai tahanan diharapkan $< 5 \text{ Ohm}$ atau sekecil mungkin, tetapi pada hasil pengamatan di lapangan hasil tersebut tidak selalau didapatkan dikarenakan banyak faktor yang mempengaruhi resistansi bumi. Ketika elektroda ditanam ke bumi diharapkan langsung mendapatkan nilai tahanan yang rendah , namun hal tersebut sangat jarang di dapatkan, ada beberapa faktor yang mempengaruhinya yaitu :

a. Faktor internal

1) Bentuk Elektroda

- 2) Jenis, bahan dan ukuran elektroda, sebagai alat yang ditempatkan didalam tanah maka elektroda yang dipilih haruslah memiliki nilai konduktivitas yang sangat baik dan bahan material mempengaruhinya. Pada prinsip dasar memperoleh nilai resistansi yang bisa didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$R = \rho \cdot L/A$$

Dimana :

R = Resistansi Pembumian (Ω)

(ρ)=Resistansi Jenis tanah (Ωm)

L= Panjang lintasan arus pada tanah (m)

A= Luas penampang lintasan arus pada tanah (m^2)

- 3) Jumlah atau konfigurasi elektroda, ketika akan mendapatkan nilai resistansi yang diharapkan jika menggunakan satu elektroda tidak memungkinkan bisa menggunakan dua elektroda atau lebih yang dipasang secara paralel (Ketika hasil belum sampai 5 Ohm)
- 4) Kedalaman pemancang untuk kedalaman pemancang ini tergantung dari sifat tanah yang akan ditanamkan, untuk tanah jenis berbatu lebih efektif ditanamkan secara dalam, namun jenis tanah yang berair seperti rawa rawa lebih efektif tidak terlalu dalam (dangkal).

b. Faktor Eksternal

1) Sifat geologi tanah

Tahanan tanah merupakan nilai resistansi dari bumi yang menggambarkan nilai konduktivitas listrik bumi dan didefinisikan sebagai tahanan, dalam ohm antara permukaan yang berlawanan dari suatu kubus satu meter kubik

2) Komposisi zat kimia dalam tanah

Kandungan zat kimia dalam tanah berupa zat organik ataupun non organik yang dapat larut perlu juga diperhatikan, misal tanah yang memiliki curah hujan tinggi tentu memiliki kandungan garam yang tinggi dan memiliki tahanan yang tinggi dikarenakan lapisan garam ikut bersama air hujan.

3) Kandungan air tanah

Untuk mengurangi variasi tahanan akibat pengaruh musim sistem

pembumian bisa di tanam hingga mencapai terdapat kedalam air, agar tidak terengaruh musim yang sedang berjalan pada saat instalasi.

4) Temperatur tanah

Suhu sekitar tanah yang ditanam elektroda juga mempengaruhi pada besar tahanan. Sebagai contoh Ketika suhu air dibawah 0 derajat maka molkelu cair membeku yang dapat menghambat jalany hantar listrik , Ketika suhu naik kemabli dan kandungan air mencairmaka hantaran listrik berjalan dengan cepat.

6. Jenis – jenis elektroda

Elektroda merupakan penghantar yang terbuat dari tembaga dan ditanam didalam tanah yang membuat hubungan langsung antarinstalasi dengan tanah. Berikut dijelaskan beberapa jenis elektroda yang biasa dipakai dalam pembumian menurut PUIL 2000 (Persyaratan Umum Instalasi Listrik).

a. Elektroda Batang

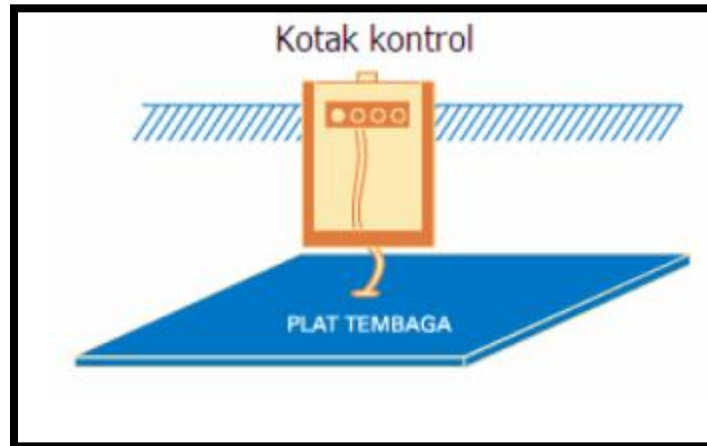
Elektroda ini terbuat dari logam tembaga (Cu) yang ukurn paling minimum 5/8 “ atau batang baja propil seperti galvanis berdiameter 1.5 “ yang ditanam secara tegak lurus .



Gambar 13. 5 Elektroda batang

b. Elektoda plat

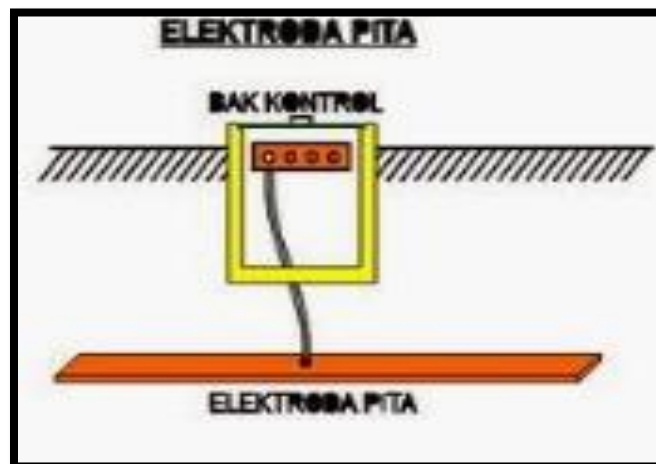
Selain berbentuk batang ada juga elektroda yang dipasang menggunakan jenis plat biasanya berbentuk segi empat dengan ketebalan yang bermacam-macam terbuat dari tembaga, timah, atau plat baja. Namun pada jenis elektroda teknik pemasangannya agak sedikit rumit bila dibandingkan dengan elektroda batang dan biaya yang cukup mahal.



Gambar 13. 6 elektroda plat

c. Elektroda pita

Elektroda ini terbuat dari bahan tembaga berbentuk pita atau bulat, pemasangannya dipasang secara horizontal dengan kedalaman 0,5 – 1 meter dari permukaan tanah, jenis ini digunakan pada tahanan tanah yang rendah biasanya daerah pegunungan.



Gambar 13. 7 elektrida pita

Dalam instalasi industri, di mana peralatan listrik dan instrumentasi digabungkan dan diinstal, tiga jenis sistem pembumian umumnya diperkenalkan, dirancang dan didirikan untuk memberikan langkah-langkah keamanan dan perlindungan. Ketiga jenis tersebut ialah:

1) Sistem pembumian listrik

Sistem pentanahan, dirancang, dipasang, dan terhubung ke semua mesin dan peralatan listrik, serta peralatan pabrik curah disebut "sistem pembumian listrik" atau "jaringan pembumian listrik".

- a) Resistensi pentanahan umum dari sistem pentanahan listrik tidak boleh lebih besar dari 4 OHM, tidak peduli titik grid mana yang ditempatkan pengukuran.
- b) Dalam sistem pembumian, di mana konduktor telanjang dari jaringan pembumian dimakamkan langsung di bawah tanah, setiap bagian dari grid bawah tanah sebenarnya bertindak sebagai a tanah pribadi sejajar dengan sumur darat yang ada, sehingga berkontribusi terhadap pengurangan dan peningkatan ketahanan umum terhadap bumi.
- c) Koneksi ground dibuat untuk bus darat, bus peralatan darat, dll. harus diangkut dengan begitu banyak keterampilan dan tenaga kerja untuk menghindari kemungkinan pemutusan, yang bisa mengarah pada resistensi tanah tambahan yang tidak ditetapkan dan dibutuhkan.

2) Sistem Pembumian Instrumen

Dalam instalasi industri dengan daya canggih dan elektronik peralatan, langkah-langkah perlindungan harus diambil untuk melindungi instrumentasi dan panel kontrol yang relevan terhadap tegangan tinggi mendadak yang mungkin mengenai sistem pembumian di jika terjadi kesalahan (hubungan singkat) pada sirkuit daya instalasi. Untuk Mencapai ini, sebagai praktik desain standar, sistem pembumian terpisah adalah didefinisikan, dirancang dan dipasang di pabrik tersebut. Spesifikasi teknis, khususnya, pemasanga pembumian instrument sistemnya sama dengan sistem kelistrikan, dijelaskan

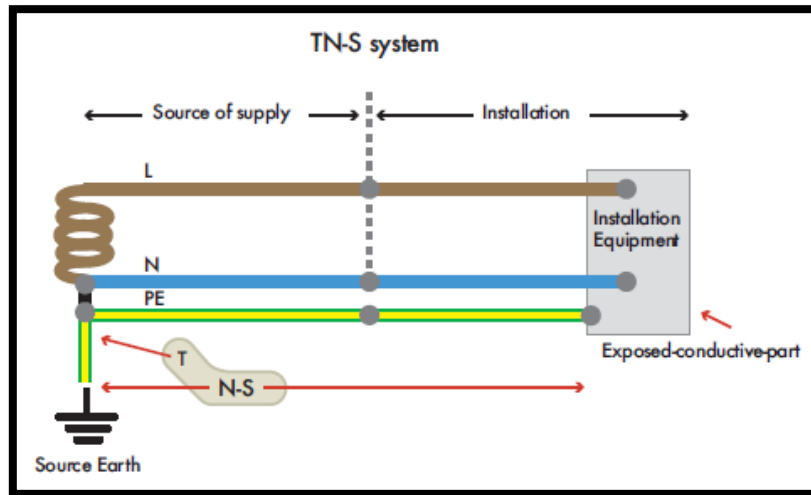
secara terperinci dalam bagian sebelumnya, kecuali untuk itu resistensi pembumian tidak boleh lebih besar dari 1 OHM di seluruh jaringan pembumian instrumen. Detail tentang sistem pembumian instrumen, khususnya berbagai jenis instrument pembumian harus ditawarkan selama kursus khusus. Dalam dokumen ini beberapa konsep pembumian instrumen diperkenalkan kepada peserta kursus umum periode.

- 1) Jarak yang cukup harus dipertahankan antara sumur-sumur instrumen bumi dan sumur listrik di bumi. Jarak standar setidaknya dua kali lipat dari panjang terbesar arde digerakkan baik dalam instrumen atau listrik.
 - 2) Poin-poin pembumian terpisah didefinisikan dan dipasang digunakan untuk koneksi independen ke perangkat instrumen.
 - 3) Instrumen bumi umumnya dipasang di dalam gedung control di mana kontrol instrumentasi dipasang dan terpusat.
 - 4) Body yang dilapisi logam dari panel instrumen, terutama yang mengakomodasi garis catu daya, harus terhubung ke listrik sistem bumi.
 - 5) Instrumentasi yang dipasang di dalam pabrik, harus terhubung ke sistem pembumian instrumen melalui kabel pelindung yang sesuai kabel instrumen.
 - 6) Sumur-sumur instrumen bumi dipasang berdekatan dengan bangunan kontrol.
- 3) Sistem pembumian alat penerangan
- Pada system penerangan juga diperlukan adanya pembumian agar terhindar dari hubungan arus pendek yang terjadi.

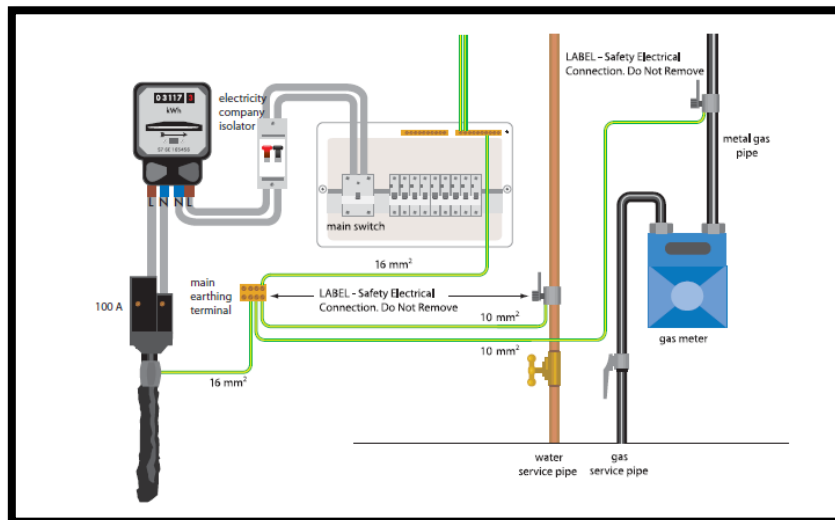
7. Desain Instalasi Pembumian

Saat mendesain instalasi listrik, salah satunya hal pertama yang harus ditentukan adalah jenis landasan sistem. Distributor dapat menyediakan ini dalam beberapa formasi. Sistem akan tersebut ialah system TN-S, TN-C-S (PME) atau TT ke sumber tegangan rendah yang disediakan sesuai dengan Peraturan keselamatan, kualitas dan kontinuitas listrik. Ada beberapa jenis desain instalasi pembumian yang sering digunakan pada rumah atau industri , berikut jenis intalasi pembumian : (Generation et al., 2019; Tong, 2009; Wu et al., 2015; Yuasa, 2010)

- a. Sistem TN-S, ditunjukkan pada Gambar , memiliki sumber daya netral terhubung ke bumi hanya pada satu titik, pada atau sedekat mungkin layak untuk sumbernya, dan terminal darat konsumen biasanya terhubung ke selubung logam atau pelindung kabel layanan distributor di tempat.



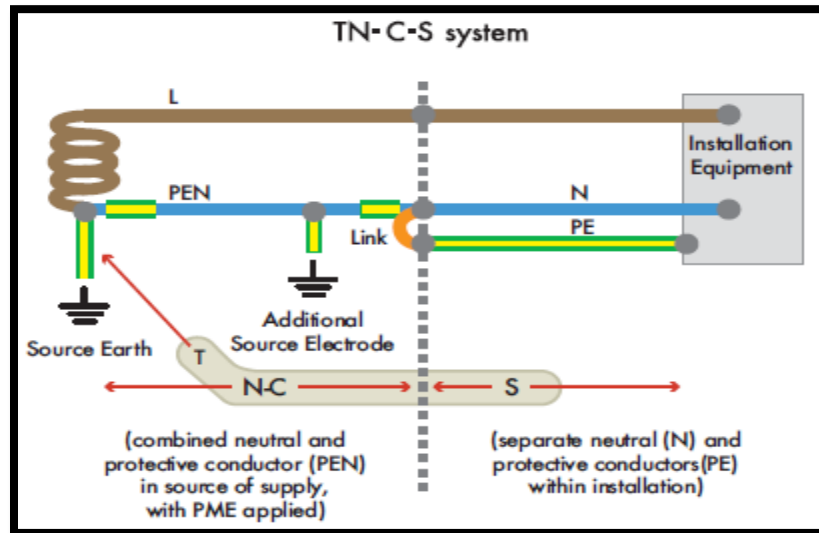
Gambar 13. 8 Sistem TN-S



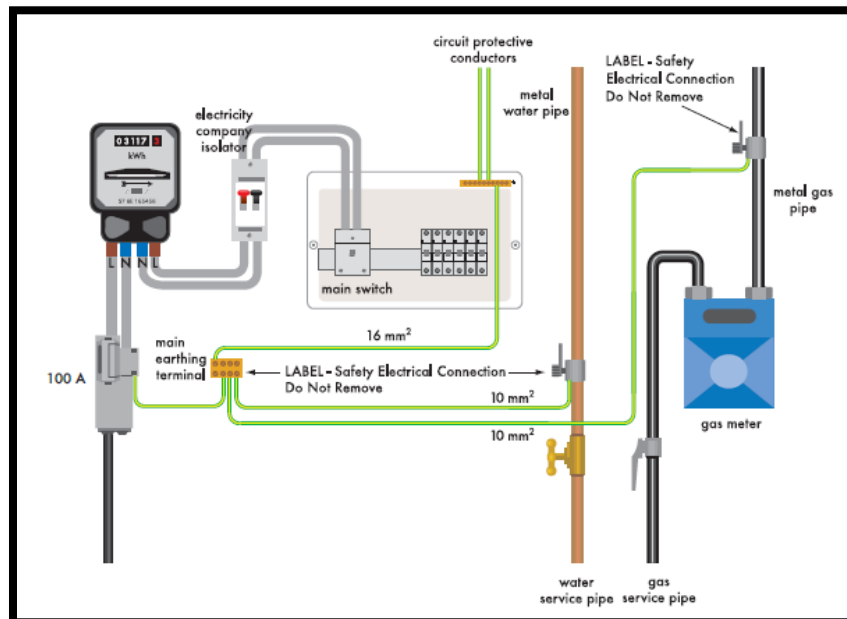
Gambar 13. 9 Contoh instalasi dengan PLN

- b. Sistem TN-C-S, ditunjukkan pada gambar. 3, memiliki persediaan konduktor netral dari jaringan distribusi yang terhubung dengan bumi di sumbernya dan pada interval sepanjang pelaksanaannya. Ini sering disebut perlindungan berganda.

pembumian (SME). Dengan pengaturan ini, maka konduktor netral dari distributor juga digunakan untuk Kembali arus gangguan bumi yang timbul pada instalasi ke sumbernya. Untuk mencapai ini, para distributor akan menyediakan tempat bagi konsumen terminal yang terhubung ke input netral konduktor.

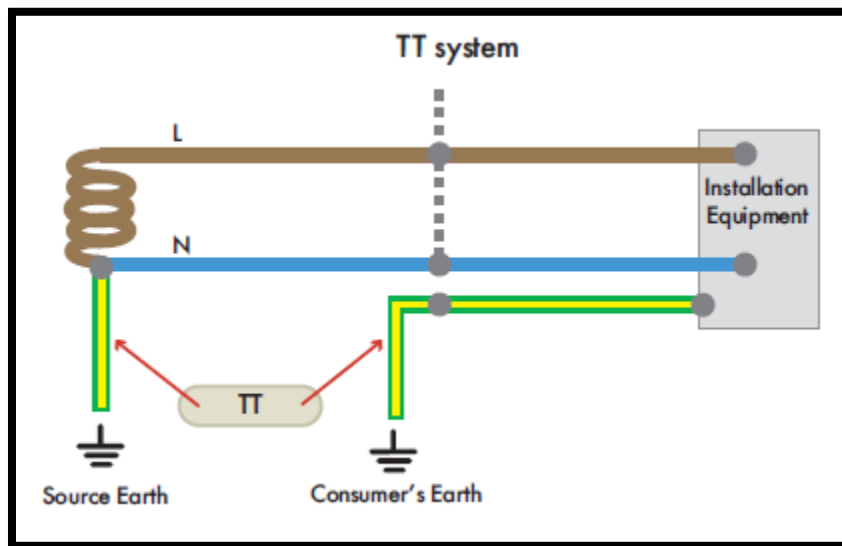


Gambar 13. 10 Sistem TN-C-S

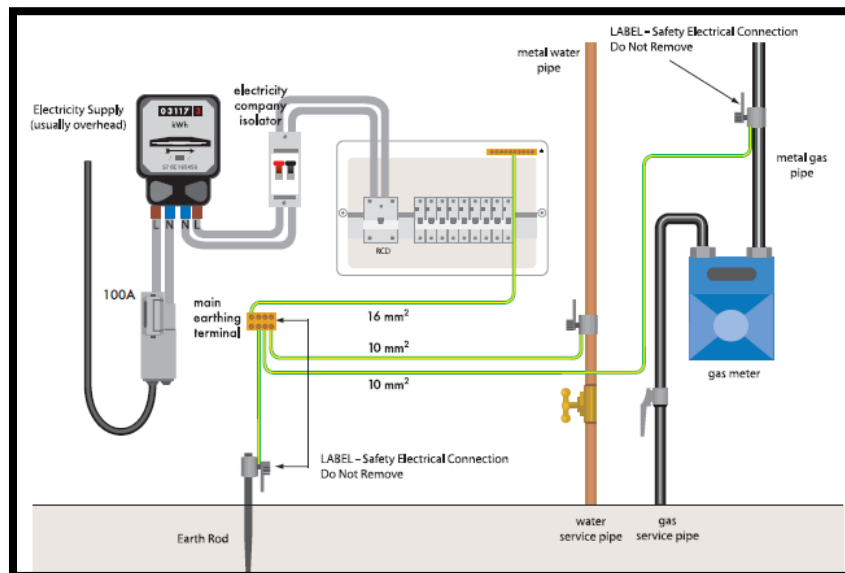


Gambar 13. 11 Contoh instalasi dengan PLN

- c. Sistem TT, yang ditunjukkan di bawah, memiliki sumber netral daya tersambung seperti pada TN-S, tetapi tidak ada instalasi yang disediakan oleh distributor untuk landasan konsumen. Dengan TT, the konsumen harus memberikan koneksinya sendiri ke tanah, yaitu, pemasangan elektroda pbumian yang sesuai untuk pemasangan.



Gambar 13. 12 Sistem TT



Gambar 13. 13 Contoh instalasi dengan PLN

8. Cara menguji sistem pentanahan

Pengukuran tahanan tanah untuk sistem elektroda pembumian sangat penting. Ini harus dilakukan ketika elektroda pertama kali dipasang dan kemudian interval period sesudahnya. Ini memastikan bahwa ketahanan tanah tidak tidak meningkat seiring berjalannya waktu. Ada dua metode untuk menguji elektroda ground yang pada ada sistem. Yang pertama adalah metode 3-point atau potensial drop dan yang kedua adalah uji frekuensi yang diinduksi atau metode fiksasi. Tes 3 poin membutuhkan isolasi lengkap dari utilitas listrik. Bukan hanya isolasi energi, tetapi juga penghapusan koneksi netral atau lainnya yang membentang di luar sistem pentanahan. Tes ini adalah tes yang paling cocok untuk yang sistem pentanahan besar dan juga cocok untuk elektroda kecil yang diinduksi. Tes frekuensi dapat dilakukan saat daya menyala dan, pada kenyataannya, membutuhkan utilitas untuk dihubungkan ke sistem pentanahan yang sedang diuji. Tes ini akurat hanya untuk elektroda kecil, karena menggunakan frekuensi dalam kisaran Hertz kilo, yang melihat konduktor panjang sebagai gulungan induktif dan karenanya tidak mencerminkan 50 Hz resistensi dari seluruh sistem pentanahan.

C. LATIHAN SOAL / TUGAS

1. Jelaskan apa yang anda ketahui mengenai system pembumian
2. Sebutkan hal yang dapat terjadi Ketika system pembumian tidak terpasang pada instalasi
3. Sebutkan jenis jenis elktroda yang biasa digunakan dan jelaskan perbedaanya dalam penggunaan
4. Dalam system pembumian pada industri ada berapa jenis instalasi yang biasa digunakan
5. Bagaiman caramengetahui nilai tahanan pada instalasi

D. DAFTAR PUSTAKA

Cronshaw, B. G. (2005). *EARTHING EARTHING* : 18–24.

Generation, E. P., Practices, D. I., & Management, E. (2019). *Electric Power Generation , Transmission and Distribution Industry Practices and Environmental Characterization*. June, 1–11.

Kasus, S., Gtg, T., Tambak, P., & Semarang, L. (2008). *TRANSFORMATOR TENAGA*. 1–8.

Luknanto, I. D., Sc, M., & Ph, D. (2014). *Bangunan Tenaga Air*. 1–14.

Muslim, S. (2008). *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Skeolah Menengah Umum.

Ramdhani, M. (2005). *Rangkaian listrik*.

Sumardjati, P. (2008). *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Skeolah Menengah Umum.

Tong, W. (2009). *CHAPTER 1. 44*. <https://doi.org/10.2495/978-1-84564->

Wu, X., Shen, J., Li, Y., & Lee, K. Y. (2015). *Steam power plant configuration , design , and control*. <https://doi.org/10.1002/wene.161>

Yuasa, T. (2010). *Earthing of Low Voltage Electrical Systems : Personnel Protection Equipment Protection. i*, 1–54.

PERTEMUAN 14

ALAT UKUR LISTRIK

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Alat Ukur Listrik”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan Mampu menggunakan dan mengaplikasikan alat ukur yang digunakan pada kelistrikan untuk dunia industri.

B. URAIAN MATERI

1. Pengantar Alat Ukur Listrik

Pengukuran adalah tindakan, atau hasil, dari perbandingan kuantitatif antara yang jumlah diberikan dan jumlah dari jenis yang sama dipilih sebagai satuan. Hasil pengukuran adalah dinyatakan pada skala yang telah ditentukan atau angka yang mewakili hubungan antara kuantitas yang tidak diketahui dan polanya. Pola didefinisikan sebagai fisik unit pengukuran atau nilai berganda. Perangkat atau instrumen yang digunakan untuk membandingkan jumlah yang tidak diketahui dengan satuan pengukuran atau kuantitas standar disebut alat ukur. Nilai dari kuantitas yang tidak diketahui dapat diukur dengan metode langsung atau tidak langsung. Dalam pengukuran langsung metode, kuantitas yang tidak diketahui diukur secara langsung daripada membandingkannya dengan sebuah standar. Contoh pengukuran langsung adalah: arus per ammeter, tegangan per voltmeter, ohmmeter resistance, daya wattmeter, dll. Dalam metode pengukuran tidak langsung, Nilai kuantitas yang tidak diketahui ditentukan dengan mengukur nilai-nilai yang terkait secara fungsional. kuantitas dan perhitungan kuantitas yang diinginkan daripada mengukurnya secara langsung. Misalkan saja Resistansi sebagai (R) konduktor dapat diukur dengan mengukur penurunan tegangan melintasi konduktor dan membagi tegangan (V) dengan arus (I) melalui konduktor, $R = V / I$. (Stephen, 2011)

Alat ukur listrik merupakan sesuatu yang penting yang dibutuhkan pada kelistrikan, alat ini berguna untuk mengukur besaran yang ingin diukur misalnya, arus, tegangan, resistansi, isolasi dll. Biasanya alat ukur menjadi kewajiban yang harus dimiliki oleh petugas petugas kelistrikan baik itu di perusahaan atau di suatu industri,

karena dengan adanya alat ukur maka dapat memudahkan dalam penanganan Ketika terjadi gangguan, alat ukur yang biasa digunakan yaitu, Multimeter, Megger, LCR, Frekuensi meter dll. (Norby, 2013) (Obtained, 2013)

Ketika mengukur kuantitas fisik, kita harus menyatakan besarnya kuantitas tersebut dalam hal unit dan angka pengali, yaitu, Besarnya kuantitas fisik = (rasio numerik) $\times$ (unit) Rasio numerik adalah berapa kali unit terjadi dalam jumlah berapa pun jumlah yang sama dan karena itu disebut jumlah tindakan. Hubungan numerik bisa disebut pengali angka. Namun, dalam pengukuran, kami khawatir dengan besar jumlah kuantitas yang saling terkait, melalui nilai fisik persamaan dan karenanya pilihan ukuran satuan jumlah ini tidak dapat dibuat sewenang-wenang dan mandiri. Dengan begitu, kita bisa menghindari penggunaan angka numerik yang tidak sempurna ketika menyatakan jumlah jenis yang berasal dari pengukuran kuantitas lain.

Dalam sains dan teknik, dua jenis unit digunakan: (Distribution, 2010; Zhuang, 2004)

- a. unit mendasar
- b. Unit yang diturunkan

Unit dasar dalam mekanika adalah ukuran panjang, massa, dan waktu. Ukuran unit dasar, apakah kaki atau meter, pon atau kilogram, detik atau jam dan dapat dipilih agar sesuai dengan keadaan tertentu. Dari panjang, massa dan waktu sangat penting bagi sebagian besar kuantitas fisik lain selain yang mekanis, disebut unit primer yang mendasar. Pengukuran jumlah fisik tertentu dalam disiplin termal, listrik dan pencahayaan juga diwakili oleh unit dasar.

2. Standar Pengukuran

Standar pengukuran adalah representasi fisik dari unit pengukuran. Satu unit dilakukan dengan mengacu pada pola material yang sewenang-wenang atau fenomena alam, termasuk

konstanta fisik dan atom. Istilah "standar" diterapkan pada peralatan memiliki ukuran kuantitas fisik yang diketahui. Misalnya, unit dasar massa dalam sistem SI adalah kilogram, yang didefinisikan sebagai massa desimeter kubik air di dalamnya

suhu maksimum 4°C . Unit massa ini diwakili oleh pola material; massa kilogram prototipe internasional yang terdiri dari rongga platina-iridium silinder. Pola serupa dikembangkan untuk unit pengukuran lainnya, termasuk unit fundamental. Adapun beberapa unit mekanik dan listrik yang diturunkan. (Adityawarman et al., n.d.)

Berikut Peringkat standar menurut yang tertinggi

- a. Standar internasional
- b. Standar primer
- c. Standar sekunder
- d. Standar kerja
- e. Standar Arus
- f. Standar tegangan
- g. Standar resistensi
- h. standar Kapasitansi
- i. Standar waktu dan frekuensi

a. Standar Internasional

Standar internasional ditentukan oleh perjanjian internasional. Mereka mewakili unit pengukuran tertentu dengan akurasi terdekat yang memungkinkan produksi dan pengukuran teknologi memungkinkan. Standar internasional secara berkala diperiksa dan dievaluasi oleh pengukuran mendasar. Standar-standar ini dipertahankan ukuran Internasional yang biasa digunakan untuk penggunaan alat ukur dengan tujuan perbandingan atau kalibrasi. (Galli, n.d.; Wu, 2010)

Tabel 14. 1 Ukuran standar Internasional

Dimensi	Satuan	Symbol
Panjang	meter	m
Berat	kilogram	kg
Waktu	Second	t
Cahaya	Candela	cd
Temperature	Kelvin	kg
Kuat Arus	Ampere	A

Beda Potensial	Volt	V
Resistansi	Ohm	Ω

b. Standar primer

Standar primer dikelola oleh laboratorium standar nasional di lokasi yang berbeda dunia, di Indonesia standar primer dikelola oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) bertanggung jawab atas mempertahankan standar primer di Indonesia, Laboratorium nasional lainnya termasuk *National Physical Laboratory* (NPL) di Inggris dan yang tertua di dunia, *Physikalisch Technische Reichsanstalt* di Jerman. Standar utama, mewakili unit fundamental dan beberapa derivasi mekanik dan unit listrik, dikalibrasi secara independen oleh pengukuran absolut di masing-masing laboratorium nasional. Hasil pengukuran ini dibandingkan satu sama lain, mengarah ke nilai rata-rata dunia untuk standar primer. Standar primer tidak tersedia untuk digunakan di luar laboratorium nasional. Salah satu fungsi utama pendidikan dasar standar adalah verifikasi dan kalibrasi standar sekunder. Contohnya SNI

c. Standar sekunder

Standar sekunder adalah standar referensi dasar yang digunakan dalam pengukuran industri laboratorium. Standar-standar ini dikelola oleh sektor terkait dan diverifikasi secara lokal terhadap standar referensi lain di daerah tersebut. Tanggung jawab untuk pemeliharaan dan kalibrasi sepenuhnya tergantung pada laboratorium industri itu sendiri. Standar sekunder umumnya dikirim ke laboratorium standar nasional secara berkala untuk kalibrasi dan perbandingan dengan standar primer, kemudian dikembalikan ke pengguna industri dengan sertifikasi nilainya diukur dalam ukuran standar. Contoh standar pada masing masing industri

d. Standar kerja

Standar kerja adalah alat utama dari laboratorium pengukuran. Mereka terbiasa memeriksa dan mengkalibrasi instrumen laboratorium umum untuk akurasi dan kinerja atau untuk melakukan pengukuran perbandingan dalam aplikasi industri.

Produsen presisi resistor, misalnya, dapat menggunakan resistor standar di departemen kontrol kualitas pabrik Anda untuk memeriksa peralatan uji Anda. Dalam hal ini, pabrikan memeriksa apakah Konfigurasi pengukuran dilakukan dalam batas presisi yang diperlukan.

e. Standar Arus

Unit dasar arus listrik (Ampere) ditentukan oleh Sistem Internasional unit (SI) sebagai arus yang konstan, jika disimpan pada konduktor yang disusun secara paralel dengan panjang tak terbatas dan potongan melintang yang dapat diabaikan, dipisahkan oleh 1 meter kekosongan akan menghasilkan antara konduktor ini kekuatan sebesar 2×10^{-7} newton per meter panjangnya. Pengukuran awal dari nilai absolut ampere dilakukan dengan arus keseimbangan yang mengukur gaya antara dua konduktor paralel.

f. Standar tegangan

Standar tegangan didasarkan pada sel elektrokimia yang disebut sel jenuh standar atau sel standar saja. Sel jenuh memiliki ketergantungan suhu dan tegangan output bervariasi sekitar $-40 \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$ dari nominal 1,01858 volt. Itu sel standar menderita ketergantungan suhu ini dan juga dari kenyataan bahwa stres adalah fungsi dari reaksi kimia dan tidak berhubungan langsung dengan yang lain konstan. Pada tahun 1962, berdasarkan karya Brian Josephson, standar baru untuk volt adalah diperkenalkan. Persimpangan film tipis didinginkan hingga mendekati nol mutlak dan diiradiasi dengan energi gelombang mikro.

g. Standar resistensi

Dalam sistem SI, nilai ohm absolut didefinisikan dalam satuan unit fundamental panjang, massa, dan waktu. Pengukuran ohm absolut dilakukan oleh Biro Bobot dan Ukuran Internasional di Sevres dan juga dengan standar nasional laboratorium, yang memelihara sekelompok pola resistensi primer, standar primer (resistor 1 ohm standar) yang secara berkala diperiksa satu sama lain dan kadang-kadang diperiksa dengan pengukuran absolut. Itu Resistor standar adalah gulungan kawat dari beberapa paduan seperti manganin, yang memiliki tinggi resistivitas dan koefisien tahan suhu rendah.

h. Standar Kapasitansi

Banyak unit listrik dan magnetik dapat dinyatakan dalam standar tegangan dan resistansi ini karena unit resistansi diwakili oleh resistor dan standar satuan

tegangan oleh sel Weston standar. Unit kapasitansi (farad) dapat diukur dengan jembatan komuter Maxwell dc, di mana kapasitansi dihitung dari lengan jembatan resistif dan frekuensi pergantian dc.

- i. Standar Waktu dan Standar Frekuensi
- j. Pada abad-abad awal referensi waktu yang digunakan adalah rotasi bumi mengelilingi matahari terhadap porosnya. Kemudian, perlu pengamatan astronomi telah menunjukkan bahwa rotasi bumi di sekitar matahari sangat tidak teratur, karena variasi sekuler dan tidak teratur di kecepatan rotasi bumi. Jadi skala waktu berdasarkan waktu matahari nyata ini harus berubah. Berarti waktu matahari dianggap memberikan skala waktu yang lebih akurat. Matahari yang berarti hari adalah rata-rata dari semua hari yang tampak dalam setahun. Standar waktu dan frekuensi merupakan hal yang unik karena dapat ditransmisikan dari standar primer Internet ke lokasi lain melalui transmisi radio atau televisi. Standar frekuensi yang digunakan di Indonesia yaitu 50 Hz.

1) Instrumen Analog dan Digital

(a) Instrumen Analog

Sinyal-sinyal dari unit analog bervariasi secara terus menerus dan dapat mengambil angka tak terbatas nilai dalam rentang yang diberikan. Pengukur bahan bakar, ammeter dan voltmeter, jam tangan, speedometer termasuk dalam kategori ini.

(b) Instrumen Digital

Sinyal bervariasi dalam langkah-langkah diskrit dan mengambil sejumlah nilai berbeda hingga dalam sebuah kisaran yang diberikan adalah sinyal digital dan instrumen yang sesuai adalah tipe digital. Instrumen digital memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan meter analog, karena mereka memiliki tinggi akurasi dan kecepatan operasi yang tinggi. Ini menghilangkan kesalahan operasional manusia. Digital instrumen dapat menyimpan hasilnya untuk keperluan masa depan. Multimeter digital adalah contohnya instrumen digital.

2) Instrumen ukur Mekanik, Listrik dan Elektronik

Berikut di sampaikan beberapa alat instrument ukur yang biasa digunakan untuk pengukuran, berikut beberapa instrument ukur dalam pengukuran : (Norby, 2013; Sthephen, 2011)

(a) Instrumen Mekanik

Instrumen mekanis sangat andal untuk kondisi statis dan stabil. Mereka tidak bisa untuk merespons dengan cepat pengukuran kondisi dinamis dan sementara karena fakta bahwa mereka memiliki bagian yang bergerak yang kaku, berat dan tebal dan akibatnya memiliki massa yang besar. Misalnya menghadirkan masalah inersia dan karenanya instrumen-instrumen ini tidak dapat selalu mengikuti perubahan cepat yang terlibat dalam instrumen dinamis. Juga, sebagian besar instrumen mekanis menyebabkan kebisingan.

Keuntungan Instrumen Mekanik

- (1) Biaya yang relatif lebih murah
- (2) Lebih tahan lama karena konstruksi yang kasar
- (3) Sederhana dalam desain dan mudah digunakan
- (4) Tidak diperlukan catu daya eksternal untuk pengoperasian
- (5) Andal dan akurat untuk pengukuran kuantitas yang stabil dan tidak berubah-ubah waktu

Kerugian Instrumen Mekanik

- (1) Respons frekuensi yang buruk terhadap pengukuran transien dan dinamis
- (2) Diperlukan kekuatan besar untuk mengatasi gesekan mekanis
- (3) Tidak kompatibel ketika indikasi dan kontrol jarak jauh diperlukan
- (4) Menyebabkan polusi suara

(b) Instrumen Listrik

Ketika defleksi pointer instrumen disebabkan oleh tindakan beberapa metode listrik maka itu disebut instrumen listrik. Waktu pengoperasian instrumen listrik lebih cepat daripada instrumen mekanis. Sayangnya, sistem kelistrikan biasanya tergantung pada pengukuran mekanik sebagai alat penunjuk. Ini gerakan mekanis memiliki beberapa inersia yang karenanya respon frekuensi ini instrumen buruk.

(c) Instrumen Elektronik

Instrumen elektronik menggunakan perangkat semikonduktor. Sebagian besar ilmiah dan industri instrumentasi membutuhkan respons yang sangat cepat. Persyaratan semacam itu tidak dapat dipenuhi oleh

instrumen mekanik dan listrik. Di perangkat elektronik, karena satu-satunya Gerakan yang terlibat adalah elektron, waktu responsnya sangat kecil karena sangat kecil inersia elektron. Dengan penggunaan perangkat elektronik, sinyalnya sangat lemah terdeteksi dengan menggunakan pre-amplifier dan amplifier.

3) Istilah dalam pengukuran

(a) Akurasi

Akurasi adalah kedekatan dengan mana pembacaan instrumen mendekati nilai sebenarnya variabel yang sedang diukur. Akurasi ditentukan sebagai jumlah maksimum oleh yang hasilnya berbeda dari nilai sebenarnya. Hampir tidak mungkin untuk ditentukan nilai sebenarnya eksperimental. Nilai sebenarnya tidak ditunjukkan oleh sistem pengukuran apa pun karena efek pemuatan, kelambatan dan masalah mekanis (mis., keausan, kebisingan, dll.). Contoh alat ukur tekanan memiliki ketelitian sekitar 200 kPa dan tingkat ketelitian 2 % maka alat tersebut $\pm$ teliti di sekitar 4

Akurasi yang diukur tergantung pada faktor-faktor berikut:

- (1) Ketepatan intrinsik instrumen itu sendiri;
- (2) Akurasi pengamat;
- (3) Variasi sinyal yang akan diukur; dan
- (4) Apakah kuantitas benar-benar terkesan pada instrumen.

(b) Presisi

Presisi adalah ukuran reproduktifitas pengukuran, yaitu presisi adalah sebuah ukuran sejauh mana pengukuran berturut-turut berbeda satu sama lain. Presisi ditunjukkan dari jumlah angka penting yang diekspresikan. Angka-angka signifikan sebenarnya menyampaikan informasi mengenai besarnya dan pengukuran presisi suatu kuantitas. Angka yang lebih signifikan menyiratkan ketepatan yang lebih besar pengukuran. Misalnya sebuah alat ukur untuk mengukur Arus sebesar 100 A diukur menggunakan alat ukur sebanyak lima kali pengukuran dan hasilnya ialah, 104 A, 105 A, 103 A, 103 A, 105 A artinya memiliki tingkat presisi 1 % karena rata rata deviasi maksimum dari rata rata 104 ialah 1

(c) Resolusi

Jika input perlahan-lahan meningkat dari beberapa nilai arbitrer maka akan terlihat keluarannya tidak berubah sama sekali hingga kenaikan melebihi nilai tertentu yang disebut resolusi atau diskriminasi instrumen. Dengan demikian, resolusi atau diskriminasi instrumen apa pun adalah perubahan terkecil dalam sinyal input (jumlah yang diukur) yang dapat terdeteksi oleh instrumen. Ini dapat dinyatakan sebagai nilai akrual atau sebagai fraksi atau persentase dari nilai skala penuh. Resolusi kadang-kadang disebut sensitivitas. Itu perubahan kuantitas input terbesar yang tidak ada output dari instrumen disebut zona out dari instrumen itu.

(d) Kalibrasi

Kalibrasi merupakan ialah kegiatan memeriksa instrumen alat ukur untuk membandingkan dengan ukuran nilai standar acuannya, untuk meminimumkan tingkat penyimpangan dalam ketelitian alat instrument ukur tersebut.

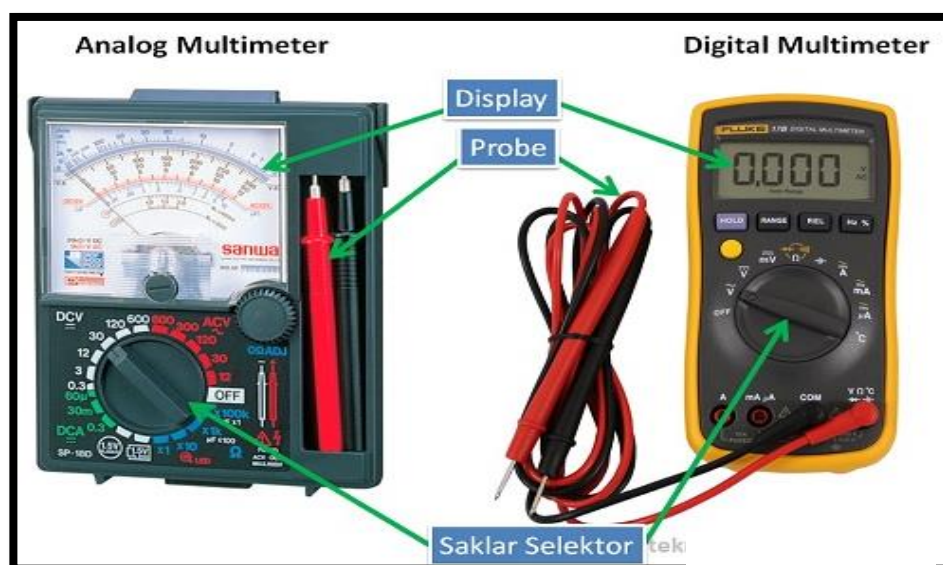
4) Penggunaan alat-alat ukur listrik

Multimeter (Multi Tester)

Multimeter ialah alat ukur yang sering digunakan dan paling banyak digunakan baik itu dunia Pendidikan maupun di lapangan atau praktisi, pehobi yang bekerja atau berkecimpung dengan rangkaian listrik dan rangkaian elektronika. Alat ini digunakan untuk mengukur beberapa besaran pada listrik seperti, arus, tegangan, dan hambatan multimeter juga biasa disebut dengan AVO meter singkatan dari (Arus, Volt, Ohm,)



Gambar 14. 1 bagian bagian multimeter



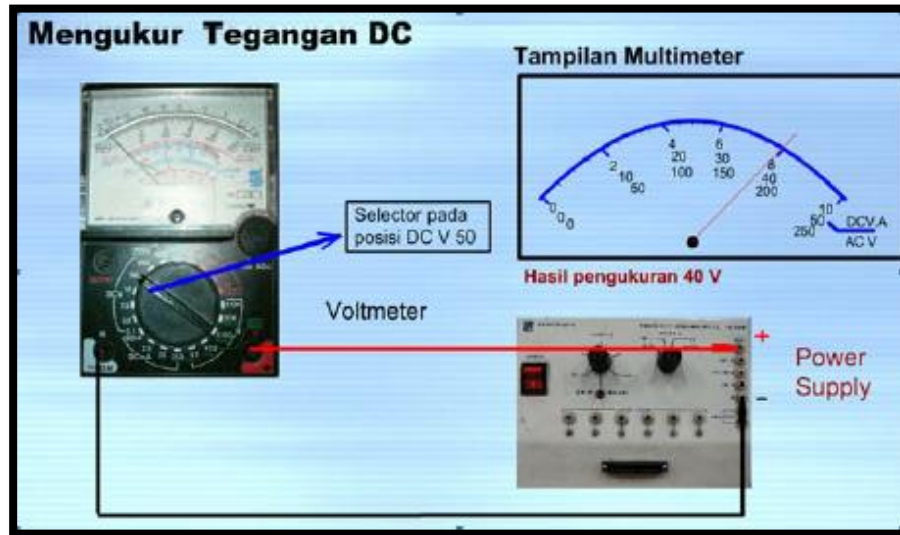
Gambar 14. 2 perbandingan multimeter digital dan analog

5) Langkah mengukur tegangan DC

- 1) Atur knob pengatur kearah Skala DC ,sesuaikan ukuran tegangan dengan tegangan yang akan diukur, misal kita akan mengukur tegangan DC 40 volt , maka atur knob pada angka 50 diskala DC
- 2) Gunakan terminal warna merah untuk menempelkan pada pada jalur

Positif, dan warna hitam pada jalur negatif (Untuk DC tidak boleh terbalik karena tidak akan berfungsi)

6) Baca Gerakan penunjuk contoh :



Gambar 14. 3 hasil output tegangan DC pengukuran

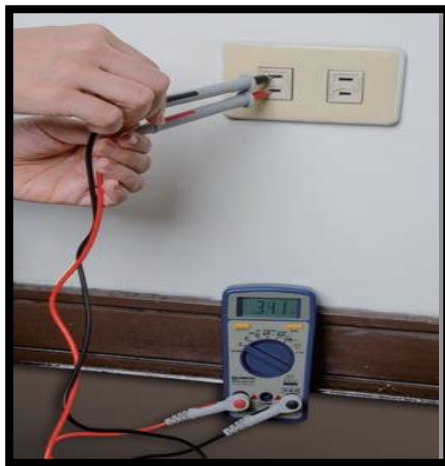
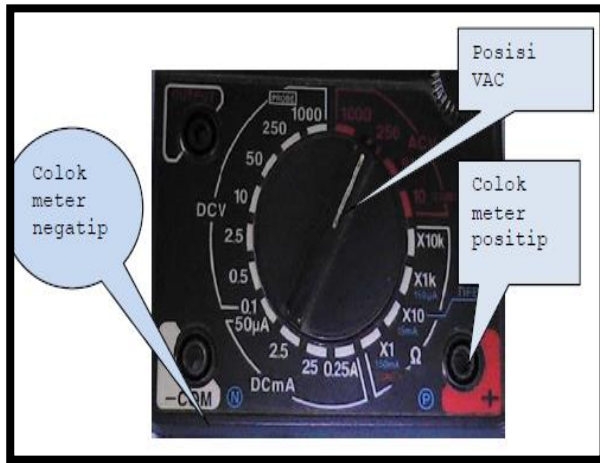
Dari hasil tertera ukuran 40 Volt sesuai penunjukan alat multimeter .
Berikut dicontohkan pengukuran yang salah pada multi tester :



Gambar 14. 4 contoh penggunaan alat yang salah

Dari gambar diatas diketahui kesalahan bahwa salah pemilihan selector Knob, selector mengukur 40 V di atur ke 10 DC, kemudian salah pada jarum peletakan antara positif dan negatifnya diletakana terbalik, hal ini dapat membuat hasil pengukuran tidak terbaca, dan juag membahayakan terjadi hubungan arus pendek.

7) Langkah Pengukuran tegangan AC

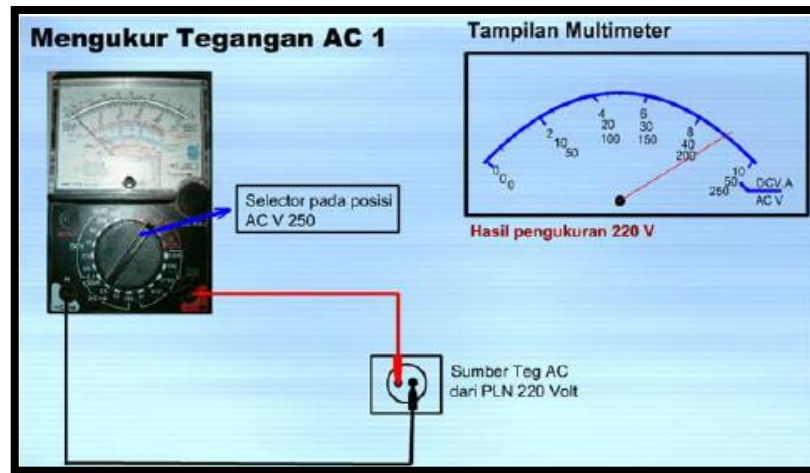


Gambar 14. 5 mengukur tegangan AC

- 1) Atur knob pengatur kearah Skala AC ,sesuaikan ukuran tegangan dengan tegangan yang akan diukur, misal kita akan mengukur tegangan AC 220 volt , maka atur knob pada angka 250 diskala AC
- 2) Gunakan terminal warna merah untuk menempelkan pada pada jalur Positif , dan warna hitam pada jalur negatife (untuk tegangan AC boleh terbalik karena

arusnya bolak balik)

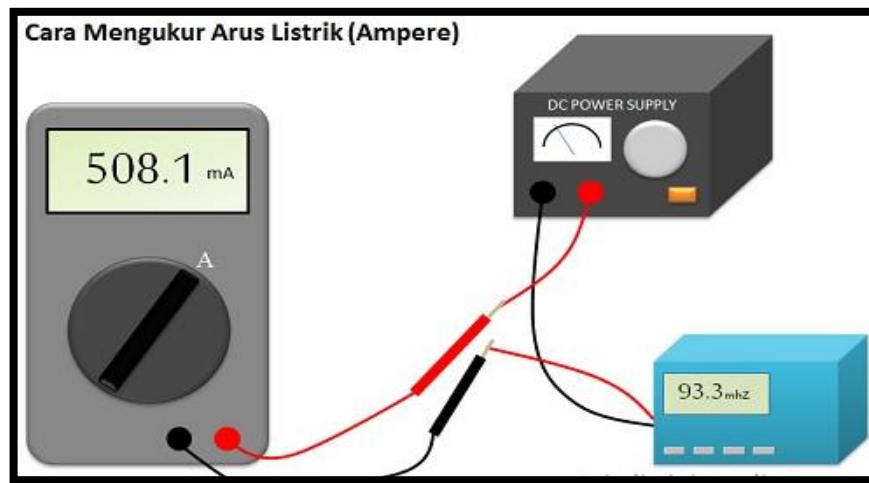
- 3) Baca Gerakan penunjuk contoh :



Gambar 14. 6 hasil output pengukuran tegangan AC

Dari hasil diatas diketahui tegangan terbaca 220 Volt

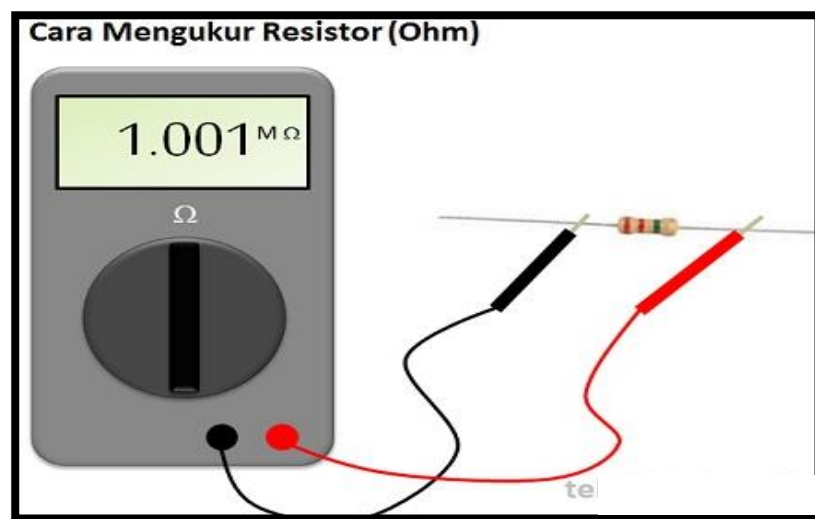
- 8) Langkah Mengukur arus dengan menggunakan multimeter analog
- Pilih selector knob ke DCA
 - Sesuaikan skala knob dengan skala terukur arus yang akan diukur, jika arus yang akan di ukur 500 m A maka pilih knob ke 800mA untuk menghindari arus kejut (jika arus yang diukur > dari selector maka sekering akan putus
 - Putuskan salah satu jalur yang menghubungkan dengan alat yang akan di ukur
 - Hubungkan probe merah ke output jalur yang diputus, dan probe hitam ke input multimeter
 - Hasil ukuran akan terlihat



Gambar 14. 7 contoh pengukuran arus AC

9) Langkah mengukur resistansi atau hambatan

- 1) Pilih knob pada selector ohm (Ω) pada multimeter analog biasanya bertanda X
- 2) Kemudian pililah skala yang akan diukur misal kita akan mengukur resistor 1000 ohm maka putarlah skala knob ke yang lebih tinggi
- 3) Hubungkan probe ke masing masing kaki resistor tidak ada ketentuan positif negative pada resistor linier.
- 4) Baca hasil ukuran , contoh



Gambar 14. 8 contoh pengukuran resistansi

10) Tang Ampere

Tang ampere merupakan alat yang digunakan untuk mengukur arus yang mengalir ada suatu instalasi listrik bentungnya seperti sebuah tang atau penjepit maka dari itu disebut dengan tang ampere, misal kita ingin mengetahui besaran arus tiga fasa yang mengalir pada suatu Gedung , masing masing fasa R S T kita ukur menggunakan tang ampere dengan cara menjapit salah satu jalur fasa misal R S atau T pada jalur output dari sebuah BOX panel listrik. Maksimal diameter kabel yang dapat diukur ialah 30 mm pada alat tang ampere standar

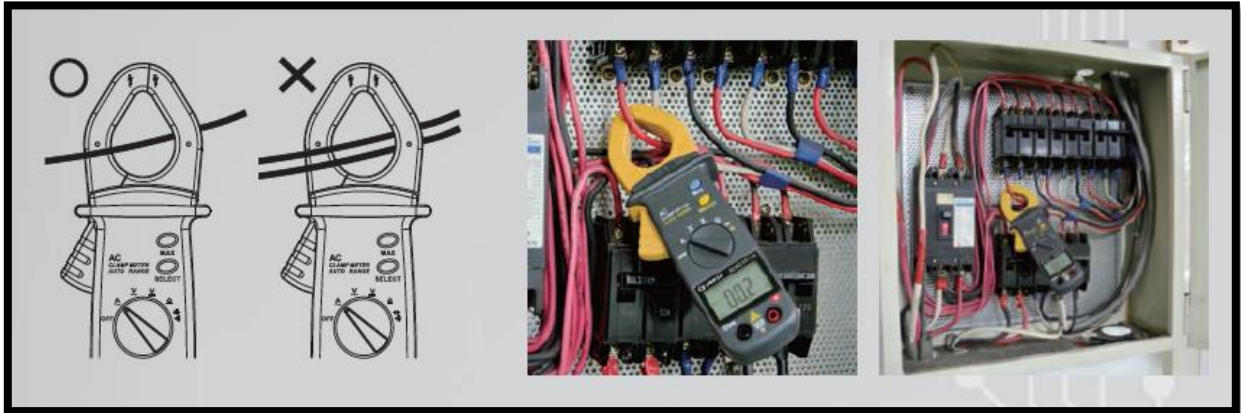


Gambar 14. 9 tang ampere

Langkah menggunakan tang ampere

- (a) Hidupkan tombol power pada alat
- (b) Arahkan klem tang pada salah satu jalur yang di ukur dengan car menjapitnya
- (c) Tunggu samapai hasil datakeluar , kemudian tekan hold untuk mengunci

data agar tidak berubah



Gambar 14. 10 ilustrasi penggunaan tang ampere O penggunaan Benar X penggunaan yang salah

11) Megger (Mega Ohm Meter)

Megger merupakan alatukur untuk listrik yang berguna untuk mengukur insulasi antar kabel misal pmengukur antar fasa, mengukur Fasa engan Netral, Mengukur Fasa dengan Ground tergantung kebutuhan, paa saat menggunakan alat yang berhbungan dnegan kabel kumparan biasanya harus di test terlebih dahulu dengan megger agar nilai insulasi sesuai dan kabel dinyatakan baik.



Gambar 14. 11 megger

Berikut Langkah penggunaan pada megger

- (a) Sebelum menggunakan pastikan mesin atau peralatan yang diukur tidak tersambung pada arus dan tegangan yang mengalir karena dapat menyebabkan hubungan arus pendek dan merusak alat dan juga mempengaruhi hasil ukur:
- (b) Periksa apakah battery yang dipesangkan masi dalam kondisi baik
- (c) Lakukan kalibrasi yaitu melihat display sampai angka Zero
- (d) Hubungkan kabel probe pada terminal megger, serta hubung singkatkan ujung yang lain. Pindahkan saklar knob pada skala 500. Letakkan saklar pemilih skala pada posisi skala 1. Kemudian shut on kan megger, maka akan menunjuk angka 0 jika tidak maka harus di periksa Kembali battery dan dikalibrasi ulang.
- (e) Pasang kabel test ke alat atau mesin, motor induksi contohnya ingin mengukur tahanan isolasi pada kumparan kabel 3 Fasa ,R-S-T-N Maka bisa lebih simple dengan cara menyambung satu kabel ke N lalu kabel yang satu nya bergantian ke kabel R kemudian S kemudian T. hal ini untuk mempercepat proses pengukuran isolasi

Fungsi dari megukur tahanan isolasi

Fungsinya ialah agar mengetahui apakah isolasi pada penghantar tersebut sudah baik atau belum dan apakah terjadi kebocoran arus atau tidak. Standart dari pengukuran megger yang baik adalah minimal 1000 Ohm /Volt .Maka jika tegangan terpasang 380 V maka sekurang kurangnya tahanan isolasinya adalah $380 \times 1000 = 380000 \text{ Ohm}$. Atau 0,38 Mega Ohm. Maka apabila lebih dari 0,38 Mega Ohm maka penghantar tersebut dalam kondisi yang baik. Perlu diketahui juga bahwa Batas minimum insulasi yang bisa ditolerir untuk pengetesan dengan tegangan 500 VDC adalah 0,5 Meg Ohm sedangkan dengan tegangan 1000 VDC adalah 1 Mega Ohm. Jika dipastikan hasil sudah sesuai maka kita dapat melakukan Commisioning dari wiring kita dengan memasukan tegangan listrik ke penghantar yang kita wiring.

C. LATIHAN SOAL / TUGAS

1. Jelaskan system Tujuan dari pengukuran pada instalasi listrik
2. Sebutkan standar yang berlaku pada satuan kelistrikan
3. Jelaskan prinsip penggunaan alat multitester
4. Kenapa pada arus DC probe polaritas tidak boleh terbalik, jelaskan
5. Tujuan dari penggunaan megger apa saja , dan kenapa diperlukan pengukuran isolasi

D. DAFTAR PUSTAKA

- Adityawarman, D., Rahajo, Y., Hakim, L., & Arus, A. T. (n.d.). *Rancang Bangun Alat Ukur Arus Menggunakan Transformator Arus Berbasis Mikrokontroler Atmega32*.
- Distribution, P. (2010). *Lecture 6 – Power Distribution Electric Power Distribution Importance of Electricity*. 1–16.
- Galli, W. (n.d.). *Operational Characteristics*.
- Norby, T. (2013). Electrical measurements. *Department of Chemistry, University of OsloGaustadalléen 21, 0349*.
- Obtained, P. P. (2013). *Electrical and Electronics Measurements and Instrumentation*. SEM & Tech. Ed: Shalini Jha.
- Sthephen. (2011). *Basic Electrical Measurements*.
- Wu, J. (2010). *BASIC AC ELECTRICAL GENERATORS*.
- Zhuang, Z. (2004). *PRINCIPLES OF OPERATION OF SYNCHRONOUS MACHINES The*.

GLOSSARIUM

Ampere (A) adalah Satuan arus listrik baik AC maupun DC.

Ampere Meter/ Clamp Ampere adalah Alat untuk mengukur arus listrik.

APP (Alat Pembatas dan Alat Pengukur) adalah Alat milik PT. PLN (Persero) yang berfungsi sebagai pembatas dan pengukur daya energi listrik yang dipakai.

Arde pada instalasi listrik berguna sebagai pencegah terjadinya kontak antara makhluk hidup dengan tegangan listrik yang terekspos akibat terjadi kegagalan isolasi.

Arus adalah aliran pembawa muatan listrik, biasanya elektron atau atom yang kekurangan electron, Fisikawan menganggap arus mengalir dari titik yang relatif positif ke titik yang relatif negative

Arus, AC (alternating current) = arus bolak-balik, misal sumbernya PLN = 220Volt AC. DC (direct current) = arus searah, misalnya sumbernya Aki (accu) = 12Volt DC.

ATS/MF, ATS (Automatic Transfer Switch) atau Automatic COS (Change Over Switch) adalah alat yang berfungsi untuk memindahkan koneksi antara sumber tegangan listrik satu dengan sumber tegangan listrik lainnya secara otomatis. AMF (Automatic Main Failure), berfungsi untuk menyalakan mesin genset jika beban yang di layani kehilangan sumber energy listrik utama/PLN.

Box Panel adalah kotak panel-panel listrik untuk didistribusikan. Contoh: SDP, IDP, PUTR dan PUTM.

Breaker (CB = Circuit Breaker). Alat pemutus arus berlebih atau liar, misal: Fuse (sekering), MCB (Miniature Circuit Breaker), MCCB (Mold Case Circuit Breaker), ELCB (Earth Leakage Circuit Breaker), ACB (Air Circuit Breaker), OCB (Oil Circuit Breaker), VCB (Vacuum Circuit Breaker), NCB (No Fuse Circuit Breaker), SF6CB (Sulfur Circuit Breaker), TOR (Thermal Overload Relay), Thermostat (alat yang dapat memutus arus hubungan arus listrik dengan suhu), dll.

Busbar adalah Tempat sambungan jala-jala aktif, atau papan pembagi koneksi parallel. Misal, ujung kabel grounding dikasih busbar, agar mudah dipakai banyak kabel cabang grounding menuju banyak alat.

Converter adalah Pengubah AC ke DC dan atau DC ke AC.

Coulomb, dilambangkan dengan C, adalah satuan SI untuk muatan listrik, dan didefinisikan dalam ampere: 1 coulomb adalah banyaknya muatan listrik yang dibawa oleh arus sebesar 1 ampere mengalir selama 1 detik.

Diesel biasa disebut juga dengan Mesin diesel (atau mesin pemicu kompresi) adalah motor bakar pembakaran dalam yang menggunakan panas kompresi untuk menciptakan penyalan dan membakar bahan bakar yang telah diinjeksikan ke dalam ruang bakar.

Earthing atau *grounding* atau bonding secara harfiah artinya adalah pembumian, yaitu proses menyalurkan tegangan atau arus listrik langsung ke bumi dengan perantara jalur kabel.

Elektrikal (arus kuat) dan elektronika (arus lemah).

Etiket / Title block adalah Judul atau keterangan yang berhubungan dengan gambar.

Exciter adalah Tegangan Penguat. Atau amplifier = pelipatan tegangan.

Fiting adalah tempat memasang bola lampu listrik.

Fuse/ Sikring adalah Alat pengaman yang berfungsi untuk memutuskan arus listrik jika terjadi hubung singkat atau terjadi arus yang melebihi batas nilai yang tercantum dalam fuse tersebut.

Generator set adalah alat pengubah dari energi mekanik ke energi listrik

Inverter adalah Pengubah DC ke AC dengan taraf yang berbeda.

Isolator adalah bahan –bahan yang tidak dapat menghantarkan listrik dalam kondisi apapun.

Isolator adalah benda- benda yang tidak dapat menghantarkan panas. Contohnya adalah karet, gabus, kayu, plastic

Kapasitor adalah sebuah komponen elektronika yang fungsi dasarnya untuk menyimpan muatan atau arus listrik untuk sementara

Komponen Elektronik, contoh: Dioda (penyearah), Resistor (penahan), Induktor (menghambat muatan listrik AC), dan Kapasitor (menyimpan muatan listrik).

Komutator = Lapisan logam terisolasi/tersekat-sekat untuk menyearahkan AC pada mesin listrik.

Konduktor = sifat dari salah satu bahan yang dapat menghantarkan listrik.

Konduktor adalah bahan yang dapat menghantarkan arus listrik, misalnya logam seperti tembaga, besi dan emas

Lighting Arrester (LA, penangkal petir).

Loop adalah suatu rangkaian tertutup pada rangkaian listrik

Motor adalah Mesin listrik yang memerlukan tenaga elektrik, menghasilkan tenaga mekanik.

Normally Closed (NC) = keadaan normal kontak tertutup.

Normally Open (NO) = keadaan normal kontak terbuka.

PE (polyethylene) adalah Bahan isolasi kabel dari polyethylene.

Perbedaan potensial (beda potensial - tegangan listrik) adalah perbedaan jumlah elektron yang berada dalam suatu arus listrik

Probe adalah kabel enghubung untuk instrument pengukur biasanay berwarna merah untuk positif dan berwarna hitam untuk negative.

PVC (polyvinyl chloride) adalah Bahan isolasi dari polyvinyl chloride, biasanya untuk pipa isolasi instalasi kabel.

Rectifier adalah penyearah, biasanya dilengkapi baterai backup dan automatic charger.

Relay adalah Alat yang berfungsi seperti saklar listrik yang bekerja karena adanya medan magnet akibat adanya arus yang mengalir pada lilitan.

Resistansi adalah kuantitas listrik yang mengukur bagaimana perangkat atau material mengurangi aliran arus listrik yang melaluinya

Rotor adalah merupakan elemen yang berputar, pada rotor terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitan-lilitan kawatnya dialiri oleh arus searah.

Saluran Tegangan Tinggi AC contoh: SUTET (Saluran Udara Tegangan Extra Tinggi), SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi), SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah), SUTR (Saluran Udara Tegangan Rendah) dan GTT (Gardu Tiang Trafo).

Satu Phase adalah jaringan listrik yang hanya menggunakan 2 kawat penghantar yang kesatu sebagai kawat phase (L) dan yang kedua sebagai kawat neutral (N).

Satu TM (Tegangan Menengah) adalah Tegangan antara 1.000 Volt sampai dengan 35.000 Volt.

stator adalah bagian pada motor listrik atau dinamo listrik yang berfungsi sebagai stasioner dari sistem rotor

STL (Sambungan Tenaga Listrik) adalah Media penghantar arus listrik baik di atas ataupun di bawah tanah.

Switch/ Saklar Listrik adalah Alat ini digunakan untuk memutuskan dan menghubungkan arus listrik.

TDL (Tarif dasar Listrik) adalah Golongan tarif dan harga jual daya listrik yang disediakan PLN sesuai ketentuan pemerintah.

Tegangan, beda potensial listrik, tekanan listrik atau tegangan listrik adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik.

TET (Tegangan Ekstra Tinggi) adalah Tegangan di atas 245.000 Volt.

Tiga Phase adalah jaringan listrik yang menggunakan 3 kawat penghantar kawat phase 1 (R) , phase 2 (S), phase 3 (T)

Transformator tenaga adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya.

Turbin adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Turbin sederhana memiliki satu bagian yang bergerak,

UPS adalah Uninterublle Power Supply, unit power supplay AC. Di dalamnya ada bateray/aki backup (DC) yang diubah ke AC.

Volt (V) adalah Satuan tegangan listrik. $1KV=1.000$ Volt.

Volt Meter adalah Alat untuk mengukur tegangan listrik.

Watt (W): adalah Satuan daya listrik. $1KW=1.000$ Watt.

Watt Meter adalah Alat untuk mengukur daya listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adityawarman, D., Rahajo, Y., Hakim, L., & Arus, A. T. (n.d.). *Rancang Bangun Alat Ukur Arus Menggunakan Transformator Arus Berbasis Mikrokontroler Atmega32*.
- Ananda, S. A., Kusumandoyo, V. A., Industri, F. T., Elektro, J. T., & Petra, U. K. (n.d.). *Penyadapan Saluran Transmisi dengan Kopling Kapasitif untuk Suplai Daerah Terpencil*. 1–8.
- Ansari, I., Indrawijaya, B., Nurohmawati, F., & Zakaria, I. (2017). Pengaruh Waktu dan Luas Permukaan terhadap Ketebalan Produk Pada Elektroplating ACID ZINC. *Jurnal Teknik kimia*, 1(1).
- Putra, T. S. (2017). *Analisa Sistem Transmisi Rantai Pada Sepeda Listrik*.
- Bachtiar, M. (2014). *Prosedur perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya untuk perumahan (solar home system)*.
- Blume, S. W. (n.d.). *ELECTRIC POWER SYSTEM BASICS*. 2007.
- C.ON. (2015). *ELECTRICAL MEASUREMENTS & INSTRUMENTATION. DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING VEER SURENDRA SAI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY BURLA -768018, ODISHA, INDIA*.
- Charles, S., & Gustaf, S. E. (2011). *Turbines and its types*.
- Circutor. (2018). *Distribution of electrical energy*.
- Cooley, H. (2009). *Water for Energy : Future Water Needs for Electricity in the Intermountain West*.
- Corporation, T. E., & Instruments, C. (2018). *Transformer*.
- Cronshaw, B. G. (2005). *EARTHING EARTHING* : 18–24.
- Distribution, P. (2010). *Lecture 6 – Power Distribution Electric Power Distribution Importance of Electricity*. 1–16.
- Eltamaly, A. M. (2018). *Introduction to Wind Energy Systems*.
- En, W. P. (2011). *Nuclear Energy as part of the electricity generation system — Balancing and the grids — William D ' haeseleer TME W ORKING P APER - Energy and Environment Last update : February 2011. February*.
- Engineering, E. (n.d.). *Transmission and distribution*. 2011, 1–154.
- Galli, W. (n.d.). *Operational Characteristics*.
- Generation, E. P., Practices, D. I., & Management, E. (2019). *Electric Power Generation , Transmission and Distribution Industry Practices and Environmental Characterization*. June, 1–11.
- Hartmann, W. (2011). *Transformer Protection 1*.
- IAEA. (2018). *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050 (Issue 1)*.
- Ilmiah, P. (2016). *RANCANG BANGUN DAN ANALISA RANGKAIAN PROTOTYPE Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada*

Jurusan.

- Indonesia, D. S., Kyai, J., No, T., & Barat, G. J. (n.d.). *Yumarsono Muhyi*, ST . 216, 1–5.
- Ir. Imam Santoso Ernawi, MCM, Ms. (2013). *Perencanaan, Tata Cara Dan, Operasi Sistem, Pemeliharaan Perencanaan, Tata Cara Dan, Pembangunan Pemeliharaan, Operasi Pompa, Sistem Pengantar, Kata* (Issue 20). Kemnetrian Pekerjaan Umum.
- Išoraitė, M. (2008). *THE BALANCED SCORECARD METHOD: FROM THEORY TO PRACTICE*. 8011(1), 18–28.
- Johnson, G. L. . (2012). *WIND ENERGY SYSTEMS*.
- Kalmikov, A., & Dykes, K. (2016). *Wind Power Fundamentals*.
- Kasus, S., Gtg, T., Tambak, P., & Semarang, L. (2008). *TRANSFORMATOR TENAGA*. 1–8.
- Kharagpur. (2010). *Generation, Transmission and Distribution of Electric Power an Overview*.
- Khusus, E., Prayudi, T., & Semen, P. (2006). *PEMASANGAN VARIABLE SPEED DRIVES (VSD) PADA FAN UNTUK MENURUNKAN PENGGUNAAN LISTRIK*.
- Laurie, P., & Esq, A. W. (2012). *Transmission Basics*. 1–25.
- Luknanto, I. D., Sc, M., & Ph, D. (2014). *Bangunan Tenaga Air*. 1–14.
- Mahmud, N., Yahya, A., Rafiq, M., Kadir, A., Liyana, N., & Hashim, S. (2013). *Jurnal Teknologi Pulse Power Generator Design for Machining Micro-pits on Hip Implant*. 2, 33–38.
- Mukhammad Rif'at Za'im. (2014). *GARDU INDUKUNGAN PLN DISTRIBUSI SEMARANG*. *Edu ElektriKa Journal* [Http://Journal.Unnes.Ac.Id/Sju/Index.Php/Eduel](http://Journal.Unnes.Ac.Id/Sju/Index.Php/Eduel) ANALISIS, 3(2), 9–16.
- Muslim, S. (2008). *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Skeolah Menengah Umum.
- Nagpurwala, Q. H. (2013). *Hydraulic Turbines*.
- Noor, S., & Saputera, N. (2014). *KAPASITOR BANK*. 6(2), 1–6.
- Norby, T. (2013). *Electrical measurements*. *Department of Chemistry, University of Oslo Gaustadalléen 21, 0349*.
- Nugroho, N., & Agustina, S. (2015). *ANALISA MOTOR DC (DIRECT CURRENT) SEBAGAI PENGGERAK MOBIL LISTRIK*. 2(1), 28–34.
- Nurdin, I., & Nugraha, E. K. A. (2013). *Penerapan dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro dengan Turbin Propeller Open Flume TC 60 dan Generator Sinkron Satu Fasa 100 VA di UPI Bandung*. 1(4), 328–338.
- Obtained, P. P. (2013). *Electrical and Electronics Measurements and Instrumentation*. SEM & Tech. Ed: Shalini Jha.
- Operation, P. O. F. (2011). *Introduction to transformer*.
- Patil, N. S. (2010). *Diesel Electric Power Plant*.

- Pembinaan, D., & Menengah, S. (2008). *teknik Transmisi Tenaga Listrik*. Direktorat pembinaan sekolah menengah umum.
- Pirdiansyah, A. (2017). Analisa Defleksi Rangka Sepeda Listrik Tanpa Peredam Kejut Dengan Metode Uji Pembebanan Menggunakan Software Solid Works 2014.
- Plants, D. P. (2017). *Diesel-electric Drives Diesel-electric Propulsion Plants*. 1–27.
- Prayoga, A., & S, E. M. (2010). *Teknik tenaga listrik* (Issue 0806365412).
- Ramadhan, A. I., Diniardi, E., & Mukti, S. H. (2016). *Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP*. 37(2), 59–63. <https://doi.org/10.14710/teknik.v37n2.9011>
- Ramdhani, M. (2005). *Rangkaian listrik*.
- Reclamation, U. S. D. of the I. B. of. (2005). *Transformers : Basics , Maintenance ,. April*.
- Report, G. (2018). *New electricity frontiers*. May.
- Report, T., & Solutions, E. E. (2013). *Energy Efficiency Technologies ANNEX III Technical Report for Thermal Power Plants*. August, 1–30.
- Salih, M. A. (2012). *Content :Earthing Systemn*. 1–21.
- Saputra, R. J. (2017). Analisa Motor Listrik Penggerak Pada Mesin Gergaji Kayu.
- Setyawan, O., Zakki, A. F., & Iqbal, M. (n.d.). *Analisa Estimasi Tingkat Kebisingan di Kamar Mesin dan Ruang Akomodasi pada Kapal Riset dengan Penggerak Motor Listrik Program Studi S1 Teknik Perkapalan , Fakultas Teknik , Universitas Diponegoro Semarang , Kata kunci : estimation noise , noise ship , kebisingan kapal Key Words : estimation noise , noise ship , kebisingan kapal Jurnal Teknik Perkapalan , Vol . 3 , No 1 Januari 2015 Jurnal Teknik Perkapalan , Vol . 3 , No 1 Januari 2015*. 3(1), 63–72.
- Short, T. A. (2004). *distribution handbook* (Issue C).
- Solihat, I., Astuti, F., & Setiyowati, A. D. (2019). KAJIAN POTENSI ANGIN SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF DAN TERBARUKAN PEMBANGKIT LISTRIK DI UNIVERSITAS PAMULANG. *Jurnal Teknik Mesin Cakram*, 1(2), 17-21.
- ST, L. augmented. (2016). *An introduction to electric motors What is an electric motor*.
- Sthephen. (2011). *Basic Electrical Measurements*.
- Street, S., & Mo-, N. (1990). *Electric Power Distribution Systems Operations*. April.
- Studi, P., Pendidikan, S., Elektro, T., Teknik, F., Surabaya, U. N., Elektro, J. T., Teknik, F., & Surabaya, U. N. (n.d.). *PENGEMBANGAN JOB SHEET MEMPERBAIKI MOTOR LISTRIK SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN PRAKTIK SISWA KELAS XI TIPTL DI SMK PGRI 1 LAMONGAN* Joko. 6(1), 753–758.
- Studi, P., Teknik, P., & Fptk, E. (2014). *ANALISIS TEGANGAN TEMBUS KABEL INSTALASI LISTRIK Zikra Rufina , I Wayan Ratnata , Hasbullah*. 13(1), 89–98.
- Subagyo, R. (2018). *TURBIN UAP HMKB760*.
- Sudirham, S. (2012). *Analisis Rangkaian Listrik*.
- Suhadi. (2008). *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Direktorat pembinaan sekolah menengah umum.

- Suharjo, I., Studi, P., Elektro, T., Mercu, U., & Yogyakarta, B. (n.d.). *ANALISIS PENGGUNAAN JARINGAN KABEL LISTRIK*. 31–36.
- Sumardjati, P. (2008). *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Umum.
- Syahputra, A. (2014). *Estimasi Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Saluran Transmisi Tenaga Listrik*. 17(2), 106–115.
- Teknik, F., & Bengkulu, U. (n.d.). *DeJa&aa*.
- Tong, W. (2009). *CHAPTER 1. 44*. <https://doi.org/10.2495/978-1-84564->
- Veron, L. (2013). *Nuclear Power for Electrical Generation The*. 1–24.
- Western Governors ' Association. (2018). *An Introduction to Electric Power Transmission An Introduction to Electric Power Transmission – Table of Content (TOC)*.
- Wu, J. (2010). *BASIC AC ELECTRICAL GENERATORS*.
- Wu, X., Shen, J., Li, Y., & Lee, K. Y. (2015). *Steam power plant configuration , design , and control*. <https://doi.org/10.1002/wene.161>
- Yuasa, T. (2010). *Earthing of Low Voltage Electrical Systems: Personnel Protection Equipment Protection. i*, 1–54.
- Zhuang, Z. (2004). *PRINCIPLES OF OPERATION OF SYNCHRONOUS MACHINES The*. (Adityawarman et al., n.d.; Ananda et al., n.d.; Bachtiar & Abstract, 2014; Blume, n.d.; C.ON, 2015; Charles & Gustaf, 2011; Circutor, 2018; Cooley, 2009; Corporation & Instruments, 2018; Cronshaw, 2005; Distribution, 2010; Eltamaly, 2018; En, 2011; Engineering, n.d.; Galli, n.d.; Generation et al., 2019; Hartmann, 2011; IAEA, 2018; Ilmiah, 2016; Indonesia et al., n.d.; Ir. Imam Santoso Ernawi, MCM, 2013; Išoraitė, 2008; Johnson, 2012; Kalmikov & Dykes, 2016; Kaplan, 2010; Kasus et al., 2008; Kharagpur, 2010; Khusus et al., 2006; Laurie & Esq, 2012; Luknanto et al., 2014; Mahmud et al., 2013; Mikko, 2019; Muhammed, 2012; Mukhammad Rif'at Za'im, 2014; Muslim, 2008; Nagpurwala, 2013; Noor & Saputera, 2014; Norby, 2013; Nugroho & Agustina, 2015; Nurdin & Nugraha, 2013; Obtained, 2013; Operation, 2011; Patil, 2010; Pembinaan & Menengah, 2008; Penduduk et al., n.d.; Plants, 2017; Prayoga & S, 2010; Ramadhan et al., 2016; Ramdhani, 2005; Reclamation, 2005; G. Report, 2018; T. Report & Solutions, 2013; Salih, 2012; Setyawan et al., n.d.; Short, 2004; ST, 2016; Sthephen, 2011; Street & Mo-, 1990; Studi et al., n.d., 2014; Subagyo, 2018; Sudirham, 2012; Suhadi, 2008; Suharjo et al., n.d.; Sumardjati, 2008; Summary, 1995; Sutrisno, 2010; Syahputra, 2014; Teknik & Bengkulu, n.d.; Tong, 2009; Veron, 2013; Western Governors ' Association, 2018; J. Wu, 2010; X. Wu et al., 2015; Yuasa, 2010; Zhuang, 2004)

RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER¹**(RPS)**

Program Studi	: S-1 Teknik Industri	Mata Kuliah/Kode	: Teknik Tenaga Listrik / TIN03212
Semester	: IV	Sks	: 2
Prasyarat	: Fisika	Kurikulum	: KKNi
Deskripsi Mata Kuliah	: Mata kuliah Teknik Tenaga Listrik merupakan mata kuliah wajib pada program studi S-1 Teknik Industri yang membahas mengenai konsep sumber tenaga listrik dalam penyalurannya sampai ke konsumen serta peralatan listrik seperti transformator, generator, Instalasi Listrik, jenis kabel listrik, pembumian, motor listrik dan alat ukur listrik.	Capaian Pembelajaran	: Setelah menyelesaikan mata kuliah ini mahasiswa mampu merencanakan kebutuhan peralatan mesin listrik, menghitung kebutuhan listrik, instalasi listrik pada perusahaan industri.
Penyusun	: 1. Adi Candra, S.T, M.T. (Ketua) 2. Syahreen Nurmutia, S.T., M.T		

¹ Format RPS bersumber pada ***Buku Kurikulum Pendidikan Tinggi (DIKTI 2015)***

(Anggota)

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	Mampu memahami konsep tenaga listrik serta membuat rancangan kebutuhan Tenaga Listrik Mulai dari sumber pembangkit sampai ke pelanggan	Konsep Teknik Tenaga Listrik	Ceramah dan tanya jawab	Fokus mendengarkan paparan dan aktif menjawab pertanyaan dosen	Keluasan dan kedalaman jawaban	5%
2	Memahami dasar rangkaian listrik Mampu	Dasar Rangkaian Listrik	Ceramah dan tanya jawab	Fokus mendengarkan paparan dan aktif	Ketepatan Perhitungan	10%

PERTEMUAN KE-	KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN	BAHAN KAJIAN (MATERI AJAR)	METODE PEMBELAJARAN	PENGALAMAN BELAJAR MAHASISWA	KRITERIA PENILAIAN	BOBOT NILAI
	memahami serta menghitung arus, tegangan, dan hambatan yang ada pada rangkaian listrik.			menjawab pertanyaan dosen		
3	Mampu menerapkan hukum Kirchof I dan II, Hukum Faraday, untuk diaplikasikan pada peralatan industri.	Dasar Rangkaian Listrik Lanjutan	Ceramah dan tanya jawab	Fokus mendengarkan paparan dan aktif menjawab pertanyaan dosen	Ketepatan Perhitungan	10%
4	Mampu memahami dan membuat rancangan energi yang masuk ke dalam Sumber Tenaga Listrik	Sumber Tenaga Listrik	Pemaparan dan simulasi materi	Penelusuran <i>Study Literatur</i> dan Menganalisa <i>case study</i>	Keluasan dan kedalaman jawaban	5%

PERTEMUAN KE-	KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN	BAHAN KAJIAN (MATERI AJAR)	METODE PEMBELAJARAN	PENGALAMAN BELAJAR MAHASISWA	KRITERIA PENILAIAN	BOBOT NILAI
	PLTU, PLTA dan PLTD .					
5	Mampu memahami dan mengidentifikasi rancangan pembangkit listrik tenaga nuklir, pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya.	Sumber Tenaga Listrik Lanjutan	Simulasi dan demonstrasi	Latihan 4	Keluasan dan kedalaman jawaban	5%
6	Mampu memahami dan menjelaskan mengenai turbin implus dan turbin reaksi.	Jenis -jenis Turbin	Ceramah dan tanya jawab	Fokus mendengarkan paparan dan aktif menjawab pertanyaan dosen	Keluasan dan kedalaman jawaban	5%
7	Memahami dan mengidentifikasi	Generator Listrik	Pemaparan dan Simulasi	Fokus memperhatikan	Keluasan dan kedalaman	5%

PERTEMUAN KE-	KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN	BAHAN KAJIAN (MATERI AJAR)	METODE PEMBELAJARAN	PENGALAMAN BELAJAR MAHASISWA	KRITERIA PENILAIAN	BOBOT NILAI
	kebutuhan generator sesuai kebutuhan industry.			paparan dan mengikuti simulasi	jawaban	
UJIAN TENGAH SEMESTER (UTS)						
8	Mampu menghitung kebutuhan daya Transfromator pada industri sesuai dengan penggunaan.	Transformator	Simulasi dan Demonstrasi	Latihan 7	Ketepatan Perhitungan	10%
9	Memahami dan mengidentifikasi kebutuhan trasnmisi pada saluran listrik	Saluran Transmisi Listrik	Simulasi dan Demonstrasi	Latihan 8	Keluasan dan kedalaman jawaban	5%
10	Memahami dan menjabarkan	Saluran Distribusi Listrik	Simulasi dan demonstrasi	Mengerjakan Tugas	Ketepatan jawaban	5%

PERTEMUAN KE-	KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN	BAHAN KAJIAN (MATERI AJAR)	METODE PEMBELAJARAN	PENGALAMAN BELAJAR MAHASISWA	KRITERIA PENILAIAN	BOBOT NILAI
	konsep penyaluran distribusi listrik					
11	Mampu memahami dan merencanakan kebutuhan kabel dan instalasi listrik pada suatu industri atau bangunan..	Jenis Kabel dan Instalasi listrik	Simulasi dan demonstrasi	Tugas 5	Kelengkapan jawaban	5%
12	Mampu mengidentifikasi dan merencanakan kebutuhan jenis motor listrik yang akan digunakan di industri..	Motor Listrik	Pemaparan dan simulasi materi	Penelusuran <i>Study Literatur</i> dan Menganalisa <i>case study</i>	Ketepatan perhitungan	10%

PERTEMUAN KE-	KEMAMPUAN AKHIR YANG DIHARAPKAN	BAHAN KAJIAN (MATERI AJAR)	METODE PEMBELAJARAN	PENGALAMAN BELAJAR MAHASISWA	KRITERIA PENILAIAN	BOBOT NILAI
13	Mampu mengidentifikasi jenis tahanan tanah yang baik untuk pembumian pada instalasi listrik dan tahanan pada setiap instalasi.	Sistem Pembumian	Pemaparan dan simulasi materi	Penelusuran <i>Study Literatur</i> dan Menganalisa <i>case study</i>	Ketepatan Perhitungan	10%
14	Mampu menggunakan dan mengaplikasikan alat ukur yang digunakan pada kelistrikan untuk dunia industri.	Alat Ukur Untuk Kelistrikan	Pemaparan dan simulasi materi	Penelusuran <i>Study Literatur</i> dan Menganalisa <i>case study</i>	Ketepatan perhitungan	10%
UJIAN AKHIR SEMESTER (UAS)						

Referensi:

Adityawarman, D., Rahajo, Y., Hakim, L., & Arus, A. T. (n.d.). *Rancang Bangun Alat Ukur Arus Menggunakan Transformator Arus Berbasis Mikrokontroler Atmega32*.

Ananda, S. A., Kusumandoyo, V. A., Industri, F. T., Elektro, J. T., & Petra, U. K. (n.d.). *Penyadapan Saluran Transmisi dengan Kopling Kapasitif untuk Suplai Daerah Terpencil*. 1–8.

Ansari, I., Indrawijaya, B., Nurohmawati, F., & Zakaria, I. (2017). Pengaruh Waktu dan Luas Permukaan terhadap Ketebalan Produk Pada Elektroplating ACID ZINC. *Jurnal Teknik kimia*, 1(1).

Putra, T. S. (2017). *Analisa Sistem Transmisi Rantai Pada Sepeda Listrik*.

Bachtiar, M. (2014). *Prosedur perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya untuk perumahan (solar home system)*.

Blume, S. W. (n.d.). *ELECTRIC POWER SYSTEM BASICS*. 2007.

C.ON. (2015). *ELECTRICAL MEASUREMENTS & INSTRUMENTATION. DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING VEER SURENDRA SAI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY BURLA -768018, ODISHA, INDIA*.

Charles, S., & Gustaf, S. E. (2011). *Turbines and its types*.

Circutor. (2018). *Distribution of electrical energy*.

Cooley, H. (2009). *Water for Energy : Future Water Needs for Electricity in the Intermountain West*.

Corporation, T. E., & Instruments, C. (2018). *Transformer*.

Cronshaw, B. G. (2005). *EARTHING EARTHING* : 18–24.

Distribution, P. (2010). *Lecture 6 – Power Distribution Electric Power Distribution Importance of Electricity*. 1–16.

- Eltamaly, A. M. (2018). *Introduction to Wind Energy Systems*.
- En, W. P. (2011). *Nuclear Energy as part of the electricity generation system — Balancing and the grids — William D ' haeseleer TME WORKING P APER - Energy and Environment Last update : February 2011. February*.
- Engineering, E. (n.d.). *Transmission and distribution*. 2011, 1–154.
- Galli, W. (n.d.). *Operational Characteristics*.
- Generation, E. P., Practices, D. I., & Management, E. (2019). *Electric Power Generation , Transmission and Distribution Industry Practices and Environmental Characterization*. June, 1–11.
- Hartmann, W. (2011). *Transformer Protection 1*.
- IAEA. (2018). *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050* (Issue 1).
- Ilmiah, P. (2016). *RANCANG BANGUN DAN ANALISA RANGKAIAN PROTOTYPE Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada Jurusan*.
- Indonesia, D. S., Kyai, J., No, T., & Barat, G. J. (n.d.). *Yumarsono Muhyi , ST . 216*, 1–5.
- Ir. Imam Santoso Ernawi, MCM, Ms. (2013). *Perencanaan, Tata Cara Dan, Operasi Sistem, Pemeliharaan Perencanaan, Tata Cara Dan, Pembangunan Pemeliharaan, Operasi Pompa, Sistem Pengantar, Kata* (Issue 20). Kemnetrian Pekerjaan Umum.
- Išoraitė, M. (2008). *THE BALANCED SCORECARD METHOD : FROM THEORY TO PRACTICE*. 8011(1), 18–28.
- Johnson, G. L. . (2012). *WIND ENERGY SYSTEMS*.
- Kalmikov, A., & Dykes, K. (2016). *Wind Power Fundamentals*.
- Kasus, S., Gtg, T., Tambak, P., & Semarang, L. (2008). *TRANSFORMATOR TENAGA*. 1–8.

- Kharagpur. (2010). *Generation, Transmission and Distribution of Electric Power an Overview*.
- Khusus, E., Prayudi, T., & Semen, P. (2006). *PEMASANGAN VARIABLE SPEED DRIVES (VSD) PADA FAN UNTUK MENURUNKAN PENGGUNAAN LISTRIK*.
- Laurie, P., & Esq, A. W. (2012). *Transmission Basics*. 1–25.
- Luknanto, I. D., Sc, M., & Ph, D. (2014). *Bangunan Tenaga Air*. 1–14.
- Mahmud, N., Yahya, A., Rafiq, M., Kadir, A., Liyana, N., & Hashim, S. (2013). *Jurnal Teknologi Pulse Power Generator Design for Machining Micro-pits on Hip Implant*. 2, 33–38.
- Mukhammad Rif'at Za'im. (2014). GARDU INDUKUNGAN PLN DISTRIBUSI SEMARANG. *Edu Elekrika Journal* [Http://Journal.Unnes.Ac.Id/Sju/Index.Php/Eduel](http://Journal.Unnes.Ac.Id/Sju/Index.Php/Eduel) ANALISIS, 3(2), 9–16.
- Muslim, S. (2008). *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*. Direktorat Pembinaan Skeolah Menengah Umum.
- Nagpurwala, Q. H. (2013). *Hydraulic Turbines*.
- Noor, S., & Saputera, N. (2014). *KAPASITOR BANK*. 6(2), 1–6.
- Norby, T. (2013). Electrical measurements. *Department of Chemistry, University of Oslo Gaustadalléen 21, 0349*.
- Nugroho, N., & Agustina, S. (2015). *ANALISA MOTOR DC (DIRECT CURRENT) SEBAGAI PENGGERAK MOBIL LISTRIK*. 2(1), 28–34.
- Nurdin, I., & Nugraha, E. K. A. (2013). *Penerapan dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro dengan Turbin Propeller Open Flume TC 60 dan Generator Sinkron Satu Fasa 100 VA di UPI Bandung*. 1(4), 328–338.
- Obtained, P. P. (2013). *Electrical and Electronics Measurements and Instrumentation*. SEM & Tech. Ed: Shalini Jha.
- Operation, P. O. F. (2011). *Introduction to transformer*.

- Patil, N. S. (2010). *Diesel Electric Power Plant*.
- Pembinaan, D., & Menengah, S. (2008). *teknik Transmisi Tenaga Listrik*. Direktorat pembinaan sekolah menengah umum.
- Pirdiansyah, A. (2017). Analisa Defleksi Rangka Sepeda Listrik Tanpa Peredam Kejut Dengan Metode Uji Pembebanan Menggunakan Software Solid Works 2014.
- Plants, D. P. (2017). *Diesel-electric Drives Diesel-electric Propulsion Plants*. 1–27.
- Prayoga, A., & S, E. M. (2010). *Teknik tenaga listrik* (Issue 0806365412).
- Ramadhan, A. I., Diniardi, E., & Mukti, S. H. (2016). *Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP*. 37(2), 59–63. <https://doi.org/10.14710/teknik.v37n2.9011>
- Ramdhani, M. (2005). *Rangkaian listrik*.
- Reclamation, U. S. D. of the I. B. of. (2005). *Transformers : Basics , Maintenance ,. April*.
- Report, G. (2018). *New electricity frontiers*. May.
- Report, T., & Solutions, E. E. (2013). *Energy Efficiency Technologies ANNEX III Technical Report for Thermal Power Plants*. August, 1–30.
- Salih, M. A. (2012). *Content :Earthing Systemn*. 1–21.
- Saputra, R. J. (2017). Analisa Motor Listrik Penggerak Pada Mesin Gergaji Kayu.
- Setyawan, O., Zakki, A. F., & Iqbal, M. (n.d.). *Analisa Estimasi Tingkat Kebisingan di Kamar Mesin dan Ruang Akomodasi pada Kapal Riset dengan Penggerak Motor Listrik Program Studi S1 Teknik Perkapalan , Fakultas Teknik , Universitas Diponegoro Semarang , Kata kunci : estimation noise , noise ship , kebisingan kapal Key Words : estimation noise , noise ship , kebisingan kapal Jurnal Teknik Perkapalan , Vol . 3 , No 1 Januari 2015 Jurnal Teknik Perkapalan , Vol . 3 , No 1*

Januari 2015. 3(1), 63–72.

Short, T. A. (2004). *distribution handbook* (Issue C).

Solihat, I., Astuti, F., & Setiyowati, A. D. (2019). KAJIAN POTENSI ANGIN SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF DAN TERBARUKAN PEMBANGKIT LISTRIK DI UNIVERSITAS PAMULANG. *Jurnal Teknik Mesin Cakram*, 1(2), 17-21.

ST, L. augmented. (2016). *An introduction to electric motors What is an electric motor.*

Sthephen. (2011). *Basic Electrical Measurements.*

Street, S., & Mo-, N. (1990). *Electric Power Distribution Systems Operations. April.*

Studi, P., Pendidikan, S., Elektro, T., Teknik, F., Surabaya, U. N., Elektro, J. T., Teknik, F., & Surabaya, U. N. (n.d.). *PENGEMBANGAN JOB SHEET MEMPERBAIKI MOTOR LISTRIK SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN PRAKTIK SISWA KELAS XI TIPTL DI SMK PGRI 1 LAMONGAN* Joko. 6(1), 753–758.

Studi, P., Teknik, P., & Fptk, E. (2014). *ANALISIS TEGANGAN TEMBUS KABEL INSTALASI LISTRIK* Zikra Rufina , I Wayan Ratnata , Hasbullah. 13(1), 89–98.

Subagyo, R. (2018). *TURBIN UAP HMKB760.*

Sudirham, S. (2012). *Analisis Rangkaian Listrik.*

Suhadi. (2008). *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1.* Direktorat pembinaan sekolah menengah umum.

Suharjo, I., Studi, P., Elektro, T., Mercu, U., & Yogyakarta, B. (n.d.). *ANALISIS PENGGUNAAN JARINGAN KABEL LISTRIK.* 31–36.

Sumardjati, P. (2008). *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik.* Direktorat Pembinaan Skeolah Menengah Umum.

Syahputra, A. (2014). *Estimasi Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Saluran Transmisi Tenaga Listrik.* 17(2), 106–115.

Teknik, F., & Bengkulu, U. (n.d.). *DeJa&aa*.

Tong, W. (2009). *CHAPTER 1. 44*. <https://doi.org/10.2495/978-1-84564->

Veron, L. (2013). *Nuclear Power for Electrical Generation The*. 1–24.

Western Governors ' Association. (2018). *An Introduction to Electric Power Transmission An Introduction to Electric Power Transmission – Table of Content (TOC)*.

Wu, J. (2010). *BASIC AC ELECTRICAL GENERATORS*.

Wu, X., Shen, J., Li, Y., & Lee, K. Y. (2015). *Steam power plant configuration , design , and control*.
<https://doi.org/10.1002/wene.161>

Yuasa, T. (2010). *Earthing of Low Voltage Electrical Systems : Personnel Protection Equipment Protection. i*, 1–54.

Zhuang, Z. (2004). *PRINCIPLES OF OPERATION OF SYNCHRONOUS MACHINES The*.

(Adityawarman et al., n.d.; Ananda et al., n.d.; Bachtiar & Abstract, 2014; Blume, n.d.; C.ON, 2015; Charles & Gustaf, 2011; Circutor, 2018; Cooley, 2009; Corporation & Instruments, 2018; Cronshaw, 2005; Distribution, 2010; Eltamaly, 2018; En, 2011; Engineering, n.d.; Galli, n.d.; Generation et al., 2019; Hartmann, 2011; IAEA, 2018; Ilmiah, 2016; Indonesia et al., n.d.; Ir. Imam Santoso Ernawi, MCM, 2013; Išoraitė, 2008; Johnson, 2012; Kalmikov & Dykes, 2016; Kaplan, 2010; Kasus et al., 2008; Kharagpur, 2010; Khusus et al., 2006; Laurie & Esq, 2012; Luknanto et al., 2014; Mahmud et al., 2013; Mikko, 2019; Muhammed, 2012; Mukhammad Rif'at Za'im, 2014; Muslim, 2008; Nagpurwala, 2013; Noor & Saputera, 2014; Norby, 2013; Nugroho & Agustina, 2015; Nurdin & Nugraha, 2013; Obtained, 2013; Operation, 2011; Patil, 2010; Pembinaan & Menengah, 2008; Penduduk et al., n.d.; Plants, 2017; Prayoga & S, 2010; Ramadhan et al., 2016; Ramdhani, 2005; Reclamation, 2005; G. Report, 2018; T. Report & Solutions, 2013; Salih, 2012; Setyawan et al., n.d.; Short, 2004; ST, 2016; Sthephen, 2011; Street & Mo-, 1990; Studi et al., n.d., 2014; Subagyo, 2018; Sudirham, 2012; Suhadi, 2008; Suharjo et al., n.d.; Sumardjati, 2008; Summary, 1995; Sutrisno, 2010; Syahputra, 2014; Teknik & Bengkulu, n.d.; Tong, 2009; Veron, 2013; Western Governors ' Association, 2018; J.

Wu, 2010; X. Wu et al., 2015; Yuasa, 2010; Zhuang, 2004)

Ketua Program Studi

Tangerang Selatan, 26 April 2020

Ketua Penyusun RPS

Rini Alfatiyah, S.T., M.T
NIDN. 04.180381.02

Adi Candra, S.T., M.T.
NIDN. 04.280989.03

