

AZAS TEKNIK KIMIA 1

Penyusun:
Budhi Indrawijaya
Suwoto



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

AZAS TEKNIK KIMIA 1

Penulis:

Budhi Indrawijaya
Suwoto

ISBN: 978-623-6352-79-3

Editor:

Rifkah Akmalina
Ahmad Wibisana
Irman Ansari

Desain sampul:

Putut Said Permana

Tata Letak:

Ramdani Putra

Penerbit:

Unpam Press

Redaksi:

Jl. Surya Kecana No. 1
Pamulang – Tangerang Selatan
Telp. 021-7412566
Fax. 021 74709855
Email: unpampress@unpam.ac.id

Cetakan pertama, 27 Januari 2022

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin penerbit.

DATA PUBLIKASI UNPAM PRESS **| Lembaga Penerbit dan Publikasi Universitas Pamulang**

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

Azas Teknik Kimia 1 / Budhi Indrawijaya dan Suwoto -1STed
ISBN. 978-623-6352-79-3

1. Azas Teknik Kimia 1 I. Budhi Indrawijaya II. Suwoto
M210-27012022-01

Ketua Unpam Press: Pranoto
Koordinator Editorial: Aden
Koordinator Hak Cipta: Susanto
Koordinator Produksi: Dameis Surya Anggara
Koordinator Publikasi: Kusworo, Heri Haerudin
Koordinator Dokumentasi: Ramdani Putra, Nara Dwi Angesti
Desain Cover: Putut Said Permana

Cetakan pertama, 27 Januari 2022

Hak cipta dilindungi undang-undang.
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin penerbit.

MATA KULIAH AZAS TEKNIK KIMIA 1

IDENTITAS MATA KULIAH

Program Studi	: Teknik Kimia
Mata Kuliah/Kode	: Azas Teknik Kimia 1 / TKM0132
Sks	: 2 SKS
Prasyarat	: Kimia Dasar
Semester	: II
Deskripsi	: Mata kuliah ini membahas tentang dimensi, satuan, konversi beserta faktor konversi termasuk didalamnya konsep neraca massa, neraca massa tanpa reaksi kimia, neraca massa dengan reaksi kimia.
Capaian pembelajaran	: Setelah pembelajaran, mahasiswa mampu melakukan perhitungan neraca massa berdasarkan konsep yang telah diajarkan.
Penyusun	: 1) Budhi Indrawijaya (Ketua) 2) Suwoto (Anggota)

Ketua Program Studi

Ketua Tim Penyusun

Ir. Wiwik Indrawati, M. Pd.
NIDN. 0429036203

Budhi Indrawijaya, S.T, M.SI.
NIDN. 0426057801

KATA PENGANTAR

Setiap mahasiswa Program Studi S1 Teknik Kimia diharapkan mampu melakukan perhitungan-perhitungan dalam bidang teknik kimia sehingga diperlukan pengetahuan untuk memudahkan dalam penyusunan skripsi yang terkait didalamnya perhitungan neraca massa dan neraca energi. Oleh karena itu diberikanlah mata kuliah Azas Teknik Kimia 1 ini sebagai dasar pengetahuan dalam menghitung neraca massa.

Mata kuliah Azas Teknik Kimia 1 mempelajari tentang dimensi, satuan, konversi, faktor konversi, degree of freedom, konsep neraca massa, perhitungan neraca massa tanpa reaksi kimia, neraca massa dengan reaksi kimia. Buku Ajar ini disusun untuk memudahkan mahasiswa dalam mempelajari materi mata kuliah Azas Teknik Kimia 1.

Tangerang Selatan, 24 Januari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

AZAS TEKNIK KIMIA 1.....	i
AZAS TEKNIK KIMIA 1.....	ii
DATA PUBLIKASI UNPAM PRESS	iii
IDENTITAS MATA KULIAH	iv
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
PERTEMUAN 1	1
DIMENSI DAN SATUAN.....	1
A. CAPAIAN PEMBELAJARAN	1
B. URAIAN MATERI	1
C. LATIHAN SOAL.....	14
D. DAFTAR PUSTAKA.....	15
PERTEMUAN 2	17
KONVERSI DAN FAKTOR KONVERSI	17
A. CAPAIAN PEMBELAJARAN	17
B. URAIAN MATERI	17
C. LATIHAN SOAL.....	30
D. DAFTAR PUSTAKA.....	31
PERTEMUAN 3	32
PERSAMAAN KIMIA DAN STOIKIOMETRI.....	32
A. CAPAIAN PEMBELAJARAN	32
B. URAIAN MATERI	32
C. LATIHAN SOAL.....	41
D. DAFTAR PUSTAKA.....	43
PERTEMUAN 4	44
REAKSI KIMIA DALAM INDUSTRI.....	44
A. CAPAIAN PEMBELAJARAN	44
B. URAIAN MATERI	44
C. LATIHAN SOAL.....	51
D. DAFTAR PUSTAKA.....	56
PERTEMUAN 5	57
KESETIMBANGAN MATERI	57

A. CAPAIAN PEMBELAJARAN	57
B. URAIAN MATERI	57
C. LATIHAN SOAL.....	65
D. DAFTAR PUSTAKA.....	67
PERTEMUAN 6	69
KONSEP NERACA MASSA	69
A. CAPAIAN PEMBELAJARAN	69
B. URAIAN MATERI	69
C. LATIHAN SOAL.....	78
D. DAFTAR PUSTAKA.....	79
PERTEMUAN 7	80
PENYUSUNAN NERACA MASSA.....	81
A. CAPAIAN PEMBELAJARAN	81
B. URAIAN MATERI	81
C. LATIHAN SOAL.....	94
D. DAFTAR PUSTAKA.....	95
PERTEMUAN 8	96
NERACA MASSA TANPA REAKSI KIMIA (SINGLE UNIT)	96
A. CAPAIAN PEMBELAJARAN	96
B. URAIAN MATERI	96
C. LATIHAN SOAL.....	111
D. DAFTAR PUSTAKA.....	112
PERTEMUAN 9	114
METODE DAN ANALISIS PENGUKURAN	114
A. CAPAIAN PEMBELAJARAN	114
B. URAIAN MATERI	114
C. LATIHAN SOAL.....	125
D. DAFTAR PUSTAKA.....	126
PERTEMUAN 10	128
NERACA MASSA DENGAN TIE COMPONENT ATAU KEY COMPONENT	128
A. CAPAIAN PEMBELAJARAN	128
B. URAIAN MATERI	128
C. LATIHAN SOAL.....	135
D. DAFTAR PUSTAKA.....	135
PERTEMUAN 11	137

DEGREE OF FREEDOM (DERAJAT KEBEBASAN)	137
A. CAPAIAN PEMBELAJARAN	137
B. URAIAN MATERI	137
C. LATIHAN SOAL.....	141
D. DAFTAR PUSTAKA.....	142
PERTEMUAN 12	144
NERACA MASSA TANPA REAKSI KIMIA (MULTI UNIT)	144
A. CAPAIAN PEMBELAJARAN	144
B. URAIAN MATERI	144
C. LATIHAN SOAL.....	156
D. DAFTAR PUSTAKA.....	157
PERTEMUAN 13	159
NERACA MASSA DENGAN REAKSI KIMIA 1.....	159
A. CAPAIAN PEMBELAJARAN	159
B. URAIAN MATERI	159
C. LATIHAN SOAL.....	169
D. DAFTAR PUSTAKA.....	170
PERTEMUAN 14	172
NERACA MASSA DENGAN REAKSI KIMIA 2.....	172
A. CAPAIAN PEMBELAJARAN	172
B. URAIAN MATERI	172
C. LATIHAN SOAL.....	182
D. DAFTAR PUSTAKA.....	183
GLOSARIUM.....	184
DAFTAR PUSTAKA.....	185
RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER	186

PERTEMUAN 1

DIMENSI DAN SATUAN

A. CAPAIAN PEMBELAJARAN

Setelah selesai mengikuti materi pada pertemuan ini, mahasiswa mampu menjumlahkan, mengurangi, mengalikan dan membagi satuan.

B. URAIAN MATERI

Penggunaan satuan dan dimensi bersama dengan angka-angka dalam suatu perhitungan tentu saja sangat dibutuhkan. Penggunaan dimensi yang tepat dalam memecahkan masalah tidak hanya logis dari sudut pandang logika tetapi juga akan membantu menuntun kita di sepanjang analisis yang cocok dengan apa yang dimiliki melalui apa yang harus dikerjakan menuju pemecahan akhir. Manfaat yang bisa didapatkan dengan menambahkan satuan pada semua angka yang berdimensi, yaitu :

1. Menghilangkan kemungkinan terbalik yang tidak disengaja dalam bagian-bagian perhitungan.
2. Meminimalkan waktu penyelesaian soal dan perhitungan tengah (intermediate).
3. Melakukan pendekatan logis terhadap soal dan tidak perlu menghafal rumus melainkan memahami apa yang dikerjakan.
4. Dapat memberikan penjelasan yang dapat dan mudah dipahami terhadap arti fisis dari nilai-nilai yang digunakan.

Akan tetapi yang menjadi permasalahan adalah dalam menjumlahkan, mengurangkan, mengalikan atau membagi nilai atau angka tertentu dengan dimensi yang berbeda tentu tidak bisa dilakukan. Sedangkan perhitungan walaupun dengan dimensi yang sama juga tidak bisa dilakukan jika satuannya berbeda sehingga diperlukan upaya lanjutan untuk menyamakan satuannya terlebih dahulu sebelum di hitung. Hal inilah yang disebut dengan konversi satuan. Konversi satuan dapat diartikan atau didefinisikan merubah nilai satuan tertentu ke nilai satuan lainnya. Secara umum tidak merubah nilai dari suatu besaran tertentu. Faktor konversi dapat digunakan untuk merubah satuan seperti ini.

Konversi satuan ini menjadi penting dilakukan untuk mendapatkan hasil yang akurat dan benar.

Permasalahan Perhitungan:

Selesaikan persoalan matematika di bawah ini :

1. 100 lb + 750 cm =
2. 150 feet + 11 meter =
3. 200 meter - 12 sekon =
4. 2,7 joule - 7 meter =
5. 13 lb x 25 KW =
6. 75 liter - 2500 kg =
7. 3 atm - 450 mil =
8. 3 tenaga kuda + 250 watt =
9. 500 K / 123 psi =
10. 55 ft³ + 320 kJ =

Pengertian dari satuan dan dimensi diperlukan untuk menyelesaikan permasalahan di atas.

Satuan merupakan sesuatu yang digunakan untuk menyatakan ukuran besaran atau bisa juga diartikan cara untuk menyatakan dimensi. Contoh: centimeter, kaki, mil (panjang) ; kilogram, pon. Sementara **Dimensi** adalah satuan yang dinyatakan secara umum dalam besaran primer atau bisa diartikan juga konsep dasar kita mengenai suatu pengukuran. Contoh : Waktu (T), Massa (M), Panjang (L).

Ada 4 sistem satuan yang diketahui, yaitu :

1. Sistem Dinamik Mutlak (*Absolute dynamic system*)
: (centimeter, gram, sekon)
2. *English absolute system*
: (feet, pound, second)
3. SI (Sistem Internasional)
: (meter, kilogram, sekon)
4. Sistem Gravitasi (*Gravitational system*).
 - a. *British Engineering* (BE)
: feet, second, slug
 - b. *American Engineering* (AE)
: feet, second, lb_m (massa) , lb_f (gaya)

Pada perhitungan untuk operasi penjumlahan dan pengurangan, **dimensi** yang digunakan **harus sama** untuk nilai-nilai yang digunakan, sedangkan untuk perkalian dan operasi pembagian tidak diperlukan syarat khusus untuk penyelesaian perhitungannya.

Contoh soal :

Hitunglah konversi satuan berikut ini :

1. 450 menit + 24 centimeter =
2. 200 watt + 3 tenaga kuda =
3. 35 Joule + 7 Btu =

Jawaban :

Untuk menjawab soal nomor (1) kita dapat memperhatikan bahwa dimensi dan satuan yang digunakan tidak sama, 450 menit memiliki dimensi waktu sedangkan 24 centimeter memiliki dimensi panjang, maka perhitungan tersebut tidak bisa dihitung karena dimensinya yang berbeda. Sementara pada soal nomor (2) dan nomor (3) satuan yang digunakan berbeda namun dimensi keduanya sama, pada soal nomor (2) dimensinya adalah daya sedangkan nomor (3) dua-duanya memiliki dimensi yang sama yaitu energi, oleh karena itu bisa dihitung dengan cara merubah satuan yang ada menjadi satuan yang serupa sehingga dapat dikonversikan, apakah itu dalam satuan watt atau tenaga kuda (hp) untuk soal nomor (2) dan joule atau Btu untuk soal nomor (3).

Jawaban soal nomor (2) :

Karena 1 hp = 745,7 watt, maka :

$$200 / (745,7) \text{ hp} + 3 \text{ hp} = 3,27 \text{ hp}$$

Perubahan yang terjadi dari contoh soal nomor 2 yaitu perubahan satuan dari watt ke hp, perubahan satuan inilah yang biasa disebut dengan istilah konversi. Jika satuan yang digunakan berbeda antara yang satu dengan yang lainnya maka konversi sering dilakukan untuk menyelesaikan persoalan tersebut.

Jawaban soal nomor (3) :

Jika diketahui 1 joule setara dengan $9,484 \times 10^{-4}$ Btu, maka :

$$35 (9,484 \times 10^{-4}) \text{ Btu} + 7 \text{ Btu} = 7,033 \text{ Btu}$$

Perubahan yang terjadi dari contoh soal nomor 3 yaitu merubah satuan dari Joule

ke Btu, perubahan satuan ini biasa dinamakan dengan istilah konversi. Jika satuan yang digunakan berbeda antara yang satu dengan yang lainnya maka konversi sering dilakukan untuk menyelesaikan persoalan tersebut.

Tabel 1.1. Satuan Sistem SI

Kuantitas Fisis	Nama Satuan	Simbol Satuan	Definisi Satuan
<i>Satuan SI Dasar</i>			
Panjang	Meter	m	
Massa	Kilogram	kg	
Waktu	Sekon	s	
Suhu	Kelvin	K	
Jumlah Senyawa	Mol	mol	
<i>Satuan Turunan SI</i>			
Energi	Joule	J	$\text{Kg.m}^2.\text{s}^{-2}$
Gaya	Newton	N	Kg.m.s^{-2} (J.m^{-1})
Daya	Watt	W	$\text{Kg.m}^2.\text{s}^{-3}$ (J.s^{-1})
Berat Jenis	Kilogram per meter kubik		Kg.m^{-3}
Kecepatan	Meter per sekon		m.s^{-1}

Percepatan	Meter per sekon kuadrat	m.s^{-2}
Tekanan	Newton per meter persegi, pascal	N.m^{-2} , Pa
Kapasitas Panas	Joule per (kilogram-kelvin)	$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
<i>Satuan Alternatif</i>		
Waktu	Menit, jam, hari, min, h, d, y tahun	
Suhu	Derajat Celcius	$^{\circ}\text{C}$
Volume	Liter (dm^3)	L
Massa	Tone, ton, gram	ton, g

Tabel 1.2. Satuan Sistem *American Engineering*

Kuantitas Fisis	Nama Satuan
<i>Satuan Dasar</i>	
Panjang	Kaki
Massa	lb_m (massa)
Gaya	lb_f (gaya)
Waktu	sekon, jam
Suhu	derajat Rankine

<i>Satuan Turunan</i>	
Energi	Btu
Daya	tenaga kuda (hp)
Berat jenis	lb _m (massa) per kaki kubik
Kecepatan	kaki per sekon
Percepatan	kaki per sekon kuadrat
Tekanan	lb _f (gaya) per inci persegi
Kapasitas panas	Btu per lb _m (massa) per derajat Fahrenheit

Tabel 1.3. Awalan SI

Faktor	Awalan	Simbol
10^9	Giga	G
10^6	Mega	M
10^3	Kilo	k
10^2	Hekto	h
10^1	Deka	Da
10^{-1}	Deci	d
10^{-2}	Centi	c
10^{-3}	Mili	m

Faktor	Awalan	Simbol
10^{-6}	Mikro	μ
10^{-9}	Nano	n
10^9		

Contoh Soal 1 :

Buktikan bahwa Bilangan Reynold atau *Reynold Number* tidak memiliki satuan !

Jawab :

Rumus Bilangan Reynold :

$$\text{Bilangan Reynold} = \frac{D v \rho}{\mu} = N_{Re}$$

dimana :

D = diameter (m)

v = kecepatan (m/s)

ρ = densitas/berat jenis (kg/m^3)

μ = viskositas (kg/m.s)

$$\text{Bilangan Reynold} = \frac{(m) \left(\frac{m}{s}\right) \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{\frac{kg}{(m)(s)}} = N_{Re}$$

$$N_{Re} = \frac{(m) \left(\frac{m}{s}\right) \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{\frac{kg}{(m)(s)}}$$

$$= \frac{\frac{m^2}{m^3} \times \frac{kg}{s}}{\frac{kg}{(m)(s)}}$$

$$N_{Re} = \frac{(m^2) (m)(kg)(s)}{(kg)(s)(m^3)}$$

$$N_{Re} = \frac{\cancel{(m^3)}\cancel{(kg)}\cancel{(s)}}{\cancel{(kg)}\cancel{(s)}\cancel{(m^3)}}$$

$N_{Re} = \text{dimensionless}$ (tidak memiliki satuan) Terbukti !!

Contoh Soal 2 :

Ubahlah 500 in³/hari ke dalam satuan cm³/menit !

Jawab :

Diketahui :

1 in = 2,54 cm

1 hari = 24 jam

1 jam = 60 menit

Sehingga, untuk merubah satuan :

$$\begin{aligned} & \frac{500 \text{ in}^3}{\text{hari}} \text{ ke } \frac{\text{cm}^3}{\text{menit}} ? \\ &= \frac{500 \cancel{\text{in}^3}}{\cancel{\text{hari}}} \times \frac{(2,54)^3 \text{ cm}^3}{1^3 \cancel{\text{in}^3}} \times \frac{1 \cancel{\text{hari}}}{24 \cancel{\text{jam}}} \times \frac{1 \cancel{\text{jam}}}{60 \text{ menit}} \\ &= \frac{(500) \times (2,54)^3 (1) \times (1) \text{ cm}^3}{(1) \times (1)^3 \times (24) \times (60) \text{ menit}} \\ &= \frac{(500) \times (16,387) (1) \times (1) \text{ cm}^3}{(1) \times (1) \times (24) \times (60) \text{ menit}} \\ &= \frac{8193,5 \text{ cm}^3}{1440 \text{ menit}} \\ &= 5,69 \frac{\text{cm}^3}{\text{menit}} \end{aligned}$$

Contoh Soal 3 :

Jika sebuah meteor bergerak/melaju dan memasuki bumi dengan kecepatan 44 kali kecepatan suara (diasumsikan kecepatan suara adalah 1200 feet/second). Berapakah kecepatan meteor tersebut dalam satuan km/jam (kph)?

Jawab :

Diketahui :

$$1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm}$$

$$1 \text{ ft} = 12 \text{ in}$$

$$1 \text{ km} = 3.280,84 \text{ ft}$$

$$1 \text{ jam} = 60 \text{ menit}$$

$$1 \text{ menit} = 60 \text{ detik}$$

Kecepatan suara 1.200 ft/s

Sehingga, untuk merubah satuan :

$$\frac{ft}{detik} \text{ ke } \frac{km}{jam} ?$$

$$= 44 \times \frac{1.200 \cancel{ft}}{1 \cancel{detik}} \times \frac{1 \cancel{km}}{3.280,84 \cancel{ft}} \times \frac{60 \cancel{menit}}{1 \cancel{jam}} \times \frac{60 \cancel{detik}}{1 \cancel{menit}}$$

$$= \frac{(44) \times (1.200) \times (1) \times (60) \times (60) \text{ km}}{(1) \times (3.280,84) \times (1) \times (1) \text{ jam}}$$

$$= \frac{190.080.000 \text{ km}}{3.280,84 \text{ jam}}$$

$$= 57.936,38 \frac{km}{jam}$$

Contoh Soal 4 :

Sebuah wadah berisi 5 lb CaCO_3 (Berat molekul = 100). Tentukan :

- Lb mol CaCO_3 yang terdapat didalamnya.
- Gram mol CaCO_3 yang terdapat didalamnya.

Jawab :

$$\text{a. } \frac{5,0 \text{ lb } \text{CaCO}_3}{100 \text{ lb } \text{CaCO}_3} \times \frac{1 \text{ lb mol } \text{CaCO}_3}{100 \text{ lb } \text{CaCO}_3} = 0,05 \text{ lb mol } \text{CaCO}_3$$

$$\text{b. } \frac{5,0 \text{ lb } \text{CaCO}_3}{100 \text{ lb } \text{CaCO}_3} \times \frac{1 \text{ lb mol } \text{CaCO}_3}{100 \text{ lb } \text{CaCO}_3} \times \frac{454 \text{ g mol}}{1 \text{ lb mol}} = 22,7 \text{ g mol } \text{CaCO}_3$$

atau

$$\frac{5,0 \text{ lb } \text{CaCO}_3}{100 \text{ g } \text{CaCO}_3} \times \frac{1 \text{ g mol } \text{CaCO}_3}{100 \text{ g } \text{CaCO}_3} \times \frac{454 \text{ g}}{1 \text{ lb}} = 22,7 \text{ g mol } \text{CaCO}_3$$

Contoh Soal 5 :

Berapa lb CaCO_3 yang terdapat dalam 10 g mol CaCO_3 .

Jawab :

Basis : 10 g mol CaCO_3

$$\frac{10 \text{ g mol } \text{CaCO}_3}{454 \text{ g mol}} \times \frac{1 \text{ lb mol}}{454 \text{ g mol}} \times \frac{100 \text{ lb } \text{CaCO}_3}{1 \text{ lb mol } \text{CaCO}_3} = 2,2 \text{ lb } \text{CaCO}_3$$

Contoh Soal 6 :

Ubahlah 39,8 kg NaCl per 100 kg air menjadi kilogram mol NaCl per kilogram mol air.

Jawab :

$$\begin{aligned} \frac{39,8 \text{ kg NaCl}}{100 \text{ kg } \text{H}_2\text{O}} \times \frac{1 \text{ kg } \text{H}_2\text{O}}{18 \text{ kg mol } \text{H}_2\text{O}} \times \frac{58,5 \text{ kg mol NaCl}}{1 \text{ kg NaCl}} \\ = 1,29 \frac{\text{kg mol NaCl}}{\text{kg mol } \text{H}_2\text{O}} \end{aligned}$$

Contoh Soal 7 :

Tiga lb mol CH_4 per menit dimasukkan ke dalam sebuah alat penukar panas. Berapakah masukan tersebut dalam kilogram per sekon ?

Jawab :

$$\begin{aligned} \frac{3 \text{ lb mol } \text{CH}_4}{\text{menit}} &\times \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ sekon}} \times \frac{0,454 \text{ kg } \text{CH}_4}{1 \text{ lb mol } \text{CH}_4} \\ &= 0,0227 \frac{\text{kg } \text{CH}_4}{\text{sekon}} \end{aligned}$$

Contoh Soal 8 :

Air mengalir melalui pipa berdiameter 2 inci dengan kecepatan 3 ft/s. Tentukan :

- Berapa energi kinetik air tersebut dalam $(\text{ft})(\text{lb}_f)/\text{lb}$.
- Berapa laju alirnya dalam galon/menit.

Jawab :

- Rumus Energi Kinetik :

$$EK = \frac{1}{2} m V^2$$

Diketahui :

$$V = 3 \text{ ft/s}$$

$$D = 2 \text{ inci}$$

$$g_c = 32,174 \frac{(\text{ft})(\text{lb}_m)}{(\text{s}^2)(\text{lb}_f)}$$

Asumsi :

$$\text{Berat air yang dialirkan (m)} = 100 \text{ lb}_m$$

$$EK = \frac{1}{2} \times 100 \text{ lb}_m \times \left(3 \frac{\text{ft}}{\text{s}}\right)^2$$

$$EK = 450 \frac{(\text{lb}_m)(\text{ft}^2)}{(\text{s}^2)}$$

Karena yang diinginkan adalah satuan energi kinetik dalam $(\text{ft})(\text{lb}_f)/\text{lb}$, maka untuk mendapatkan hasil tersebut nilai energi kinetik (EK) yang dihasilkan dibagi dengan nilai g_c .

$$= \frac{450 \frac{(\text{lb}_m)(\text{ft}^2)}{(\text{s}^2)}}{32,174 \frac{(\text{ft})(\text{lb}_m)}{(\text{s}^2)(\text{lb}_f)}} \times \frac{1}{1}$$

$$= 13,99 \frac{(lb_f)(ft)}{(lb_m)}$$

b. Laju alir dalam galon/menit :

$$\text{Laju alir (Q)} = A \times V$$

Dimana :

A= Luas penampang pipa (m^2)

V= Kecepatan (m/s)

Sehingga, perlu dicari dulu nilai A.

$$A = \pi r^2$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai } r &= \frac{1}{2} D \\ &= \frac{1}{2} \times 2 \text{ inci} \\ &= 1 \text{ inci} \\ &= 2,54 \text{ cm} \\ &= 0,0254 \text{ m} \end{aligned}$$

$$A = \pi r^2$$

$$A = 3,14 \times (0,0254 \text{ m})^2$$

$$A = 0,00202 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$$

$$Q = A \times V$$

$$Q = 0,00202 \text{ m}^2 \times 3 \frac{\text{ft}}{\text{s}} \times \frac{0,3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} = 0,00185 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$= 0,00185 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{264,172 \text{ galon}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ menit}}$$

$$= 29,32 \frac{\text{galon}}{\text{menit}}$$

Contoh Soal 9 :

Kecepatan sebuah pesawat Boeing dikurangi dari 545 mil/jam menjadi 480 mil/jam untuk menghemat bahan bakar. Sehingga, mengurangi konsumsi dari

2300 galon/jam menjadi 1980 galon/jam. Berapa galon yang dihemat dalam perjalanan sejauh 1500 mil ?

Jawab :

Jumlah kecepatan pesawat yang dikurangi :

$$= 545 \frac{\text{mil}}{\text{jam}} - 480 \frac{\text{mil}}{\text{jam}} = 65 \frac{\text{mil}}{\text{jam}}$$

Jumlah bahan bakar yang dapat dikuangi :

$$= 2300 \frac{\text{galon}}{\text{jam}} - 1980 \frac{\text{galon}}{\text{jam}} = 320 \frac{\text{galon}}{\text{jam}}$$

Jika perjalanan yang dilakukan sejauh 1500 mil, maka waktu yang diperlukan :

$$= \frac{1500 \text{ mil}}{480 \frac{\text{mil}}{\text{jam}}} \times \frac{1}{1} = 3,125 \text{ jam}$$

Sehingga, jumlah bahan bakar yang dapat dihemat :

$$= 3,125 \text{ jam} \times 320 \frac{\text{galon}}{\text{jam}}$$

$$= 1.000 \text{ galon}$$

Contoh Soal 10 :

Ubahlah :

- 0,005 g/(menit)(in³) menjadi lb_m/(jam)(ft³)
- 5 L/s menjadi ft³/hari

Jawab :

a. Diketahui :

$$1 \text{ lb}_m = 453,6 \text{ gr}$$

$$1 \text{ jam} = 60 \text{ menit}$$

$$1 \text{ in} = 0,083 \text{ ft}$$

Sehingga :

$$= 0,005 \frac{\text{g}}{(\text{menit})(\text{in}^3)} \times \frac{1 \text{ lb}_m}{453,6 \text{ gr}} \times \frac{60 \text{ menit}}{1 \text{ jam}} \times \frac{1^3 \text{ in}^3}{0,083^3 \text{ ft}^3}$$

$$= 524,47 \frac{lb_m}{(jam)(ft^3)}$$

b. Diketahui :

$$1 L = 0,035 ft^3$$

$$1 \text{ hari} = 86.400 \text{ s}$$

Sehingga :

$$= 5 \frac{L}{s} \times \frac{0,035 ft^3}{1 L} \times \frac{86.400 s}{1 \text{ hari}}$$

$$= 15.120 \frac{ft^3}{\text{hari}}$$

C. LATIHAN SOAL

1. Jika sebuah kereta api memiliki kecepatan 50 m/s dan menempuh perjalanan dari Surabaya ke Semarang sementara sebuah helikopter memiliki kecepatan 215% lebih cepat dari kereta api, tentukan kecepatan helikopter dalam satuan mil per jamnya ?
2. Permeabilitas K dari aliran yang melalui sebuah lapisan padat partikel yang berpori-pori didefinisikan sebagai :

$$K = \frac{g_c D_p^2}{32} \left(\frac{Re}{f} \right)$$

Sebagai dengan D_p adalah diameter partikel, Re tidak berdimensi (Bilangan Reynolds), f tidak berdimensi (faktor friksi). Apa satuan K dalam *Sistem American Engineering* dan SI ?

3. Dalam satuan system SI, berat dari seorang laki-laki bermassa 180 lb berdiri di atas permukaan bumi kira-kira :
 - a. 801 N
 - b. 81,7 kg
 - c. Bukan keduanya
 - d. Keduanya
4. Sebuah orifice meter digunakan untuk mengukur kecepatan alir dalam pipa. Kecepatan alir dihubungkan dengan penurunan tekanan dengan sebuah

persamaan berbentuk :

$$u = c \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$$

dimana :

u = kecepatan fluida

Δp = penurunan tekanan

ρ = densitas/berat jenis fluida yang mengalir

c = konstanta perbandingan (*constant of proportionality*)

Apakah satuan untuk c dalam sistem SI ?

5. Ubahlah 17,5 gal/jam ke dalam :

a. m³/s

b. ft³/hari

6. Ubahlah 65,9 lb/in² ke dalam :

a. N/m²

b. gr/cm²

D. DAFTAR PUSTAKA

American National Metric Council. 1977. *Metric Guide for Educational Materials*. Washington DC: ANMC.

Bhatt, B.I., dan S.M. Vora. 1976. *Stoichiometry*, edisi kedua. New Delhi: Tata McGraw-Hill.

Clausen, C.A., dan G. Mattson. 1979. *Principles of Industrial Chemistry*. New York: Wiley.

Eva, Bayu, Sisil. 2003. *Diktat Neraca Massa dan Energi*.

Felder, R.M., dan R.W. Rousseau. 1986. *Elementary Principles of Chemical Processes*. Edisi kedua, New York: Wiley.

Himmelblau, D. 1996. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*, 6th edition, Prentice-Hall.

Horvath, A.D. 1986. Conversion Tables of Units in Science and Engineering. New York: Elsevier.

Massey, B.S. 1986. Measures in Science and Engineering. New York: Halsted Press.

PERTEMUAN 2

KONVERSI DAN FAKTOR KONVERSI

A. CAPAIAN PEMBELAJARAN

Setelah selesai mengikuti materi pada pertemuan ini, mahasiswa mampu mengubah satuan-satuan yang ada dan fungsi persamaan ke dalam dimensi lain seperti panjang, massa dan gaya serta yang lainnya dan mendefinisikan faktor konversi g_c dan menggunakan faktor tersebut dalam penyelesaian perhitungan.

B. URAIAN MATERI

Bentuk khusus dalam perhitungan umumnya sering menggunakan satuan tertentu. Biasanya berisi satuan-satuan dan angka-angka. Konsepnya adalah dengan menggunakan operasi perhitungan secara matematis baik itu perkalian, penjumlahan, pengurangan maupun pembagian dengan menggunakan semua angka yang terlibat termasuk faktor konversi hingga mendapatkan penyelesaiannya serta satuan yang berhubungan dengan perhitungannya. Faktor konversinya adalah pernyataan nilai yang ekuivalen dari unit-unit yang berbeda dalam sistem yang sama atau di antara sistem-sistem satuan. Biasanya faktor konversi disajikan dalam bentuk tabel konversi. Penyelesaian perhitungan yang melibatkan reaksi kimia umumnya banyak sekali ditemukan besaran-besaran kuantitatif dengan berbagai terminologi yang memiliki pengertian tertentu. Jenis-jenis besaran yang dimaksud adalah :

1. Mol
 - a. Pengertian mol dapat didefinisikan hasil pembagian antara massa suatu zat dengan massa molekul relatifnya (M_r).
 - b. Mol merupakan hasil perkalian konsentrasi suatu zat (molaritas) dengan volume larutannya (V).
2. Berat Jenis / Densitas (ρ)

Berat jenis atau densitas merupakan perbandingan antara massa suatu zat persatuan volum. Densitas memiliki nilai numerik sekaligus satuan. Untuk menentukan densitas suatu zat, anda harus mengetahui volume dan massanya. Densitas zat cair dan padat tidak berubah secara signifikan pada

kondisi biasa terhadap tekanan, tetapi berubah terhadap suhu.

3. Volume Spesifik (V_s)

Volume spesifik merupakan kebalikan dari berat jenis atau densitas, yaitu volume persatuan massa.

4. Specific Gravity (s.g)

Specific gravity merupakan perbandingan kerapatan suatu zat dengan zat pembanding (standar) biasanya zat standar yang digunakan adalah air. *Specific gravity* tidak mempunyai dimensi. Air yang digunakan sebagai pembanding (standar) yaitu pada suhu 4°C. *Specific gravity* zat cair atau padat hanya bergantung pada temperatur dan tidak tergantung kepada tekanan. Oleh sebab itu *Specific gravity* perlu dinyatakan dengan menyebutkan temperaturnya.

5. Komposisi

Kadar suatu zat tertentu yang terdapat dalam campurannya. Komposisi bisa dinyatakan dalam bentuk :

a. Persen berat atau fraksi massa :

$$\text{Fraksi massa zat X} = W_X / W_{\text{Total}}$$

$$\text{Persen (\%)} \text{ berat zat X} = (W_X / W_{\text{Total}}) \times 100\%$$

b. Persen volum atau fraksi volum :

$$\text{Fraksi volum zat Y} = V_Y / V_{\text{Total}}$$

$$\text{Persen (\%)} \text{ volum zat Y} = (V_Y / V_{\text{Total}}) \times 100\%$$

c. Persen mol atau fraksi mol :

$$\text{Fraksi mol zat Z} = \text{jumlah mol Z} / \text{mol total}$$

$$\text{Persen (\%)} \text{ mol zat Z} = (\text{jumlah mol Z} / \text{mol total campuran}) \times 100\%$$

6. Konsentrasi

Konsentrasi didefinisikan sebagai jumlah zat terlarut dalam pelarutnya. Konsentrasi bisa dinyatakan dengan :

a. Berat dibagi volum = kilogram / m³, gram / mililiter, dan lain-lain.

b. Mol / volum = milimol / mililiter, lbmol / ft³.

c. *Parts per million* (ppm) atau *Parts per billion* (ppb)

Dalam gas ppm atau ppb dinyatakan dalam mol.

Contohnya :

- 1) 170 ppm O₂ dalam udara berarti terdapat 170 mol O₂ dalam 10⁶ mol udara.
- 2) 35 ppm nikel dalam air berarti terdapat 35 gram nikel setiap 10⁶ gram air.
 - a) Molaritas : Mol / liter larutan.
 - b) Normalitas : Gram ekivalen / liter larutan.
 - c) Molalitas : mol / 1000 gram pelarut.

7. Temperatur (Suhu)

Temperatur ditetapkan dari titik tripel air, yaitu pada kondisi 0°C atau 273,15 K. Temperatur yang biasa digunakan dalam perhitungan memiliki 4 skala suhu, yaitu :

Tabel 2.1. Tabel titik tripel air pada berbagai skala suhu

Skala	Suhu Nol Mutlak	Titik Beku Normal Air	Titik Didih Normal Air
°C	-273,15°C	0°C	100°C
K	0 K	273,15 K	373,15 K
°F	-459,67°F	32°F	212°F
°R	0°R	492°R	672°R

8. Tekanan

Definisi tekanan adalah gaya normal persatuan luas bidang yang tegak lurus gaya tersebut.

$$P = \text{gaya normal} / \text{luas bidang}$$

$$= F / A$$

Satuannya dapat berupa satuan pascal, psi, atm, bar, torr atau pun satuan tekanan lainnya.

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ Psi} = 1 \text{ lb}_f / \text{in}^2$$

Tekanan juga dapat dinyatakan dengan :

$$P = \rho \times g \times h \text{ (Tinggi ekuivalen h suatu kolom fluida)}$$

P : Tekanan (Pressure)

F : Gaya (Force)

A : Luas Bidang (Area)

ρ : Berat Jenis (Density)

h : Tinggi (Height)

g : Gravitasi (Gravity)

Faktor Konversi (g_c)

Konsep dari faktor konversi (*Conversion Factor*) yaitu dengan mengalikan semua angka dan satuan yang terkait dengan rasio tanpa dimensi hingga mendapatkan jawaban yang diinginkan serta satuan yang terkait dengannya. Faktor konversinya merupakan pernyataan nilai yang ekuivalen dari unit-unit yang berbeda dalam sistem yang sama atau di antara sistem-sistem satuan.

Nilai faktor konversi (g_c)

$$g_c = 32,174 \frac{ft \cdot lb_m}{s^2 \cdot lb_f}$$

Contoh penggunaan g_c :

Contoh Soal 1 :

Berapa energi potensial dalam (ft)(lbf) dari 100 lb drum yang tergantung pada ketinggian 10 ft di atas permukaan bumi dengan referensinya permukaan bumi ?

Jawab :

$$\text{Energi Potensial} = P = m \cdot g \cdot h$$

Asumsikan bahwa 100 lb berarti 100 lb massa; g = percepatan gravitasi 32,2 ft/s²

$$K = \frac{100 \text{ lb}_m}{1} \cdot \frac{32,2 \text{ ft}}{s^2} \cdot \frac{10 \text{ ft}}{1} \cdot \frac{1}{32,174 \frac{(ft)(lb_m)}{(s^2)(lb_f)}}$$

Perhatikan bahwa rasio dari g/g_c atau $32,2 \text{ ft/s}^2$ dibagi dengan $32,174 \text{ (ft/s}^2\text{)(lb}_m\text{/lb}_f\text{)}$ nilai numeriknya hampir sama. Banyak orang akan menyelesaikan masalah ini dengan mengatakan bahwa $100 \text{ lb} \times 10 \text{ ft} = 1000 \text{ (ft)(lb)}$ tanpa menyadari bahwa sebenarnya mereka menghilangkan angka dalam rasio g/g_c .

Contoh soal 1 :

Tentukan densitas benzene dalam satuan lb_m/ft^3 jika diketahui *specific gravity* benzene pada temperature 0°C adalah 0,899 dan tentukan volume dalam satuan ft^3 jika diketahui massa benzene 77 kilogram ?

Jawab :

$$\begin{aligned} \text{a. } \rho_{\text{C}_6\text{H}_6} &= Sp_{\text{gravity}} \times \rho_{\text{air } 0^\circ\text{C}} \\ &= 0,899 \times 62,42 \text{ lb}_m/\text{ft}^3 \\ &= 56,116 \text{ lb}_m/\text{ft}^3 \end{aligned}$$

$$\text{b. } V = 77 \text{ kilogram} \times 1 \text{ lb}_m / 0,454 \text{ kg} \times 1 \text{ ft}^3 / 845,7 \text{ lb}_m = 0,20 \text{ ft}^3$$

Contoh soal 2 :

Tentukan mol sukrosa yang terkandung dalam 50 kilogram gula, diketahui komposisi sukrosa adalah 19 % pada gula?

Jawab :

$$\text{Massa sukrosa} = 19 \% \times 50 \text{ kilogram} = 9,5 \text{ kilogram}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol sukrosa} &= \text{Massa sukrosa} / \text{BM sukrosa} \\ &= 9500 \text{ gr} / 342,30 \text{ gr/mol} \\ &= 27,753 \text{ mol} \end{aligned}$$

Contoh soal 3 :

Pada suatu pabrik sabun, larutan NaOH dialirkan pada kecepatan 170 L/mnt , Tentukanlah jumlah mol NaOH setiap detiknya, dan data konsentrasi NaOH yaitu $0,15 \text{ Molar}$?

Jawab :

$$\text{Larutan NaOH yang mengalir tiap detik} = 170 \text{ L/mnt} \times 1 \text{ mnt}/60 \text{ detik}$$

$$= 2,83 \text{ L/detik}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol NaOH tiap detik} &= 2,83 \text{ L/detik} \times 0,15 \text{ mol/L} \\ &= 0,42 \text{ mol/detik}\end{aligned}$$

Contoh soal 4 :

Dalam proses produksi suatu obat yang memiliki berat molekul 192, aliran keluar dari reaktor mengalir pada laju 10,3 L/menit. Konsentrasi obat adalah 41,2% (dalam air), dan berat jenis dari larutan tersebut adalah 1,025. Hitunglah konsentrasi obat tersebut (dalam kg/L) dalam aliran keluar dan kecepatan alirnya dalam kgmol/menit !

Jawab :

Untuk bagian pertama dari soal, kita ingin merubah fraksi massa 0,412 menjadi massa obat per liter. Ambil 1000 kg larutan sebagai basis agar mudah.



Bagaimana kita memperoleh massa per volume (densitas) dari data yang diberikan, yaitu dalam massa per massa ? Gunakan berat jenis larutan.

$$\begin{aligned}\text{densitas larutan} &= \frac{1,025 \frac{\text{gr larutan}}{\text{cm}^3}}{1,000 \frac{\text{gr H}_2\text{O}}{\text{cm}^3}} \times 1,000 \frac{\text{gr H}_2\text{O}}{\text{cm}^3} \\ &= 1,025 \frac{\text{gr larutan}}{\text{cm}^3}\end{aligned}$$

Selanjutnya,

$$\frac{0,412 \text{ kg obat}}{1.000 \text{ kg larutan}} \times \frac{1,025 \text{ gr larutan}}{1 \text{ cm}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{10^3 \text{ gr}} \times \frac{10^3 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}}$$

$$= 0,422 \frac{\text{kg obat}}{\text{L larutan}}$$

Untuk memperoleh laju alir, kita mengambil basis yang berbeda, yaitu 1 menit.

Basis : 1 menit $\equiv$ 10,3 L larutan

$$\begin{aligned} & \frac{10,3 \text{ L larutan}}{1 \text{ menit}} \times \frac{0,422 \text{ kg obat}}{1 \text{ L larutan}} \times \frac{1 \text{ kgmol obat}}{192 \text{ kg obat}} \\ &= 0,0226 \frac{\text{kgmol}}{\text{menit}} \end{aligned}$$

Contoh soal 5 :

Sebuah pembersih pipa saluran berskala industri berisi 15 kg air dan 15 kg NaOH. Berapakah fraksi massa (berat) dan fraksi mol setiap komponen dalam wadah pembersih pipa saluran tersebut ?

Jawab :

Komponen	Massa (kg)	Fraksi berat	BM	Mol (kgmol)	Fraksi mol
H ₂ O	15	$\frac{15}{30} = 0,5$	18	0,833	$\frac{0,833}{1,208} = 0,69$
NaOH	15	$\frac{15}{30} = 0,5$	40	0,375	$\frac{0,375}{1,208} = 0,31$
Total	30	1,00		1,208	1,00

Satuan kgmol dihitung sebagai berikut :

$$\frac{15 \text{ kg H}_2\text{O}}{18 \text{ kg H}_2\text{O}} \times \frac{1 \text{ kgmol H}_2\text{O}}{18 \text{ kg H}_2\text{O}} = 0,833 \text{ kgmol H}_2\text{O}$$

$$\frac{15 \text{ kg NaOH}}{40 \text{ kg NaOH}} \times \frac{1 \text{ kgmol NaOH}}{40 \text{ kg NaOH}} = 0,375 \text{ kgmol NaOH}$$

Contoh soal 6 :

Berdasarkan OSHA yang sekarang, Batasan 8 jam untuk HCN dalam udara adalah 10 ppm. Dosis HCN dalam udara yang mematikan (dari Merck Index) adalah 300 mg/kg udara pada suhu kamar. Berapa mg HCN/kg air 10 ppm ? Berapa fraksi dari dosis mematikan, dosis sebesar 10 ppm ?

Jawab :

Basis : 1 kg mol udara / campuran HCN

$$10 \text{ ppm} = \frac{10 \text{ g mol}}{(10^6 \text{ udara} + \text{HCN}) \text{ g mol}}$$

$$= \frac{10 \text{ g mol HCN}}{10^6 \text{ g mol udara}}$$

Karena jumlah HCN sangat kecil, maka :

$$= \frac{10 \text{ g mol HCN}}{10^6 \text{ g mol udara}} \times \frac{27,03 \text{ g HCN}}{1 \text{ g mol HCN}} \times \frac{1 \text{ g mol udara}}{29 \text{ g udara}} \times \frac{1000 \text{ mg HCN}}{1 \text{ g HCN}}$$

$$\text{a) } = \frac{10 \text{ g mol HCN}}{10^6 \text{ g mol udara}} \times \frac{27,03 \text{ g HCN}}{1 \text{ g mol HCN}} \times \frac{1 \text{ g mol udara}}{29 \text{ g udara}} \times \frac{1000 \text{ mg HCN}}{1 \text{ g HCN}} \times \frac{1000 \text{ g udara}}{1 \text{ kg udara}} =$$

$$9,32 \frac{\text{mg HCN}}{\text{kg udara}}$$

$$\text{b) } \frac{9,32}{300} = 0,031$$

Contoh soal 7 :

Campuran yang dicairkan dari n-butana, n-pentana dan n-heksana dalam persen sebagai berikut :

$$n - C_4H_{10} \quad 50$$

$$n - C_5H_{12} \quad 30$$

$$n - C_6H_{14} \quad 20$$

Untuk campuran ini, hitunglah :

- Fraksi berat masing-masing komponen
- Fraksi mol masing-masing komponen
- Persen mol masing-masing komponen
- Berat molekul rata-rata

Jawab :

Asumsi :

Berat campuran gas adalah 100 kg

- Fraksi berat n-butana :

$$= \frac{50 \text{ kg}}{100 \text{ kg}} = 0,5$$

Fraksi berat n-pentana :

$$= \frac{30 \text{ kg}}{100 \text{ kg}} = 0,3$$

Fraksi berat n-heksana :

$$= \frac{20 \text{ kg}}{100 \text{ kg}} = 0,2$$

- Mol :

Mol n-butana :

$$= \frac{50}{56} = 0,89 \text{ kg mol}$$

Mol n-pentana :

$$= \frac{30}{70} = 0,43 \text{ kg mol}$$

Mol n-heksana :

$$= \frac{20}{84} = 0,24 \text{ kg mol}$$

$$\begin{aligned}\text{Total Mol} &= (0,89 + 0,43 + 0,24) \text{ kg mol} \\ &= 1,56 \text{ kg mol}\end{aligned}$$

Fraksi mol n-butana :

$$= \frac{0,89}{1,56} = 0,57$$

Fraksi mol n-pentana :

$$= \frac{0,43}{1,56} = 0,28$$

Fraksi mol n-heksana :

$$= \frac{0,24}{1,56} = 0,15$$

c. Persen mol :

Persen mol n-butana :

$$= \frac{0,89}{1,56} \times 100\% = 57\%$$

Persen mol n-pentana :

$$= \frac{0,43}{1,56} \times 100\% = 28\%$$

Persen mol n-heksana :

$$= \frac{0,24}{1,56} \times 100\% = 15\%$$

d. Berat molekul rata-rata

$$BM_{rata-rata} = \frac{\text{Total Massa}}{\text{Total Mol}}$$

$$BM_{rata-rata} = \frac{100 \text{ kg}}{1,56 \text{ kg mol}}$$

$$= 64,1 \frac{kg}{kg \text{ mol}}$$

Contoh soal 8 :

Dehidrogenasi alkana rendah telah dilakukan dengan menggunakan katalis seri oksida (*ceric oxide*). Berapa fraksi massa dan fraksi mol Ce dan O dalam katalis ?

Jawab :

Karena jumlah materi tertentu yang diberikan, pertanyaan, dengan apa saya harus memulai, tidak berlaku. Demikian pula dengan pertanyaan tentang jawaban yang diinginkan. Basis yang masuk akal dan sesuai adalah mengambil 1 kg mol karena kita tahu rasio mol Ce terhadap O dalam senyawa tersebut. Basis 1 kg tidak sesuai karena massa Ce dan O tidak diketahui. Sebenarnya, massa tersebut harus dihitung.

Basis : 1 kg mol CeO

Komponen :

Ce :

Mol Ce = 1 kg mol

Fraksi mol Ce = 0,5

BM Ce = 140,12 kg / kg mol

Massa Ce = 140,12 Kg

Fraksi Massa = 0,9

O :

Mol O = 1 kg mol

Fraksi mol O = 0,5

BM O = 16 kg / kg mol

Massa O = 16 kg

Fraksi massa = 0,1

Contoh soal 9 :

Analisis batu bara muda kualitas menengah adalah sebagai berikut :

Komponen	Persen
S	2
N	1
O	6
Abu	11
Air	3

Residunya adalah C dan H dengan rasio mol $H/C = 9$. Hitung komposisi fraksi berat (massa) dari batu bara tersebut dengan mengabaikan abu dan air.

Jawab :

Ambil sebagai basis 100 kg batu bara.

Basis : 100 kg batu bara

Jumlah S + N + O + Abu + Air adalah :

$$= 2 + 1 + 6 + 11 + 3$$

$$= 23 \text{ kg}$$

$$\text{Sehingga, } C + H = (100 - 23) \text{ kg} = 77 \text{ kg}$$

Untuk menentukan massa (kg) dari C dan H, kita harus memilih basis baru.
Apakah 77 kg memadai ? Tidak ? Mengapa ?

Karena rasio H/C adalah dalam mol, bukan berat (massa). Sebagai ganti ambillah :

Basis : 100 kgmol C + H

Komponen :

H :

Fraksi mol :

$$= \frac{9}{1 + 9} = 0,9$$

Mol = 90 kg mol

BM H = 1 kg / kg mol

Massa = 90,7 kg

C :

Fraksi mol :

$$= \frac{1}{1 + 9} = 0,1$$

Mol = 10 kg mol

BM C = 12 kg / kg mol

Massa = 120 kg

Sehingga :

$$H = \frac{77 \text{ kg}}{210,7 \text{ kg total}} \times \frac{90,7 \text{ kg H}}{210,7 \text{ kg total}} = 33,15 \text{ kg H}$$

$$C = \frac{77 \text{ kg}}{210,7 \text{ kg total}} \times \frac{120 \text{ kg C}}{210,7 \text{ kg total}} = 43,85 \text{ kg C}$$

Jika dibuat tabel untuk merangkum hasil di atas pada basis yang bebas abu dan bebas air :

Komponen	Massa (kg)	Fraksi berat
C	43,85	0,51

H	33,15	0,39
S	2	0,02
N	1	0,01
O	6	0,07
TOTAL	86	1,00

C. LATIHAN SOAL

1. Suatu pabrik asam sulfat dalam sehari dapat menghasilkan larutan asam sulfat sebanyak 300 lb, tentukan berapa persen (%) mol asam sulfat yang ada didalam larutan asam sulfat tersebut jika diketahui komposisi larutan asam sulfat yaitu 27% (w/w) asam sulfat dan selebihnya adalah air ? Diketahui : Mr H_2SO_4 = 98 dan Air = 18
2. Sebuah heater (alat yang digunakan untuk memanaskan air) dengan kecepatan pemanasan $35^\circ\text{C}/30$ detik. Tentukan temperatur akhir dalam satuan $^\circ\text{F}$ jika air dengan temperatur 313 K jika dipanaskan selama 270 menit ?
3. Sebuah pompa sentrifugal memiliki luas penampang 180 cm^2 , jika pada pompa sentrifugal tersebut diberikan gaya sebesar 250 N maka berapa bar tekanan yang diterima pompa sentrifugal tersebut ?
4. Berapa energi kinetik dari sebuah kendaraan dengan massa sebesar 2.300 kg yang bergerak pada kecepatan 10 ft/s dalam Btu ? ($1\text{ Btu} = 778,2\text{ (ft)(lbf)}$)
5. Atasan anda mengumumkan bahwa kecepatan dari pesawat Boeing 777-200 dikurangi dari 560 mil/jam menjadi 520 mil/jam untuk menghemat bahan bakar. Sehingga bahan bakar yang digunakan dikurangi konsumsinya dari 2.450 galon/jam menjadi 2.200 galon/jam. Berapa galon yang dihemat dalam perjalanan sejauh 1200 mil ?
6. Konduktivitas termal (k) dari suatu logam cair diperkirakan dengan menggunakan persamaan empiris $k = A \exp (B/T)$, dengan k dalam J/(s)(m)(K) serta A dan B adalah konstanta. Tentukanlah satuan A dan satuan B !

D. DAFTAR PUSTAKA

- American National Metric Council. 1977. *Metric Guide for Educational Materials*. Washington DC: ANMC.
- Bhatt, B.I., dan S.M. Vora. 1976. *Stoichiometry*, edisi kedua. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Clausen, C.A., dan G. Mattson. 1979. *Principles of Industrial Chemistry*. New York: Wiley.
- Eva, Bayu, Sisil. 2003. *Diktat Neraca Massa dan Energi*.
- Felder, R.M., dan R.W. Rousseau. 1986. *Elementary Principles of Chemical Processes*. Edisi kedua, New York: Wiley.
- French, A.P. 1983. "Is g Really the Acceleration Due to Gravity?". *Phys. Teacher*: 528.
- Himmelblau, D. 1996. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*, 6th edition, Prentice-Hall.
- Horvath, A.D. 1986. *Conversion Tables of Units in Science and Engineering*. New York: Elsevier.
- Massey, B.S. 1986. *Measures in Science and Engineering*. New York: Halsted Press.

PERTEMUAN 3

PERSAMAAN KIMIA DAN STOIKIOMETRI

A. CAPAIAN PEMBELAJARAN

Setelah selesai mengikuti materi pada pertemuan ini, mahasiswa mampu :

1. Menulis dan menyetimbangkan persamaan reaksi kimia.
2. Mengetahui produk dari reaksi-reaksi umum yang diketahui reaktannya.
3. Menghitung kuantitas stoikiometrik dari reaktan dan produk yang diketahui reaksi kimianya.
4. Mendefinisikan reaktan berlebih, reaktan pembatas, konversi, derajat penyelesaian, selektivitas, dan yang dihasilkan dalam sebuah reaksi.
5. Mengenali reaktan pembatas dan berlebih dan menghitung persentase kelebihan reaktan, persen konversi, persen penyelesaian, dan yang dihasilkan dari reaksi kimia dengan reaksi kimia dengan reaktan-reaktan yang berada dalam proporsi nonstoikiometrik.

B. URAIAN MATERI

Suatu reaksi kimia ditunjukkan dengan bentuk dan data-data yang memuat data kualitatif dan kuantitatif yang merupakan persamaan kimia.

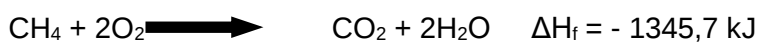
Data/bentuk yang bersifat kualitatif dapat berupa :

1. Reaktan (zat pereaksi)
2. Produk (zat hasil reaksi)
3. Endoterm/Eksoterm yang merupakan efek panas

sedangkan data/gambaran kuantitatif bisa berupa :

1. Struktur (Komposisi)
2. Hubungan kuantitatif
3. Total (Jumlah)

Contoh :



Kualitatif :

Reaktan : CH₄ dan O₂; Produk : CO₂ dan H₂O; Reaksi : Eksotermis

Kuantitatif :

1 mol CH₄ bereaksi dengan 2 mol O₂ menghasilkan 1 mol CO₂ dan 2 mol H₂O

Tipe-tipe reaksi kimia :

1. Reaksi penggabungan : reaksi dari dua zat yang menyatu dan membentuk zat (senyawa) baru. Contoh : $2\text{Na} + \text{Cl}_2 \longrightarrow 2\text{NaCl}$

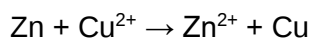
2. Reaksi Metatesis/reaksi pertukaran ganda : reaksi pertukaran bagian dari pereaksi mempertukarkan ionnya.



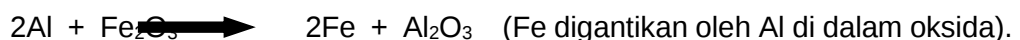
3. Reaksi pembakaran : reaksi kimia suatu zat dengan oksigen, biasanya bereaksi lebih cepat disertai pelepasan panas hingga muncul nyala api.



4. Reaksi Redoks : Reaksi oksidasi digambarkan sebagai proses dimana suatu spesies mengalami kehilangan elektron sedangkan reaksi reduksi adalah proses dimana suatu spesies memperoleh elektron. Kedua peristiwa ini terjadi secara bersamaan sehingga oksidasi pasti hadir dengan diikuti reduksi dan sebaliknya reduksi juga dapat terjadi dengan diikuti oksidasi. Contoh sederhana reaksi ini yaitu sebagai berikut:



5. Reaksi penggantian : reaksi yang menunjukkan komponen tertentu digantikan oleh komponen yang lain. Contoh : Reaksi reduksi oksidasi



Stoikiometri adalah ilmu kimia yang mempelajari tentang kuantitas suatu zat, meliputi massa, jumlah mol, volume, dan jumlah partikel. Saat mempelajari stoikiometri, Quipperian akan selalu bertemu dengan koefisien. Apa itu koefisien? Koefisien merupakan bentuk perbandingan mol, volume, atau jumlah partikel.

Contoh :



Artinya : Sebanyak 1 mol Klorida direaksikan dengan 1 mol gas Hidrogen sehingga dihasilkan 2 mol larutan asam klorida.

Kemampuan yang harus dipelajari dalam stoikiometri :

1. Mampu merubah jumlah senyawa yang memiliki satuan massa, volum, menjadi satuan mol, atau pun sebaliknya.
2. Mampu memahami perubahan atau reaksi kimia yang ada (mengetahui pereaksi dan hasil reaksi (produk) yang diperoleh, serta mampu menyetarakan persamaan reaksi yang ada (setimbang).

Catatan :

Untuk memudahkan penyelesaian perhitungan dalam stoikiometri biasanya digunakan basis perhitungan. Basis merupakan pedoman yang digunakan sebagai dasar penyelesaian permasalahan.

Contoh Soal 1 :

Pada reaksi pembakaran senyawa butana diinginkan 350 kg gas CO₂ yang terbentuk, berapa kilogram butana yang perlu direaksikan dengan udara jika 60% CO₂ diubah menjadi es kering ?

Jawab :

Basis : 350 kg CO₂

Berarti CO₂ yang harus dihasilkan dalam proses pembakaran :

$$\frac{350 \text{ kg}}{0,6} = 58,33 \text{ kg}$$

$$\text{mol CO}_2 = \frac{58,33 \text{ kg}}{44 \text{ gram/mol}} = 1,33 \text{ kmol}$$

Reaksi yang terjadi :



Jadi, berat butana yang harus dibakar adalah :

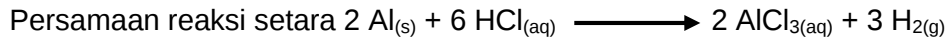
$$0,33 \text{ kmol} \times 58 \text{ gram/mol} = 19,14 \text{ kg}$$

Contoh Soal 2 :

Al_(s) direaksikan dengan HCl_(aq) menjadi AlCl_{3(aq)} serta H_{2(g)}. Berapa banyak H_{2(g)} dihasilkan dan berapa banyak molekul hidrogen dari 9 gr Al_(s) ? (Ar Al = 27, H = 1).

Jawab :





Perbandingan mol 2 : 6 : 2 : 3

$$Al \text{ yang bereaksi} = \frac{9}{27} \text{ mol} = \frac{1}{3} \text{ mol}$$

$$\frac{1}{3} \text{ mol} \sim \frac{3}{2} \times \frac{1}{3} \text{ mol } H_2 = \frac{1}{2} \text{ mol } H_2$$

$$\text{Gas } H_2 \text{ yang terbentuk} = \frac{1}{2} \text{ mol} = \frac{1}{2} \text{ mol} \times 2 = 1 \text{ gram}$$

$$\text{Jumlah molekul } H_2 \text{ yang terbentuk} = \frac{1}{2} \times (6,02 \times 10^{23}) = 3,01 \times 10^{23} \text{ molekul}$$

Jadi, gas H_2 yang terbentuk = 1 gram dan jumlah molekul H_2 yang terbentuk

$$= 3,01 \times 10^{23}$$

Contoh Soal 3 :

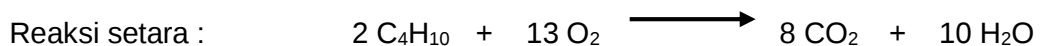
Pada saat korek api gas dinyalakan, reaksi yang terjadi adalah :



Jika pada reaksi itu dihasilkan 88 gram gas CO_2 , hitunglah massa C_4H_{10} yang bereaksi ! (Ar C = 12, O = 16, H = 1)

Jawab :

$$88 \text{ gram } CO_2 = 88 \text{ gram } CO_2 \times \frac{1 \text{ mol } CO_2}{44 \text{ gram } CO_2} = 2 \text{ mol } CO_2$$



Perbandingan koefisien : 2 : 13 : 8 : 10

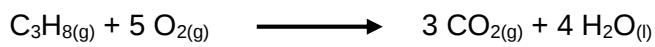
$$mol\ C_4H_{10} = \frac{2}{8} \times 2\ mol\ CO_2 = 0,5\ mol$$

Massa $C_4H_{10} = 0,5 \text{ mol} \times 58 \text{ gr/mol} = 29 \text{ gram}$

Jadi, massa C_4H_{10} yang bereaksi = 29 gram

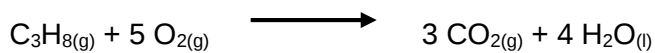
Contoh Soal 4 :

Tiga liter gas propana (C_3H_8) dibakar sempurna dengan gas oksigen membentuk gas karbon dioksida dan air, sesuai persamaan reaksi berikut :



1. Berapa liter gas oksigen yang diperlukan ?
2. Berapa liter gas karbon dioksida yang terbentuk ?
3. Berapa liter air yang terbentuk ?

Jawab :



$$1. \frac{\text{Volume } O_2}{\text{Volume } C_3H_8} = \frac{\text{Koefisien } O_2}{\text{Koefisien } C_3H_8}$$

$$\text{Volume } O_2 = \frac{\text{Koefisien } O_2}{\text{Koefisien } C_3H_8} \times \text{Volume } C_3H_8$$

$$= \frac{5}{1} \times 3 \text{ liter} = 15 \text{ liter}$$

$$2. \frac{\text{Volume } CO_2}{\text{Volume } C_3H_8} = \frac{\text{Koefisien } CO_2}{\text{Koefisien } C_3H_8}$$

$$\text{Volume } CO_2 = \frac{\text{Koefisien } CO_2}{\text{Koefisien } C_3H_8} \times \text{Volume } C_3H_8$$

$$= \frac{3}{1} \times 3 \text{ liter} = 9 \text{ liter}$$

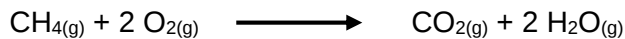
$$3. \frac{\text{Volume } H_2O}{\text{Volume } C_3H_8} = \frac{\text{Koefisien } H_2O}{\text{Koefisien } C_3H_8}$$

$$\text{Volume } H_2O = \frac{\text{Koefisien } H_2O}{\text{Koefisien } C_3H_8} \times \text{Volume } C_3H_8$$

$$= \frac{4}{1} \times 3 \text{ liter} = 12 \text{ liter}$$

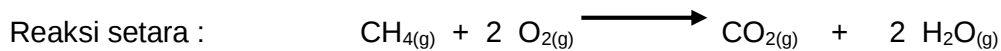
Contoh Soal 5 :

Gas metan CH_4 dibakar sempurna menurut persamaan :



Bila udara berisi 20% gas O_2 , berapa banyak udara yang dibutuhkan (L) untuk membakar 4 L gas metan pada tekanan dan temperatur yang sama?

Jawab :



Perbandingan koefisien : 1 : 2 : 1 : 2

$$4 \text{ liter } CH_4 = \frac{4 \text{ L}}{22,4 \text{ L mol}^{-1}} = 0,18 \text{ mol } CH_4$$

$$\text{Mol oksigen yang dibutuhkan} = \frac{2}{1} \times 0,18 \text{ mol} = 0,36 \text{ mol}$$

$$\text{Volume oksigen yang dibutuhkan} = 0,36 \times 22,4 \text{ L} = 8,064 \text{ L}$$

$$\text{Udara yang dibutuhkan} = \frac{100}{20} \times 8,064 \text{ L} = 40,32 \text{ L}$$

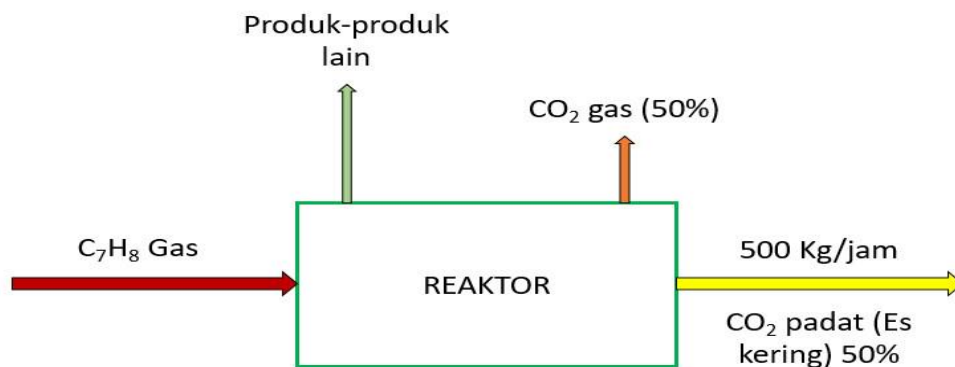
Jadi, udara yang dibutuhkan adalah sebanyak 40,32 Liter.

Contoh Soal 6 :

Dalam pembakaran heptana, dihasilkan CO₂. Asumsikan bahwa anda ingin menghasilkan 500 kg es kering per jam dan bahwa 50% dari CO₂ tersebut dapat diubah menjadi es kering. Berapa banyak heptana yang harus dibakar per jam ?

Jawab :

Diagram alir proses :



Basis : 500 kg es kering (ekivalen terhadap 1 jam)

Berat molekul heptana = 100,1 kg / kg mol

Reaksi :



$$= \frac{500 \text{ kg es kering}}{0,5 \text{ kg es kering}} \times \frac{1 \text{ kg CO}_2}{44 \text{ kg CO}_2} \times \frac{1 \text{ kg mol CO}_2}{7 \text{ kg mol CO}_2} \times \frac{100,1 \text{ kg C}_7\text{H}_{16}}{1 \text{ kg mol C}_7\text{H}_{16}}$$

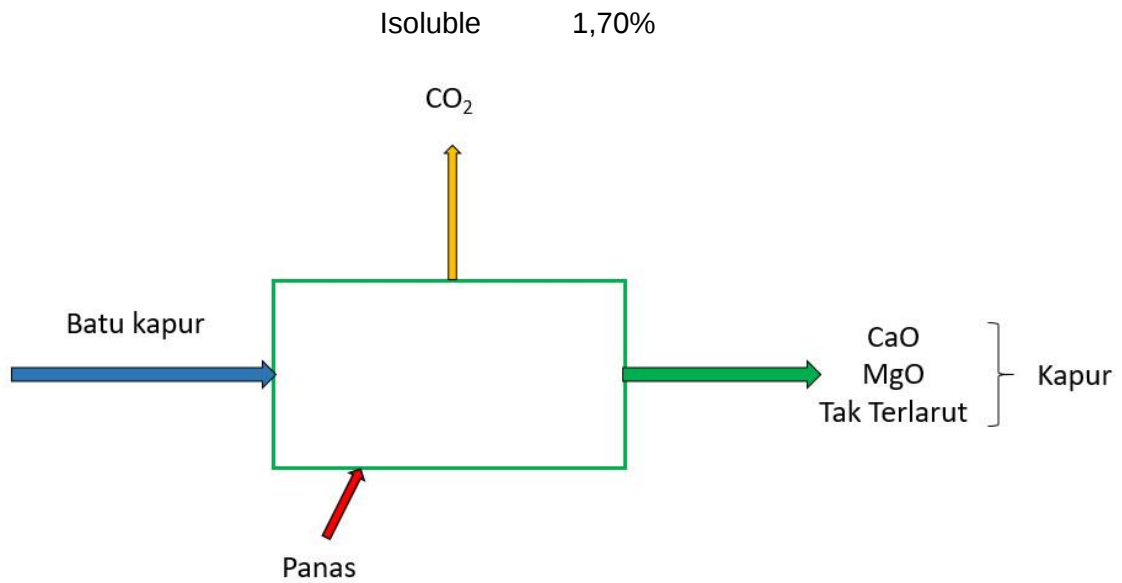
$$= 325 \text{ kg C}_7\text{H}_{16}$$

Contoh Soal 7 :

Analisis kapur :

CaCO₃ 92,89%

MgCO₃ 5,41%



1. Berapa lb kalsium oksida dapat dibuat dari 5 ton batu kapur ini ?
2. Berapa lb CO₂ dapat diperoleh per lb batu kapur ?
3. Berapa lb batu kapur dibutuhkan untuk membuat 1 ton kapur ?

Jawab :

Reaksi :



Data tambahan :

BM CaCO₃ = 100,1 lb / lb mol

BM MgCO₃ = 84,32 lb / lb mol

BM CaO = 56,08 lb / lb mol

BM MgO = 40,32 lb / lb mol

BM CO₂ = 44 lb / lb mol

Basis : 100 lb batu kapur

Batu Kapur

Produk

Komponen	Lb persen	Lb mol	Komponen padat	lb	CO ₂ (lb)
CaCO ₃	92,89	0,9280	CaO	52,04	40,83
MgCO ₃	5,41	0,0642	MgO	2,59	2,82
Isoluble	1,70	-	Isoluble	1,70	-
Total	100,00	0,9920	Total	56,33	43,65

Kuantitas yang terdaftar dibawah produk dihitung dari persamaan kimia.

Contohnya :

$$\frac{92,89 \text{ lb CaCO}_3}{100,1 \text{ lb CaCO}_3} \times \frac{1 \text{ lb mol CaCO}_3}{100,1 \text{ lb CaCO}_3} \times \frac{1 \text{ lb mol CaO}}{1 \text{ lb mol CaCO}_3} \times \frac{56,08 \text{ lb CaO}}{1 \text{ lb mol CaO}} = 52,04 \text{ lb}$$

$$\frac{5,41 \text{ lb MgCO}_3}{84,32 \text{ lb MgCO}_3} \times \frac{1 \text{ lb mol MgCO}_3}{84,32 \text{ lb MgCO}_3} \times \frac{1 \text{ lb mol MgO}}{1 \text{ lb mol MgCO}_3} \times \frac{40,32 \text{ lb MgO}}{1 \text{ mol MgO}} = 2,59 \text{ lb}$$

Catat bahwa lb total dari produk sama dengan 100 lb batu kapur yang masuk.
Sekarang untuk menghitung kuantitas yang ditanyakan semula :

1. CaO yang dihasilkan :

$$= \frac{52,04 \text{ lb CaO}}{100 \text{ lb batu kapur}} \times \frac{2000 \text{ lb}}{1 \text{ ton}} \times \frac{5 \text{ ton}}{1} = 5200 \text{ lb CaO}$$

2. CO₂ yang diperoleh :

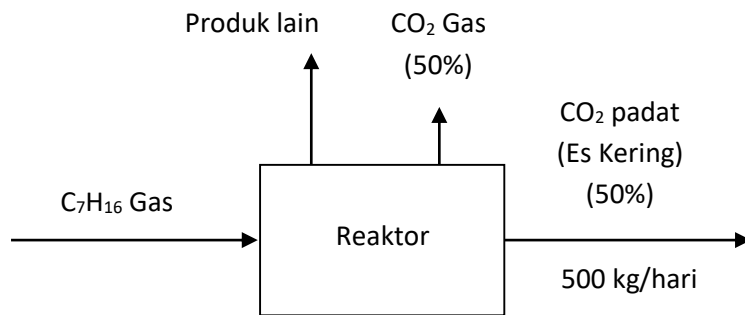
$$= \frac{43,65 \text{ lb CO}_2}{100 \text{ lb batu kapur}} = 0,437 \text{ lb}$$

3. Batu Kapur yang dibutuhkan :

$$= \frac{100 \text{ lb batu kapur}}{56,33 \text{ lb kapur}} \times \frac{2000 \text{ lb}}{1 \text{ ton}} = 3.550 \text{ lb batu kapur}$$

C. LATIHAN SOAL

1. Dalam pembakaran heptana, dihasilkan CO_2 . Asumsikan bahwa anda ingin menghasilkan 500 kg *dry ice* per jam dan bahwa 50 persen (%) dari CO_2 tersebut dirubah menjadi *dry ice*, seperti diperlihatkan dalam gambar dibawah ini. Berapa banyak heptana yang harus dibakar per jam ?



Gambar 3.1 Diagram alir pembuatan es kering (CO_2 padat)

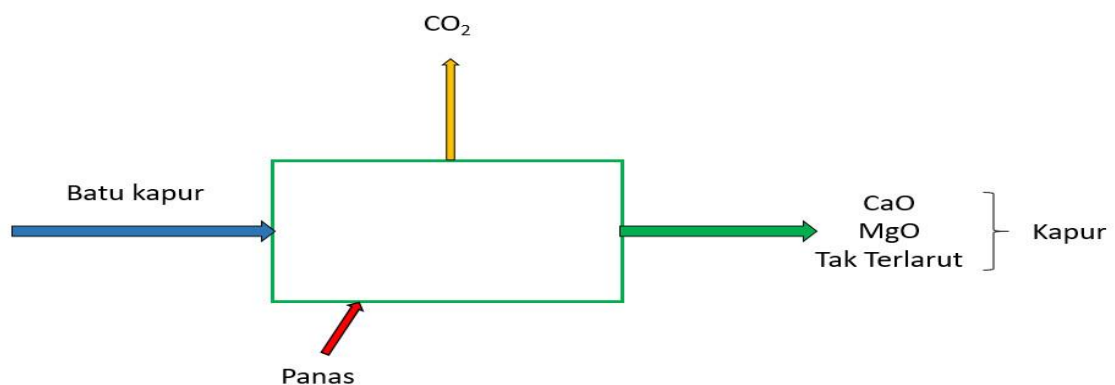
2. Pembuatan elektrolitik gas klorin dari larutan natrium klorida dilaksanakan dengan reaksi berikut :



Berapa kilogram Cl_2 yang dapat dihasilkan dari 12 m^3 larutan garam yang mengandung 6% (persen berat) natrium klorida ? (Berat jenis larutan relatif terhadap air pada 4°C adalah 1,07).

3. Analisis batu kapur :

CaCO_3	90,20%
MgCO_3	7,50%
Isoluble	2,30%



Gambar 3.2 Diagram alir proses batu kapur

- a. Berapa lb kalsium oksida dapat dibuat dari 10 ton batu kapur ini ?

- b. Berapa lb CO₂ dapat diperoleh per lb batu kapur ?
- c. Berapa lb batu kapur dibutuhkan untuk membuat 3 ton kapur ?
4. Kalsium oksida (CaO) dibentuk dengan menguraikan batu kapur (CaCO₃ murni). Di dalam sebuah alat pembakaran reaksi tersebut berjalan sampai 75% penyelesaian.
- a. Apakah komposisi produk padat yang diambil dari tempat pembakaran tersebut ?
- b. Berapa yield dinyatakan lb CO₂ yang dihasilkan per lb batu kapur yang diberikan ?
5. $\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{BaSO}_4 + 2\text{NaCl}$
- a. Berapa gram barium klorida akan dibutuhkan agar bereaksi 7 gr natrium sulfat ?
- b. Berapa gram barium klorida dibutuhkan untuk pengendapan barium sulfat ?
- c. Berapa gram barium klorida dibutuhkan untuk menghasilkan 7 gr natrium klorida ?
- d. Berapa gram natrium sulfat diperlukan untuk pengendapan barium dari 7 gr barium sulfat ?
- e. Berapa gram natrium sulfat telah ditambahkan ke barium klorida jika 7 gr barium sulfat terendapkan ?
- f. Berapa lb natrium sulfat ekuivalen dengan 7 lb natrium klorida ?
- g. Berapa lb barium sulfat diendapkan oleh 7 lb barium klorida ?
- h. Berapa lb barium sulfat diendapkan oleh 7 lb natrium sulfat ?
- i. Berapa lb barium sulfat ekuivalen dengan 7 lb natrium klorida ?
6. Sebanyak 5,4 gram aluminium (Ar Al = 27) direaksikan dengan 24,5 gram H₂SO₄ (Ar H = 1, Ar S = 32, Ar O = 16) menurut persamaan reaksi berikut :
- $$2 \text{Al}_{(s)} + 3 \text{H}_2\text{SO}_{4(aq)} \longrightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_{3(aq)} + 3 \text{H}_{2(g)}$$
- Tentukan :
- a. Pereaksi pembatas
- b. Mol pereaksi yang sisa
- c. Volume gas H₂ pada keadaan standar (STP)
7. Sebanyak 5,4 gram aluminium dilarutkan dalam 400 mL tembaga(II) sulfat 0,5 M menurut persamaan reaksi berikut :
- $$\text{Al} + \text{CuSO}_4 \longrightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Cu}$$
- Tentukanlah pereaksi pembatasnya.

8. Perhatikan persamaan reaksi berikut ini :



Jika 1 mol N_2 direaksikan dengan 2 mol H_2 (Ar N = 14, H = 1).

Tentukan :

- Pereaksi pembatas
 - Massa zat yang tersisa
 - Jumlah mol NH_3
9. Satu mol larutan natrium hidroksida (NaOH) direaksikan dengan 1 mol larutan asam sulfat (H_2SO_4) sesuai reaksi berikut :



Tentukan:

- Pereaksi pembatas
- Jumlah mol pereaksi yang sisa
- Mol Na_2SO_4 dan mol H_2O yang dihasilkan

D. DAFTAR PUSTAKA

- American National Metric Council. 1977. Metric Guide for Educational Materials. Washington DC: ANMC.
- Bhatt, B.I., dan S.M. Vora. 1976. Stoichiometry, edisi kedua. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Clausen, C.A., dan G. Mattson. 1979. Principles of Industrial Chemistry. New York: Wiley.
- Eva, Bayu, Sisil. 2003. Diktat Neraca Massa dan Energi.
- Felder, R.M., dan R.W. Rousseau. 1986. Elementary Principles of Chemical Processes. Edisi kedua, New York: Wiley.
- Himmelblau, D. 1996. Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 6th edition, Prentice-Hall.
- Horvath, A.D. 1986. Conversion Tables of Units in Science and Engineering. New York: Elsevier.
- Massey, B.S. 1986. Measures in Science and Engineering. New York: Halsted Press.

PERTEMUAN 4

REAKSI KIMIA DALAM INDUSTRI

A. CAPAIAN PEMBELAJARAN

Setelah selesai mengikuti materi pada pertemuan ini, mahasiswa mampu menulis dan menyetimbangkan persamaan reaksi kimia serta mengetahui, menghitung dan menentukan reaktan pembatas, reaktan berlebih, konversi, selektivitas, yield.

B. URAIAN MATERI

1. Pereaksi Pembatas

Pereaksi yang benar-benar habis digunakan selama reaksi kimia berlangsung.

2. Excess Reactant (Pereaksi Berlebih)

Pereaksi yang tidak sepenuhnya habis (ada sisa) digunakan selama reaksi kimia berlangsung.

$$\% \text{ kelebihan} = \frac{\text{mol kelebihan}}{\text{mol yg stoikiometrik dgn reaktan pembatas}} \times 100\%$$

3. Konversi (tingkat kesempurnaan reaksi)

Perbandingan mol reaksi dengan mol mula-mula.

$$\% \text{ konversi} = \frac{\text{jumlah mol zat yg bereaksi}}{\text{jumlah mol zat mula - mula}} \times 100\%$$

4. Selektivitas (selectivity)

Perbandingan antara mol/massa produk tertentu dengan mol/massa produk lain.

5. Yield

Perbandingan antara massa produk dengan massa bahan awal.

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{berat atau mol produk}}{\text{berat atau mol reaktan awal}} \times 100\%$$

Untuk membuat produk Q melalui reaksi $P \rightarrow Q$, maka reaksi dianggap semakin berhasil bila Q terjadi besar ($\gg$) dan P tersisa sangat sedikit ($\ll$).



Namun suatu bahan dapat berubah menurut beberapa mekanisme reaksi :

Ada tiga hal yang perlu diketahui :

1. Perbandingan P yang berubah terhadap P mula-mula (Konversi)
2. Perbandingan P yang berubah menjadi Q terhadap P yang berubah seluruhnya (Selektivitas)
3. Perbandingan P yang berubah menjadi Q terhadap P mula-mula (Yield)

Bila dianggap,

$$P \text{ semula} = P_0$$

$$P \text{ pada waktu } n = P_n, \text{ dan}$$

$$P \text{ yang berubah menjadi } Q = PQ$$

$$\text{Maka } P \text{ yang berubah} = P_0 - P_n$$

Dengan demikian,

$$\text{Konversi : } P = \frac{P_0 - P_n}{P_0}$$

$$\text{Selektivitas } (P \rightarrow Q) : \frac{P_B}{P_0 - P_n}$$

$$\text{Yield } (P \rightarrow Q) : \frac{P_B}{P_0}$$

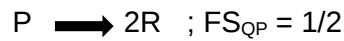
Karena menghitung PQ relatif lebih sukar dibanding menghitung $P_0 - P_n$, maka dipakai cara lain, yaitu :

$$\text{Selektivitas } (P \rightarrow Q) : \frac{Q \times FS_{QP}}{P_0 - P_n}$$

$$\text{Yield } (P \rightarrow Q) : \frac{Q \times FS_{QP}}{P_0}$$

FS_{QP} : Faktor stoikiometri, perbandingan koefisien

Persamaan reaksi mol P / mol Q :



Contoh Soal :

Benzena dapat dibuat dari Toluena berdasar reaksi sebagai berikut:



Sebagian Benzena yang terjadi bereaksi menjadi Difenil



Komposisi umpan dan hasil dari reaktor sebagai berikut :

Komponen	Reaktor	
	Masuk (Kmol.h ⁻¹)	Keluar (Kmol.h ⁻¹)
H ₂	1858	1583
CH ₄	804	1083
C ₆ H ₆	13	282
C ₆ H ₅ CH ₃	372	93
C ₁₂ H ₁₀	0	4

Tentukan konversi, selektivitas, dan yield reaktor berdasar toluena yang diumpankan.

Jawab :

Konversi toluena :

$$Konversi : P = \frac{P_0 - P_n}{P_0}$$

$$= \frac{372 - 93}{372} = 0,75$$

Faktor stoikiometri toluena/mol benzena : 1

Selektivitas benzena terhadap toluena :

$$\text{Selektivitas } (P \rightarrow Q) : \frac{P_B}{P_0 - P_n}$$

$$= \frac{282 - 13}{372 - 93} \times 1 = 0,96$$

Yield benzena terhadap toluena :

$$\text{Yield } (P \rightarrow Q) : \frac{Q \times FS_{QP}}{P_0}$$

$$= \frac{282 - 13 \times 1}{372} = 0,72$$

JENIS LAJU ALIR

1. *Point linear velocity* (Laju alir linear titik) : laju alir ditinjau pada satu titik. $V = \frac{l}{t}$
 $= \frac{m}{det} = \frac{ft}{det} = \frac{m}{jam}$, dan lain sebagainya.

2. (Kecepatan linier rata-rata) : perbandingan antara debit luas penampang.

$$\bar{v} = \frac{Q}{A} = \frac{debit}{luas} = \frac{m}{det} = \frac{ft}{det}$$

3. *Volumetric flow rate* (Laju alir volum) : perbandingan antara volume dengan waktu, biasanya disebut dengan debit.

$$Q = \frac{volum}{waktu} = A \cdot \bar{v} = \frac{m^3}{menit} = \frac{gallon}{menit} = \frac{liter}{detik}$$

4. (Kecepatan alir massa) : perbandingan antara massa dengan waktu.

$$\frac{massa}{waktu} = \frac{kg}{jam} = \frac{ton}{menit} = \frac{lb}{detik}$$

5. (Kecepatan alir molal) : perbandingan antara mol dengan satuan waktu tertentu.

$$\frac{mol}{waktu} = \frac{kmol}{menit} = \frac{lbmol}{detik} = \frac{gmol}{jam}$$

Contoh Soal 1:

Senyawa Stibnit (Sb_2S_3) dipanaskan dengan besi sehingga menghasilkan antimoni. Antimoni yang dihasilkan keluar pada bagian bawah reaktor. Sejumlah 0,6 kilogram stibnit dan 0,25 kilogram besi dipanaskan serentak sehingga menghasilkan 0,2 kilogram antimoni.

Reaksi :



Hitunglah :

- Pereaksi Pembatas (*Limiting Reactant*)
- Pereaksi berlebih (*Excess*)
- Tingkat kesempurnaan reaksi (% Konversi)
- Selektivitas
- Yield

Jawab :

	Zat	BM	Massa (g)	Mol
Reaktan	Sb_2S_3	339,7	600	1,77
	Fe	55,8	250	4,48
Produk	Sb	121,8	200	1,64
	FeS	87,9	?	?

- Cara penentuan pereaksi pembatas dan berlebih

Untuk bereaksi dengan 1,77 mol Sb_2S_3 membutuhkan :

$3 \times 1,77 \text{ mol} = 5,31 \text{ mol Fe}$, sedangkan Fe yang ada hanya 4,48 mol.

Fe benar-benar habis bereaksi sehingga Fe merupakan pereaksi pembatas.

- Sedangkan Stibnit Sb_2S_3 adalah pereaksi berlebih (excess).

- c. Walaupun Fe adalah pereaksi pembatas tetapi tidak semua Fe habis bereaksi, jika dilihat dari produk Antimoni yang dihasilkan hanya 1,64 mol, maka Fe yang bereaksi sebanyak :

$$\frac{3 \text{ mol Fe}}{2 \text{ mol Sb}} \times 1,64 \text{ mol Sb} = 2,46 \text{ mol Fe}$$

Maka persen konversi reaksi Fe menjadi FeS :

$$\frac{2,46}{1,77} \times 100\% = 55\%$$

Sedangkan untuk 1,64 mol Antimoni (Sb) maka Sb_2S_3 yang bereaksi sebanyak :

$$\frac{1 \text{ mol Sb}_2\text{S}_3}{2 \text{ mol Sb}} \times 1,64 \text{ mol Sb} = 0,82 \text{ mol Sb}_2\text{S}_3$$

Sehingga persen konversi reaksi Sb_2S_3 menjadi Sb :

$$\frac{0,82}{1,77} \times 100\% = 46,3\%$$

- d. Selektivitas :

Selektivitas didasarkan pada Sb_2S_3 yang seharusnya dapat dikonversikan dengan Fe yang ada :

$$\text{Selektivitas} = \frac{0,82}{1,49} \times 100\% = 55\%$$

- e. Yield :

$$\text{Yield} = \frac{\text{kg Sb terbentuk}}{\text{kg Sb mula - mula}} = \frac{0,2 \text{ kg}}{0,6 \text{ kg}} \times 100\% = 33,5\% \left(\frac{\text{Sb}}{\text{Sb}_2\text{S}_3} \right)$$

Contoh Soal 2 :

Satu mol larutan natrium hidroksida (NaOH) direaksikan dengan 1 mol larutan asam sulfat (H_2SO_4) sesuai reaksi:



Tentukan :

- pereaksi pembatas
- pereaksi yang sisa

c. mol Na_2SO_4 dan mol H_2O yang dihasilkan

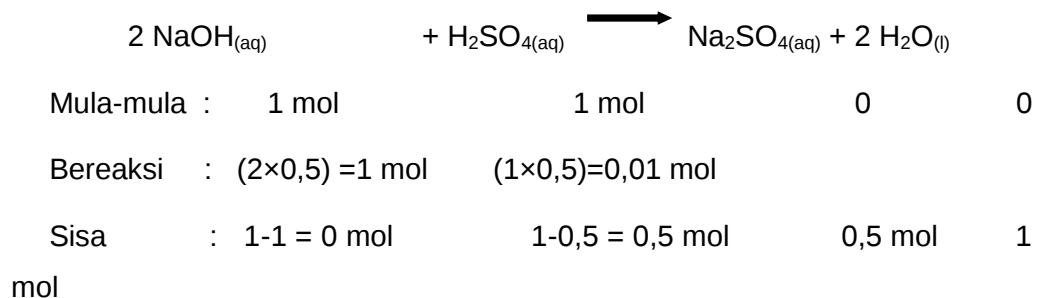
Jawab :

a. Mol masing-masing zat dibagi koefisien, kemudian pilih hasil bagi yang kecil sebagai pereaksi pembatas.

$$\frac{\text{Mol NaOH}}{\text{Koefisien NaOH}} = \frac{1 \text{ mol}}{2} = 0,5 \text{ mol}$$

$$\frac{\text{Mol H}_2\text{SO}_4}{\text{Koefisien H}_2\text{SO}_4} = \frac{1 \text{ mol}}{1} = 1 \text{ mol}$$

Karena hasil bagi $\text{NaOH} < \text{H}_2\text{SO}_4$, maka NaOH adalah pereaksi pembatas, sehingga NaOH akan habis bereaksi lebih dahulu.



b. Pereaksi yang sisa adalah H_2SO_4

c. Mol Na_2SO_4 yang dihasilkan = 0,5 mol

Mol H_2SO_4 yang dihasilkan = 1 mol

Contoh Soal 3 :

100 mL larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 0,1 M direaksikan dengan 100 mL larutan HCl 0,1 M sesuai reaksi :



Tentukan pereaksi pembatas!

Jawab :

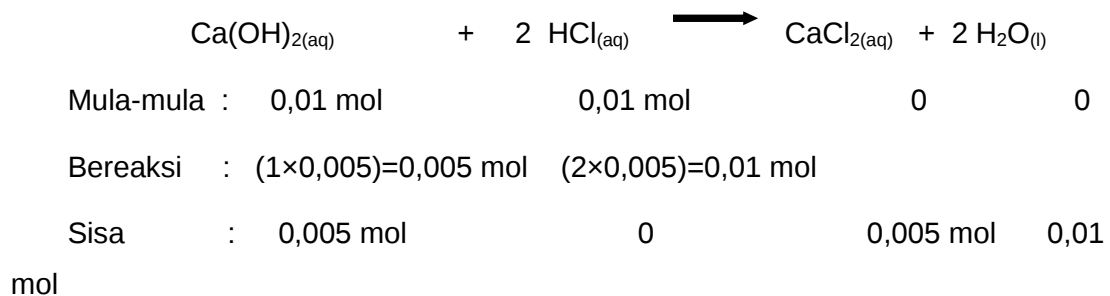
$$\text{Mol Ca(OH)}_2 = M \times V = 0,1 \text{ mol/liter} \times 0,1 \text{ liter} = 0,01 \text{ mol}$$

$$\frac{\text{Mol Ca(OH)}_2}{\text{Koefisien Ca(OH)}_2} = \frac{0,01 \text{ mol}}{1} = 0,01 \text{ mol}$$

$$\text{Mol HCl} = M \times V = 0,1 \text{ mol/liter} \times 0,1 \text{ liter} = 0,01 \text{ mol}$$

$$\frac{\text{Mol HCl}}{\text{Koefisien HCl}} = \frac{0,01 \text{ mol}}{2} = 0,005 \text{ mol}$$

Didapatkan dari hasil perhitungan HCl adalah limiting reactantnya.



Jadi, pereaksi pembatasnya adalah HCl.

C. LATIHAN SOAL

1. Sintesis Amonia menggunakan reaksi berikut :



Sebuah industri kimia, sebanyak 4200 lb Nitrogen dan 1400 lb Hidrogen diumpankan ke dalam reaktor per jam. Produk amonia murni yang dihasilkan oleh reaktor ini sebanyak 3050 lb per jam. Tentukan :

- a. Pereaksi Pembatas
- b. Berapa % excess reaktan
- c. Berapa % Konversi yang didapatkan berdasarkan pereaksi pembatas
2. 5 lb bismut (BM = 209) dipanaskan bersama dengan 1 lb sulfur untuk membentuk Bi_2S_3 (BM = 514). Pada akhir reaksi, zat yang dihasilkan mengandung 3% sulfur bebas. Tentukan :
 - a. Pereaksi pembatas
 - b. % excess pereaksi (sisa)
 - c. % konversi sulfur menjadi Bi_2S_3
3. 0,5 mol $\text{Mg}(\text{OH})_2$ bereaksi dengan 0,5 mol HCl sesuai persamaan reaksi:

$$\text{Mg}(\text{OH})_{2(\text{aq})} + 2 \text{HCl}_{(\text{aq})} \longrightarrow \text{MgCl}_{2(\text{aq})} + 2 \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$$
 Tentukan:
 - a. pereaksi pembatas
 - b. pereaksi yang sisa
 - c. mol MgCl_2 dan mol H_2O
4. 5,4 gram logam aluminium (Ar Al = 27) direaksikan dengan 24,5 gram H_2SO_4 (Ar H = 1, S = 32, dan O = 16). Persamaan reaksinya:

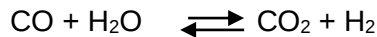
$$2 \text{Al}_{(\text{s})} + 3 \text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})} \longrightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_{3(\text{aq})} + 3 \text{H}_{2(\text{g})}$$
 Tentukan:
 - a. pereaksi pembatas
 - b. mol pereaksi yang sisa
 - c. volume gas H_2 pada keadaan standar (STP)
5. 100 mL larutan NaOH 0,2 M bereaksi dengan 100 mL larutan HCl 0,1 M sesuai persamaan reaksi:

$$\text{NaOH}_{(\text{aq})} + \text{HCl}_{(\text{aq})} \longrightarrow \text{NaCl}_{(\text{aq})} + \text{HCl}_{(\text{aq})}$$
 Tentukan:
 - a. pereaksi pembatas
 - b. pereaksi sisa
 - c. mol NaCl
6. Metode umum yang digunakan dalam menghasilkan pemutih natrium hipoklorit adalah dengan reaksi :

$$\text{Cl}_2 + 2 \text{NaOH} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O}$$
 Gak klor digelembungkan melalui larutan natrium hidroksida encer, setelah produk yang diinginkan dipisahkan dari natrium klorida (produk samping dari reaksi tersebut). Larutan NaOH dalam air yang mengandung 1.145 lb NaOH

murni direaksikan dengan 851 lb gas klor. NaOCl yang terbentuk sejumlah 618 lb. Tentukan :

- a. Reaktan pembatasnya.
 - b. Berapa persentase kelebihan dari reaktan berlebih yang digunakan ?
 - c. Berapa yield NaOCl per jumlah klor yang dipakai (atas dasar berat) ?
7. Reaksi yang terkenal untuk menghasilkan hidrogen dari uap air adalah yang dinamakan reaksi pergeseran air-gas :



Jika masukan gas untuk sebuah reaktor terdiri dari 30 mol CO, 12 mol CO₂, dan 35 mol uap air per jam pada 800°C serta 18 mol H₂ dihasilkan setiap jamnya. Tentukan :

- a. Limiting Reactant.
 - b. Reaktan berlebih.
 - c. Fraksi konversi dari uap menjadi H₂.
 - d. Derajat penyelesaian dari reaksi tersebut.
 - e. Kg H₂ yang dihasilkan per kg masukan uap air.
 - f. Mol CO₂ yang dihasilkan oleh reaksi tersebut per mol CO yang dimasukkan.
8. Seseorang dapat meninjau tungku pembakaran tanur tinggi dari sudut pandang sederhana sebagai sebuah proses yang reaksi pokoknya adalah :

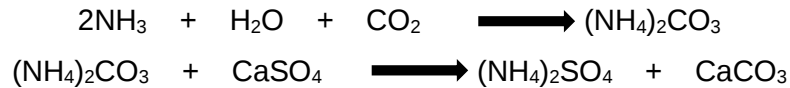


Tetapi beberapa reaksi sampingan lain yang tidak ingin terjadi, terutama :



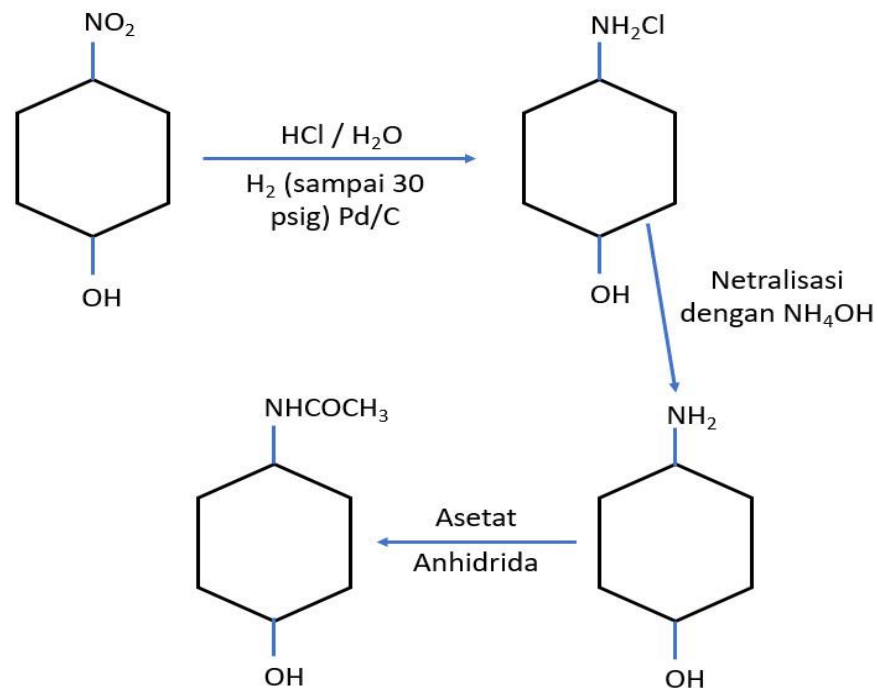
Setelah mencampur 750 lb karbon (batu arang) dengan 1,25 ton besi oksida murni, Fe₂O₃, proses tersebut menghasilkan 1400 lb besi murni, 205 lb FeO dan 93 lb Fe₂O₃. Hitunglah :

- a. Persentase kelebihan karbon yang disediakan berdasarkan reaksi pokok.
 - b. Persentase konversi dari Fe₂O₃ menjadi Fe.
 - c. Lb karbon yang dihabiskan dan lb CO yang dihasilkan per ton Fe₂O₃ yang diberikan.
 - d. Berapa selektivitas dalam proses ini (dari Fe dalam hubungannya dengan FeO).
9. Ammonium sulfat digunakan sebagai pupuk. Satu metode untuk menghasilkan senyawa tersebut adalah dengan rangkaian reaksi dalam air berikut ini :



Setelah reaksi-reaksi tersebut terjadi, lumpur (*water slurry*) disaring. Analisis menunjukkan persen berat masing-masing sebagai filtrat : 0,5% $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, 5,5% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 94% H_2O dan padatan saringan (*filter cake*) : 8,2% CaSO_4 , 91,8% CaCO_3 . Untuk proses keseluruhan, hitunglah :

- a. Reaktan pembatas
 - b. Derajat penyelesaian
 - c. Persen kelebihan reaktan
10. Dalam sebuah proses untuk menghasilkan klorin dengan oksidasi langsung HCl dengan udara melalui katalis untuk membentuk Cl_2 dan H_2O (produk yang keluar terdiri dari HCl (4,4%), Cl_2 (19,8%), O_2 (4%), dan N_2 (52%)). Tentukan :
- a. Reaktan pembatas
 - b. Persen kelebihan reaktan
 - c. Derajat penyelesaian reaksi
11. Metode untuk mensintesis pengganti aspirin, asetaminofen, melibatkan prosedur tiga tahap. Pertama, *p-nitrofenol* dihidrogenasi secara katalitik dengan adanya asam hidroklorik encer menjadi garam asam klorida dari *p-aminofenol* dengan 86,9% derajat penyelesaian. Selanjutnya garam tersebut dinetralkan untuk memperoleh *p-aminofenol* dengan konversi fraksional 0,95. Akhirnya, *p-aminofenol* tersebut diasetilasi dengan mereaksikannya dengan asetat anhidrida, menghasilkan 3 kg mol asetaminofen per 4 kg mol. Berapa konversi keseluruhan dari *p-nitrofenol* menjadi asetaminofen ?



12. Vinyl Acetate ($\text{CH}_2=\text{CHOCOCH}_3$) dapat dibuat dari Ethylene (C_2H_4), Oksigen (O_2) dan Asam Asetat (CH_3COOH) berdasar reaksi sebagai berikut ini :



Sebagian Ethylene bereaksi dengan Oksigen menjadi menjadi Karbon Dioksida dan Air sebagai berikut :



Komposisi umpan dan hasil dari reaktor sebagai berikut :

Keterangan	Reaktor	
	Masuk	Keluar
Flowrate, [mol/menit]	19.250	18.850
Suhu [$^{\circ}\text{C}$]	148,5	158,9
Tekanan [psia]	128	90
Fraksi mol komponen:		
O_2	0,075	0,049
CO_2	0,007	0,011
C_2H_4	0,583	0,551
C_2H_6	0,216	0,221
$\text{CH}_2=\text{CHOCOCH}_3$	0	0,043
H_2O	0,009	0,055
CH_3COOH	0,110	0,070

Tentukan :

- Konversi ethylene
- Faktor stoikiometri ethylene/vinyl acetate
- Selektivitas vinyl acetate terhadap ethylene
- Yield vinyl acetate terhadap ethylene

D. DAFTAR PUSTAKA

- American National Metric Council. 1977. Metric Guide for Educational Materials. Washington DC: ANMC.
- Bhatt, B.I., dan S.M. Vora. 1976. Stoichiometry, edisi kedua. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Clausen, C.A., dan G. Mattson. 1979. Principles of Industrial Chemistry. New York: Wiley.
- Eva, Bayu, Sisil. 2003. Diktat Neraca Massa dan Energi.
- Felder, R.M., dan R.W. Rousseau. 1986. Elementary Principles of Chemical Processes. Edisi kedua, New York: Wiley.
- Himmelblau, D. 1996. Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 6th edition, Prentice-Hall.
- Horvath, A.D. 1986. Conversion Tables of Units in Science and Engineering. New York: Elsevier.
- Massey, B.S. 1986. Measures in Science and Engineering. New York: Halsted Press.

PERTEMUAN 5

KESETIMBANGAN MATERI

A. CAPAIAN PEMBELAJARAN

Setelah mengikuti pertemuan ini, mahasiswa mampu mendefinisikan sebuah sistem dan menggambarkan batas-batas sistem tersebut untuk mana kesetimbangan materi dibuat dan menjelaskan antara sistem terbuka dan tertutup.

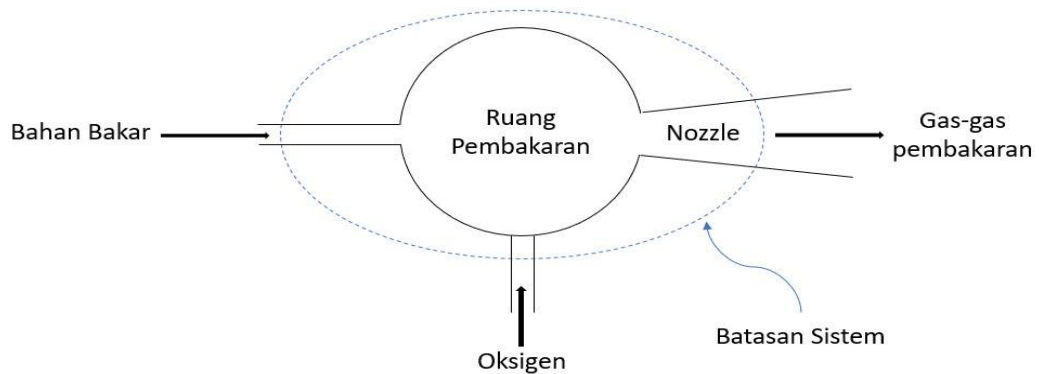
B. URAIAN MATERI

Membuat sebuah kesetimbangan materi untuk sebuah proses, pertama-tama anda harus menentukan sistem apa yang sedang anda buat kesetimbangannya, dan menguraikan batas-batasnya. Menurut kamus, sebuah proses adalah satu atau sederet kegiatan atau operasi atau perlakuan yang menghasilkan sebuah tujuan (produk). Teknik kimia berpusat pada operasi seperti reaksi kimia, perpindahan fluida, pengecilan dan pembesaran ukuran, pembentukan dan pemindahan panas, distilasi, absorpsi gas, bioreaktor dan sebagainya yang menyebabkan perubahan fisis dan kimia dalam materi.

Yang dimaksud dengan sistem (*system*) adalah bagian mana pun atau keseluruhan proses yang dikemukakan secara khusus untuk analisis. Sebuah **sistem terbuka (*open system*)** adalah sistem dengan materi dipindahkan melalui batas sistem, yaitu memasuki sistem, meninggalkan sistem atau keduanya. Sebuah **sistem tertutup (*closed system*)** adalah sistem tidak ada perpindahan seperti itu selama jangka waktu yang diinginkan. Dengan jelas, jika anda mengisi sebuah reaktor dengan beberapa reaktan dan mengambil produknya, dan reaktor tersebut ditunjuk sebagai sistem, materi dipindahkan melalui batas sistem. Tetapi anda boleh mengabaikan perpindahan tersebut, dan memusatkan perhatian hanya pada proses reaksi yang terjadi hanya setelah pengisian diselesaikan dan sebelum produk dikeluarkan. Proses seperti ini akan terjadi di dalam sistem tertutup.

Sebuah batas sistem mungkin ditetapkan berkenaan dengan peralatan proses seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.1, atau batas tersebut mungkin berupa permukaan imajiner yang tumbuh atau menyusut selama proses berjalan. Pikirkan tentang tube pasta gigi yang ditekan. Batas tetap barangkali tube itu

sendiri, di mana massa menyeberangi batas tersebut ketika anda menekan tube tersebut. Atau, anda dapat membayangkan batas fleksibel yang mengelilingi pasta gigi itu sendiri yang mengikuti bentuk pasta gigi yang tertekan keluar, yang tidak ada massa yang menyeberangi batas.



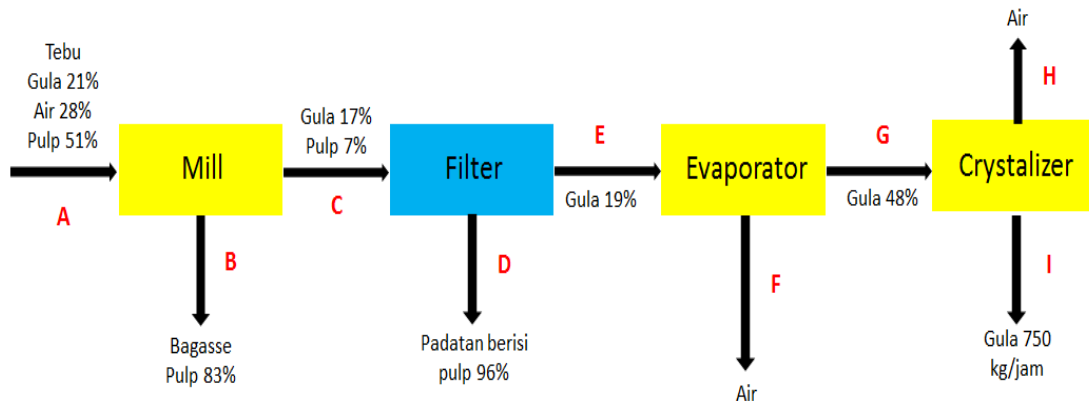
Gambar 5.1. Sistem mengalir (terbuka) yang ditetapkan dengan garis terputus-putus.

Kesetimbangan materi (*material balance*) tidak lebih dari pada akunting untuk materi. Kesimalimbangan materi sering dibandingkan dengan penyeimbangan rekening koran. Uang di simpan dan di tarik, dan perbedaan antara kesimalimbangan akhir dan permulaan menunjukkan akumulasi (atau penipisan) dalam rekening tersebut. Gambar 5.2 menggambarkan sebuah sistem umum dengan kesimalimbangan materi yang sedang dibuat.



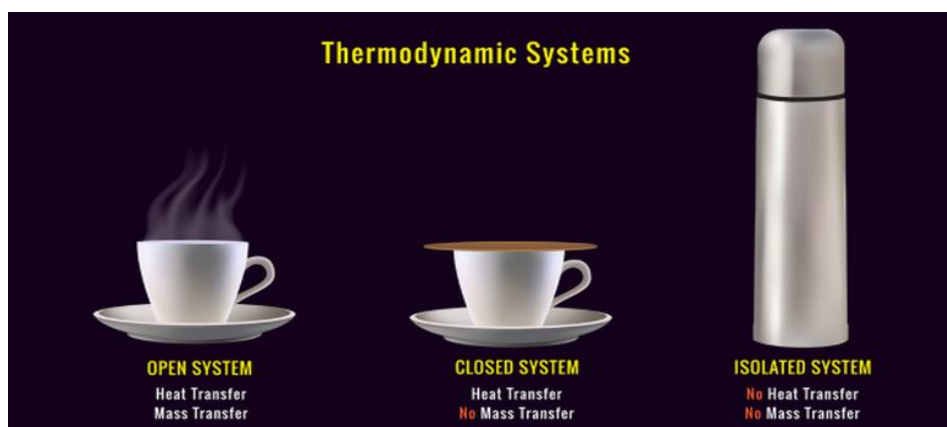
Gambar 5.2. Sebuah sistem dengan volume tertentu, dengan kesimalimbangan materi

sedang dibuat.

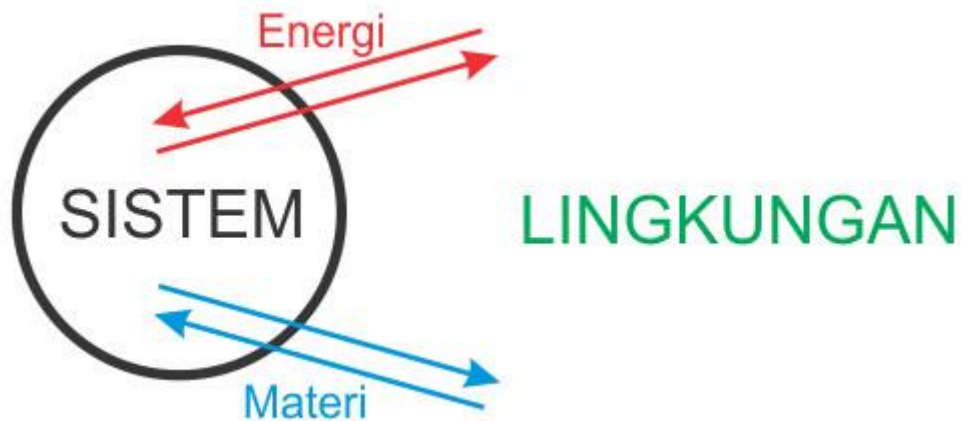


Gambar 5.3. Diagram alir proses sederhana pabrik gula

Gambar 5.3 merupakan diagram alir sederhana dari pabrik gula. Bahan baku yang digunakan adalah tebu dengan komposisi tertentu. Bahan baku tersebut masuk ke dalam alat penggiling (*Mill*) sehingga keluar cairan yang mengandung gula 17% dan bagasse (pulp 83%). Cairan yang keluar masih mengandung serat-serat halus pulp yang selanjutnya dimasukkan ke alat penyaring (*filter*) untuk menghilangkan semua pulp yang masih berada dalam larutan gula. Kemudian akan dihasilkan larutan gula jernih dengan konsentrasi gula 19%. Selanjutnya larutan gula 19% diuapkan airnya untuk membuat larutan gula menjadi lebih kental sehingga dihasilkan larutan gula 48%. Setelah itu dimasukkan ke alat pengkristal (*Crystalizer*) untuk dibuat kristal gula sebanyak 750 kg/jam. Tentunya dari data-data di atas kita dapat mencari berapa banyak umpan tebu yang dibutuhkan, air yang diuapkan dalam evaporator serta air yang dihilangkan dalam *Crystalizer*.



Sumber : Kompas.com

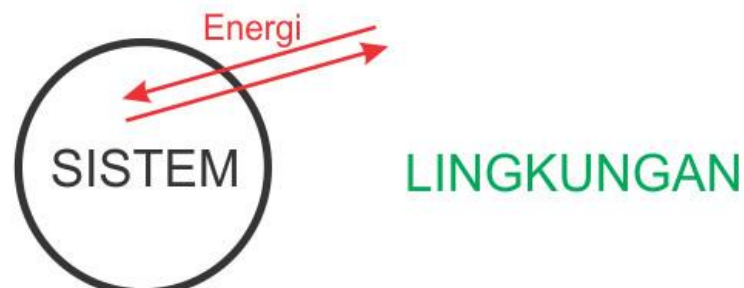
Gambar 5.4 Sistem Termodinamika

Sumber : ilmukimia.org

Gambar 5.5 Sistem Terbuka

Sistem terbuka seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.5 mungkin terjadi perpindahan panas dan perpindahan massa antara sistem tersebut dengan lingkungannya. Contoh :

1. Air panas dituangkan ke dalam cangkir yang tidak ditutup
2. Api unggun
3. Penggorengan
4. Air Conditioner (AC)
5. Kompresor
6. Turbin
7. Penukar panas
8. Tubuh manusia



Sumber : ilmukimia.org

Gambar 5.6 Sistem Tertutup

Sementara sistem tertutup memungkinkan terjadinya perpindahan panas tetapi tidak terjadi perpindahan massa.

Contoh :

1. Botol air hangat yang ditutup
2. Merebus air dengan penutup
3. Piston pneumatik yang disegel
4. Setrika
5. Mesin cuci
6. Bomb kalorimeter
7. Refrigerant dalam sistem pendingin
8. Planet bumi



Sumber : ilmukimia.org

Gambar 5.7 Sistem Terisolasi

Sedangkan sistem terisolasi adalah suatu sistem yang tidak memungkinkan terjadinya perpindahan panas dan perpindahan massa. Pada kenyataannya tidak ada sistem yang benar-benar terisolasi. Karena serapat apa pun pembatas antara sistem dan lingkungan, masih memungkinkan untuk terjadinya transfer panas/energi.

Contoh :

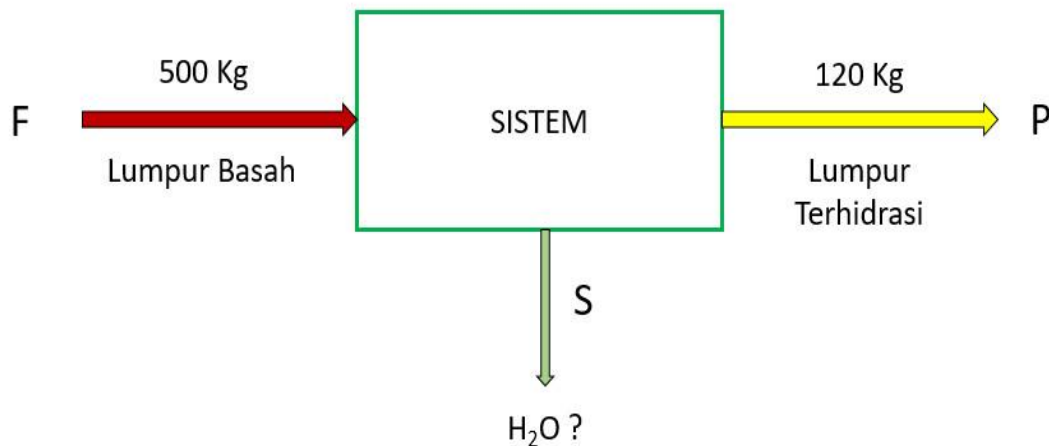
1. Termos
2. Alam semesta
3. Silinder baja bersegel silika yang mengandung nitrogen cair

Contoh Soal 1 : Kestimbangan Massa Total

Alat pengental dalam sebuah tempat pembuangan sampah dari pabrik menghilangkan air dari lumpur buangan basah. Berapa kilogram air meninggalkan alat pengental tersebut per 500 Kg lumpur basah yang memasuki alat pengental itu ? proses tersebut adalah dalam keadaan tunak.

Jawab :

Diagram Alir Proses :



Basis : 500 Kg lumpur basah

Sistem ini adalah alat pengental (sebuah sistem terbuka). Tidak ada akumulasi, generasi, atau konsumsi yang terjadi.

Input = Output

Neraca Massa :

$$F = S + P$$

$$500 \text{ Kg} = S + 120 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } S &= (500 - 120) \text{ Kg} \\ &= 380 \text{ Kg} \end{aligned}$$

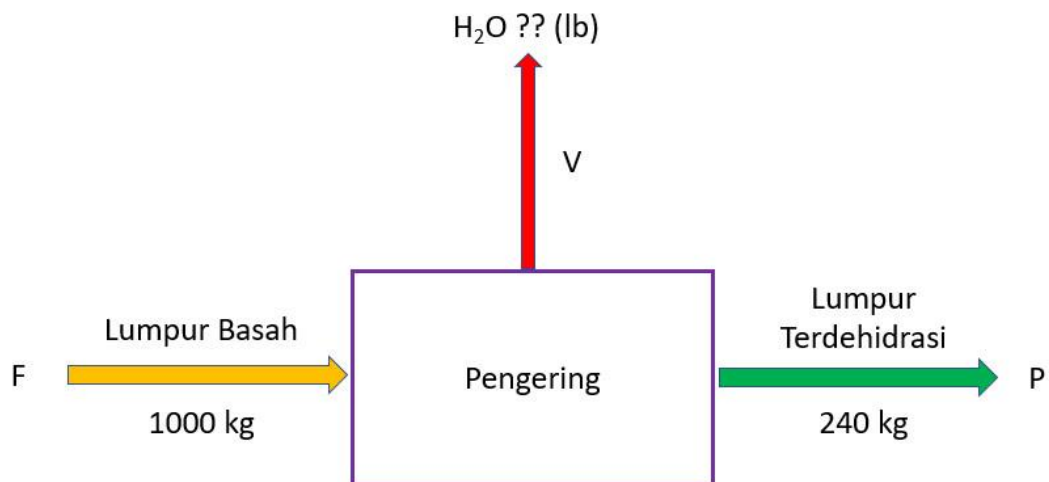
Sehingga, jumlah air yang meninggalkan alat pengental per 500 Kg lumpur basah yaitu sebesar 380 Kg.

Contoh Soal 2 : Kestimbangan Massa Total

Lumpur basah sisa hasil limbah industri ingin dikeringkan menggunakan sebuah alat pengering. Berapa pon (lb) air meninggalkan alat pengering tersebut per 1000 Kg lumpur basah yang memasuki alat pengering tersebut ? Proses tersebut adalah dalam keadaan tunak.

Jawab :

Diagram alir proses :



Basis : 1000 Kg lumpur basah

$$1000 \text{ Kg} = 2.204,62 \text{ lb}$$

Sistem ini adalah alat pengering (sebuah sistem terbuka). Tidak ada akumulasi, generasi, atau konsumsi yang terjadi.

Input = Output

Neraca Massa :

$$F = V + P$$

$$1.000 \text{ Kg} = V + 240 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } V &= (1.000 - 240) \text{ Kg} \\ &= 760 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Sehingga, jumlah air yang meninggalkan alat pengering per 1.000 Kg lumpur basah yaitu sebesar 760 Kg.

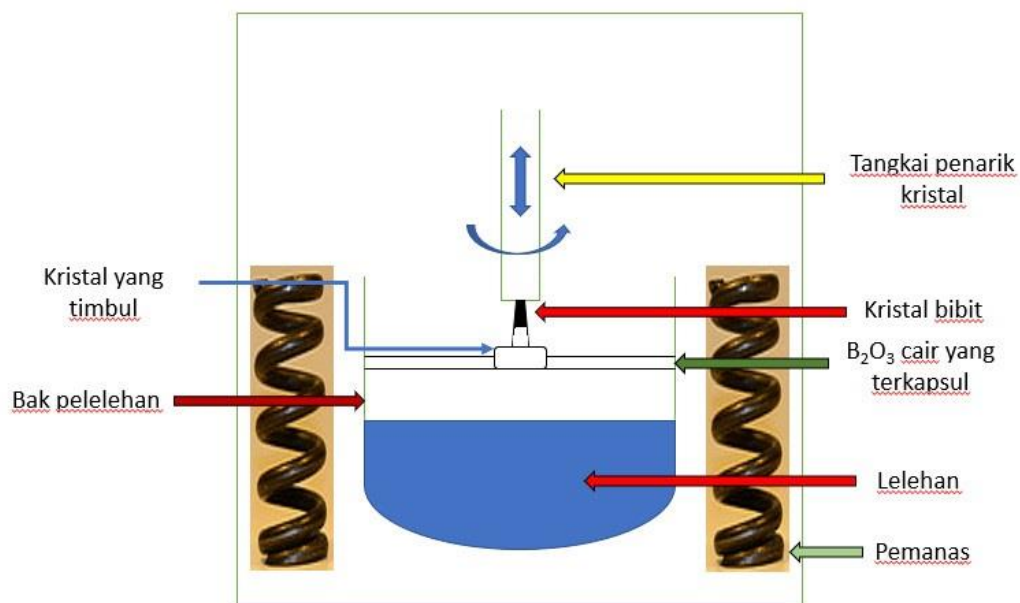
Atau jika dikonversikan ke dalam satuan pound (lb) menjadi :

$$= \frac{760 \text{ kg}}{1 \text{ kg}} \times \frac{2,204 \text{ lb}}{1 \text{ kg}}$$

$$= 1.675,04 \text{ lb}$$

Contoh Soal 3 : Kesetimbangan Massa

Barang silikon yang digunakan untuk pembuatan chips dapat dibuat dengan proses Czochralski (LEC) dengan sebuah silinder silikonyang berputar diambil dengan perlahan-lahan dari sebuah bak pemanas. Jika bak awal berisi 62 Kg silikon, dan sebuah batang berbentuk silinder berdiameter 17,5 cm sedang diangkat secara perlahan-lahan dari bak pelelehan pada laju 3 mm per menit. Berapa lama waktu yang akan diperlukan untuk mengangkat setengah dari silikon tersebut ? Berapa akumulasi silikon dalam bak pelelehan ?



Jawab :

Densitas kristal silikon dalam silinder tersebut adalah 2,4 gr/cm³.

Basis : 62 Kg Silikon

Sistem ini merupakan bak pelelehan, dan tidak ada pembentukan atau pemakaian. Misalkan Dm_1 merupakan akumulasi.

Akumulasi : Δm_1

Masukan : 0

Keluaran : 0,5 (62 Kg)

Akumulasi = Masukan – Keluaran

$$\Delta m_1 = 0 - 0,5 (62 \text{ Kg})$$

$$Dm_1 = -31 \text{ Kg}$$

Misalkan t adalah waktu dalam menit untuk mengangkat setengah dari silikon tersebut :

$$\begin{aligned} \frac{2,4 \text{ gr}}{\text{cm}^2} \times \frac{\pi (17,5 \text{ cm})^2}{4} \times \frac{0,3 \text{ cm}}{\text{menit}} \times \frac{t \text{ menit}}{1} \\ = \frac{1}{2} \times (62.000 \text{ gr}) \\ t = 179 \text{ menit} \end{aligned}$$

C. LATIHAN SOAL

1. Gambarlah sebuah sketsa dari beberapa proses berikut dan letakkan garis terputus-putus di sekeliling sistem :
 - a. Teko teh
 - b. Perapian
 - c. Kolam renang
2. Beri label pada materi yang memasuki dan meninggalkan sistem dalam soal 1. Tunjukkan jangka waktu referensi dan golongkan setiap sistem sebagai terbuka atau tertutup.
3. Golongkan proses-proses berikut sebagai : (1) batch, (2) aliran, (3) bukan keduanya, (4) keduanya, pada skala waktu satu hari :

- a. Tangki penyimpan minyak di sebuah kilang minyak.
 - b. Tangki penyiram pada sebuah toilet.
 - c. Konverter katalitik pada sebuah mobil.
 - d. Tungku pembakaran gas pada sebuah rumah.
4. Nyatakan apakah proses berikut ini menunjukkan sistem terbuka atau tertutup:
- a. Siklus karbon global di bumi
 - b. Siklus karbon untuk sebuah hutan
 - c. Sebuah motor tempel untuk sebuah perahu
 - d. Air conditioner dirumah anda berkenaan dengan zat pendinginnya.
5. Berikan sebuah contoh dari :
- a. Sebuah proses keadaan tidak tunak
 - b. Sebuah proses keadaan tunak

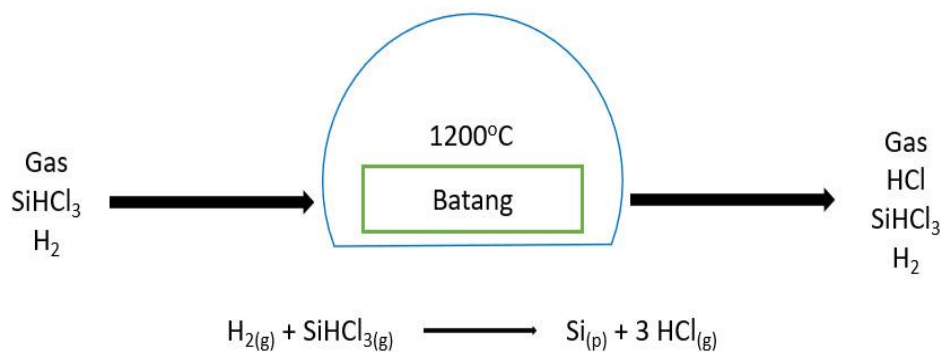
Gambarlah sebuah gambar dan terangkan proses tersebut (tidak lebih dari 5 kalimat), proses jenis apa pun yang dapat anda pikirkan akan dapat diterima, tidak diharuskan proses teknik kimia.

6. Jelaskan mengapa mol total yang memasuki sebuah proses mungkin tidak berada dalam kesetimbangan !
7. Bacalah setiap skenario berikut ini. Nyatakan apa sistemnya. Gambarlah. Golongkan sebagai satu atau lebih dari yang berikut : sistem terbuka, sistem tertutup, proses keadaan tunak, proses keadaan tidak tunak.
- a. Anda mengisi radiator mobil anda dengan zat pendingin.
 - b. Anda mengosongkan radiator mobil anda.
 - c. Anda mengisi radiator mobil terlalu penuh dan zat pendingin mengalir di tanah.
 - d. Radiator penuh dan pompa air mensirkulasi air ke dan dari mesin sementara mesin sedang bekerja.
8. Salah satu metode komersial yang paling umum untuk produksi silikon murni yang akan digunakan untuk industri semi konduktor adalah proses Siemens dari pengendapan uap zat kimia (*Chemical Vapor Deposition*). Sebuah ruangan berisi sebuah batang silikon yang dipanaskan, dan campuran dari triklorosilan dengan kemurnian tinggi yang dicampur dengan hidrogen dengan kemurnian tinggi yang berjalan melalui batang tersebut. Silikon murni (EGS-*electronic grade silicon*) mengendap pada batang tersebut sebagai padatan

polikristalin. (Kristal tunggal Si kemudian dibuat dengan cara berturut-turut melelehkan EGS dan menarik kristal tunggal dari lelehan tersebut). Reaksi :



Batang tersebut pada awalnya memiliki massa sebesar 1.750 gram dan fraksi mol H_2 dalam gas keluar adalah 0,219. Fraksi mol H_2 dalam masukan ke reaktor adalah 0,593, dan asupan tersebut masuk pada laju 7,04 kgmol/jam. Berapa massa batang tersebut setelah 20 menit ?



9. Larutan gula ingin dihilangkan sejumlah air di dalam sebuah alat pengering (evaporator). Berapa pon (lb) air meninggalkan alat pengering tersebut per 2000 Kg larutan gula 23% yang memasuki alat pengering tersebut untuk menghasilkan larutan gula 82% ? Proses tersebut adalah dalam keadaan tunak.

D. DAFTAR PUSTAKA

- American National Metric Council. 1977. Metric Guide for Educational Materials. Washington DC: ANMC.
- Bhatt, B.I., dan S.M. Vora. 1976. Stoichiometry, edisi kedua. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Clausen, C.A., dan G. Mattson. 1979. Principles of Industrial Chemistry. New York: Wiley.
- Distantina S. 2001. Diktat Pendahuluan Neraca Massa.
- Eva, Bayu, Sisil. 2003. Diktat Neraca Massa dan Energi.

- Felder, R.M., dan R.W. Rousseau.1986. Elementary Principles of Chemical Processes. Edisi kedua, New York: Wiley.
- Himmelblau, D. 1996. Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 6th edition, Prentice-Hall.
- Husain, A. 1986. Chemical Process Simulation. New Delhi: Halstead (Wiley).
- Horvath, A.D. 1986. Conversion Tables of Units in Science and Engineering. New York: Elsevier.
- Massey, B.S. 1986. Measures in Science and Engineering. New York: Halsted Press.
- Reklaitis, G.V. 1983. Introduction to Material and Energy Balances. New York: Wiley.
- Russel, T.W.F., dan M.M. Denn. 1972. Introduction to Chemical Engineering Analysis. New York: Wiley.

PERTEMUAN 6

KONSEP NERACA MASSA

A. CAPAIAN PEMBELAJARAN

Setelah selesai mengikuti materi pada pertemuan ini, mahasiswa mampu menulis kesetimbangan materi umum dalam kata-kata dengan memasukkan semua unsur dan mampu menerapkan kesetimbangan pada masalah sederhana. menjelaskan pelbagai keadaan yang pada keadaan itu massa suatu senyawa yang memasuki sistem sama dengan massa yang meninggalkan sistem.

B. URAIAN MATERI

Neraca massa merupakan banyaknya material/bahan masuk, keluar dan yang terakumulasi di dalam sebuah sistem yang diuraikan secara detail (rinci). Kesetimbangan materi dapat dibuat untuk aneka ragam materi, untuk sistem dengan ukuran-ukuran berbeda dan dalam berbagai derajat kekompleksan.

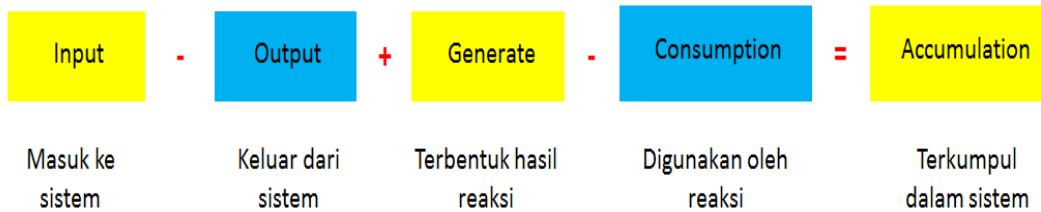
Prinsip dari kesetimbangan materi :

1. Kesetimbangan materi merupakan penerapan hukum konservasi untuk massa (kekekalan massa) : “ Materi tidak diciptakan atau dimusnahkan “ terhadap suatu sistem proses yang ada.
2. Materi berjumlah tetap dan hanya dapat diubah bentuknya saja (berubah fasanya).

Kesetimbangan materi dapat menunjukkan kesetimbangan pada sebuah sistem untuk:

1. Massa Total
2. Mol Total
3. Massa dari senyawa kimia
4. Massa dari atom
5. Mol dari senyawa kimia
6. Mol dari atom
7. Volume

Persamaan umum yang digunakan :



Klasifikasi Proses

Proses terbagi atas dua bagian yaitu *Batch* dan Kontinyu.

1. Proses Batch

Input umpan/pereaksi dan output produk yang dihasilkan dilaksanakan dengan rentang waktu yang ditetapkan / tidak dilakukan secara kontinyu.

Contoh :

- a. Memanaskan air dengan kompor gas pada teko air
- b. Memasak di dalam sebuah panci (panci menjadi alat proses)

2. Proses Kontinyu

Proses dengan input umpan dan output (produk) dilakukan secara kontinyu dengan kecepatan tertentu.

Berdasarkan keadaannya proses dibedakan menjadi dua yaitu proses dalam keadaan tunak (*steady*) dan keadaan tidak tunak (*unsteady*).

1. Proses Tunak

Semua aliran di dalam sistem mempunyai laju, komposisi, massa dan suhu yang tetap atau tidak berubah terhadap waktu. Sehingga pada keadaan ini jumlah akumulasi di dalam sistem tetap.

Kecepatan alir masuk = Kecepatan alir keluar

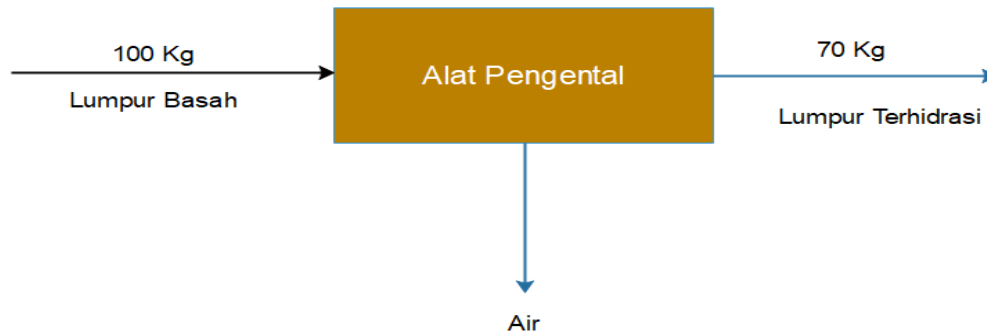
2. Proses Tidak Tunak

Proses ini terjadi perubahan dalam sistem terhadap waktu. Baik berupa perubahan laju, komposisi, massa maupun suhu. Karena adanya perubahan laju maka terdapat perubahan akumulasi dalam sistem sehingga akumulasi massa harus diperhitungkan.

Contoh 1, Keseimbangan Massa Total :

Sebuah pabrik menggunakan suatu alat pengental untuk menghilangkan air seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.1. Berapa kilogram air meninggalkan alat

pengental tersebut per 100 kg lumpur basah yang memasuki alat pengental itu ?
(Proses tersebut adalah dalam keadaan tunak).

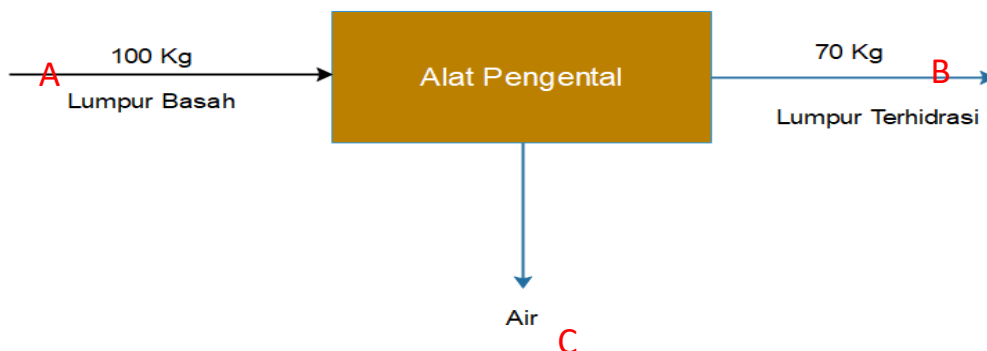


Gambar 6.1. Keseimbangan Massa Total

Jawab :

Basis : 100 Kg Lumpur Basah

Sistem ini adalah alat pengental (sebuah sistem terbuka). Tidak ada akumulasi, generasi, atau konsumsi yang terjadi. Sehingga keseimbangan massa totalnya adalah :



Input = Output

Neraca Massa Total :

$$A = B + C$$

$$100 = 70 + C$$

$$C = 30 \text{ Kg}$$

Maka, air yang dihasilkan berjumlah 30 Kg.

Contoh 2 :

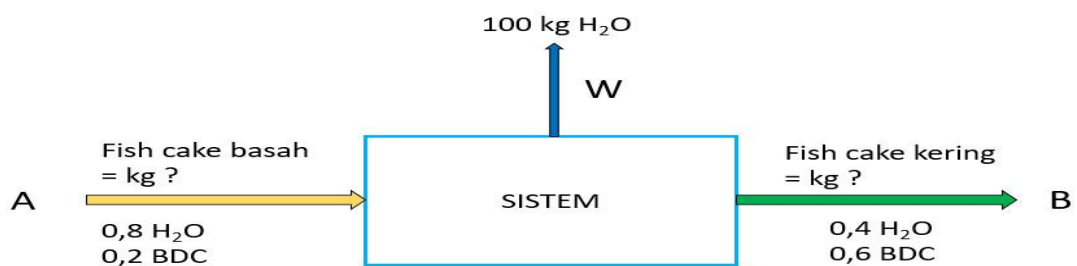
Ikan yang ditangkap oleh manusia dapat di ubah menjadi tepung ikan, dan tepung ikan ini juga dapat digunakan sebagai pakan untuk bahan pangan untuk

manusia atau langsung di makan. Penggunaan tepung ikan secara langsung meningkatkan efisiensi rantai makanan secara signifikan. Tetapi konsentrat protein ikan, terutama karena alasan estetika, sebagian besar digunakan sebagai makanan protein tambahan. Dengan demikian, tepung ikan ini bersaing dengan protein kedelai dan biji-bijian lainnya.

Dalam pemrosesan ikan, setelah minyak di ekstrak, ampas ikan (*fish cake*) dikeringkan dalam pengering drum berputar, digiling sampai halus dan di kemas. Produk yang dihasilkan mengandung 65% protein. Dalam sejumlah ampas ikan yang diberikan yang mengandung 80% air (sisanya adalah *cake* kering), 100 kg air dihilangkan, dan ditemukan bahwa ampas ikan tersebut kemudian mengandung 40% air. Hitung berat ampas ikan yang mula-mula dimasukkan ke dalam pengering !

Jawab :

Diagram Alir Proses :



Basis : 100 kg air yang diuapkan = W

Ada dua aliran arus yang tak diketahui yaitu A dan B. Semua komposisi diketahui.

Dua kesetimbangan independen dapat dituliskan sehingga ada satu pemecahan yang unik. Kita akan menggunakan kesetimbangan massa total ditambah / plus kesetimbangan BDC (*bone dry cake*) (komponen penghubung) bukannya kesetimbangan air.

$$0,80 A = 0,40 B + 100$$

Karena kesetimbangan BDC sedikit lebih mudah untuk digunakan. Kesetimbangan air dapat digunakan sebagai pemeriksa pada perhitungan.

	Masuk		Keluar	
Kesetimbangan total :	A	=	B + W = B + 100	Kesetimbangan massa
Kesetimbangan BDC	0,20 A	=	0,60 B	

Kesetimbangan BDC memberikan ratio A terhadap B : $B = \frac{1}{3A}$

Masukkan hubungan ini ke dalam kesetimbangan total untuk memperoleh :

A = 150 Kg Cake awal Periksa melalui kesetimbangan air :

0,80 (150) apakah sama dengan 0,40 (150) (1/3) + 100

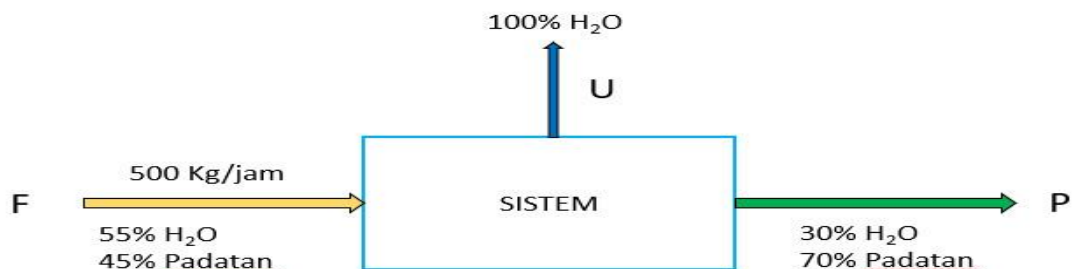
$$120 = 120$$

Contoh 3 :

Produk sereal mengandung 55% air dibuat pada laju 500 kg/jam. Seseorang harus mengeringkan produk tersebut sehingga produk itu hanya mengandung 30% air. Berapa banyak air yang harus diuapkan per jam ?

Jawab :

Diagram Alir Proses :



Basis : 500 Kg/jam F

Input = Output

Neraca Massa Total :

$$F = P + U$$

$$500 = P + U \dots \dots \dots (1)$$

Neraca Massa Komponen : (Padatan)

$$0,45 F = 0,70 P + 0.U$$

$$0,45 (500) = 0,70 P$$

$$0,70 P = 225 \text{ kg/jam}$$

$$P = 321,43 \text{ Kg/jam}$$

Jika P bernilai 321,43 Kg/jam, maka nilai U adalah :

Dari persamaan (1) :

$$500 = P + U$$

$$U = 500 - P$$

$$U = (500 - 321,43) \text{ Kg/jam}$$

$$U = 178,57 \text{ Kg/jam}$$

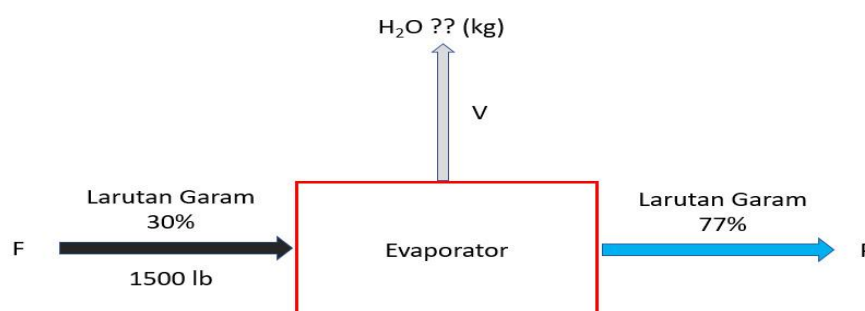
Sehingga, jumlah air yang harus diuapkan setiap jamnya adalah sebesar $U = 178,57 \text{ Kg/jam}$.

Contoh 4 :

Sejumlah air ingin dihilangkan dalam larutan garam 30% di dalam sebuah alat pengering (evaporator). Berapa kg air yang meninggalkan alat pengering tersebut per 1500 lb larutan garam yang memasuki alat pengering tersebut untuk menghasilkan larutan garam 77% ? Proses tersebut adalah dalam keadaan tunak (*steady state*).

Jawab :

Diagram alir proses :



Basis : 1.500 lb larutan garam 30%

Sistem ini adalah alat pengering (sebuah sistem terbuka). Tidak ada akumulasi, generasi, atau konsumsi yang terjadi.

Input = Output

Neraca Massa Total :

$$F = V + P$$

$$1.500 \text{ lb} = V + P \dots\dots\dots(1)$$

Neraca Massa Komponen : (Garam)

$$0,3 F = 0.V + 0,77 P$$

$$0,3 \times 1500 \text{ lb} = 0,77 P$$

$$0,77 P = 450 \text{ lb}$$

$$P = 584,41 \text{ lb}$$

Dari persamaan (1), diperoleh :

$$1.500 \text{ lb} = V + P$$

$$V = 1.500 \text{ lb} - P$$

$$= 1.500 \text{ lb} - 584,41 \text{ lb}$$

$$= 915,59 \text{ lb}$$

Sehingga, jumlah air yang meninggalkan alat pengering per 1.500 lb larutan garam 30% yaitu sebesar 915,59 lb.

Atau jika dikonversikan ke dalam satuan kilogram (kg) menjadi :

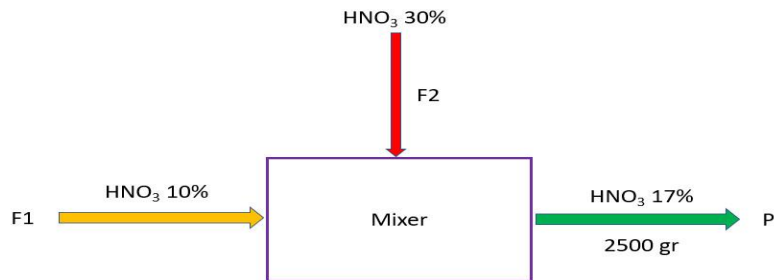
$$\begin{aligned} &= \frac{915,59 \text{ lb}}{2,204 \text{ lb}} \times \frac{1 \text{ kg}}{2,204 \text{ lb}} \\ &= 415,42 \text{ kg} \end{aligned}$$

Contoh 5 :

Di laboratorium hanya tersedia larutan HNO_3 10 % (% berat) dan larutan HNO_3 30%. Seorang praktikan akan membuat 2500 gram larutan HNO_3 17%. Apa yang sebaiknya dilakukan praktikan tersebut ?

Jawab :

Diagram alir proses :



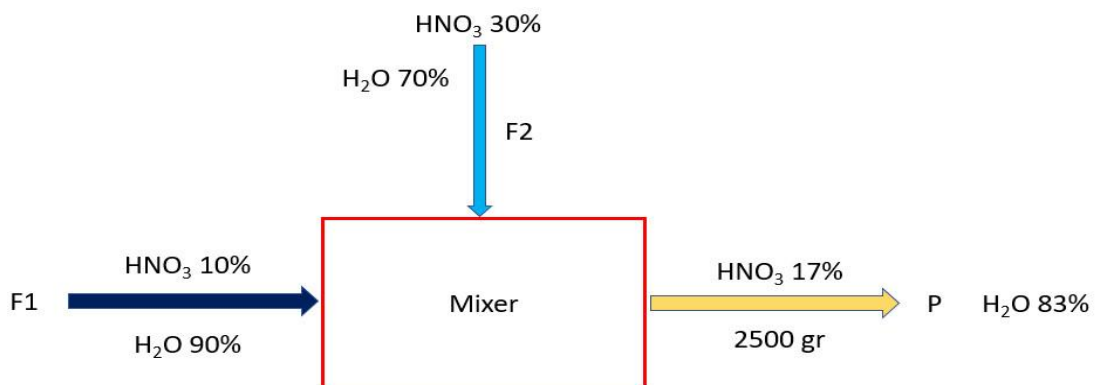
Basis : 2500 gram P (Produk)

Neraca Massa Total :

$$F1 + F2 = P$$

$$F1 + F2 = 2500 \text{ gr} \dots\dots\dots(1)$$

Neraca Massa Komponen : HNO_3



$$0,1 F1 + 0,3 F2 = 0,17 P$$

$$0,1 F1 + 0,3 F2 = 0,17 \times 2500 \text{ gr}$$

$$0,1 F1 + 0,3 F2 = 425 \text{ gr} \dots\dots\dots(2)$$

Substitusi persamaan (1) ke persamaan (2) untuk mencari nilai F1 dan F2 :

$$F1 + F2 = 2500 \text{ gr} \dots\dots\dots(1)$$

$$F1 = 2500 \text{ gr} - F2$$

$$0,1 F1 + 0,3 F2 = 425 \text{ gr} \dots\dots\dots(2)$$

$$0,1 (2500 \text{ gr} - F_2) + 0,3 F_2 = 425 \text{ gr}$$

$$250 \text{ gr} - 0,1 F_2 + 0,3 F_2 = 425 \text{ gr}$$

$$0,2 F_2 = 175 \text{ gr}$$

$$F_2 = 875 \text{ gr}$$

$$F_1 + F_2 = 2500 \text{ gr}$$

$$F_1 = 2500 \text{ gr} - 875 \text{ gr}$$

$$= 1.625 \text{ gr}$$

Jadi, jumlah larutan HNO_3 10% sebanyak 1.625 gr ditambahkan/dicampurkan dengan larutan HNO_3 30% sejumlah 875 gr untuk mendapatkan larutan HNO_3 17% sebanyak 2.500 gram.

Pembuktian yang lain bisa menggunakan komponen yang lain yaitu H_2O .

Neraca Massa Komponen : H_2O

$$0,9 F_1 + 0,7 F_2 = 0,83 P$$

$$0,9 F_1 + 0,7 F_2 = 0,83 \times 2500 \text{ gr}$$

$$0,9 F_1 + 0,7 F_2 = 2.075 \text{ gr} \dots \dots \dots (3)$$

Substitusi persamaan (1) ke persamaan (3) untuk mencari nilai F_1 dan F_2 :

$$F_1 + F_2 = 2500 \text{ gr} \dots \dots \dots (1)$$

$$F_1 = 2500 \text{ gr} - F_2$$

$$0,9 F_1 + 0,7 F_2 = 2.075 \text{ gr} \dots \dots \dots (3)$$

$$0,9 (2500 \text{ gr} - F_2) + 0,7 F_2 = 2.075 \text{ gr}$$

$$2.250 \text{ gr} - 0,9 F_2 + 0,7 F_2 = 2.075 \text{ gr}$$

$$-0,2 F_2 = -175 \text{ gr}$$

$$F_2 = 875 \text{ gr}$$

$$F1 + F2 = 2500 \text{ gr}$$

$$F1 = 2500 \text{ gr} - 875 \text{ gr}$$

$$= 1.625 \text{ gr}$$

Jadi, jumlah larutan HNO_3 10% sebanyak 1.625 gr ditambahkan/dicampurkan dengan larutan HNO_3 30% sejumlah 875 gr untuk mendapatkan larutan HNO_3 17% sebanyak 2.500 gram terbukti benar.

C. LATIHAN SOAL

1. Campuran tiga gas A, B dan C dengan komposisi seperti yang ditunjukkan dalam tabel dicampur menjadi campuran tunggal.

Gas	A	B	C
CH_4	25	25	60
C_2H_6	35	30	25
C_3H_8	40	45	15
Total	100	100	100

Seorang analis baru melaporkan bahwa komposisi dari campuran adalah 25% CH_4 , 25% C_2H_6 , dan 50% C_3H_8 . Tanpa membuat perhitungan yang terperinci, jelaskan bagaimana anda mengetahui bahwa analisis tersebut tidak benar !

2. Pabrik batu arang mempunyai kontrak untuk membuat briket arang untuk panggangan *barbeque* yang dijamin tidak mengandung lebih dari 10% kadar air atau 10% abu. Materi dasar yang mereka gunakan mempunyai analisis : kadar air 1,4%, materi volatil 16,6%, karbon 57,5%, dan abu 13,5%. Untuk memenuhi spesifikasi tersebut mereka merencanakan untuk mencampur materi dasar tersebut dengan sejumlah tertentu batu arang petroleum (*petroleum cake*) yang mempunyai analisis : materi volatile 8,2%, karbon 88,7%, dan air 3,1%. Berapa banyak batu arang petroleum harus ditambahkan per 100 lb materi dasar tersebut ?

3. Lumpur (*sludge*) adalah padatan basah yang dihasilkan dari pengolahan sistem sampah perkotaan. Lumpur tersebut harus dikeringkan sebelum dapat dibuat menjadi kompos atau ditangani dengan cara lain. Jika lumpur yang mengandung 68% air dan 32% padatan dilewatkan melalui sebuah pengering, dan produk yang dihasilkan mengandung 23% air. Berapa banyak air yang diuapkan per ton lumpur yang dikirim ke pengering ?
4. Untuk membuat larutan 50% asam sulfat, buangan asam encer yang mengandung 28% H_2SO_4 diperkaya dengan asam daging yang mengandung 96% H_2SO_4 . Berapa kilogram asam daging tersebut harus dibeli untuk setiap 100 kg asam encer ?
5. Sebuah pabrik vernis harus mengirim 2500 lb larutan 7% nitroselulosa. Mereka memiliki persediaan larutan nitroselulosa 5,5%. Berapa nitroselulosa kering yang harus dilarutkan dalam larutan tersebut untuk memenuhi pesanan (order) dari konsumen ?

D. DAFTAR PUSTAKA

- American National Metric Council. 1977. Metric Guide for Educational Materials. Washington DC: ANMC.
- Bhatt, B.I., dan S.M. Vora. 1976. Stoichiometry, edisi kedua. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Clausen, C.A., dan G. Mattson. 1979. Principles of Industrial Chemistry. New York: Wiley.
- Distantina S. 2001. Diktat Pendahuluan Neraca Massa.
- Eva, Bayu, Sisil. 2003. Diktat Neraca Massa dan Energi.
- Felder, R.M., dan R.W. Rousseau. 1986. Elementary Principles of Chemical Processes. Edisi kedua, New York: Wiley.
- Himmelblau, D. 1996. Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 6th edition, Prentice-Hall.
- Husain, A. 1986. Chemical Process Simulation. New Delhi: Halstead (Wiley).
- Horvath, A.D. 1986. Conversion Tables of Units in Science and Engineering. New York: Elsevier.

Massey, B.S. 1986. Measures in Science and Engineering. New York: Halsted Press.

Reklaitis, G.V. 1983. Introduction to Material and Energy Balances. New York: Wiley.

Russel, T.W.F., dan M.M. Denn. 1972. Introduction to Chemical Engineering Analysis. New York: Wiley.

PERTEMUAN 7

PENYUSUNAN NERACA MASSA

A. CAPAIAN PEMBELAJARAN

Setelah mengikuti pertemuan ini, mahasiswa diharapkan mampu :

1. Membuat diagram alir materi dari masalah dalam kata-kata.
2. Menterjemahkan kata dan diagram yang berhubungan ke dalam kesetimbangan materi dengan simbol-simbol yang didefinisikan dengan tepat untuk variabel-variabel yang tak diketahui dan satuan-satuan yang konsisten untuk proses tanpa reaksi kimia.
3. Menyusun persamaan-persamaan tertentu berdasarkan masalah-masalah yang ada.
4. Memutuskan persamaan mana yang akan digunakan jika anda mempunyai persamaan-persamaan yang berlebihan (*redundant*).

B. URAIAN MATERI

Neraca massa dibuat untuk satu alat/unit atau rangkaian alat dengan batasan sistem (*system boundary*) tertentu/jelas, jumlah bahan yang dihitung adalah hanya bahan-bahan yang masuk dan keluar dari sistem yang telah ditentukan batasnya.

Neraca yang dibuat harus berdasarkan **Hukum kekekalan massa** yaitu massa tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan; walaupun berubah hanya bentuk atau tempatnya.

Tahapan dalam menghitung neraca massa :

1. Gambarkan *Process Flow Diagram* (PFD).
2. Lengkapi data-data kualitatif dan kuantitatifnya.
3. Buatlah pemisalan variabel untuk diagram alir proses yang sudah dibuat, baik itu aliran masuk (input) dan aliran keluarnya (output).
4. Menentukan basis perhitungan.
5. Susun (buat) persamaan berdasarkan variabel yang sudah dibuat. Persamaan yang dibuat dari neraca massa total dan neraca massa komponen.

6. Selesaikanlah perhitungan neraca massa tersebut berdasarkan persamaan-persamaan yang telah dibuat dan bisa diselesaikan dengan cara mengeliminasi atau mensubstitusi salah satu komponen (variabel) yang sudah dibuat.

Pentingnya penyusunan neraca

Neraca massa atau panas suatu **sistem proses** dalam industri merupakan perhitungan kuantitatif dari semua bahan-bahan yang masuk, yang keluar, yang terakumulasi (tersimpan) dan yang terbuang dalam sistem itu. Perhitungan neraca digunakan untuk mencari variabel proses yang belum diketahui, berdasarkan data variabel proses yang telah ditentukan/diketahui. Oleh karena itu, perlu disusun persamaan yang menghubungkan data variabel proses yang telah diketahui dengan variabel proses yang ingin dicari.



Gambar 7.1 Ilustrasi penyelesaian neraca massa

Untuk menyelesaikan neraca massa/bahan, diperlukan gambaran secara visual untuk memahami proses yang terjadi. Cara yang umum digunakan dengan menggambarkan diagram alir proses berdasarkan deskripsi kasus yang ada. Beberapa pengertian/istilah yang akan dibahas yaitu : variabel proses, *Process Flow Diagram* (PFD), *System*, dan proses-proses yang ada pada industri kimia.

Variabel Proses

Variabel proses yang umum digunakan dan ada hubungannya dengan bidang teknik kimia adalah :

1. Massa dan volum

Untuk menyatakan hubungan antara massa dengan volum dapat dinyatakan dengan *density* (berat jenis). Bisa juga dinyatakan dalam bentuk volume spesifik dan gravitasi spesifik (s.g).

2. Kecepatan alir (*flow rate*)

Proses yang berlangsung secara kontinyu yang membutuhkan data kecepatan material yang dinamakan laju alir. Alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan alir berupa *pitot tube*, *orifice meter*, *venturi meter*, *flow nozzle*, dan *rotameter*.

Klasifikasi laju (kecepatan) alir :

- a. Laju alir linier rata-rata dalam pipa, dinyatakan dalam satuan panjang linier setiap satuan waktu.
- b. Laju alir volumetrik (*volumetric flow rate*), kecepatan alir yang dinyatakan dalam banyaknya volum fluida yang mengalir setiap satuan waktu.
- c. Laju alir massa (*mass flow rate*), kecepatan alir yang dinyatakan dalam banyaknya massa yang mengalir setiap satuan waktu.

3. Komposisi Kimia

Berat unsur dan berat senyawa merupakan hubungan mol dengan massa bahan. Secara umum, bahan berupa campuran mengandung lebih dari satu komponen, oleh karena itu perlu diketahui isi (atau komposisi) masing-masing komponen penyusun bahan yang ada. Komposisi bahan bisa dinyatakan dalam:

- a. Fraksi massa atau fraksi berat.

Umumnya untuk komposisi bahan berbentuk cair atau padat dinyatakan dalam fraksi massa (berat). Jumlah fraksi massa keseluruhan harus sama dengan 1,00.

- b. Fraksi mol

Komposisi bahan dalam fase gas umumnya dinyatakan dalam fraksi mol. Jumlah fraksi mol keseluruhan harus sama dengan 1,00.

- c. Konsentrasi

Konsentrasi merupakan jumlah senyawa (bahan) didalam campurannya setiap satuan volume.

Satuan konsentrasi bisa berupa satuan ppm = part per million = bagian per sejuta atau ppb = part per billion.

4. Tekanan

Tekanan (*pressure*) didefinisikan sebagai “gaya normal per satuan luas.” Tekanan didesakkan pada bagian atas silinder air oleh atmosfer, dan pada bagian bawah silinder itu sendiri oleh air.

Tekanan pada bagian bawah dari kolom air statik (tidak bergerak) yang didesakkan pada lempeng penyegel adalah :

$$p = \frac{F}{A} = \rho g h + p_0$$

Dimana :

p = tekanan pada bagian bawah kolom fluida

F = gaya

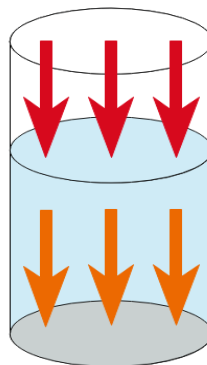
A = luas

ρ = densitas fluida

g = percepatan gravitasi

h = tinggi kolom fluida

p_0 = tekanan pada bagian atas kolom fluida



Gambar 7.2. Ilustrasi Tekanan Pada Silinder

5. Temperatur (Suhu)

Suhu (temperatur) dapat didefinisikan menurut Maxwell : “Suhu dari sebuah benda adalah pengukuran keadaan termalnya yang dianggap dalam referensi kekuatannya untuk memindahkan panas ke benda lain.”

Derajat satuan (yaitu satuan perbedaan suhu) pada skala Kelvin-Celsius tidak sama ukurannya dengan derajat satuan skala Rankine-Fahrenheit. Jika $\Delta^{\circ}\text{F}$ mewakili satuan perbedaan suhu dalam skala Fahrenheit, $\Delta^{\circ}\text{R}$ adalah satuan perbedaan suhu dalam skala Rankine, dan $\Delta^{\circ}\text{C}$ dan ΔK adalah satuan analog dalam dua skala lainnya, maka :

$$\Delta^{\circ}\text{F} = \Delta^{\circ}\text{R}$$

$$\Delta^{\circ}\text{C} = \Delta\text{K}$$

Demikian pula, jika anda mengingat bahwa $\Delta^{\circ}\text{C}$ lebih besar daripada $\Delta^{\circ}\text{F}$, maka:

$$\frac{\Delta^{\circ}\text{C}}{\Delta^{\circ}\text{F}} = 1,8 \text{ atau } \Delta^{\circ}\text{C} = 1,8 \Delta^{\circ}\text{F}$$

$$\frac{\Delta\text{K}}{\Delta^{\circ}\text{R}} = 1,8 \text{ atau } \Delta\text{K} = 1,8 \Delta^{\circ}\text{R}$$

Contoh Soal 1 :

Konversikan 100°C menjadi :

- K
- $^{\circ}\text{F}$
- $^{\circ}\text{R}$

Jawab :

a. $(100 + 273)^{\circ}\text{C} \frac{1 \Delta\text{K}}{1 \Delta^{\circ}\text{C}} = 373 \text{ K}$ atau dengan meniadakan symbol Δ

$$(100 + 273)^{\circ}\text{C} \frac{1 \text{ K}}{1 ^{\circ}\text{C}} = 373 \text{ K}$$

b. $(100^{\circ}\text{C}) \frac{1,8 ^{\circ}\text{F}}{1 \Delta^{\circ}\text{C}} + 32^{\circ}\text{F} = 212^{\circ}\text{F}$

c. $(212 + 460)^{\circ}\text{F} \frac{1 \text{ R}}{1 ^{\circ}\text{F}} = 672^{\circ}\text{R}$ atau

$$(373\text{K}) \frac{1,8 ^{\circ}\text{R}}{1 \text{ K}} = 672^{\circ}\text{R}$$

Contoh Soal 2 :

Suatu Botol bertuliskan larutan HNO_3 teknis 33% (w/w). Tentukan dalam % mol larutan tersebut.

Jawab :

Komponen	% berat	Berat (g)	Mol	% Mol
HNO_3	33	33	$33/63 = 0,52$	12,26
H_2O	67	67	$67/18 = 3,72$	87,74
Total	100	100	4,24	100

Jadi, larutan tersebut adalah larutan HNO_3 12,26% (% mol).

Diagram Alir Proses

Adalah gambaran visual yang menunjukkan semua aliran bahan-bahan baik yang masuk alat maupun yang keluar, disertai data-data susunan dari campuran bahan-bahan aliran. Gambaran ini bisa bersifat kualitatif dan kuantitatif.

Kualitatif : menunjukkan macam-macam bahan yang masuk dan keluar.

Kuantitatif : menunjukkan macam-macam bahan dan kuantitasnya.

Jadi, dalam membuat diagram alir proses, harus mencantumkan data kualitatif dan kuantitatif.

Suatu unit proses dapat digambarkan dalam sebuah kotak atau simbol alat, dan garis panah yang menunjukkan arah aliran bahan.

Arus dalam diagram alir harus diberi label yang menunjukkan:

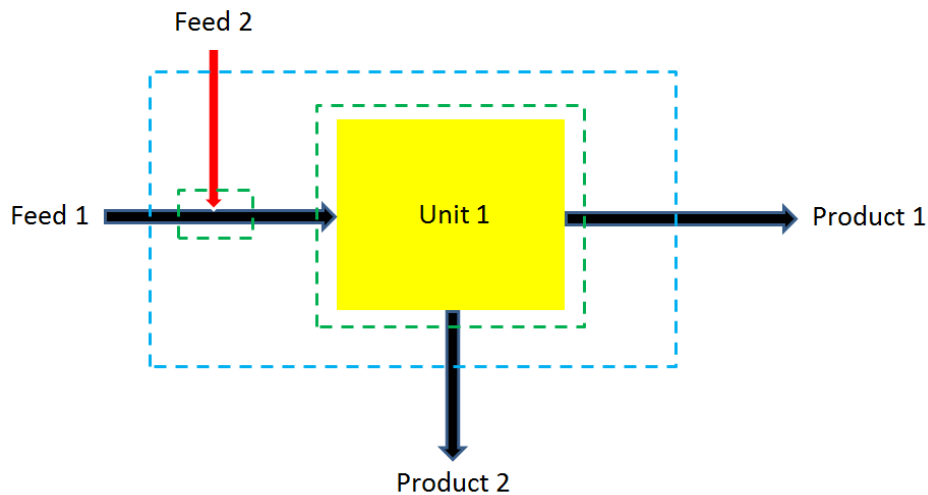
- variabel proses yang diketahui dan
- Permisalan variabel yang akan dicari dengan simbol variabel

Diagram alir berfungsi sebagai papan hitung untuk menyelesaikan masalah neraca, baik neraca massa maupun neraca panas. Untuk dapat menggambarkan proses dari suatu narasi, seseorang harus mempunyai pengetahuan tentang

proses dan sifat-sifat bahan (termodinamika). Oleh karena itu mahasiswa dituntut sering membaca buku tentang proses dan laporan praktek kerja.

Sistem

Bagian atau keseluruhan proses yang ditinjau, yang biasanya untuk memisahkan antara sistem dengan bagian luar sistem.



Gambar 7.2 Batasan sistem

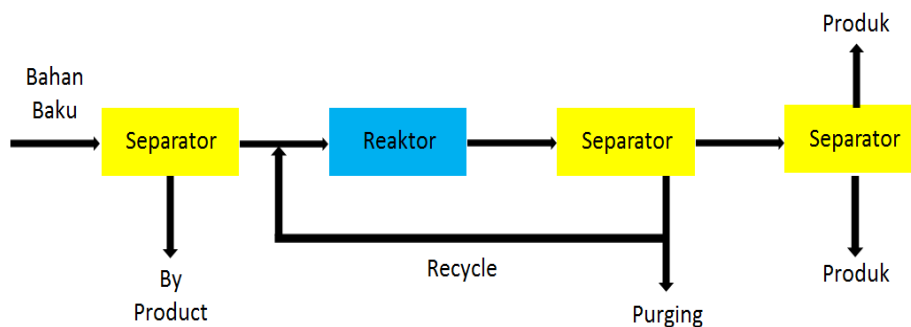
Proses

Peristiwa dimana senyawa (bahan) mengalami perubahan fisika atau kimia atau bahkan keduanya.

Perubahan fisika : tidak terjadi reaksi kimia

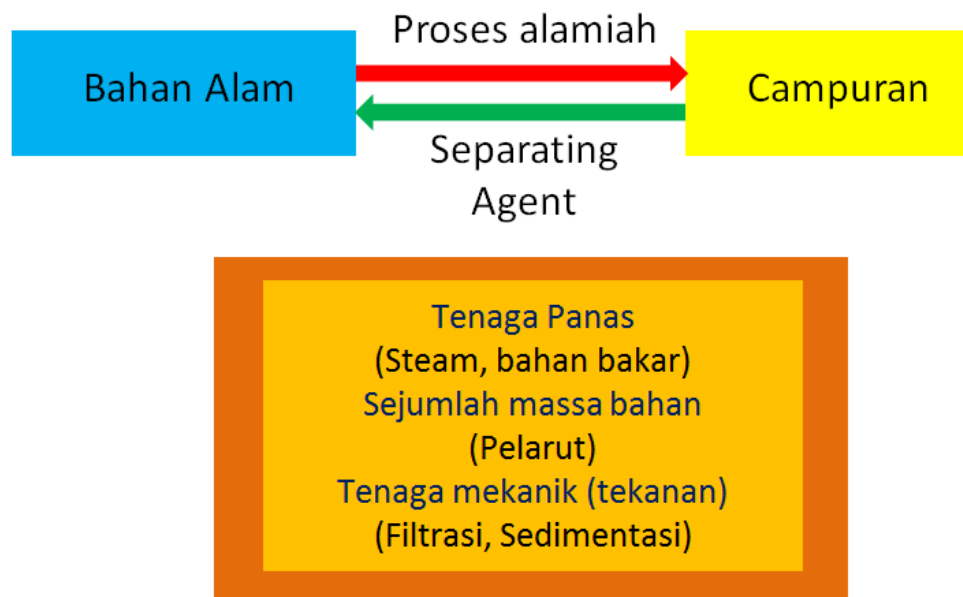
Perubahan kimia : ada reaksi kimia

Peran proses pemisahan di industri kimia :



Jika ditinjau secara makro, proses-proses yang terjadi secara alamiah dapat diartikan sebagai proses pencampuran yang terjadi secara spontan dan merupakan proses tidak dapat balik. Berarti untuk memisahkan suatu konstituen dari campurannya diperlukan suatu usaha termodinamika sehingga terjadi proses berlawanan terhadap proses alam. Maka dalam operasi pemisahan campuran perlu dimasukkan sejumlah “ *separating agent* ” tertentu.

Ilustrasi :



Neraca massa dapat disusun untuk menentukan neraca massa total atau campuran, dapat juga untuk neraca massa komponen tertentu serta unsur atau elemen tertentu.

Akumulasi merupakan perubahan massa terhadap waktu.

- a. *Steady state* : akumulasi = 0
- b. *Unsteady state* : akumulasi $\neq$ 0
- c. Proses fisis *Steady state* : kecepatan masuk – kecepatan keluar = 0
- d. Proses kimia *Steady state* : akumulasi = 0

Tahapan dalam penyelesaian Neraca Massa dan Neraca Panas :

1. Menggambarkan *Process Flow Diagram* (PFD) dan tuliskan data :
 - a. Kualitatif dan kuantitatif yang telah diketahui
 - b. Data aliran masuk dan keluar alat

2. Buat variabel aliran yang tidak diketahui pada diagram alir. Buatlah permisalan variabel untuk setiap arus baik arus masuk maupun keluar sistem (alat).
3. Menentukan basis perhitungan
Pilihlah suatu laju alir proses sebagai basis perhitungan. Basis perhitungan dapat diambil berdasarkan banyaknya bahan yang masuk atau berdasarkan bahan keluar sistem dan biasanya diambil dari data yang paling lengkap. Basis perhitungan dapat dinyatakan dalam satuan berat atau satuan mol. Jika terjadi proses kimia dalam sistem yang ditinjau, lebih mudah bila basis perhitungan menggunakan satuan mol. Jika terjadi proses fisis, basis perhitungan dapat menggunakan satuan berat atau satuan mol.
4. Susunlah persamaan neraca massa / neraca panas
Dalam membuat persamaan perlu memperhatikan pemisalan variabel yang telah dibuat, baik terhadap aliran masuk maupun aliran keluar. Termasuk neraca massa total maupun komponen. Minimal dibuat 2 persamaan sehingga nantinya bisa dilakukan substitusi maupun eliminasi untuk mendapatkan perhitungan yang tepat. Persamaan neraca dapat disusun untuk : sebuah unit saja, multi unit, atau unit keseluruhan (*overall*).
5. Selesaikanlah persamaan Neraca massa / Neraca panas
Setelah membuat persamaan kemudian dihitung berdasarkan persamaan-persamaan yang telah dibuat.

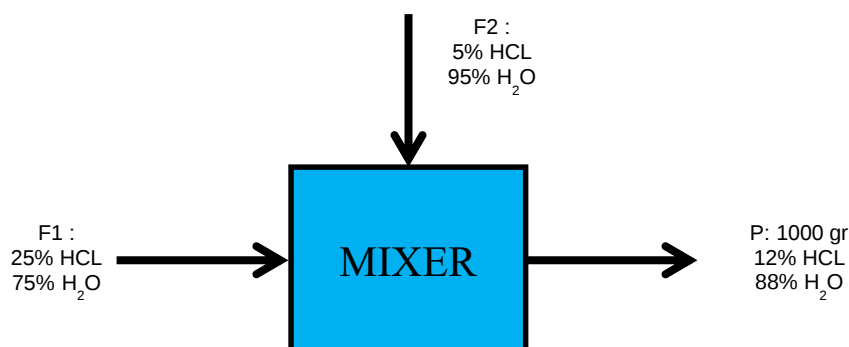
Contoh Soal 3 :

Di laboratorium hanya tersedia larutan HCL 5 % (% berat) dan larutan HCL 25%. Seorang praktikan akan membuat 1000 gram larutan HCL 12%. Apa yang sebaiknya dilakukan praktikan tersebut?

Penyelesaian :

1.

Gambar Diagram Alir Proses :



2. Umpan (Feed) dari aliran masuk ada dua aliran, yaitu :
 - a. F1 : untuk aliran umpan dengan konsentrasi larutan HCL 25%
 - b. F2 : untuk aliran umpan dengan konsentrasi larutan HCL 5%

Produk yang dihasilkan hanya ada satu aliran, yaitu :

P : untuk aliran produk dengan konsentrasi larutan HCL 12% (sesuai dengan yang diinginkan)

3. Menentukan basis

Pilihlah suatu laju alir proses sebagai basis perhitungan. Basis perhitungan dapat diambil berdasarkan banyaknya bahan yang masuk atau berdasarkan bahan keluar sistem.

Basis perhitungan dapat dinyatakan dalam satuan berat atau satuan mol. **Jika terjadi proses kimia dalam sistem yang ditinjau, lebih mudah bila basis perhitungan menggunakan satuan mol. Jika terjadi proses fisis, basis perhitungan dapat menggunakan satuan berat atau satuan mol.**

Basis perhitungan biasanya diambil dari aliran yang memiliki data paling lengkap. Dalam hal ini data paling lengkap yaitu pada aliran keluar (produk) yaitu aliran P dan satuan yang digunakan adalah satuan massa (berat) karena tanpa reaksi kimia.

Basis : 1000 gram produk (P)

4. Susunlah persamaan neraca massa / neraca panas
Persamaan neraca massa :

Input = Output

Sehingga :

- a. Neraca Massa Total :

$$F1 + F2 = P$$

$$F1 + F2 = 1000 \dots\dots\dots(1)$$

- b. Neraca Massa Komponen

Neraca massa komponen dapat diambil dari salah satu komponen yang ada dalam campuran (larutan) tersebut. Pada kasus ini ada dua komponen yaitu HCl dan H₂O.

Contoh yang diambil ada komponen HCL.**Input = Output**

$$0,25 F1 + 0,05 F2 = 0,12 P$$

$$0,25 F1 + 0,05 F2 = 120 \dots\dots\dots(2)$$

5. Selesaikanlah persamaan neraca massa / neraca panas

Dari persamaan (1) dan (2), maka dapat di eliminasi atau di substitusi persamaannya sehingga akan diperoleh nilai F1 dan F2-nya.

$$F1 + F2 = 1000 \dots\dots\dots(1)$$

$$0,25 F1 + 0,05 F2 = 120 \dots\dots\dots(2)$$

$$F1 = 1000 - F2$$

Dari persamaan (2) :

$$0,25 (1000 - F2) + 0,05 F2 = 120$$

$$250 - 0,25 F2 + 0,05 F2 = 120$$

$$- 0,20 F2 = -130$$

$$F2 = 650 \text{ gram}$$

Dari persamaan (1), maka :

$$F1 = 350 \text{ gram}$$

Kesimpulan :

Untuk mendapatkan larutan HCl dengan konsentrasi 12% maka diperlukan larutan HCl 25% sebanyak 350 gram dan larutan HCl 5% sejumlah 650 gram.

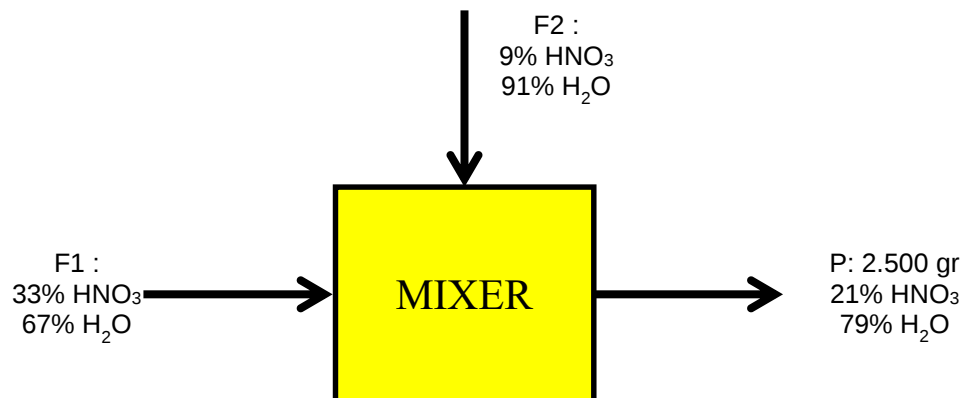
Contoh Soal 4 :

Pada laboratorium kimia terdapat larutan HNO_3 9 % (% berat) dan larutan HNO_3 33%. Seorang laboran akan membuat 2.500 gram larutan HNO_3 21%. Apa yang sebaiknya dilakukan laboran tersebut?

Penyelesaian :

1.

Gambar Diagram Alir Proses :



2. Umpan (Feed) dari aliran masuk ada dua aliran, yaitu :

- F1 : untuk aliran umpan dengan konsentrasi larutan HNO_3 33%
- F2 : untuk aliran umpan dengan konsentrasi larutan HNO_3 9%

Produk yang dihasilkan hanya ada satu aliran, yaitu :

P : untuk aliran produk dengan konsentrasi larutan HNO_3 21% (sesuai dengan yang diinginkan)

3. Menentukan basis

Pilihlah suatu laju alir proses sebagai basis perhitungan. Basis perhitungan dapat diambil berdasarkan banyaknya bahan yang masuk atau berdasarkan bahan keluar sistem.

Basis perhitungan dapat dinyatakan dalam satuan berat atau satuan mol. **Jika terjadi proses kimia dalam sistem yang ditinjau, lebih mudah bila basis perhitungan menggunakan satuan mol. Jika terjadi proses fisis, basis perhitungan dapat menggunakan satuan berat atau satuan mol.**

Basis perhitungan biasanya diambil dari aliran yang memiliki data paling lengkap. Dalam hal ini data paling lengkap yaitu pada aliran keluar (produk) yaitu aliran P dan satuan yang digunakan adalah satuan massa (berat) karena tanpa reaksi kimia.

Basis : 2.500 gram produk (P)

4. Susunlah persamaan neraca massa / neraca panas

Persamaan neraca massa :

$$\text{Input} = \text{Output}$$

Sehingga :

a. Neraca Massa Total :

$$F1 + F2 = P$$

$$F1 + F2 = 2500 \dots\dots\dots(1)$$

b. Neraca Massa Komponen

Neraca massa komponen dapat diambil dari salah satu komponen yang ada dalam campuran (larutan) tersebut. Pada kasus ini ada dua komponen yaitu HNO_3 dan H_2O .

Contoh yang diambil ada komponen HNO_3 .

Input = Output

$$0,33 F1 + 0,09 F2 = 0,21 P$$

$$0,33 F1 + 0,09 F2 = 525 \dots\dots\dots(2)$$

5. Selesaikanlah persamaan neraca massa / neraca panas

Dari persamaan (1) dan (2), maka dapat di eliminasi atau di substitusi persamaannya sehingga akan diperoleh nilai F1 dan F2-nya.

$$F1 + F2 = 2500 \dots\dots\dots(1)$$

$$0,25 F1 + 0,05 F2 = 525 \dots\dots\dots(2)$$

$$F1 = 2500 - F2$$

Dari persamaan (2) :

$$0,33 (2500 - F2) + 0,09 F2 = 525$$

$$825 - 0,33 F2 + 0,09 F2 = 525$$

$$- 0,24 F2 = -300$$

$$F2 = 1.250 \text{ gram}$$

Dari persamaan (1), maka :

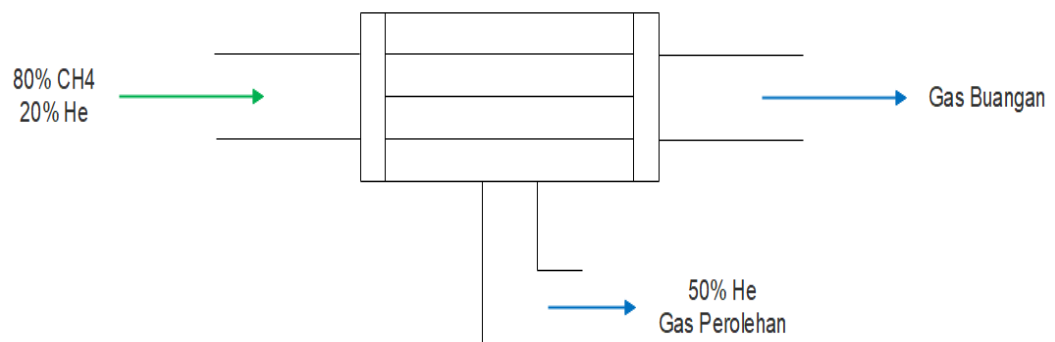
$$F1 = 1.250 \text{ gram}$$

Kesimpulan :

Untuk mendapatkan larutan HNO_3 dengan konsentrasi 21% maka diperlukan larutan HNO_3 33% sebanyak 1.250 gram dan larutan HNO_3 9% sejumlah 1.250 gram.

C. LATIHAN SOAL

1. Pada laboratorium kimia terdapat larutan H_2SO_4 15 % (w/w) dan larutan H_2SO_4 33%. Laboran akan membuat 3.300 lb larutan H_2SO_4 20%. Apa yang harus dilakukan oleh laboran agar menghasilkan larutan yang diinginkan ?
2. Seseorang ingin membuat 5.000 lb slurry CaCl_2 7,5% dalam air dari pengenceran 23% slurry CaCl_2 . Hitunglah kebutuhannya ?
3. Larutan selulosa mengandung 5,2% selulosa berdasarkan berat dalam air. Berapa kilogram (kg) larutan selulosa 1,2% yang dibutuhkan untuk melarutkan 100 kg larutan selulosa 5,2% menjadi 4,2% ?
4. Produk sereal yang mengandung 52% air dibuat dengan laju 350 kg/jam. Seseorang harus mengeringkan produk tersebut sehingga produk yang dihasilkan hanya mengandung 27% air. Berapa banyak air yang harus diuapkan setiap jamnya ?
5. Suatu gas yang mengandung 80% CH_4 dan 20% He dikirim melalui tabung difusi kuarsa untuk memperoleh kembali helium. Dua puluh persen berdasar berat dan gas semula dikumpulkan dan komposisinya adalah 50% He. Hitunglah komposisi dari gas buangan jika 100 kgmol gas diproses per menit. Tekanan awal gas adalah 120 kPa dan tekanan akhirnya adalah 115 kPa. Barometer menunjukkan 740 mmHg. Suhu proses adalah 22°C .



D. DAFTAR PUSTAKA

- American National Metric Council. 1977. Metric Guide for Educational Materials. Washington DC: ANMC.
- Bhatt, B.I., dan S.M. Vora. 1976. Stoichiometry, edisi kedua. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Clausen, C.A., dan G. Mattson. 1979. Principles of Industrial Chemistry. New York: Wiley.
- Distantina S. 2001. Diktat Pendahuluan Neraca Massa.
- Eva, Bayu, Sisil. 2003. Diktat Neraca Massa dan Energi.
- Felder, R.M., dan R.W. Rousseau. 1986. Elementary Principles of Chemical Processes. Edisi kedua, New York: Wiley.
- Himmelblau, D. 1996. Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 6th edition, Prentice-Hall.
- Husain, A. 1986. Chemical Process Simulation. New Delhi: Halstead (Wiley).
- Horvath, A.D. 1986. Conversion Tables of Units in Science and Engineering. New York: Elsevier.
- Massey, B.S. 1986. Measures in Science and Engineering. New York: Halsted Press.
- Reklaitis, G.V. 1983. Introduction to Material and Energy Balances. New York: Wiley.
- Russel, T.W.F., dan M.M. Denn. 1972. Introduction to Chemical Engineering Analysis. New York: Wiley.

PERTEMUAN 8

NERACA MASSA TANPA REAKSI KIMIA (SINGLE UNIT)

A. CAPAIAN PEMBELAJARAN

Setelah selesai mengikuti materi pada pertemuan ini, mahasiswa mampu :

1. Menghitung neraca massa tanpa reaksi kimia.
2. Menulis sebuah kumpulan persamaan kesetimbangan materi independen untuk sebuah proses.
3. Menyelesaikan sebuah kumpulan persamaan linier, atau menyelesaikan satu atau dua persamaan nonlinier simultan.

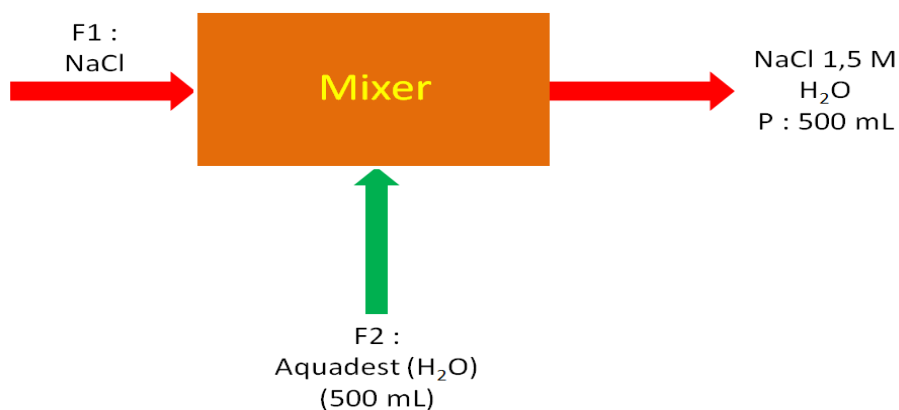
B. URAIAN MATERI

Contoh Soal 1:

Ingin dibuat larutan NaCl 1,5 M sebanyak 500 mL dari kristal NaCl. Berapa gram NaCl yang seharusnya dilarutkan dengan akuades sampai 500 mL?

Jawab :

Diagram alir :



Penyetaraan satuan :

$$1,5 \text{ M NaCl} = \frac{1,5 \text{ mol NaCl}}{1 \text{ liter campuran}} = \frac{(1,5 \times \text{BM NaCl}) \text{ gram NaCl}}{1 \text{ liter campuran}}$$

Didalam 0,5 Liter :

$$1,5 \text{ M NaCl} = 1,5 \times (\text{BM NaCl}) \times 0,5 \text{ L} = 0,5 \text{ BM NaCl gram NaCl}$$

Neraca Massa disekitar Mixer :

$$\text{NaCl Input} = \text{NaCl Output}$$

$$F = 0,75 \cdot \text{BM NaCl}$$

Kesimpulan :

Jadi, jumlah NaCl yang dibutuhkan adalah : 43,875 gram

Atau cara lain :

$$V_1 = 500 \text{ mL} = 0,5 \text{ L}$$

$$V_2 = 500 \text{ mL} = 0,5 \text{ L}$$

$$M_2 = 1,5 \text{ M}$$

Rumus pengenceran :

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$M_1 \cdot 0,5 = 1,5 \cdot 0,5$$

$$M_1 = 1,5 \text{ M}$$

$$M = \frac{n}{v} \rightarrow 1,5 = \frac{n}{0,5} \rightarrow n = 0,75 \text{ mol}$$

Massa NaCl yang dibutuhkan :

$$\text{Massa NaCl} = \text{mol NaCl} \times \text{BM NaCl}$$

$$\text{Massa NaCl} = 0,75 \text{ mol} \times 58,5 \text{ gram/mol}$$

$$\text{Massa NaCl} = 43,875 \text{ gram}$$

Contoh Soal 2:

Larutan selulosa mengandung 5,2% selulosa berdasarkan berat dalam air. Berapa kilogram (kg) larutan selulosa 1,2% yang dibutuhkan untuk melarutkan 100 kg larutan selulosa 5,2% menjadi 4,2% ?

Jawab :

Diagram alir :



Langkah-langkah penyelesaian:

1. Gambarkan diagram alir proses dan buat pemisalan variabel.



2. Tentukan Basis :

Basis : 100 Kg Larutan Selulosa 5,2%

3. Buat Persamaan

Konsep Neraca Massa : Input = Output

- a. Neraca Massa Total

$$A + B = C$$

$$100 + B = C$$

$$C - B = 100 \dots \dots \dots (1)$$

- b. Neraca Massa Komponen (Selulosa) :

$$0,052 A + 0,012 B = 0,042 C$$

$$5,2 + 0,012 B = 0,042 C$$

$$0,042 C - 0,012 B = 5,2 \dots \dots \dots (2)$$

- c. Selesaikan perhitungan :

Substitusikan persamaan (1) ke persamaan (2).

$C = 100 + B$, sehingga menjadi :

$$0,042 (100+B) - 0,012 B = 5,2$$

$$4,2 + 0,042 B - 0,012 B = 5,2$$

$$0,03 B = 1$$

Maka, $B = 33,33 \text{ Kg}$

Sehingga, $C = 100 + B$

$$C = 100 + 33,33$$

$$C = 133,33 \text{ Kg}$$

Kesimpulan :

Larutan selulosa 1,2% yang dibutuhkan untuk melarutkan 100 kg larutan selulosa 5,2% menjadi 4,2% sejumlah 33,33 Kg.

Contoh Soal 3:

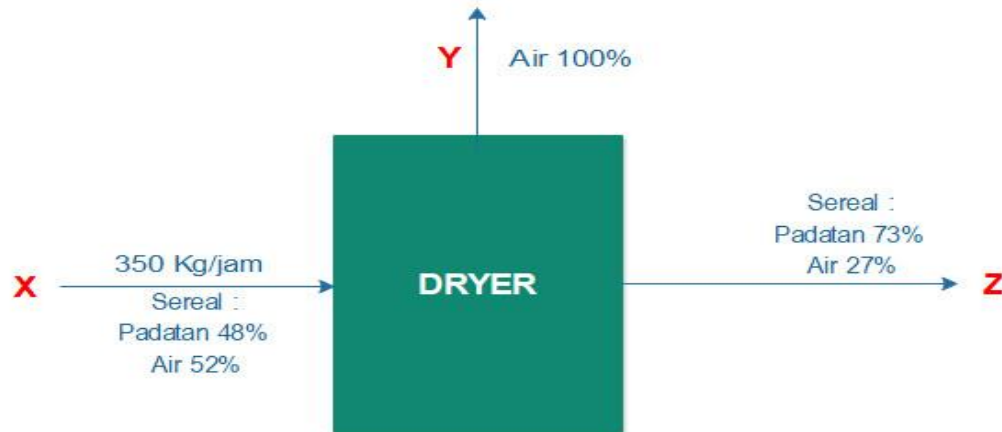
Produk sereal yang mengandung 52% air dibuat dengan laju 350 kg/jam. Seseorang harus mengeringkan produk tersebut sehingga produk yang dihasilkan hanya mengandung 27% air. Berapa banyak air yang harus diuapkan setiap jamnya?

Jawab :

Langkah-langkah penyelesaian:

1. Gambarkan diagram alir proses dan buat pemisalan variabel.

Diagram alir :



2. Tentukan Basis :

Basis : 350 Kg/jam Sereal 52% Air

3. Buat Persamaan

Konsep Neraca Massa : Input = Output

a. Neraca Massa Total

$$X + Y = Z$$

$$350 + Y = Z$$

$$Z - Y = 350 \dots \dots \dots (1)$$

b. Neraca Massa Komponen (Padatan) :

$$0,48 X = 0,73 Y + 0,73 Z$$

$$0,73 Z = 168$$

$$Z = 230,14 \text{ Kg/jam}$$

c. Selesaikan perhitungan :

Jika $Z = 230,14 \text{ Kg/jam}$, maka :

$$Y = 350 - Z$$

$$= 350 - 230,14$$

$$Y = 119,86 \text{ Kg/jam}$$

Kesimpulan :

Jadi, jumlah air yang harus diuapkan setiap jamnya sebanyak 119,86 Kg.

Contoh Soal 4:

Susu berupa suspensi mengandung air 53%. Untuk memperoleh susu dalam bentuk powder, perlu mengurangi kandungan air yang ada, yaitu dengan menghilangkan kandungan air tersebut dengan cara diuapkan menggunakan

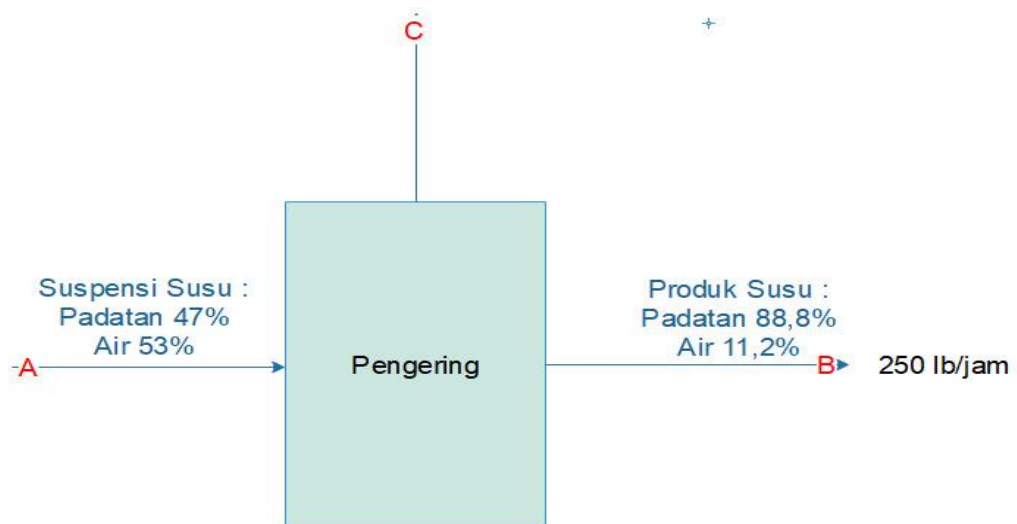
suatu alat pengering. Produk yang dihasilkan mengandung air sebanyak 11,2%. Tentukan jumlah air yang bias diuapkan untuk 250 lb/jam suspensi susu dimasukkan dan tentukan pula jumlah persentase (%) air dalam suspensi itu yang bisa diuapkan ?

Jawab :

Langkah-langkah penyelesaian:

1. Gambarkan diagram alir proses.
2. Buat pemisalan variabel.
3. Lengkapi data-data kualitatif dan kuantitatif

Diagram alir :



4. Tentukan Basis :
Basis : 250 lb/jam Produk Susu 11,2% Air
5. Buat Persamaan
Konsep Neraca Massa : Input = Output
 - a. Neraca Massa Total

$$A = C + B$$

$$A - C = B$$

$$A - C = 250 \dots \dots \dots (1)$$
 - b. Neraca Massa Komponen (Padatan) :

$$(0,47 \times A) = (0 \times C) + (0,888 \times B)$$

$$0,47 A = 0,888 \times 250$$

$$0,47 A = 222 \dots \dots \dots (2)$$

$$A = 472,34 \text{ lb/jam}$$

c. Selesaikan perhitungan :

Jika $A = 472,34 \text{ lb/jam}$, maka :

$$C = A - B$$

$$= 472,34 - 250,0$$

$$C = 222,34 \text{ lb/jam}$$

Kesimpulan :

- Jadi, jumlah air yang harus diuapkan setiap 250 lb/jam suspensi susu yang diumpankan sebesar 222,34 lb/jam.
- % air dalam suspensi itu yang teruapkan :

$$\% = \frac{222,34 \text{ lb/jam}}{472,34 \text{ lb/jam}} \times 100\% = 47,07 \%$$

Contoh Soal 5:

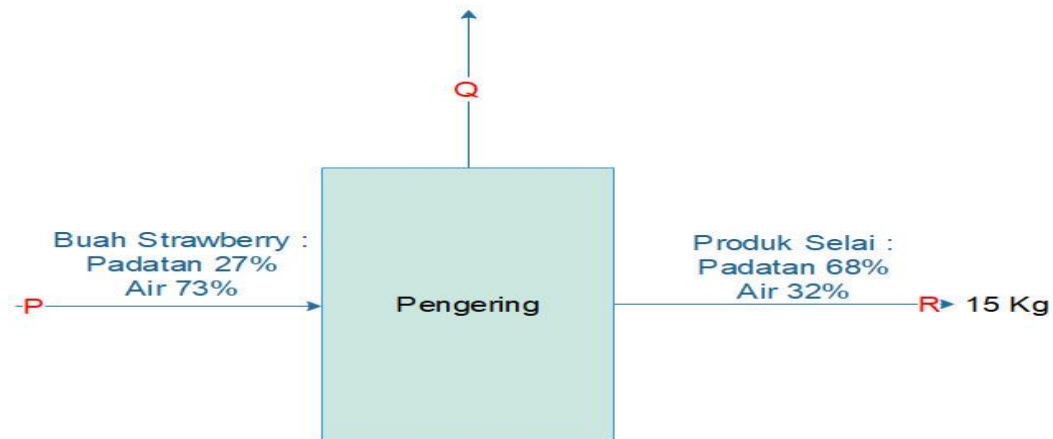
Buah strawberry segar berisi 27% padatan dan 73% air. Untuk menghasilkan selai strawberry, buah strawberry segar dihancurkan dan diberikan gula dengan perbandingan strawberry : gula = 43 : 57. Campuran yang dihasilkan dipanaskan dengan tujuan menghilangkan kandungan airnya, sehingga didapatkan selai strawberry dengan konsentrasi air 32%. Berapa Kilogram buah strawberry dan Kilogram gula yang diperlukan untuk menghasilkan 15 kilogram selai strawberry?

Jawab :

Langkah-langkah penyelesaian:

- Gambarkan diagram alir proses.
- Buat pemisalan variabel.
- Lengkapi data-data kualitatif dan kuantitatif

Diagram alir :



4. Tentukan Basis :

Basis : 15 Kg Selai Strawberry 32% Air

5. Buat Persamaan

Konsep Neraca Massa : Input = Output

- a. Neraca Massa Total

$$P = Q + R$$

$$P - Q = R$$

$$P - Q = 15 \dots \dots \dots (1)$$

- b. Neraca Massa Komponen (Padatan) :

$$(0,27 \times P) = (0 \times Q) + (0,68 \times R)$$

$$0,27 P = 10,2$$

$$P = 37,78 \text{ Kg}$$

- c. Selesaikan perhitungan :

Jika $P = 37,78 \text{ Kg}$, maka :

$$Q = P - R$$

$$= 37,78 - 15,0$$

$$Q = 22,78 \text{ Kg}$$

Kesimpulan :

- a. Jadi, jumlah buah strawberry segar yang dibutuhkan sebesar 37,78 Kg.
b. Jika rasio yang diketahui :

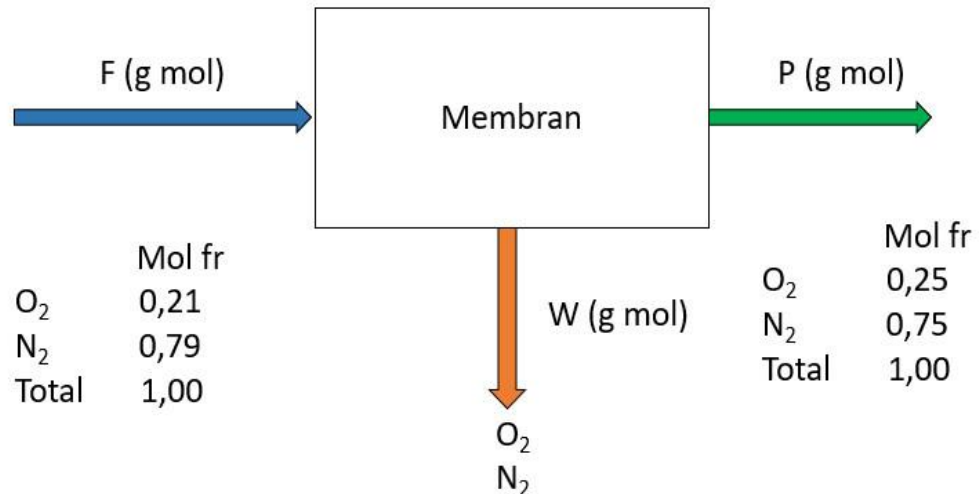
$$\frac{\text{Strawberry}}{\text{Gula}} = \frac{43}{57}$$

$$\frac{37,78}{\text{Gula}} = \frac{43}{57}$$

$$Gula = \frac{37,78 \times 57}{43} = 50,08 \text{ Kg}$$

Jadi, gula yang dibutuhkan untuk membuat 15 Kg Selai Strawberry sebanyak 50,08 Kg.

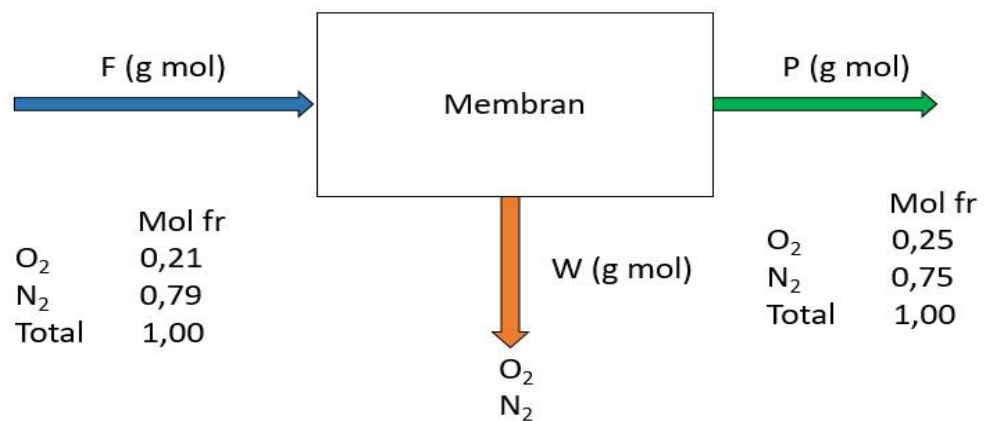
Contoh Soal 6:



Membran menunjukkan teknologi untuk separasi gas. Salah satu penggunaan yang telah menarik perhatian adalah separasi pemisahan nitrogen dan oksigen dari udara. Sebuah membran *nanoporous* yang dibuat dengan melapiskan lapisan polimer yang sangat tipis pada lapisan penyangga grafit yang *porous*. Apa komposisi dari aliran buangan jika aliran tersebut berjumlah 80% dari input ?

Jawab :

Diagram Alir :



Basis :

100 g mol F

$$W = 0,8 \times 100$$

$$= 80 \text{ g mol}$$

Misalkan fraksi untuk aliran keluar O₂ pada W adalah a dan N₂ adalah b.

INPUT = OUTPUT

Input : (F)

$$\text{O}_2 = 0,21 \times 100 \text{ g mol}$$

$$= 21 \text{ g mol}$$

$$\text{N}_2 = 0,79 \times 100 \text{ g mol}$$

$$= 79 \text{ g mol}$$

Output : (P)

$$F = P + W$$

$$P = F - W$$

$$= (100 - 80) \text{ g mol}$$

$$= 20 \text{ g mol}$$

$$\text{O}_2 = 0,25 \times 20 \text{ g mol}$$

$$= 5 \text{ g mol}$$

$$\text{N}_2 = 0,79 \times 20 \text{ g mol}$$

$$= 15,8 \text{ g mol}$$

Output : (W)

Input = Output

$$0,21 F = a.W + 0,25 P$$

$$0,21 \times (100) = (a \times 80) + (0,25 \times 20)$$

$$21 = 80a + 5$$

$$80a = 21 - 5$$

$$80a = 17$$

$$a = 0,2125$$

Jika nilai a adalah 0,2125, maka :

$$b = 1 - 0,2125$$

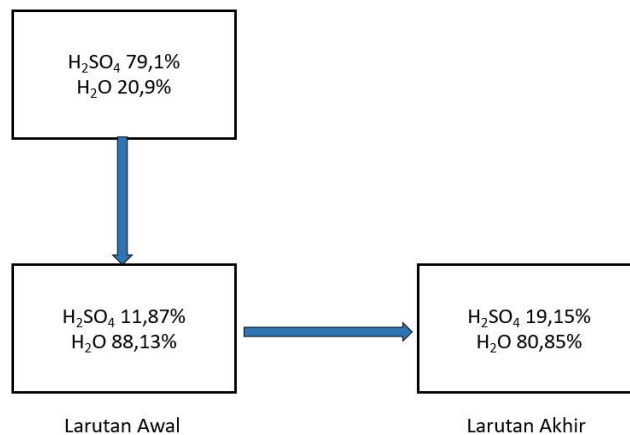
$$= 0,7875$$

Contoh Soal 7:

Asam sulfat encer harus ditambahkan ke baterai di pompa bensin untuk mengaktifkan baterai tersebut. Anda di minta untuk membuat sejumlah asam 19,15% baru sebagai berikut :

Sebuah tangki berisi larutan asam baterai lama (H_2SO_4) yang mengandung 11,87% H_2SO_4 (sisanya adalah air murni). Jika 570 lb 79,1% H_2SO_4 ditambahkan ke dalam tangki dan larutan akhir adalah 19,15% H_2SO_4 . Berapa kg asam baterai yang telah dibuat ?

Larutan yang ditambahkan 560 lb = F



Jawab :

1. Semua nilai dari komposisi diketahui.
2. Tidak ada reaksi yang terjadi.
3. Haruskah proses tersebut diperlakukan sebagai proses keadaan tidak tunak atau keadaan tunak ?

Jika tangki tersebut adalah sistem, dan tangki tersebut awalnya berisi larutan asam sulfat, kemudian perubahan terjadi di dalam sistem tersebut sehingga akumulasi terjadi dalam sistem tersebut (peningkatan massa). Sudut pandang ini membutuhkan penggunaan kesetimbangan massa :

$$\text{Akumulasi} = \text{masuk} - \text{keluar}$$

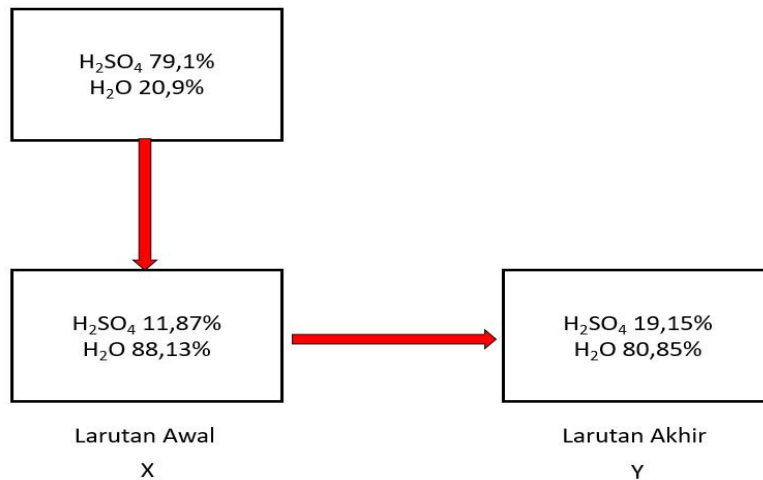
Dari sudut pandang yang lain, anda dapat menganggap tangki tersebut kosong pada awalnya, dan larutan asli dimasukkan ke dalam sistem Bersama dengan 560 lb 79,1% larutan. Larutan-larutan tersebut dicampur, dan akhirnya seluruh isi tangki tersebut dikeluarkan meninggalkan tangki yang kosong. Kemudian, kesetimbangan massa berkurang menjadi proses aliran keadaan tunak :

Masuk = keluar (karena tidak ada akumulasi yang terjadi di dalam tangki)

Pertama memecahkan masalah ini dengan pencampuran diperlakukan sebagai proses keadaan tidak tunak, dan kemudian ulang pemecahan dengan pencampuran diperlakukan sebagai proses keadaan tunak.

Basis : 560 lb F

Larutan yang ditambahkan 560 lb = F



Dua kuantitas yang tidak diketahui adalah X dan Y.

Terdapat dua komponen yaitu H_2SO_4 dan H_2O .

Larutan Awal : X

Larutan Akhir : Y

Jenis Kesetimbangan	Akumulasi dalam tangki		F Masuk		Keluar	
	Akhir	Awal				
H_2SO_4	$Y(0,1915)$	$- X(0,1187)$	$= 560(0,7910)$	$-$	0	
H_2O	$Y(0,8085)$	$- X(0,8813)$	$= 560(0,2090)$	$-$	0	
Total	Y	- X	= 560	-	0	

Perhatikan bahwa pasangan manapun dari tiga persamaan tersebut adalah independen, tapi masih bergandengan.

Karena persamaan-persamaan tersebut linear dan hanya dua yang terjadi, anda dapat mengambil kesetimbangan massa total, menyelesaikannya untuk X, dan mensubstitusinya untuk X dalam kesetimbangan H_2SO_4 untuk menghitung Y.

$$(Y - 560)(0,1187) + 560 (0,7910) = Y (0,1915)$$

$$0,1187 Y - 66,472 + 442,96 = 0,1915 Y$$

$$376,488 = 0,0728 Y$$

$$Y = 5.171,54 \text{ lb asam sulfat}$$

$$Y - X = 560$$

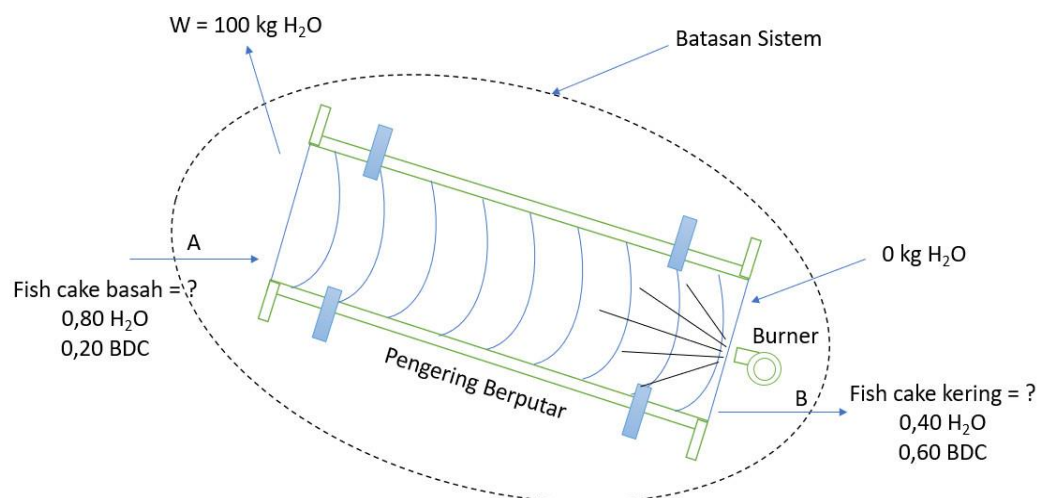
$$X = Y - 560$$

$$X = (5.171,54 - 560) \text{ lb}$$

$$= 4.611,54 \text{ lb asam sulfat}$$

Contoh Soal 8:

Dalam pemrosesan ikan, setelah minyak diekstrak, ampas ikan (*fish cake*) dikeringkan dalam pengering drum berputar, digiling sampai halus dan dikemas. Produk yang dihasilkan mengandung 65% protein. Dalam sejumlah *fish cake* yang diberikan yang mengandung 80% air (sisanya adalah cake kering), 100 kg air dihilangkan dan ditemukan bahwa *fish cake* tersebut



kemudian mengandung 40% air. Hitung berat *fish cake* yang mula-mula dimasukkan ke pengering.

Jawab :

Basis : 100 kg air yang diuapkan (W)

Proses pada gambar yang ditunjukkan di atas adalah proses keadaan tunak tanpa reaksi. Sistemnya adalah pengering berputar.

Ada 2 aliran arus yang tidak diketahui yaitu aliran arus A dan aliran arus B, akan tetapi semua komposisi diketahui.

Dua kesetimbangan independen dapat dituliskan sehingga ada satu pemecahan yang unik. Anda bisa menggunakan kesetimbangan massa total atau ditambah kesetimbangan *Bone Dry Cake* (BDC) sebagai komponen penghubung bukannya kesetimbangan air.

$$0,80 A = 0,40 B + 100$$

Karena kesetimbangan *bone dry cake* (BDC) sedikit lebih mudah untuk digunakan. Kesetimbangan air dapat digunakan sebagai pemeriksa pada perhitungan.

	Masuk		Keluar	
Kesetimbangan Total	A	=	$B + W = B + 100$	Kesetimbangan massa
Kesetimbangan BDC	$0,20 A$	=	$0,60 B$	

Kesetimbangan BDC memberikan rasio A terhadap B :

$$B = 1/3 A$$

Masukkan hubungan ini ke dalam kesetimbangan total untuk memperoleh :

$$A = 150 \text{ kg cake awal}$$

Cek melalui kesetimbangan air :

$$0,80 (150) \text{ apakah sama dengan } (=) 0,40 (150) (1/3) + 100$$

Setelah dilakukan perhitungan, maka :

$$120 = 20 + 120$$

Artinya :

120 sama dengan (=) 120

C. LATIHAN SOAL

1. Perekat dalam bentuk cair, dimanfaatkan oleh produsen untuk merekatkan papan, Perekat ini mengandung polimer dan pelarutnya. Produsen perekat memperoleh order sejumlah 4500 lb perekat yang terdiri dari 13% polimer (% berat). Bahan-bahan yang dimiliki oleh produsen tersebut adalah :
 - a. 525 Kg perekat 11% polimer.
 - b. Larutan 25% perekat yang jumlahnya sangat banyak.
 - c. Pelarut murni.

Jika produsen ingin menggunakan semua persediaan bahan baku yang ada, tentukanlah berapa banyak tiap-tiap larutan yang dibutuhkan. (Perekat 11% polimer seluruhnya dimanfaatkan).

2. Seorang mahasiswa melakukan percobaan dengan mengukur kecepatan gas buang yang keluar dari suatu knalpot mobil. Jika gas buang masuk knalpot mengandung 3,8% CO₂. Jika sejumlah gas CO₂ murni dimasukkan ke dalam knalpot mobil tersebut dengan kecepatan 3,5 kg/menit. Sementara kandungan CO₂ dalam gas keluar dapat diukur yaitu sebanyak 4,3%. Berapakah kecepatan gas yang dibuang dari knalpot mobil tersebut.
3. Sebuah pabrik cat harus mengirimkan 3500 lb larutan 9,2% nitroselulosa. Jika mereka mempunyai persediaan larutan nitroselulosa 4,3%. Berapa banyak nitroselulosa kering yang harus dilarutkan dalam larutan tersebut untuk memenuhi pesanan dari konsumen ?
4. Lumpur (*sludge*) adalah padatan basah yang dihasilkan dari pengolahan sistem sampah suatu kota tertentu (A). Lumpur harus dikeringkan sebelum dapat dibuat menjadi kompos atau ditangani dengan cara lain. Jika lumpur tersebut mengandung 37% padatan dan 63% air dilewatkan melalui sebuah alat pengering dan produk yang dihasilkan mengandung 21,5% air. Tentukan berapa banyak air yang dapat diuapkan (lb) per ton lumpur yang dimasukkan ke dalam alat pengering tersebut ?

5. Sebuah larutan mengandung 65% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dan 1,6% kotoran terlarut dalam air. Setelah pendinginan sampai 10°C , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ terkristalisasi keluar. Kelarutan dari hidrat ini adalah 1,4 lb $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ / lb air bebas. Kristal yang dikeluarkan membawa 0,06 lb larutan / lb kristal sebagai larutan yang melekat. Kristal ini dikeringkan untuk menghilangkan sisa air (tetapi bukan air dari hidrasi). Kristal $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ akhir yang kering tidak boleh mengandung lebih dari 0,1% kotoran berdasarkan berat. Untuk memenuhi persyaratan tersebut, hitunglah :
- Jumlah air yang ditambahkan sebelum pendinginan
 - Persentase perolehan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dalam bentuk kristal (kg)
6. Jika 250 gr Na_2SO_4 dilarutkan dalam 500 gr H_2O dan larutan tersebut didinginkan sampai 200 gr $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ yang terkristalkan keluar, Tentukan:
- Komposisi larutan yang tertinggal (cairan induk)
 - Gram kristal yang diperoleh per 100 gram larutan awal

D. DAFTAR PUSTAKA

- American National Metric Council. 1977. Metric Guide for Educational Materials. Washington DC: ANMC.
- Bhatt, B.I., dan S.M. Vora. 1976. Stoichiometry, edisi kedua. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Clausen, C.A., dan G. Mattson. 1979. Principles of Industrial Chemistry. New York: Wiley.
- Distantina S. 2001. Diktat Pendahuluan Neraca Massa.
- Eva, Bayu, Sisil. 2003. Diktat Neraca Massa dan Energi.
- Felder, R.M., dan R.W. Rousseau. 1986. Elementary Principles of Chemical Processes. Edisi kedua, New York: Wiley.
- Himmelblau, D. 1996. Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 6th edition, Prentice-Hall.
- Husain, A. 1986. Chemical Process Simulation. New Delhi: Halstead (Wiley).

Horvath, A.D. 1986. Conversion Tables of Units in Science and Engineering. New York: Elsevier.

Massey, B.S. 1986. Measures in Science and Engineering. New York: Halsted Press.

Reklaitis, G.V. 1983. Introduction to Material and Energy Balances. New York: Wiley.

Russel, T.W.F., dan M.M. Denn. 1972. Introduction to Chemical Engineering Analysis. New York: Wiley.

PERTEMUAN 9

METODE DAN ANALISIS PENGUKURAN

A. CAPAIAN PEMBELAJARAN

Setelah selesai mengikuti materi pada pertemuan ini, mahasiswa mampu menghitung massa atau mol setiap komponen dalam suatu campuran yang diketahui persen (fraksi) komposisinya, dan sebaliknya serta mengubah sebuah komposisi yang dinyatakan dalam persen massa (berat) ke persen mol, dan sebaliknya.

B. URAIAN MATERI

Terdapat beberapa kerancuan ketika anda membutuhkan analisis sebuah campuran karena anda mungkin ragu-ragu apakah angka-angka yang disajikan menunjukkan fraksi massa (berat) atau fraksi mol.

Analisis zat cair dan padat biasanya diberikan dalam persen atau fraksi massa (berat), tetapi jarang dalam persen mol.

Sebagai contoh tabel berikut ini memuat komposisi rinci dari udara kering. Kita akan sering menggunakan komposisi udara 21% O₂ dan 79 N₂.

Tabel 9.1 Komposisi udara bersih kering dekat permukaan laut

Komponen	Persen Mol	Komponen	Persen Mol
Nitrogen	78,084	Xenon	0,0000087
Oksigen	20,9476	Ozon	
Argon	0,934	Musim panas	0-0,000007
Karbon dioksida	0,0350	Musim dingin	0-0,000002
Neon	0,001818	Amonia	0-trace

Helium	0,000524	Karbon monoksida	0-trace
Metana	0,0002	Iodin	0-0,000001
Kripton	0,000114	Nitrogen dioksida	0-0,000002
Oksida nitrit	0,00005	Sulfur oksida	0-0,001
Hidrogen	0,00005		

Konsentrasi larutan merupakan suatu cara untuk menyatakan hubungan kuantitatif antara zat terlarut dan pelarut. Konsentrasi dapat dinyatakan dengan satuan-satuan khusus, yaitu :

1. Persen Berat (% w/w)

Menyatakan jumlah massa (gram) zat terlarut dalam 100 gram larutan.

$$\% w/w = \frac{w_1}{w_1 + w_2} \times 100\%$$

Dimana :

w_1 = massa zat terlarut

w_2 = massa pelarut

Contoh :

Larutan fruktosa 7,5%, berarti dalam 100 gram larutan fruktosa terdapat 7,5 gram gula (fruktosa) dan 92,5 gram air / pelarut.

2. Persen volume (% v/v)

Menyatakan jumlah volume (liter) zat terlarut dalam 100 liter larutan.

$$\% v/v = \frac{v_1}{v_1 + v_2} \times 100\%$$

Dimana :

v_1 = volume zat pelarut

v_2 = volume pelarut

Contoh :

Tentukan persen volume dari larutan urea dimana dalam 200 mL larutan terdapat 65 mL urea dan 135 mL air !

Jawaban :

$$\begin{aligned}\% v/v &= \frac{v_{urea}}{v_{urea} + v_{air}} \times 100\% \\ &= \frac{65 \text{ mL}}{65 \text{ mL} + 135 \text{ mL}} \times 100\% = 32,5\%\end{aligned}$$

Contoh Soal 1:

Sebuah pembersih pipa saluran berskala industri berisi 5 kg air dan 5 kg NaOH. Berapakah fraksi massa (berat) dan fraksi mol setiap komponen dalam wadah pembersih pipa saluran tersebut?

Jawab :

Basis : 10 kg larutan total

Komponen	Massa(kg)	Fraksi massa	Mr	kg mol	Fraksi mol
H ₂ O	5	$\frac{5}{10} = 0,5$	18	0,278	$\frac{0,278}{0,403} = 0,69$
NaOH	5	$\frac{5}{10} = 0,5$	40	0,125	$\frac{0,125}{0,403} = 0,31$
Total	10	1		0,403	1

Menentukan Berat molekul rata-rata :

$$BMrata - rata = \frac{Total\ massa}{Total\ mol}$$

Dari rumus diatas, anda juga dapat menentukan berat molekul rata-rata.

Total massa = 10 kg

Total mol = 0,403 kgmol

Sehingga,

$$BMrata - rata = \frac{10 \text{ kg}}{0,403 \text{ kg mol}} = 24,81$$

Contoh Soal 2:

Pada suatu percobaan 60 mL $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 0,1 M dicampurkan dengan 90 mL HCl 0,3 M sehingga diperoleh endapan putih seberat 1,375 gr (Ar H = 1; N = 14; O = 16; Cl = 35,5; Pb = 207). Tentukan persentase hasil yang diperoleh ?

Jawab :

Reaksi :

	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	+	2 HCl	$\longrightarrow$	PbCl_2	+	2 HNO_3
M	6 mmol		27 mmol		-		-
T	6 mmol		12 mmol		6 mmol		12 mmol
S	-		15 mmol		6 mmol		12 mmol

$$\begin{aligned}
 \text{Massa PbCl}_2 &= \text{mmol} \times \text{Mr PbCl}_2 \\
 &= 6 \text{ mmol} \times 278 \\
 &= 1.668 \text{ mg} \\
 &= 1,668 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\text{Massa hasil PbCl}_2 = 1,375 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ hasil PbCl}_2 &= \frac{1,375 \text{ gram}}{1,668 \text{ gram}} \\
 &= 0,8243 \times 100\% \\
 &= 82,43\%
 \end{aligned}$$

Contoh Soal 3:

Bila 0,38 gram zat yang mengandung karbon memerlukan 137 mL oksigen (STP) untuk membakar semua karbonnya. Tentukan persentase karbon dalam zat tersebut ! (Ar C = 12)

Jawab :

Reaksi :



$$\text{Mol O}_2 = \frac{0,137 \text{ L}}{22,5 \text{ L}} = 0,006 \text{ mol}$$

$$\text{Mol } C = \frac{\text{Koefisien } C}{\text{Koefisien } O_2} \times \text{mol } O_2$$

$$= \frac{1}{1} \times 0,006 \text{ mol} = 0,006 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa } C &= 0,006 \text{ mol} \times 12 \\ &= 0,072 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\% C = \frac{0,072 \text{ gram}}{0,38 \text{ gram}} \times 100\% = 18,947\%$$

Contoh Soal 4:

Sebanyak 2 gram cuplikan NaOH dilarutkan dalam 250 mL air, kemudian 20 mL dari larutan ini dititrasikan dengan larutan HCl 0,1 M. Diperoleh data sebagai berikut :

Percobaan	Volume HCl
1	24 mL
2	26 mL
3	25 mL

Tentukan kadar NaOH dalam cuplikan tersebut !

Jawab :

Diketahui :

Percobaan	Volume HCl
1	24 mL
2	26 mL
3	25 mL

$$M_{NaOH} = \frac{massa}{Mr} \times \frac{1000}{V (ml)}$$

$$= \frac{2 \text{ gr}}{40 \text{ gr/mol}} \times \frac{1000}{250} = 0,2 \text{ M}$$

$$Kadar NaOH = \frac{V_{HCl} \times M_{HCl}}{V_{NaOH} \times M_{NaOH}}$$

$$= \frac{\frac{24 \text{ mL} + 26 \text{ mL} + 25 \text{ mL}}{3} \times 0,1 \text{ M}}{20 \text{ mL} \times 0,2 \text{ M}}$$

$$= 0,625$$

$$= 62,5\%$$

Contoh Soal 5:

Suatu cuplikan yang mengandung pirit (FeS) seberat 44 gram direaksikan dengan HCl sehingga dihasilkan FeCl₂ dan gas H₂S. jika pada akhir reaksi diperoleh 7,5 liter gas H₂S yang diukur pada saat 2,5 liter gas N₂ bermassa 3,5 gram. Tentukan persentase FeS di dalam cuplikan tersebut !

(Ar Fe =56; Cl = 35,5; H = 1; S = 32; N =14)

Jawab :

$$Mol N_2 = \frac{Massa N_2}{Mr N_2}$$

$$= \frac{3,5 \text{ gr}}{28 \text{ gr/mol}} = 0,125 \text{ mol}$$

$$\frac{V N_2}{V H_2S} = \frac{n N_2}{n H_2S}$$

$$n H_2S = \frac{V H_2S}{V N_2} \times n N_2$$

$$= \frac{7,5}{2,5} \times 0,125 \text{ mol} = 0,375 \text{ mol}$$

Reaksi :



$$\text{mol FeS} = \frac{\text{Koefisien FeS}}{\text{Koefisien H}_2\text{S}} \times n \text{ H}_2\text{S}$$

$$= \frac{1}{1} \times 0,375 \text{ mol} = 0,375 \text{ mol}$$

$$\text{mol Cuplikan} = \frac{\text{Massa FeS}}{\text{Mr FeS}} = \frac{44}{88} \text{ mol} = 0,5 \text{ mol}$$

% FeS dalam cuplikan :

$$= \frac{\text{mol FeS}}{\text{mol cuplikan}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,375}{0,5} \times 100\% = 75\%$$

Contoh Soal 6:

Sebanyak 3,7 gram batuan yang mengandung magnesium dilarutkan dalam HCl pekat berlebih. Kadar magnesium (Ar Mg = 24) dalam larutan ini ditentukan dengan cara mengendapkannya sebagai magnesium hidroksida (Ar H = 1; O = 16). Bila massa endapan yang diperoleh adalah 1,19 gram. Tentukan kadar magnesium dalam batuan tersebut !

Jawab :

Diketahui :

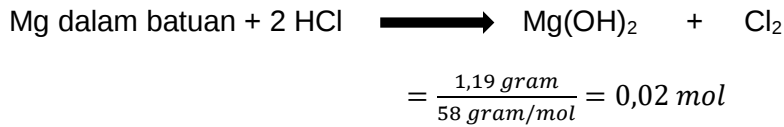
Massa batuan = 3,7 gram

Massa endapan = 1,19 gram

Ditanyakan :

Kadar magnesium (Mg) dalam batuan ?

Reaksi :



$$\begin{aligned} \text{Massa Mg} &= 0,02 \text{ mol} \times 24 \text{ gr/mol} \\ &= 0,48 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\text{Kadar Mg} = \frac{0,48 \text{ gr}}{3,7 \text{ gr}} \times 100\% = 12,97\%$$

Densitas dan Berat Jenis

Contoh 1 :

Jika dibromopentana (DBP) memiliki berat jenis 1,48. Berapakah densitasnya dalam :

- gr/cm³
- lb_m/ft³
- kg/m³

Jawab :

Tidak ada suhu yang disebutkan untuk dibromopentana atau senyawa referensi (diasumsikan air). Oleh karena itu, diasumsikan suhunya sama dan bahwa air mempunyai densitas sebesar 1,00 x 10³ kg/m³ (1,00 gr/cm³).

$$\text{a. } \frac{1,48 \frac{\text{DBP}}{\text{cm}^3}}{1,00 \frac{\text{gr H}_2\text{O}}{\text{cm}^3}} \times \frac{1,00 \frac{\text{gr H}_2\text{O}}{\text{cm}^3}}{\text{cm}^3} = 1,48 \frac{\text{gr DBP}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{b. } \frac{1,48 \frac{\text{lb}_m \text{DBP}}{\text{ft}^3}}{1,00 \frac{\text{lb}_m \text{H}_2\text{O}}{\text{ft}^3}} \times \frac{62,4 \frac{\text{lb}_m \text{H}_2\text{O}}{\text{ft}^3}}{\text{ft}^3} = 92,352 \frac{\text{lb}_m \text{DBP}}{\text{ft}^3}$$

$$\text{c. } \frac{1,48 \frac{\text{gr DBP}}{\text{cm}^3}}{1,00 \text{ cm}^3} \times \left(\frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}\right)^3 \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 1,48 \times 10^3 \frac{\text{kg DBP}}{\text{m}^3}$$

Contoh 2 :

Dalam proses produksi suatu obat yang memiliki berat molekul 187, aliran keluar dari reaktor mengalir pada laju 11,5 L/menit. Konsentrasi obat adalah 43,3% (dalam air), dan berat jenis dari larutan tersebut adalah 1,112. Hitunglah konsentrasi obat tersebut (dalam kg/L) dalam aliran keluar dan kecepatan alirnya dalam kgmol/menit !

Jawab :

Untuk bagian pertama dari soal, kita ingin merubah fraksi massa 0,433 menjadi massa obat per liter. Ambil 1000 kg larutan keluar sebagai basis agar mudah.

Basis : 1000 kg larutan



Bagaimana kita memperoleh massa per volume (densitas) dari data yang diberikan, yaitu dalam massa per massa? Gunakan berat jenis larutan.

$$\frac{1,112 \frac{\text{gr larutan}}{\text{cm}^3}}{1,00 \frac{\text{gr H}_2\text{O}}{\text{cm}^3}} \times \frac{1,00 \frac{\text{gr H}_2\text{O}}{\text{cm}^3}}{1,00 \frac{\text{gr H}_2\text{O}}{\text{cm}^3}} = 1,112 \frac{\text{gr larutan}}{\text{cm}^3}$$

Selanjutnya adalah :

$$\frac{0,433 \text{ kg obat}}{1000 \text{ kg larutan}} \times \frac{1,112 \text{ gr larutan}}{1 \text{ cm}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{10^3 \text{ gr}} \times \frac{10^3 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} = 0,481 \frac{\text{kg obat}}{\text{L larutan}}$$

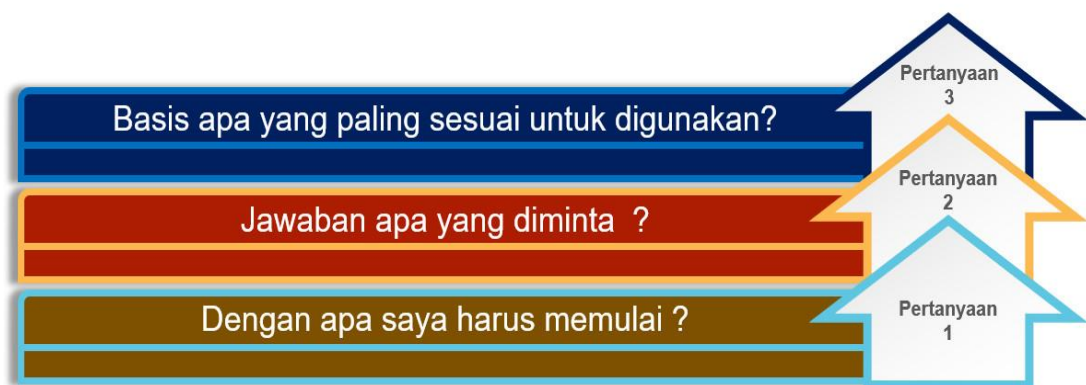
Untuk memperoleh laju alir, kita mengambil basis yang berbeda, yaitu 1 menit.

Basis : 1 menit $\equiv$ 11,5 L/menit

$$\frac{11,5 \text{ L larutan}}{1 \text{ menit}} \times \frac{0,433 \text{ kg obat}}{1 \text{ L larutan}} \times \frac{1 \text{ kgmol obat}}{187 \text{ kg obat}} = 0,027 \frac{\text{kgmol}}{\text{menit}}$$

BASIS

Basis adalah referensi yang anda pilih untuk perhitungan yang direncanakan untuk dibuat dalam masalah tertentu, dan pemilihan basis yang tepat seringkali mempermudah pemecahan masalah. Basis bisa berupa suatu periode waktu, contohnya jam, atau bisa juga massa materi yang diberikan seperti 7 kg H₂O, atau beberapa kuantitas lain yang sesuai. Dalam memilih basis yang benar/masuk akal, anda harus bertanya pada diri sendiri seperti :



Pertanyaan-pertanyaan ini dan jawabannya akan menganjurkan basis yang sesuai. Kadangkala ketika sejumlah basis kelihatannya sesuai, anda mungkin menemukan bahwa yang terbaik adalah menggunakan basis satuan 1 atau 100 dari sesuatu, seperti kilogram, jam, mol, kaki kubik. Untuk zat cair dan padat di mana analisis berat digunakan, basis yang sesuai sering kali adalah 1 atau 100 lb atau kg. Demikian pula 1 atau 100 mol sering kali menjadi pilihan yang tepat untuk gas. Alasan untuk pilihan-pilihan tersebut adalah bahwa fraksi atau persen secara otomatis sama dengan berturut-turut jumlah lb, kilogram, atau mol.

Contoh 1 :

Dehidrogenasi alkane rendah telah dilakukan dengan menggunakan katalis seri oksida (*ceric oxide*). Berapa fraksi massa dan fraksi mol Ce dan O dalam katalis?

Jawab :

Karena jumlah materi tertentu yang diberikan, pertanyaan dengan apa saya harus memulai, tidak berlaku. Demikian pula dengan pertanyaan tentang jawaban yang diinginkan. Basis yang masuk akal dan sesuai adalah mengambil 1 kgmol karena kita tahu rasio mol Ce terhadap O dalam senyawa tersebut. Basis 1 kg tidak sesuai karena massa Ce dan O tidak diketahui. Sebenarnya massa tersebut harus dihitung.

Basis : 1 kgmol Ce dan O

Komponen	kgmol	Fraksi mol	Berat Molekul	kg	Fraksi Massa
Ce	1	0,50	140,12	140,12	0,90
O	1	0,50	16	16,0	0,10
Total	2	1,00		156,12	1,00

Contoh 2 :

Diketahui bahwa sebuah proses percobaan terdapat 50 kg gas dengan komposisi :

10,0% H₂

40,0% CH₄

30,0% CO

20,0% CO₂

Berapa berat molekul gas rata-rata ?

Jawab :

Kebanyakan proses untuk memproduksi gas atau bensin bermuatan energi tinggi dari batu bara melibatkan beberapa jenis tahap gasifikasi untuk membuat hydrogen atau gas sintesis. Gasifikasi tekanan lebih disukai karena hasil metana yang lebih besar dan laju gasifikasi yang lebih tinggi.

Basis yang nyata adalah 50 kg gas (“dengan apa saya harus memulai”), tetapi sedikit pemikiran akan menunjukkan bahwa basis seperti itu tidak berguna. Anda tidak dapat mengalikan persen mol gas ini dengan kg dan mengharap jawaban yang mempunyai arti. Jadi, tahap selanjutnya adalah memilih sebuah “basis yang sesuai”, yaitu 100 kgmol atau lbmol gas.

Basis : 100 kgmol / lbmol

Komponen	Persen = kgmol atau lbmol	Berat Molekul	kg atau lb
CO ₂	20,0	44,0	880
CO	30,0	28,0	840
CH ₄	40,0	16,04	642
H ₂	10,0	2,02	20
Total	100,0		2382

C. LATIHAN SOAL

1. Campuran yang dicairkan dari n-butana, dan n-heksana mempunyai komposisi dalam persen sebagai berikut :

n-C ₄ H ₁₀	55
n-C ₄ H ₁₂	32
n-C ₆ H ₁₄	13

Untuk campuran ini, hitunglah :

- a. Fraksi berat masing-masing komponen
 - b. Fraksi mol masing-masing komponen
 - c. Persen mol masing-masing komponen
 - d. Berat molekul rata-rata
2. 5.500 barel minyak gas 28°API dicampur dengan 23.000 bbl minyak bakar 15°API. Berapa densitas campuran tersebut dalam lb/galon dan kg/m³?

Asumsikan bahwa volumenya dapat dijumlahkan. 1 bbl = 42 gal. Densitas air pada 60°F = 0,999 gr/cm³.

$$\text{Berat jenis } \frac{60^\circ\text{F}}{60^\circ\text{F}} = \frac{141,5}{^\circ\text{API} + 131,5}$$

3. Densitas dari suatu larutan tertentu adalah 9,75 lb/galon pada 75°F. Berapa kaki kubik yang akan ditempati oleh 11.070 lb larutan ini pada 75°F?
4. Sebanyak 1,0 gram serabut baja dilarutkan dalam 20 mL larutan H₂SO₄ 1,0 M, sehingga semua besi larut sebagai besi (II) sulfat. Kelebihan asam sulfat dititrasi dengan larutan NaOH 0,5 M dan titik akhir titrasi diperoleh saat volume NaOH mencapai 30 mL. Tentukan kadar besi dalam serabut baja jika diketahui Ar Fe = 56 !
5. Silikon karbida atau karborundum dapat diperoleh dengan mereaksikan SiO₂ (Ar Si = 28; O = 16) dengan karbon (Ar C = 12) pada temperatur tinggi. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$2 \text{C}_{(s)} + \text{SiO}_{2(s)} \longrightarrow \text{SiC}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)}$$
 Jika 12,5 gram karbon direaksikan dengan 9 gram SiO₂ menghasilkan 4 gram karborundum. Tentukan persentase hasil reaksi tersebut !
6. Fraksi mol suatu larutan etanol C₂H₅OH dalam air adalah 0,37. Tentukan konsentrasi etanol dalam larutan ini jika dinyatakan dalam persen berat !

D. DAFTAR PUSTAKA

- American National Metric Council. 1977. Metric Guide for Educational Materials. Washington DC: ANMC.
- Bhatt, B.I., dan S.M. Vora. 1976. Stoichiometry, edisi kedua. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Clausen, C.A., dan G. Mattson. 1979. Principles of Industrial Chemistry. New York: Wiley.
- Distantina S. 2001. Diktat Pendahuluan Neraca Massa.
- Eva, Bayu, Sisil. 2003. Diktat Neraca Massa dan Energi.
- Felder, R.M., dan R.W. Rousseau. 1986. Elementary Principles of Chemical Processes. Edisi kedua, New York: Wiley.

- Himmelblau, D. 1996. Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 6th edition, Prentice-Hall.
- Husain, A. 1986. Chemical Process Simulation. New Delhi: Halstead (Wiley).
- Horvath, A.D. 1986. Conversion Tables of Units in Science and Engineering. New York: Elsevier.
- Massey, B.S. 1986. Measures in Science and Engineering. New York: Halsted Press.
- Reklaitis, G.V. 1983. Introduction to Material and Energy Balances. New York: Wiley.
- Russel, T.W.F., dan M.M. Denn. 1972. Introduction to Chemical Engineering Analysis. New York: Wiley.

PERTEMUAN 10

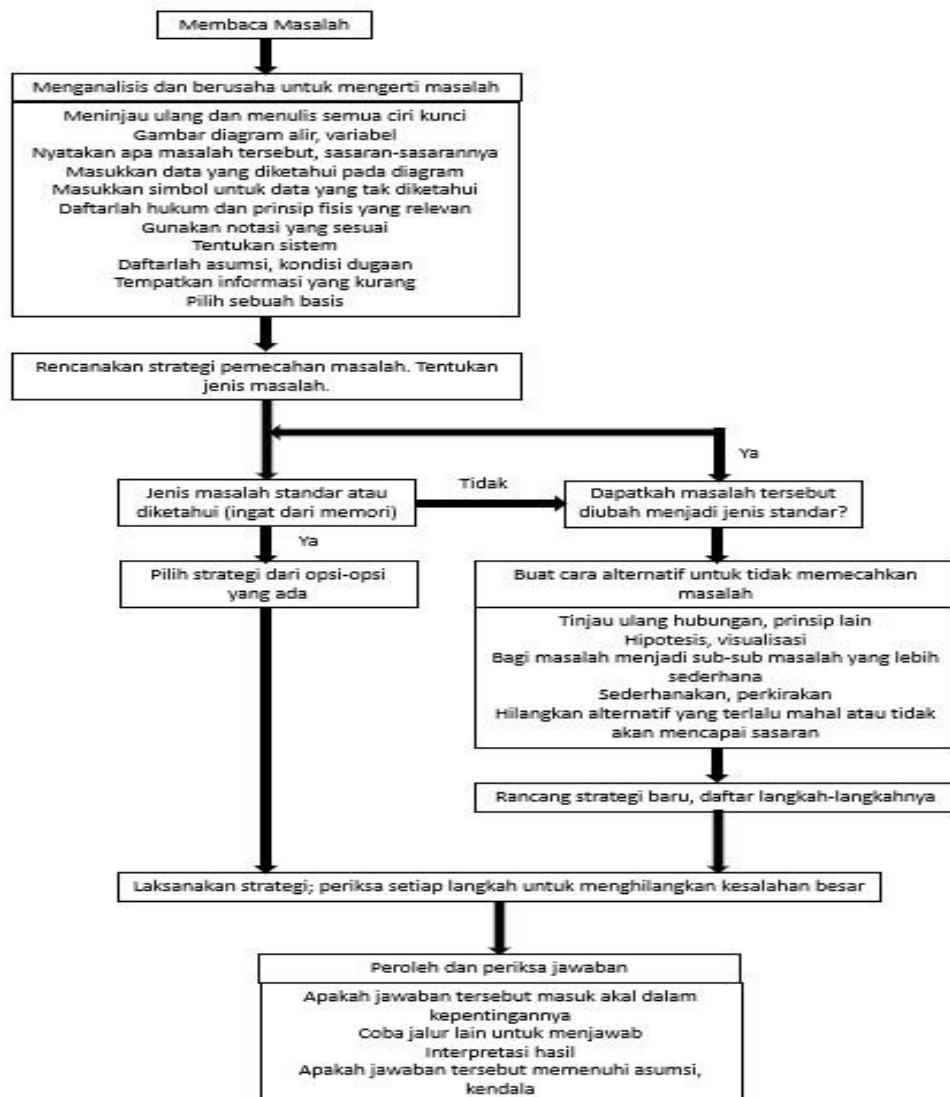
NERACA MASSA DENGAN TIE COMPONENT ATAU KEY COMPONENT

A. CAPAIAN PEMBELAJARAN

Setelah mengikuti pertemuan ini, mahasiswa diharapkan mampu menentukan komponen kunci (key component).

B. URAIAN MATERI

Pemilihan strategi pemecahan masalah :



Fase 1 : Mengerti masalah dan sasaran.

Memahami Masalah

Siapa yang menghendaki pemecahan?	Strategi apa yang dapat dipakai untuk memecahkan masalah? Apa langkah pertama? Langkah akhir?
Dimana masalah tersebut timbul?	Perbedaan dan persamaan apa yang ada dengan masalah dalam buku? Dengan masalah-masalah yang telah anda pecahkan
Siapa yang akan menerima pemecahan (pengguna, operator, perusahaan, masyarakat)?	Apa hubungan antara unsur-unsur?
Apa yang diharapkan anda lakukan?	Apa jangka waktunya?
Apa tujuannya?	Apakah masalah/ Pernyataan tersebut benar?
Untuk apa masalah ini dipecahkan?	Antisipasi bentuk dan karakter dari pemecahan
Konsep, rumus, hukum, dan aturan apa yang berhubungan dan dapat diterapkan?	Jangan melewati kata-kata yang tak dimengerti
Informasi apa yang tersedia untuk masukan, keluaran dan kendala?	Buatlah sketsa gambar/gunakan tabel/ gunakan grafik untuk menggabungkan informasi.
Asumsi apa yang harus di buat atau di duga?	Bedakan antara fakta dan opini.
Tentukan informasi yang hilang.	Fakta apa yang tak dinyatakan, implisit?
Siapa yang mempunyai informasi tersebut? Di mana?	
Tentukan informasi yang bertentangan.	

Kata Kerja Yang Merangsang Berpikir

Mengasumsikan (Assume)	Membedakan (distinguish)	Memperhalus (refine)
Mengategorikan (categorize)	Memperluas (extend)	Menghubungkan (relate)
Menggolongkan (Classify)	Menyamaratakan (generalize)	Mengatakan dengan cara lain (rephrase)
Membandingkan (Compare)	Membuat hipotesis (hypothesize)	Mereorganisasi (reorganize)
Berdebat (debate)	Mengidealkan (idealize)	Menyatakan ulang (restate)
Mendefinisikan (define)	Menggambarkan (illustrate)	Memilih (select)
Menguraikan (describe)	Menanyakan (question)	Menyederhanakan (simplify)
Mendiagnosis (diagnose)	Mengingat (recall)	Membayangkan (visualize)
Menggambarkan (diagram)		

Fase 2 : Merumuskan Pilihan.

Merumuskan Pilihan

Bagaimana anda melakukannya?	Bekerja pada versi masalah yang disederhanakan.
Alat, sistem, prosedur, strategi, metode apa yang dapat digunakan?	Bekerja untuk sebagian masalah pada waktu tertentu.
Di mana hal itu akan dikerjakan?	Menaksir jawabannya dan berusaha untuk memeriksanya, pemeriksaan mungkin akan menuntun ke rencana yang layak.
Bentuk hubungan dalam data.	Jangan menyensor pikiran anda.
Pikirkan rumus atau definisi yang mungkin relevan.	Mengurunrembukkan.
Apa yang harus diketahui untuk memperoleh jawaban?	Membuat alternatif.
Hubungan masalah tersebut dengan contoh-contoh serupa dari pekerjaan atau bacaan sebelumnya.	Percobaan Gedanken.

Kata Kerja Yang Merangsang Berpikir

Mengintisarikan (abstract)	Mempertukarkan (interchange)
Menambahkan (add)	Memodifikasi (modify)
Mengumpulkan (aggregate)	Menyusun kembali (rearrange)
Mengurunrembukkan (brainstorm)	Mensimulasi (simulate)
Mengonsepan (conceptualize)	Mensubstitusi (substitute)
Menguraikan (decompose)	

Fase 3 : Apa kendala pada pilihan tersebut ?

Kendala

Hukum, peraturan	Pengaruh terhadap lingkungan
Keselamatan	Depresiasi atau degradasi
Biaya	Siklus hidup
Kebutuhan energi	Benar, berfungsi dengan cepat
Reputasi	Kualitas
Kecocokan dengan kebiasaan	Ketidakpastian dalam data, peralatan, lingkungan, dan sebagainya.
Keandalan	Kedwrtian
	Faktor budaya

Kata Kerja Yang Merangsang Berpikir

Membatalkan (cancel)	Meniadakan (exclude)	Menanggalkan (repudiate)
Mengendalikan (control)	Melarang (forbid)	Mensyaratkan (require)
Mengekang (curb)	Menahan (hold back)	Membatasi (restrict)
Membubarkan (dissolve)	Menyita (impound)	Membebani (tax)
Menghentikan (discontinue)	Mengharuskan (necessitate)	Melarang (unauthorize)
Menegakkan (enforce)	Menghalangi (prohibit)	Menahan (withhold)

Fase 4 : Evaluasi Prosedur dan Hasil

Melaksanakan Strategi

Menulis langkah-langkah dalam rencana atau strategi pemecahan	Mengalokasi prioritas
Melaksanakan pemecahan tersebut	Santai ketika macet
Bekerja maju sampai macet	Meninjau ulang fase-fase sebelumnya jika diperlukan
Bekerja mundur sampai macet	Mencapai sebuah keputusan
Menaksir pemecahan dan berusaha untuk menguji taksiran	Memilih pilihan yang terbaik

Kata Kerja Yang Merangsang Berpikir

Menerapkan (apply)	Menyelidiki (explore)	Menjadwal (schedule)
Memasang (assemble)	Memusatkan (focus)	Memisahkan (separate)
Melaksanakan (carry out)	Menggambarkan (illustrate)	Menguji (test)
Memilih (choose)	Mengelola (manage)	Menggunakan (use)
Memimpin (conduct)	Memperagakan (model)	Memecahkan (work out)
Mempekerjakan (employ)	Mengajukan (propose)	

Mengevaluasi

Bagaimana pekerjaan tersebut di nilai?	Apakah pemecahan tersebut mempunyai akurasi yang memadai?
Pilih kriteria yang berlaku.	Apakah pemecahan tersebut diperoleh dalam waktu yang layak?
Apakah kepentingan dari pemecahan tersebut layak?	Apakah anda merasa nyaman dengan pemecahan tersebut?
Kesalahan apa yang terjadi, dan mengapa?	Strategi pemecahan apa yang berhasil dan apa yang tidak?
Lakukan analisis sensitivitas	Dapatkah saya menjadi lebih efisien?
Apakah semua kendala telah dipenuhi?	

Kata Kerja Yang Merangsang Berpikir		
Menghargai (appraise)	Mengevaluasi (evaluate)	Memeringkatkan (rank)
Menilai (assess)	Menjelaskan (explain)	Menilai (rate)
Memeriksa (check)	Mempertimbangkan (judge)	Mencatat (record)
Membandingkan (compare)	Mengukur (measure)	Memberi skor (score)
Membela (defend)	Memprioritaskan (prioritize)	Memilih (select)

Banyak persoalan neraca bahan yang seolah-olah rumit tetapi sebenarnya kalau diperhatikan dengan seksama dapat disederhanakan karena terdapat tie component atau key component . Komponen ini adalah komponen yang selama proses dari satu aliran ke aliran lain tidak mengalami perubahan sama sekali (hanya numpang lewat).

Misalnya pada contoh soal berikut ini, yang menjadi tie component adalah bahan padat (karena tidak mengalami perubahan sama sekali dan jumlahnya tetap).

Contoh soal :

Suatu material/bahan tertentu mengandung air sebanyak 80%. Air tersebut diuapkan sebanyak 85%. Tentukan :

Banyaknya air yang bisa diuapkan per kilogram bahan basah

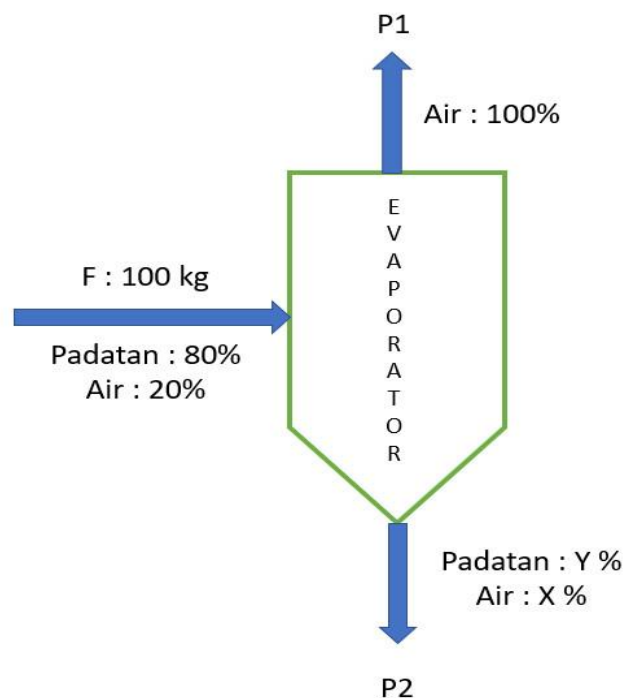
Padatan dan air pada produk (komposisi)

Jawab :

Gambarkan proses flow diagram (PFD) dan lengkapi data-data yang diketahui (kualitatif dan kuantitatif)

Basis : 100 kilogram bahan basah

Diagram alir :



Air dalam bahan = $0,8 \times 100 \text{ kilogram} = 80 \text{ kg}$

Air yang dapat dihilangkan = $0,85 \times 80 \text{ kilogram} = 68 \text{ kg}$

Padatan yang terdapat dalam bahan basah = $0,2 \times 100 \text{ kg} = 20 \text{ kg}$

Persamaan Neraca Massa :

Input = Output

$F = P1 + P2$

Jumlah air yang diuapkan per kilogram bahan basah :

$= (68 \text{ kg uap air}) / (100 \text{ kg bahan basah}) = 0,68 \text{ (kg uap air) / (kg bahan basah)}$

Neraca Massa Total :

$P1 = 32 \text{ kg}$

Komposisi :

Misalkan : Air = X

Misalkan : Padatan = Y

Neraca Massa Komponen : (Padatan)

$0,2 F = 0,2 P2 + Y \cdot P1$

$20 = 32 Y$

$Y = 0,625 = 62,5\%$

$X = 100\% - 62,5\% = 37,5\%$

Atau :

Air yang tersisa dalam bahan : air dalam bahan – air yang menguap :

$$= 80 \text{ kilogram} - 68 \text{ kilogram} = 12 \text{ kilogram}$$

Jumlah air yang diuapkan per kilogram bahan basah = $68/100 = 0,68 \text{ kg}$

Komposisi bahan akhir :

$$\text{Air} = 12/(12+20) \times 100\% = 37,5\%$$

$$\text{Padatan} = 100\% - 37,5\% = 62,5\%$$

C. LATIHAN SOAL

1. Pada suatu pembakaran, sebanyak 300 kg udara dan 24 kg karbon diumpankan ke dalam reaktor pada suhu 600°F. Setelah pembakaran sempurna tidak ada bahan tersisa di dalam reaktor. Hitunglah:
 - a. Berapa berat karbon, oksigen & berat total bahan yang keluar dari reaktor?
 - b. Berapa mol karbon & mol oksigen yang masuk dan keluar dari reaktor?
 - c. Berapa mol total yang masuk dan berapa yang keluar reaktor?
2. Sebuah larutan mengandung 55% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dan 1,2% kotoran terlarut dalam air. Setelah pendinginan sampai 10°C $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ terkristalisasi keluar. Kelarutan dari hidrat ini adalah 1,4 lb $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ / lb air bebas. Kristal yang dikeluarkan membawa 0,075 lb larutan / lb kristal sebagai larutan yang melekat. Kristal ini dikeringkan untuk menghilangkan sisa air (tetapi bukan air dari hidrasi). Kristal $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ akhir yang kering tidak boleh mengandung lebih dari 0,1% kotoran berdasarkan berat. Untuk memenuhi persyaratan tersebut, hitunglah :
 - a. Jumlah air yang ditambahkan sebelum pendinginan
 - b. Persentase pendapatan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dalam bentuk kristal

D. DAFTAR PUSTAKA

- American National Metric Council. 1977. Metric Guide for Educational Materials. Washington DC: ANMC.
- Bhatt, B.I., dan S.M. Vora. 1976. Stoichiometry, edisi kedua. New Delhi: Tata McGraw-Hill.

- Clausen, C.A., dan G. Mattson. 1979. *Principles of Industrial Chemistry*. New York: Wiley.
- Distantina S. 2001. *Diktat Pendahuluan Neraca Massa*.
- Eva, Bayu, Sisil. 2003. *Diktat Neraca Massa dan Energi*.
- Felder, R.M., dan R.W. Rousseau. 1986. *Elementary Principles of Chemical Processes*. Edisi kedua, New York: Wiley.
- Himmelblau, D. 1996. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*, 6th edition, Prentice-Hall.
- Husain, A. 1986. *Chemical Process Simulation*. New Delhi: Halstead (Wiley).
- Horvath, A.D. 1986. *Conversion Tables of Units in Science and Engineering*. New York: Elsevier.
- Massey, B.S. 1986. *Measures in Science and Engineering*. New York: Halsted Press.
- Reklaitis, G.V. 1983. *Introduction to Material and Energy Balances*. New York: Wiley.
- Russel, T.W.F., dan M.M. Denn. 1972. *Introduction to Chemical Engineering Analysis*. New York: Wiley.

PERTEMUAN 11

DEGREE OF FREEDOM (DERAJAT KEBEBASAN)

A. CAPAIAN PEMBELAJARAN

Setelah selesai mengikuti materi pada pertemuan ini, mahasiswa mampu menghitung Derajat Kebebasan (DK).

B. URAIAN MATERI

Ada suatu ukuran yang dapat memberikan indikasi bahwa suatu persamaan (neraca bahan) mungkin dapat diselesaikan atau tidak. Ukuran ini adalah *degree of freedom* atau derajat kebebasan dari suatu persoalan. Seharusnya bila ada n besaran yang tidak diketahui maka untuk menyelesaikannya dibutuhkan n buah persamaan yang independen. Bila jumlah persamaan yang tersedia kurang dari n buah maka persoalan tersebut tidak dapat diselesaikan. Sebaliknya jika terdapat lebih dari n buah persamaan maka harus diambil hanya n buah persamaan untuk menyelesaikannya. Itu pun dengan resiko bila persamaan yang kita ambil salah maka dapat terjadi ketidak konsistenan ketentuan di antara persamaan-persamaan yang berlebih tersebut sehingga hasil yang diperoleh salah.

Derajat kebebasan adalah ukuran yang sederhana untuk mengetahui hal tersebut. Analisis derajat kebebasan merupakan mekanisme yang sistematis untuk menghitung semua variabel, persamaan-persamaan neraca dan hubungan-hubungan yang terkait dalam permasalahan.

Derajat Kebebasan (DK) =

Jumlah variabel aliran yang independen - Jumlah persamaan neraca yang independen - Jumlah variabel aliran terspesifikasi yang independen – Jumlah hubungan yang terkait (yg membentuk persamaan).

1. Jika $DK > 0$: Permasalahan tdk dapat diselesaikan (kurang terspesifikasi).
2. Jika $DK < 0$: Permasalahan kelebihan spesifikasi dapat menyebabkan inkonsistensi.
3. Jika $DK = 0$: Permasalahan terspesifikasi dengan benar karena jumlah variabel yang tidak diketahui sama dengan jumlah persamaan yang ada.

Contoh Soal 1 Menghitung Derajat Kebebasan (DK) :

Suatu umpan kolom distilasi dengan laju alir 1000 mol/jam mempunyai komposisi sebagai berikut (% mol) : 20% *propane*, 30% *isobutane*, 20% *isopentane* dan sisanya *normal pentane*. Distilat yang dihasilkan mengandung semua *propane* dan 80% *isopentane* yang masuk kolom, serta mengandung 40% *isobutane*. Produk bawah (*bottom product*) mengandung semua *normal pentane* yang masuk kolom. Hitung komposisi kedua produk tersebut.

Jawab :

Analisis:

1. Terdapat 1 kolom distilasi (1 alat saja)
2. Terdapat 3 aliran (1 masuk, 2 keluar)
3. Anggaplah tiap-tiap aliran mempunyai 4 variabel yaitu 1 variabel laju alir dan 3 variabel komposisi. Dengan demikian untuk ketiga aliran tersebut masing-masing terdapat 4 variabel aliran yang nantinya dapat disusun menjadi 4 persamaan neraca bahan yang independen.
4. Variabel-variabel aliran yang terspesifikasi (biasanya ditentukan atau diketahui) sehingga variabel independen dari aliran adalah:
 - a. 3 variabel independen komposisi umpan = 20% C₃, 30% C₄, 20% C₅
 - b. 2 variabel independen komposisi distilat = 0% C₅ dan 40% C₄
 - c. 1 variabel independen komposisi *bottom product* = 0% C₃
 - d. 1 variabel independen laju umpan = 1000 mol/jam

Berdasarkan analisis diatas maka dapat di jawab sebagai berikut :

1. Jumlah variabel aliran = 3 aliran x 4 variabel/aliran = 12 variabel
2. Jumlah persamaan neraca bahan independen = jumlah komponen yang terdapat dalam sistem yaitu 4 persamaan
3. Jumlah variabel terspesifikasi ada 2 macam yaitu :
 - a. Komposisi ada 6 (a,b & c)
 - b. Aliran ada 1 (d)
4. Jumlah hubungan terkait berupa perolehan di destilat (80%)

Maka:

- a. Jumlah variabel aliran yang independen = 12
- b. Jumlah persamaan neraca yang independen = 4
- c. Jumlah variabel aliran terspesifikasi yang independen

- 1) Komposisi = 6
 2) Aliran = 1
 d. Jumlah hubungan yang terkait (yg membentuk persamaan) = 1

Derajat Kebebasan (DK) = 0

Disini permasalahan terspesifikasi dengan benar sehingga persoalan hanya memiliki satu penyelesaian. Tetapi perhitungan jumlah variabel dan spesifikasi ini sering tidak sama pada berbagai literatur karena adanya penyederhanaan oleh masing-masing analis, meskipun hasil akhirnya (DK) tetap sama. Seperti contoh di atas, bisa saja jumlah variabel aliran hanya 10 karena kita sudah mengetahui bahwa komposisi dari C_5 pada produk distilat = 0. Dengan demikian untuk perhitungan jumlah variabel komposisi aliran yang terspesifikasi juga akan berkurang 2 (kedua komposisi tadi) sehingga menjadi 4.

Maka:

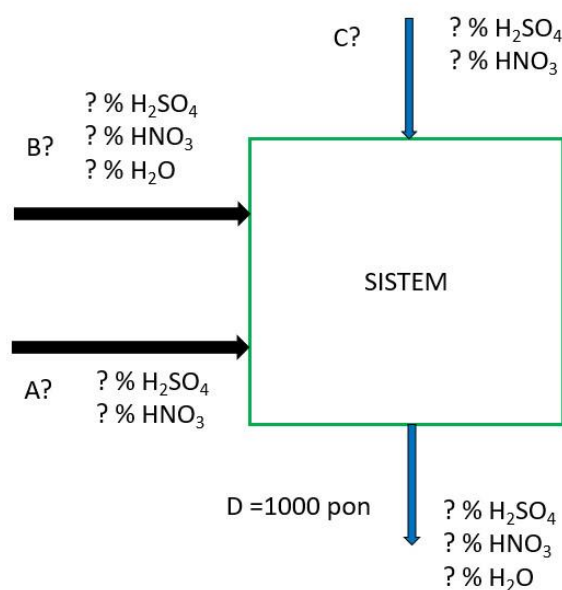
DK = 10 variabel aliran - 4 persamaan neraca bahan independen - 4 komposisi - 1

aliran - 1 hubungan terkait

DK = 0

Contoh Soal 2 ;

Amati gambar berikut ini :



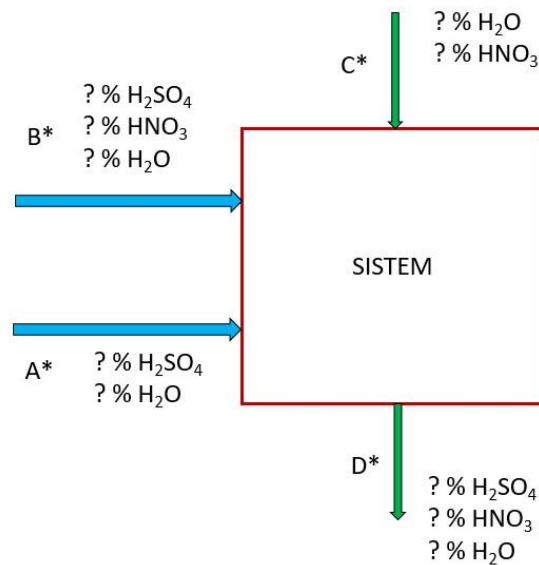
Gambar tersebut menunjukkan sebuah lembar alir sederhana untuk sebuah unit tunggal. Hanya nilai D yang diketahui. Berapa jumlah minimum pengukuran lain yang harus dibuat untuk menentukan semua nilai arus dan komposisi lain?

Jawab :

Anda di minta untuk mencari jumlah derajat bebas untuk masalah tersebut. Anda harus mempertimbangkan bahwa dalam sistem apa pun, salah satu dari nilai komposisi dapat ditentukan dengan pengurangan dari 100%. Ingatkah anda, mengapa? Ini adalah hitungan dari jumlah minimum variabel yang tidak diketahui nilainya.

Aliran	Jumlah minimum variabel yang tidak diketahui nilainya
A	2
B	3
C	2
D	2
Total	9

Sebagai contoh hitungan, dalam spesifikasi arus A dari A plus satu komposisi memungkinkan untuk menghitung komposisi lain dan jadi aliran massa baik dari H_2SO_4 dan H_2O . periksa perhitungan tersebut oleh anda sendiri untuk arus-arus lain. Apakah nilai-nilai itu benar ?. Secara total hanya tiga persamaan kesetimbangan materi independen yang dapat di tulis (ingatkah anda, mengapa?), meninggalkan $9 - 3 = 6$ nilai komposisi dan arus yang harus ditentukan.



Akankah spesifikasi nilai dari keenam variabel dalam gambar tersebut memecahkannya? Tidak. Hanya nilai-nilai yang harus ditentukan yang akan memberikan jumlah kesetimbangan materi independen yang sama dengan jumlah variabel yang tidak diketahui. Sebagai sebuah contoh tentang kumpulan pengukuran yang memenuhi, pilih satu komposisi dalam arus A, dua dalam B, satu dalam C dan dua dalam D, meninggalkan aliran A, B, dan C sebagai yang tidak diketahui.

Apa yang anda pikirkan tentang spesifikasi dari kumpulan pengukuran berikut ini: A, B, C, dua komposisi dalam D, dan satu komposisi dalam B? Tulislah tiga persamaan kesetimbangan materi. Apakah tiga persamaan tersebut independen? anda akan menemukan bahwa mereka tidak independen. Ingatlah bahwa jumlah dari fraksi-fraksi massa adalah satu untuk setiap aliran.

C. LATIHAN SOAL

1. Titanium dioksida TiO_2 banyak digunakan sebagai zat warna pada industri cat dan kertas. Dalam suatu unit pencuci pada pabrik zat tersebut diinginkan untuk memproduksi 4000 lb/jam TiO_2 kering dan maksimum mengandung 100 ppm garam basis kering. Keluar dari alat pembuatnya zat pewarna tersebut (raw pigment) mengandung 40% TiO_2 , 20% garam dan sisanya air (% massa). Pemurnian dilakukan dengan cara pencucian menggunakan air (H_2O)

kemudian pemisahan dengan pengendapan hingga diperoleh produk pewarna yang bersih (washed product) dan air bekas mencuci yang disebut waste water. Pewarna yang dikehendaki minimal haruslah mengandung 50% TiO_2 . Karena air buangan bekas cuci tersebut akan dibuang ke sungai maka komposisinya harus diketahui dengan tepat. Hitunglah Derajat Kebebasannya (DK) ?

2. Suatu larutan air yang mengandung 10% asam asetat ditambahkan ke dalam suatu larutan air yang mengandung 30% asam asetat yang mengalir pada laju 20 kg/menit. Produk P yang merupakan kombinasi keluar pada laju 100 kg/menit. Apa komposisi dari P ?

Untuk proses ini :

- a. Tentukan berapa banyak kesetimbangan materi yang dapat ditulis?
- b. Buatlah daftar nama kesetimbangan-kesetimbangan tersebut.
- c. Tentukan berapa banyak variabel tak diketahui yang dapat dipecahkan.
- d. Buatlah daftar nama dan simbol variabel-variabel tersebut.
- e. Tentukan komposisi dari P.

D. DAFTAR PUSTAKA

- American National Metric Council. 1977. Metric Guide for Educational Materials. Washington DC: ANMC.
- Bhatt, B.I., dan S.M. Vora. 1976. Stoichiometry, edisi kedua. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Clausen, C.A., dan G. Mattson. 1979. Principles of Industrial Chemistry. New York: Wiley.
- Distantina S. 2001. Diktat Pendahuluan Neraca Massa.
- Eva, Bayu, Sisil. 2003. Diktat Neraca Massa dan Energi.
- Felder, R.M., dan R.W. Rousseau. 1986. Elementary Principles of Chemical Processes. Edisi kedua, New York: Wiley.
- Himmelblau, D. 1996. Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 6th edition, Prentice-Hall.

- Husain, A. 1986. Chemical Process Simulation. New Delhi: Halstead (Wiley).
- Horvath, A.D. 1986. Conversion Tables of Units in Science and Engineering. New York: Elsevier.
- Massey, B.S. 1986. Measures in Science and Engineering. New York: Halsted Press.
- Reklaitis, G.V. 1983. Introduction to Material and Energy Balances. New York: Wiley.
- Russel, T.W.F., dan M.M. Denn. 1972. Introduction to Chemical Engineering Analysis. New York: Wiley.

PERTEMUAN 12

NERACA MASSA TANPA REAKSI KIMIA (MULTI UNIT)

A. CAPAIAN PEMBELAJARAN

Setelah mengikuti materi pada pertemuan ini, mahasiswa mampu :

1. Menghitung neraca massa tanpa reaksi kimia (multi unit)
2. Menulis sebuah kumpulan persamaan kesetimbangan materi independen untuk sebuah proses.
3. Menyelesaikan sebuah kumpulan persamaan linier, atau menyelesaikan satu atau dua persamaan nonlinier simultan.

B. URAIAN MATERI

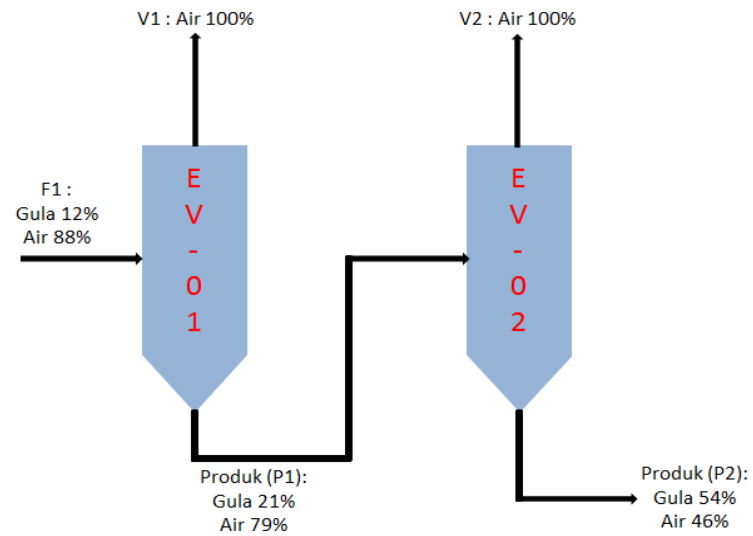
Contoh Soal 1:

6.500 lb/jam larutan gula 12% (% berat) diumpankan ke evaporator 1, kemudian dihasilkan larutan dengan kandungan gula 21%. Produk keluaran evaporator 1 dimasukkan ke dalam evaporator 2 dan menghasilkan larutan gula dengan konsentrasi 54%. Tentukan :

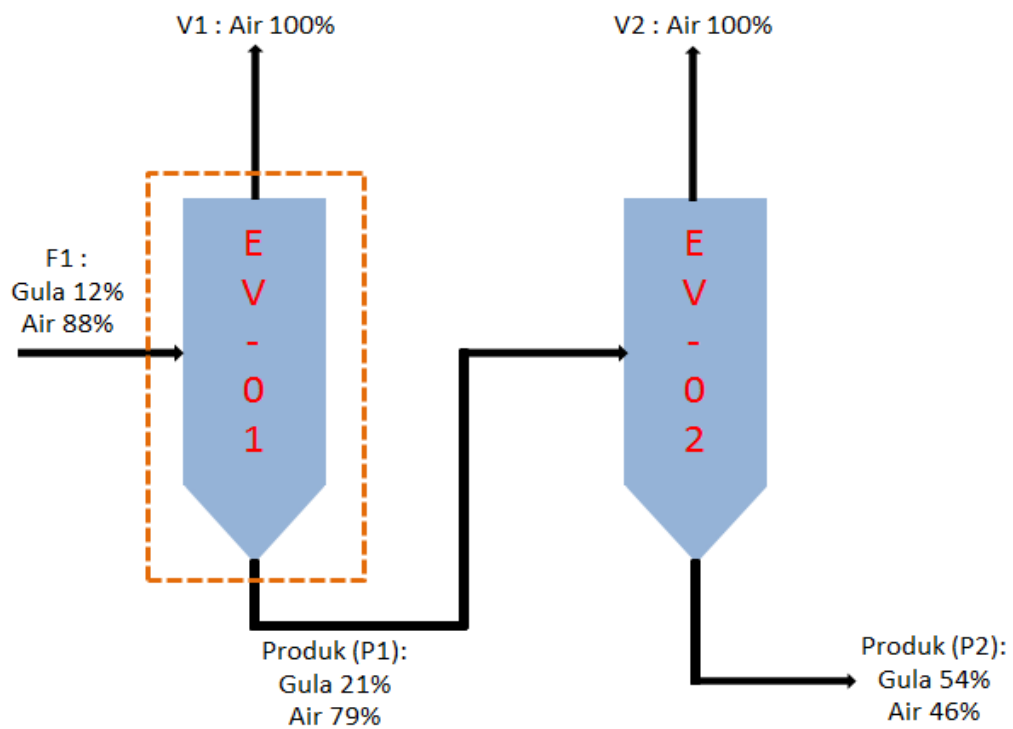
- a. Air yang teruapkan dari masing-masing evaporator
- b. Larutan yang diumpankan ke evaporator 2
- c. Produk yang dihasilkan

Jawab :

Process Flow Diagram (PFD) :



Analisis Neraca Massa di sekitar Evaporator 1 (EV-01) :



Basis : 6500 lb/jam Umpan (F1)

Neraca Massa Total :

$$F1 = V1 + P1$$

$$V1 + P1 = 6500 \dots\dots\dots(1)$$

Neraca Massa Komponen : (Gula)

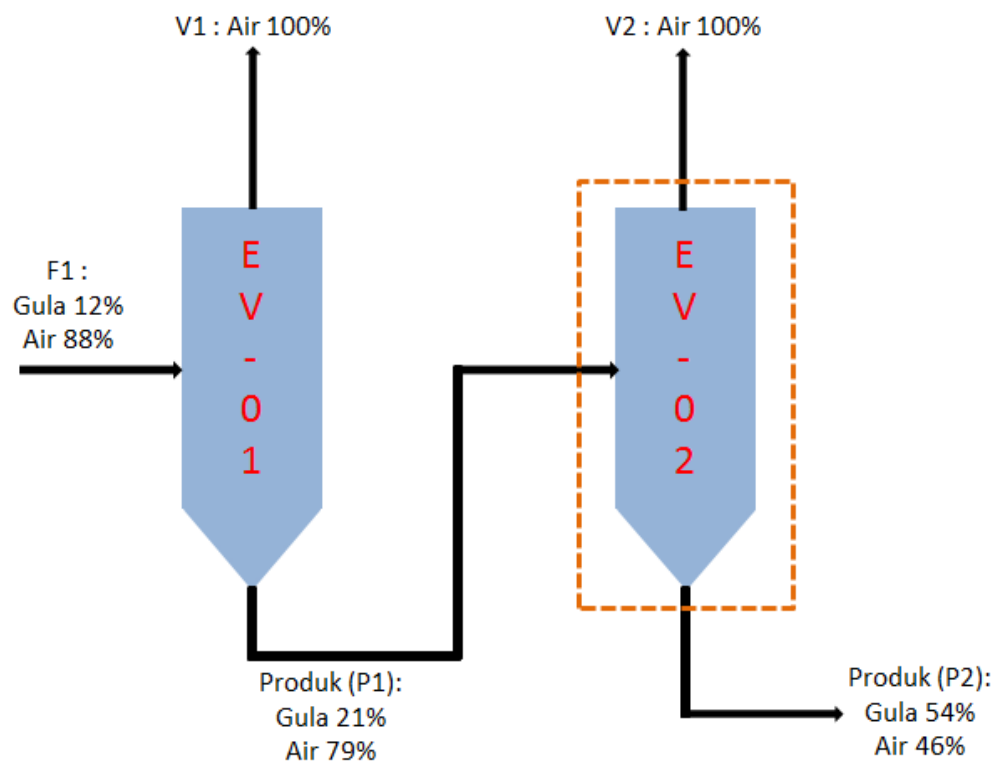
$$0,12 F1 = 0. V1 + 0,21 P1$$

$$0,21 P1 = 780$$

$$P1 = 3.714,29 \text{ lb}$$

$$V1 = 6500 \text{ lb} - 3.714,29 \text{ lb} = 2.785,71 \text{ lb}$$

Analisis di sekitar evaporator 2 :



Neraca Massa Total :

$$P1 = V2 + P2$$

$$V2 + P2 = 3.714,29 \dots\dots\dots(1)$$

Neraca Massa Komponen : (Gula)

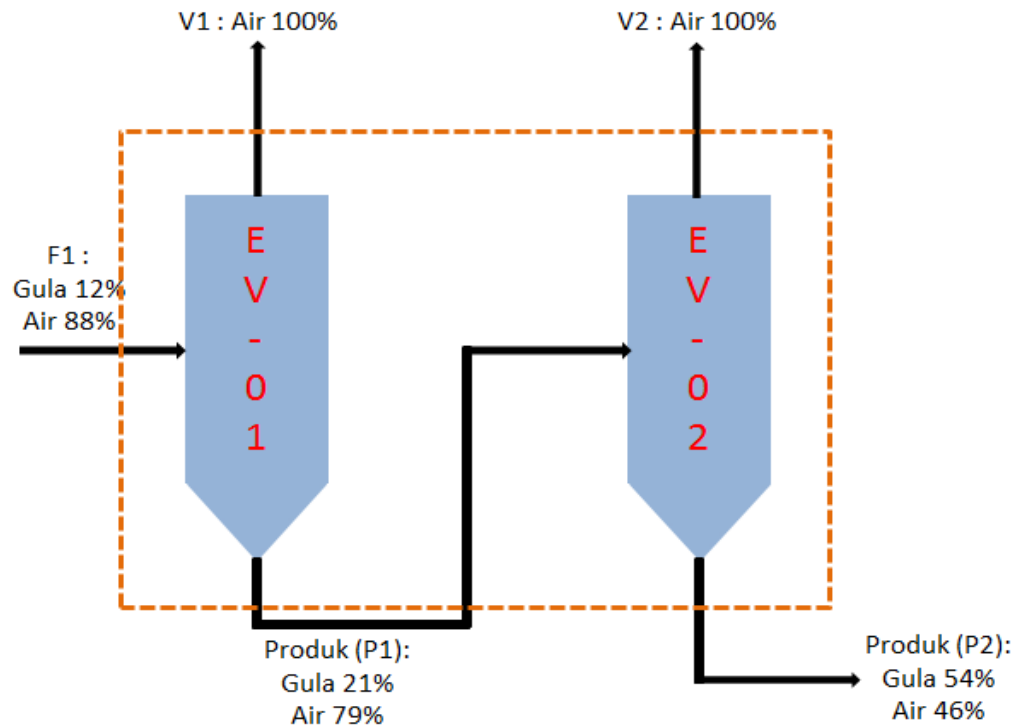
$$0,21 P1 = 0. V2 + 0,54 P2$$

$$0,54 P2 = 780$$

$$P2 = 1.444,44 \text{ lb}$$

$$V2 = 3.714,29 \text{ lb} - 1.444,44 \text{ lb} = 2.269,85 \text{ lb}$$

Cek : Analisis Neraca Massa di keseluruhan alat :



Neraca Massa Total :

$$F1 = V1 + V2 + P2$$

$$6500 \text{ lb} = 2.785,71 \text{ lb} + 2.269,85 \text{ lb} + 1.444,44 \text{ lb}$$

$$6500 \text{ lb} = 6500 \text{ lb}$$

Jumlah ruas kiri dan ruas kanan sama sehingga perhitungan dapat dianggap benar.

Kesimpulan :

- Jumlah air yang dapat diuapkan untuk setiap evaporator ($V1 = 2.785,71 \text{ lb/jam}$, $V2 = 2.269,85 \text{ lb/jam}$)
- Larutan yang dimasukkan ke evaporator 2 ($P1 = 3.714,29 \text{ lb/jam}$)
- Produk yang dihasilkan ($P2 = 1.444,44 \text{ lb/jam}$)

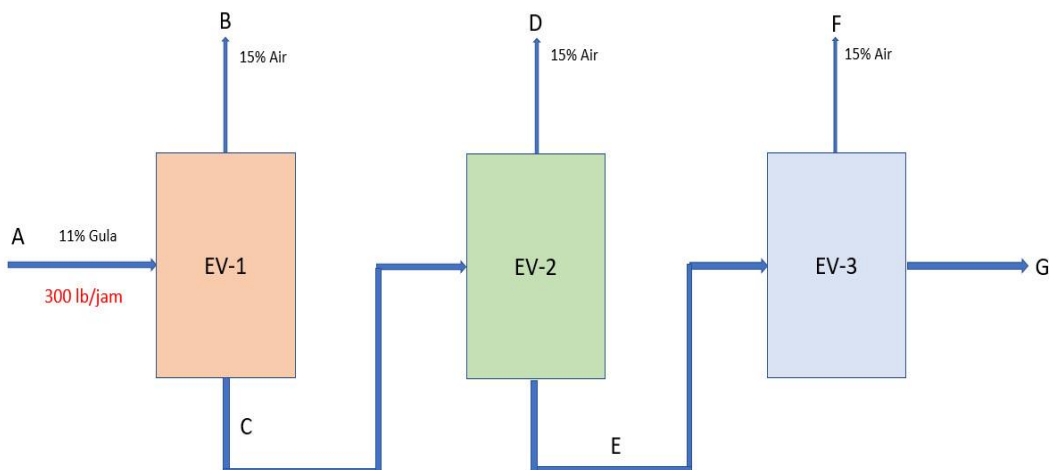
Contoh Soal 2:

Di dalam suatu pabrik terjadi pemekatan larutan gula menggunakan 3 evaporator yang disusun secara seri. Jika dalam setiap evaporator air yang diuapkan sebesar 15%, sementara larutan gula yang dimasukkan ke evaporator 1 memiliki konsentrasi 11% dan laju alir 300 lb/jam. Hitunglah dalam Kilogram/jam :

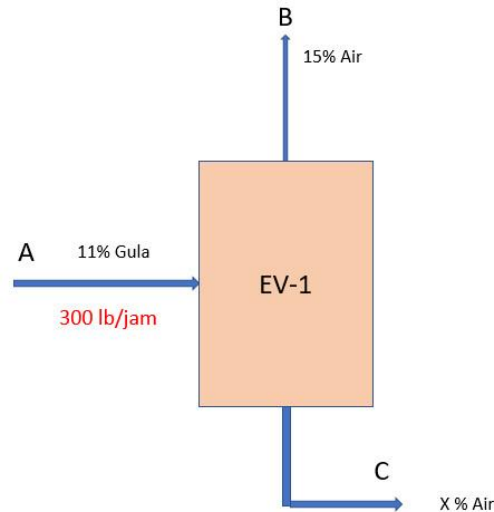
- Jumlah Air yang bisa diuapkan dari setiap evaporator.
- Larutan gula yang dimasukkan ke dalam evaporator 2 dan 3.
- Hasil reaksi (produk) yang diperoleh.

Jawab :

Diagram Alir :



Analisis Neraca Massa di sekitar Evaporator 1 (EV-01) :



Basis : 300 lb/jam Umpan (A) = 136,08 Kg/jam

Neraca Massa Total :

$$A = B + C$$

$$B + C = 136,08 \dots \dots \dots (1)$$

Jumlah air pada umpan evaporator 1 :

$$= 88\% \times 136,08 \text{ Kg}$$

$$= 119,75 \text{ Kg}$$

Jumlah air yang diuapkan sebanyak 15% dari total air umpan (B) :

$$= 15\% \times 119,75 \text{ Kg}$$

$$= 17,96 \text{ Kg}$$

Sehingga jumlah produk yang berada pada bagian bawah evaporator 1 (C) :

$$= A - B$$

$$= 136,08 \text{ Kg} - 17,96 \text{ Kg}$$

$$= 118,12 \text{ Kg}$$

Neraca Massa Komponen : (Gula)

Dimisalkan X adalah fraksi komponen Air dan Y adalah fraksi komponen gula.

$$0,11 A = 0.B + Y.C$$

$$Y.C = 14,97$$

$$118,12Y = 14,97$$

$$Y = 0,1267$$

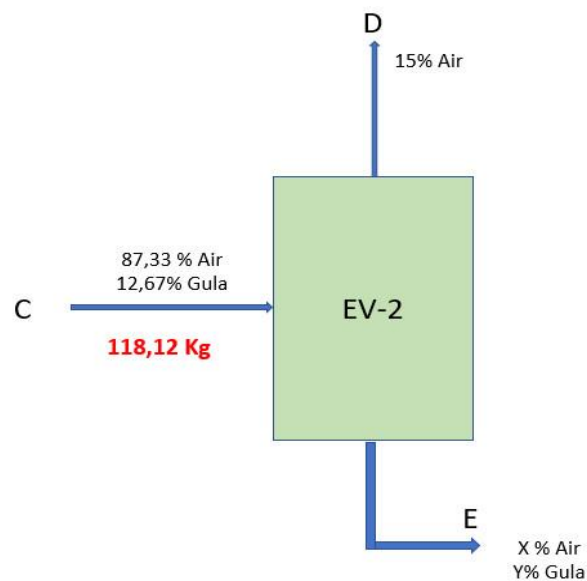
$$Y = 12,67\%$$

$$X = 87,33\%$$

Sehingga :

Sebanyak 87,33% Air dan 12,67% Gula dalam larutan gula.

Analisis di sekitar evaporator 2 :



Neraca Massa Total :

$$C = D + E$$

$$D + E = 118,12 \dots \dots \dots (2)$$

Jumlah air yang diuapkan sebanyak 15% dari total air umpan (D) :

$$= 15\% \times 118,12 \text{ Kg}$$

$$= 17,72 \text{ Kg}$$

Sehingga jumlah produk yang berada pada bagian bawah evaporator 2 (E) :

$$= C - D$$

$$= 118,12 \text{ Kg} - 17,72 \text{ Kg}$$

$$= 100,40 \text{ Kg}$$

Neraca Massa Komponen : (Gula)

Dimisalkan X adalah fraksi komponen Air dan Y adalah fraksi komponen gula.

$$0,1267 C = 0.D + Y.E$$

$$Y.E = 14,97$$

$$100,40Y = 14,97$$

$$Y = 0,1491$$

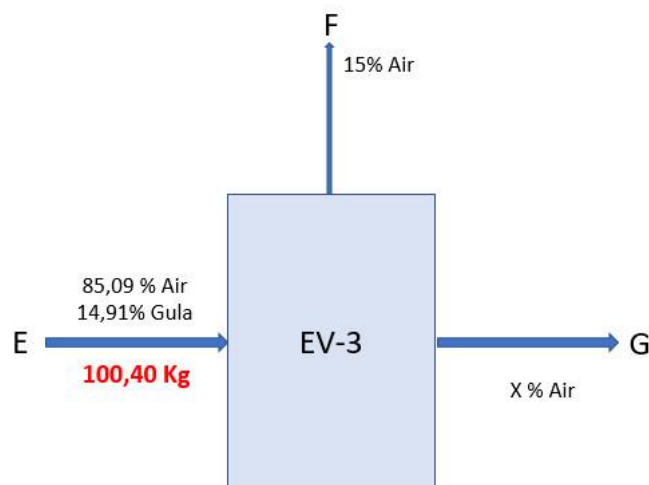
$$Y = 14,91\%$$

$$X = 85,09\%$$

Sehingga :

Sebanyak 85,09% Air dan 14,91% Gula dalam larutan gula pada aliran umpan evaporator 3 (E).

Analisis di sekitar evaporator 3 :



Neraca Massa Total :

$$E = F + G$$

$$F + G = 100,40 \dots \dots \dots (3)$$

Jumlah air yang diuapkan sebanyak 15% dari total air umpan (F) :

$$= 15\% \times 100,40 \text{ Kg}$$

$$= 15,06 \text{ Kg}$$

Sehingga jumlah produk yang berada pada evaporator 3 (G) :

$$= E - F$$

$$= 100,40 \text{ Kg} - 15,06 \text{ Kg}$$

$$= 85,34 \text{ Kg}$$

Neraca Massa Komponen : (Gula)

Dimisalkan X adalah fraksi komponen Air dan Y adalah fraksi komponen gula.

$$0,1491 E = 0.F + Y.G$$

$$G.E = 14,97$$

$$85,34Y = 14,97$$

$$Y = 0,1754$$

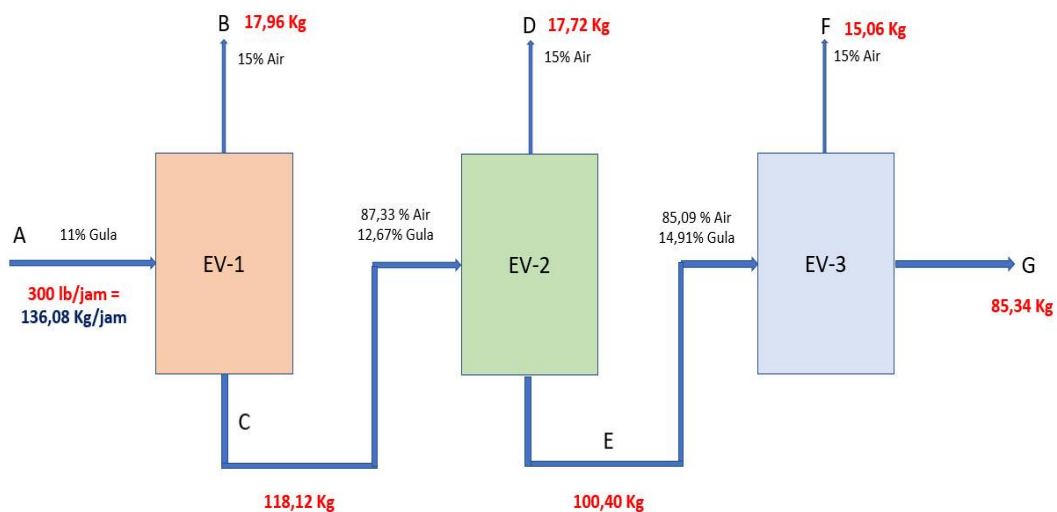
$$Y = 17,54\%$$

$$X = 82,46\%$$

Sehingga :

Sebanyak 82,46% Air dan 17,54% Gula dalam larutan gula pada aliran produk evaporator 3 (G).

Cek : Analisis Neraca Massa di keseluruhan alat :



Neraca Massa Total :

$$A = B + D + F + G$$

$$136,08 \text{ Kg/jam} = 17,96 \text{ Kg/jam} + 17,72 \text{ Kg/jam} + 15,06 \text{ Kg/jam} + 85,34 \text{ Kg/jam}$$

$$136,08 \text{ Kg/jam} = 136,08 \text{ Kg/jam}$$

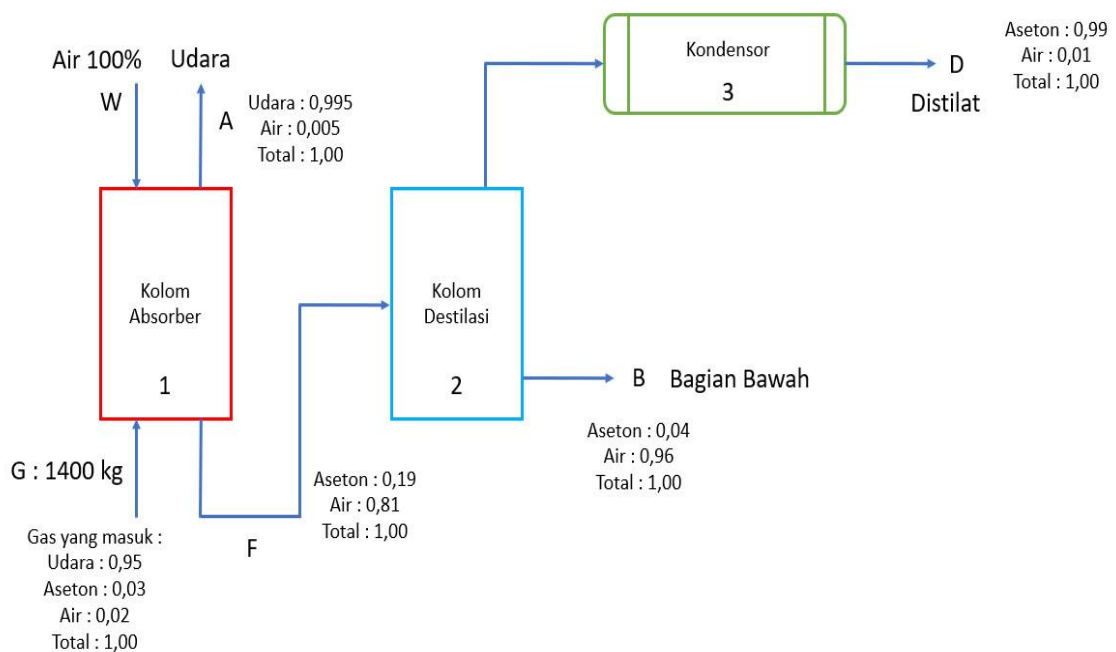
Jumlah ruas kiri dan ruas kanan sama sehingga perhitungan dianggap benar.

Kesimpulan :

- Jumlah Air yang bisa diuapkan untuk setiap evaporator ($B = 17,96 \text{ kg/jam}$, $D = 17,72 \text{ kg/jam}$ dan $F = 15,06 \text{ kg/jam}$)
- Larutan gula yang dimasukkan ke evaporator 2 ($C = 118,12 \text{ kg/jam}$ dan $E = 100,40 \text{ kg/jam}$)
- Produk yang dihasilkan ($G = 85,34 \text{ kg/jam}$)

Contoh Soal 3 :

Aseton digunakan dalam pembuatan bahan kimia dan juga sebagai pelarut. Banyak larangan apabila terjadi pelepasan uap aseton ke lingkungan. Anda diminta untuk merancang sistem pengumpulan kembali aseton. Semua konsentrasi untuk gas maupun zat cair ditentukan dalam persen W, B dan D per jam.



Basis : $G = 1.400 \text{ kg}$

Kesetimbangan massa untuk kolom 1 :

Neraca Massa Total :

$$G + W = A + F$$

$$1.400 + W = A + F$$

Neraca Massa Komponen : (Udara)

$$0,95 G + 0 W = 0,995 A + 0 F$$

$$0,95 (1.400 \text{ kg}) + 0 = 0,995 A + 0$$

$$1.330 \text{ kg} = 0,995 A$$

$$A = 1.336,68 \text{ kg}$$

Neraca Massa Komponen : (Aseton)

$$0,03 G + 0 W = 0 A + 0,19 F$$

$$0,03 (1.400 \text{ kg}) = 0,19 F$$

$$42 \text{ kg} = 0,19 F$$

$$F = 221,05 \text{ kg}$$

Sehingga nilai W dapat dihitung dengan persamaan :

$$G + W = A + F$$

$$1400 \text{ kg} + W = 1.336,68 \text{ kg} + 221,05 \text{ kg}$$

$$W = (1.336,68 \text{ kg} + 221,05 \text{ kg}) - 1.400 \text{ kg}$$

$$= 157,73 \text{ kg}$$

Kesetimbangan massa untuk kolom 2 dan 3:

Neraca Massa Total :

$$F = D + B$$

$$221,05 = D + B \dots\dots\dots(1)$$

Neraca Massa Komponen : (Aseton)

$$0,19 F = 0,99 D + 0,04 B$$

$$0,19 (221,05) = 0,99 D + 0,04 B$$

$$41,9995 = 0,99 D + 0,04 B \dots\dots\dots(2)$$

Neraca Massa Komponen : (Air)

$$0,81 F = 0,01 D + 0,96 B$$

$$0,81 (221,05) = 0,01 D + 0,96 B$$

$$179,05 = 0,01 D + 0,96 B \dots\dots\dots(3)$$

Langkah selanjutnya anda bisa melakukan cara substitusi maupun eliminasi persamaan (1) dan (2).

Dalam hal ini kita eliminasi saja persamaan (1) ke persamaan (2) untuk mendapatkan nilai yang diinginkan.

$$221,05 = D + B \dots\dots\dots(1)$$

$$41,9995 = 0,99 D + 0,04 B \dots\dots\dots(2)$$

$$179,05 = 0,01 D + 0,96 B \dots\dots\dots(3)$$

$$B = 221,05 - D$$

Substitusikan persamaan tersebut untuk menggantikan nilai B di persamaan (2):

$$41,9995 = 0,99 D + 0,04 (221,05 - D)$$

$$41,9995 = 0,99 D + 8,842 - 0,04 D$$

$$41,9995 - 8,842 = 0,99 D - 0,04 D$$

$$33,16 = 0,95 D$$

$$D = 34,9 \text{ kg}$$

Sehingga nilai B juga dapat ditentukan :

$$221,05 = D + B$$

$$B = 221,05 \text{ kg} - 34,9 \text{ kg}$$

$$= 186,15 \text{ kg}$$

Hasil rekapitulasi perhitungan :

$$G = 1.400 \text{ kg}$$

$$W = 157,73 \text{ kg}$$

$$A = 1.336,68 \text{ kg}$$

$$F = 221,05 \text{ kg}$$

$$B = 186,15 \text{ kg}$$

$$D = 34,9 \text{ kg}$$

Untuk memeriksa kesetimbangan total (keseluruhan) :

(G + W) sama dengan atau tidak dengan (A + B + D)

G + W :

$$1.400 \text{ kg} + 157,73 \text{ kg} = 1.557,73 \text{ kg}$$

A + B + D :

$$1.336.68 \text{ kg} + 186,15 \text{ kg} + 34,9 \text{ kg} = 1.557,73 \text{ kg}$$

Karena hasil perhitungan keseimbangan total :

$$(G + W) = (A + B + D)$$

$$1.557,73 \text{ kg} = 1.557,73 \text{ kg}$$

Maka kesimpulannya perhitungan yang dilakukan adalah benar.

C. LATIHAN SOAL

1. Campuran A dan B dalam suatu pabrik dipisahkan menggunakan metode pemisahan distilasi. Umpan menara distilasi I berisi 50% A dan 50% B (% berat). Diinginkan distilat (hasil atas) menara distilasi I berisi 82% A. Sedangkan bottom (hasil bawah menara distilasi) I ini dicampur dengan fluida yang berisi 35% A dan 65% B. Campuran itu diumpankan ke menara distilasi II, sehingga diperoleh distilat berisi 47% A. Jika kecepatan umpan distilasi I adalah 150 kg/jam, distilat menara distilasi I adalah 70 Kg/jam, fluida yang

dicampur dengan bottom distilasi I adalah 45 Kg/jam, serta distilat menara distilasi II adalah 50 Kg/jam, tentukan semua kecepatan arus dan komposisi arus lainnya.

2. Evaporator multiple effect di rancang untuk menghilangkan air dengan kadar tertentu yang ada pada larutan garam NaCl 20% (% berat) menjadi 4%. Jika rangkaian evaporator itu menghasilkan 3.650 lb/jam larutan NaCl 98%. Tentukan kecepatan umpan dan kecepatan air menguap di masing-masing evaporator. Data lainnya adalah larutan NaCl 35% masuk ke Evaporator 2 dan larutan NaCl 56% masuk ke Evaporator 3.

D. DAFTAR PUSTAKA

- American National Metric Council. 1977. *Metric Guide for Educational Materials*. Washington DC: ANMC.
- Bhatt, B.I., dan S.M. Vora. 1976. *Stoichiometry*, edisi kedua. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Clausen, C.A., dan G. Mattson. 1979. *Principles of Industrial Chemistry*. New York: Wiley.
- Distantina S. 2001. *Diktat Pendahuluan Neraca Massa*.
- Eva, Bayu, Sisil. 2003. *Diktat Neraca Massa dan Energi*.
- Felder, R.M., dan R.W. Rousseau. 1986. *Elementary Principles of Chemical Processes*. Edisi kedua, New York: Wiley.
- Himmelblau, D. 1996. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*, 6th edition, Prentice-Hall.
- Husain, A. 1986. *Chemical Process Simulation*. New Delhi: Halstead (Wiley).
- Horvath, A.D. 1986. *Conversion Tables of Units in Science and Engineering*. New York: Elsevier.
- Massey, B.S. 1986. *Measures in Science and Engineering*. New York: Halsted Press.
- Reklaitis, G.V. 1983. *Introduction to Material and Energy Balances*. New York: Wiley.

Russel, T.W.F., dan M.M. Denn. 1972. Introduction to Chemical Engineering Analysis. New York: Wiley.

PERTEMUAN 13

NERACA MASSA DENGAN REAKSI KIMIA 1

A. CAPAIAN PEMBELAJARAN

Setelah mengikuti pertemuan ini, mahasiswa diharapkan mampu :

1. Menghitung neraca massa dengan reaksi kimia (single unit).
2. Menulis sebuah kumpulan persamaan kesetimbangan materi independen untuk sebuah proses.
3. Menyelesaikan sebuah kumpulan persamaan linier, atau menyelesaikan satu atau dua persamaan nonlinier simultan.

B. URAIAN MATERI

Jika terdapat reaksi :



maka, reaksi tersebut memiliki makna :

1. Kualitatif, yakni jenis material direaksikan dan produk yang diperoleh.
Material A dan B adalah pereaksi, sementara material C, D dan E adalah hasil reaksi atau produk.
2. Kuantitatif, yaitu rasio mol sebelum maupun setelah reaksi.
Jika ada 1 mol A yang bereaksi maka (q/p) mol B yang bereaksi, atau (r/q) mol C yang bereaksi, atau (s/q) mol D yang bereaksi, atau (t/q) mol yang bereaksi.

Secara teori bahwa reaksi kimia berjalan secara stoikiometri tepat. Namun kenyataannya bahwa salah satu reaktan (pereaksi) jumlahnya akan berlebih. Sehingga pada akhir reaksi masih ada reaktan (pereaksi) yang tersisa (*excess*).

Oleh karena itu, kita perlu mengetahui istilah reaktan pembatas (*limiting reactant*), reaktan yang berlebih (*Excess*), persen *excess*, konversi dan *yield* (rendemen).

Contoh Soal 1 :

Gas pentena di bakar dengan gas oksigen sehingga menghasilkan gas karbon dioksida dan uap air, seperti reaksi berikut ini :

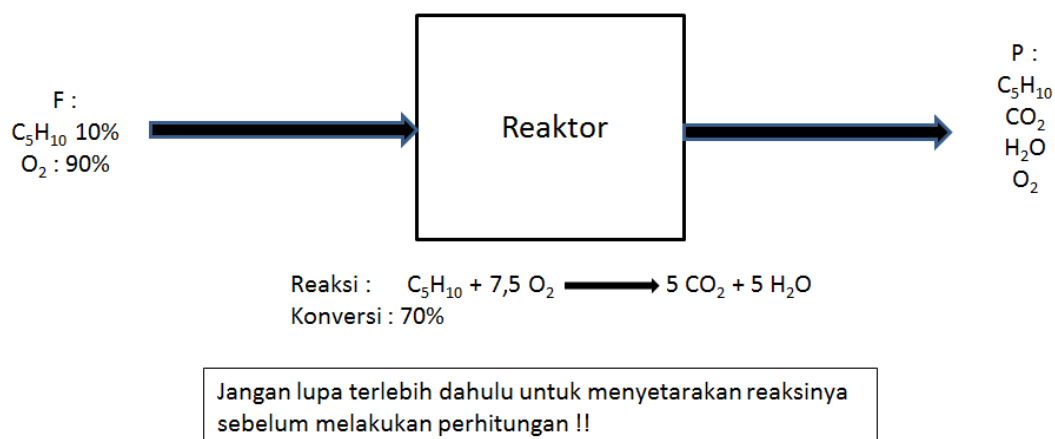


Umpan mengandung 10% pentena dan sisanya adalah gas oksigen. Tentukan :

1. Reaktan pembatas.
2. Reaktan berlebih (%).
3. Jika reaktan pembatas konversinya 70%, tentukan perbandingan mol gas karbondioksida dibandingkan dengan mol pentena umpan.
4. Komposisi produk.

Jawab :

1. Buat diagram alir :



2. Menentukan Basis

Basis : Asumsi 100 gmol Umpan (F)

Diambil Umpan (F) sebagai basis karena datanya paling lengkap.

3. Analisis Neraca Massa

Reaksi :



Untuk menentukan *limiting reactant* :

Komponen	Umpan (gmol)	Reaksi (gmol)	Sisa (gmol)
C_5H_{10}	10	10	-
O_2	90	$(7,5 \times 10 = 75)$	15

- a. *Limiting reactant* adalah C_5H_{10} karena habis bereaksi terlebih dahulu dibandingkan dengan reaktan yang lain.

b. Excess : O₂

$$\% \text{ Excess O}_2 : (15 / 75) \times 100\% = 20\%$$

c. Konversi : 70%

Limiting reactant adalah C₅H₁₀, sehingga konversi 70% adalah konversi C₅H₁₀.

$$70\% = \frac{\text{mol C}_5\text{H}_{10} \text{ yang bereaksi}}{\text{mol C}_5\text{H}_{10} \text{ umpan}}$$

Sehingga mol C₅H₁₀ yang bereaksi dengan konversi 70% adalah :

$$0,7 \times 10 \text{ gmol} = 7 \text{ gmol C}_5\text{H}_{10} \text{ yang bereaksi}$$



Komponen	Umpan (gmol)	Reaksi (gmol)	Produk (gmol)
C ₅ H ₁₀	10	7	3
O ₂	90	(7,5 x 7 = 52,5)	37,5
CO ₂	-	35	35
H ₂ O	-	35	35
Total	100	129,5	110,5

Jadi, rasio antara mol CO₂ yang terbentuk dengan mol C₅H₁₀ umpan adalah

$$\text{Rasio} = \frac{35}{10} = \frac{3,5}{1} = 3,5 : 1$$

d. Komposisi (%) produk :

Komponen	Produk (gmol)	Komposisi (%)
C ₅ H ₁₀	3	2,72
O ₂	37,5	33,94
CO ₂	35	31,67
H ₂ O	35	31,67
Total	110,5	100

Contoh Soal 2 :

Gas butana di bakar dengan gas oksigen sehingga menghasilkan gas karbon dioksida dan uap air, seperti reaksi berikut ini :

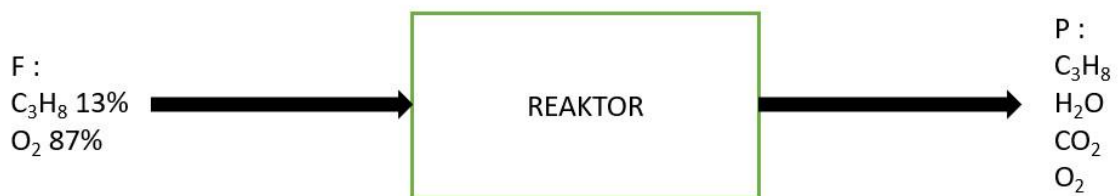


Umpan mengandung 17% butana dan sisanya adalah gas oksigen. Tentukan :

- Reaktan pembatas.
- Reaktan berlebih (%).
- Jika reaktan pembatas konversinya 77%, tentukan perbandingan mol gas karbondioksida dibandingkan dengan mol butana umpan.
- Komposisi produk.

Jawab :

- Buat diagram alir :



Jangan lupa terlebih dahulu untuk menyetarakan reaksinya sebelum melakukan perhitungan !

- Menentukan Basis

Basis : Asumsi 100 gmol Umpan (F)

Diambil Umpan (F) sebagai basis karena datanya paling lengkap.

- Analisis Neraca Massa

Reaksi :



Untuk menentukan *limiting reactant* :

Komponen	Umpan (gmol)	Reaksi (gmol)	Sisa (gmol)
C ₃ H ₈	13	13	-
O ₂	87	(5x13 = 65)	22

a. *Limiting reactant* adalah C₃H₈ karena habis bereaksi terlebih dahulu dibandingkan dengan reaktan yang lain.

b. Excess : O₂

$$\% \text{ Excess O}_2 : (22 / 65) \times 100\% = 33,85\%$$

c. Konversi : 77%

Limiting reactant adalah C₃H₈, sehingga konversi 77% adalah konversi C₃H₈.

$$77\% = \frac{\text{mol C}_3\text{H}_8 \text{ yang bereaksi}}{\text{mol C}_3\text{H}_8 \text{ umpan}}$$

Sehingga mol C₃H₈ yang bereaksi dengan konversi 77% adalah :

$$0,77 \times 13 \text{ gmol} = 10,01 \text{ gmol C}_3\text{H}_8 \text{ yang bereaksi}$$



Komponen	Umpan (gmol)	Reaksi (gmol)	Produk (gmol)
C ₃ H ₈	13	10,01	2,99
O ₂	87	(5 x 10,01 = 50,05)	36,95
CO ₂	-	30,03	30,03
H ₂ O	-	40,04	40,04
Total	100	130,13	110,01

Jadi, rasio antara mol CO₂ yang terbentuk dengan mol C₃H₈ umpan adalah :

$$\text{Rasio} = \frac{30,03}{13} = 2,31 : 1$$

d. Komposisi (%) produk :

Komponen	Produk (gmol)	Komposisi (%)
C ₃ H ₈	2,99	2,71
O ₂	36,95	33,59
CO ₂	30,03	27,30

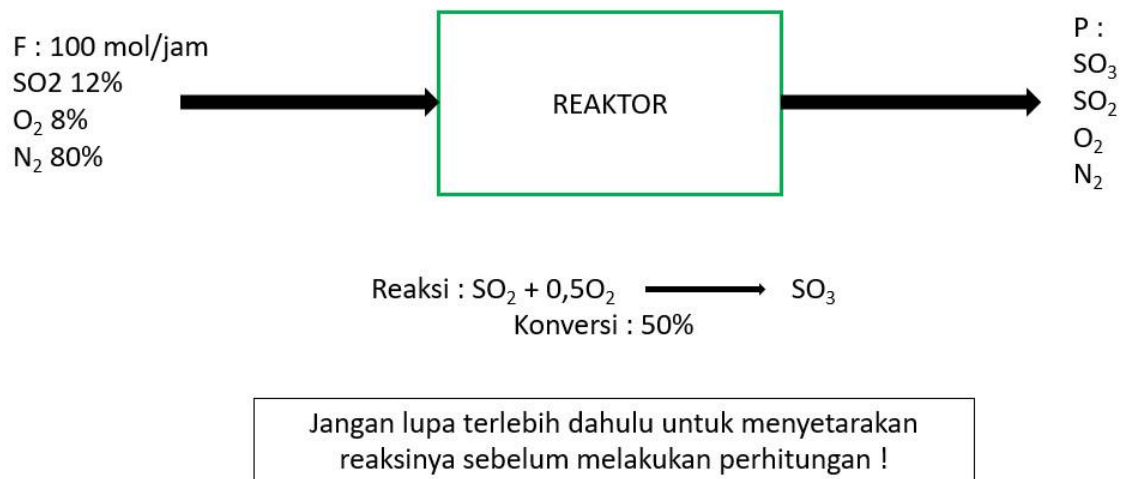
H ₂ O	40,04	36,40
Total	110,01	100

Contoh Soal 3 :

Reaktor digunakan untuk mengoksidasi SO₂ menjadi SO₃. Umpan terdiri atas 12% SO₂, 8% O₂, dan 80% N₂. Jika konversi SO₂ adalah 50% dan 100 mol/jam gas diumpangkan. Tentukan komposisi (%) gas hasil reaktor.

Jawab :

Diagram Alir :



Basis : 100 mol/jam Umpan (F)

Diambil Umpan (F) sebagai basis karena datanya paling lengkap.

1) Neraca Massa SO₂ :

$$\begin{aligned}
 \text{SO}_2 \text{ 12\%} &= 12\% \times 100 \text{ mol/jam} \\
 &= 12 \text{ mol/jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{Konversi} = 50\%$$

$$50\% = \frac{\text{SO}_2 \text{ yang bereaksi}}{\text{SO}_2 \text{ umpan}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{SO}_2 \text{ yang bereaksi} &= 0,5 \times 12 \text{ mol/jam} \\
 &= 6 \text{ mol/jam}
 \end{aligned}$$

Input – Reaksi = Output

$$\begin{aligned}\text{Output} &= 12 \text{ mol/jam} - 6 \text{ mol/jam} \\ &= 6 \text{ mol/jam}\end{aligned}$$

2) Neraca Massa O₂ :

O₂ : 8%

O₂ = 8 mol/jam (umpan)

Input – Reaksi = Output

Jika SO₂ yang bereaksi adalah 6 mol/jam, maka O₂ yang bereaksi adalah :

$$= \frac{1}{2} \times 6 \frac{\text{mol}}{\text{jam}} = 3 \frac{\text{mol}}{\text{jam}}$$

Output O₂ :

$$= 8 \text{ mol/jam} - 3 \text{ mol/jam}$$

$$= 5 \text{ mol/jam}$$

3) Neraca Massa N₂ :

N₂ : 80%

N₂ = 80 mol/jam

Input – Reaksi = Output

$$80 \text{ mol/jam} - 0 = \text{Output N}_2$$

$$\text{N}_2 \text{ Output (produk)} = 80 \text{ mol/jam}$$

4) Neraca Massa SO₃ :

Input + Reaksi = Output

$$0 + \text{Reaksi} = \text{Output}$$

SO₂ yang bereaksi = 6 mol/jam, maka SO₃ yang bereaksi = $\frac{1}{1} \times 6 \text{ mol/jam} = 6 \text{ mol/jam}$

$$\text{SO}_3 \text{ Output} = 6 \text{ mol/jam}$$

5) Rekapitulasi :

Komponen	Umpan (mol/jam)	Reaksi (mol/jam)	Produk (mol/jam)	Komposisi (%)
SO ₂	12	6	6	6,19
O ₂	8	3	5	5,15

N ₂	80	-	80	82,47
SO ₃	-	6	6	6,19
Total	100		97	100

Contoh Soal 4 :

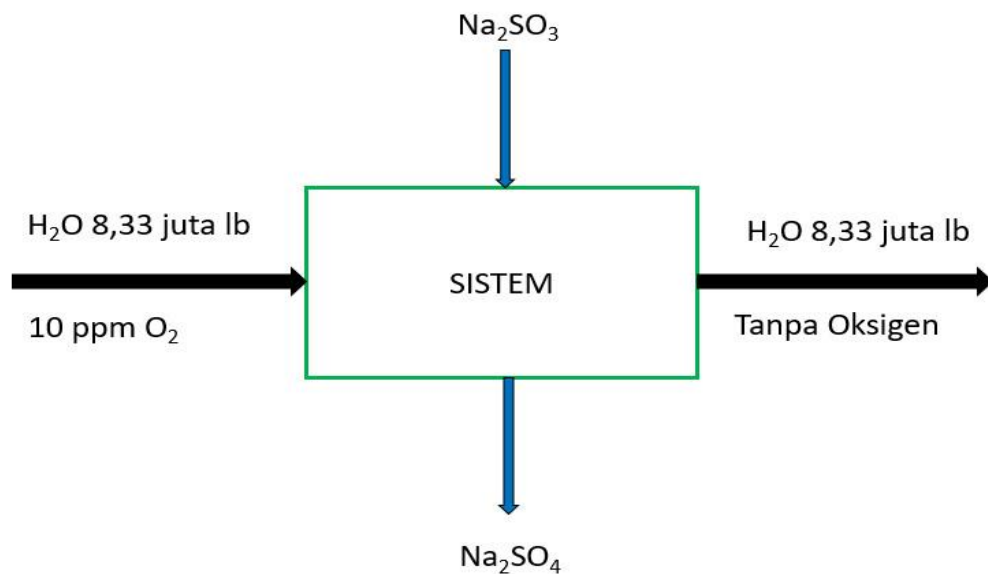
Korosi pipa dalam boiler oleh oksigen dapat dikurangi dengan menggunakan natrium sulfat. Natrium sulfat menghilangkan oksigen dari air masukan boiler melalui reaksi berikut ini :



Berapa pon natrium sulfat yang dibutuhkan secara teoritis (untuk reaksi sempurna) untuk menghilangkan oksigen dari 8,33 juta pon air (10⁶ gal) yang mengandung 10,0 ppm oksigen terlarut dan pada waktu yang sama menjaga 35% kelebihan natrium sulfat ?

Jawab :

Diagram Alir Proses :



Basis :

8,33 juta pon (lb) H₂O

Jumlah O₂ yang masuk adalah :

$$\frac{8.330.000 \text{ lb H}_2\text{O}}{(1.000.000 - 10 \text{ lb O}_2) \text{ lb H}_2\text{O}} \times \frac{10 \text{ lb O}_2}{100} = 83,3 \text{ lb O}_2$$

Masuk		Keluar		Generasi		Konsumsi		Akumulasi
83,3	-	0	+	0	-	mO ₂	=	0

mO₂ = 83,3 lb

$$\frac{83,3 \text{ lb } O_2}{1} \times \frac{1 \text{ lbmol } O_2}{32 \text{ lb } O_2} \times \frac{2 \text{ lbmol } Na_2SO_3}{1 \text{ lbmol } O_2} \times \frac{126 \text{ lb } Na_2SO_3}{1 \text{ lbmol } Na_2SO_3} \times \frac{1,35}{1} = 886 \text{ lb } Na_2SO_3$$

Contoh Soal 5 :

Bahan-bahan bakar untuk kendaraan bermotor selain bensin sedang dipertimbangkan karena bahan-bahan tersebut menimbulkan tingkat polutan yang lebih rendah daripada bensin. Propana mampat telah diusulkan sebagai sumber daya yang ekonomis untuk kendaraan. Andaikan bahwa dalam sebuah tes 20 kg C₃H₈ dibakar dengan 400kg udara untuk menghasilkan 44 kg CO₂ dan 12 kg CO. Berapa persen kelebihan udara ?

Jawab :

Reaksi :



Basis :

20 kg C₃H₈

Karena persentase kelebihan udara didasarkan pada pembakaran sempurna dari C₃H₈ menjadi CO₂ dan H₂O, kenyataan bahwa pembakaran tersebut tidak sempurna tidak berpengaruh terhadap “kelebihan udara”, maka O₂ yang dibutuhkan adalah :

$$\frac{20 \text{ kg } C_3H_8}{1} \times \frac{1 \text{ kgmol } C_3H_8}{44,09 \text{ kg } C_3H_8} \times \frac{5 \text{ kgmol } O_2}{1 \text{ kgmol } C_3H_8} = 2,27 \text{ kgmol } O_2$$

O₂ yang masuk :

$$\frac{400 \text{ kg udara}}{1} \times \frac{1 \text{ kgmol udara}}{29 \text{ kg udara}} \times \frac{21 \text{ kgmol } O_2}{100 \text{ kgmol udara}} = 2,9 \text{ kgmol } O_2$$

Persen kelebihan udara :

$$100 \times \frac{\text{Kelebihan } O_2}{O_2 \text{ yang dibutuhkan}}$$

$$= 100 \times \frac{O_2 \text{ yang masuk} - O_2 \text{ yang dibutuhkan}}{O_2 \text{ yang dibutuhkan}}$$

$$\% \text{ Kelebihan udara} = \frac{2,9 \text{ kgmol } O_2 - 2,27 \text{ kgmol } O_2}{2,27 \text{ kgmol } O_2} \times 100 = 28\%$$

Contoh Soal 6 :

50 kg C_2H_6 dibakar dengan 1000 kg udara untuk menghasilkan 75 kg CO_2 dan 23 kg CO . Berapa persen kelebihan udara ?

Jawab :

Reaksi :



Basis :

20 kg C_3H_8

Karena persentase kelebihan udara didasarkan pada pembakaran sempurna dari C_3H_8 menjadi CO_2 dan H_2O , kenyataan bahwa pembakaran tersebut tidak sempurna tidak berpengaruh terhadap “kelebihan udara” O_2 yang dibutuhkan adalah :

$$\frac{50 \text{ kg } C_2H_6}{30 \text{ kg } C_2H_6} \times \frac{1 \text{ kgmol } C_2H_6}{1 \text{ kgmol } C_2H_6} \times \frac{3,5 \text{ kgmol } O_2}{1 \text{ kgmol } C_2H_6} = 5,83 \text{ kgmol } O_2$$

O_2 yang masuk :

$$\frac{1000 \text{ kg udara}}{29 \text{ kg udara}} \times \frac{1 \text{ kgmol udara}}{100 \text{ kgmol udara}} \times \frac{21 \text{ kgmol } O_2}{100 \text{ kgmol udara}} = 7,24 \text{ kgmol } O_2$$

Persen kelebihan udara :

$$100 \times \frac{\text{Kelebihan } O_2}{O_2 \text{ yang dibutuhkan}}$$

$$= 100 \times \frac{O_2 \text{ yang masuk} - O_2 \text{ yang dibutuhkan}}{O_2 \text{ yang dibutuhkan}}$$

$$\% \text{ Kelebihan udara} = \frac{7,24 \text{ kgmol } O_2 - 5,83 \text{ kgmol } O_2}{5,83 \text{ kgmol } O_2} \times 100 = 24,18\%$$

C. LATIHAN SOAL

1. Akrilonitril dihasilkan dari reaksi propilen dengan amonia serta oksigen, seperti yang ditunjukkan berikut ini :



Umpan reaktor berisi 17% propilen, 8% amonia dan 75% udara. Hitunglah dan tentukan :

- a. Reaktan pembatas.
 - b. Reaktan berlebih (%)
 - c. Jika reaktan pembatas memiliki konversi 75%, berapa perbandingan mol akrilonitril yang dihasilkan dibandingkan dengan mol O_2 umpan.
 - d. Komposisi Produk
2. Metan di bakar dengan senyawa oksigen dan diperoleh senyawa CO_2 dan H_2O . 275 kgmol/jam umpan yang terdiri dari 20% CH_4 , 60% O_2 , dan 20% CO_2 diumpankan ke reaktor. Konversi *limiting reactant* hanya 86%. Tentukan
 - a. Komposisi (dalam mol dan lb) gas keluar reaktor.
 - b. *Excess reactant*.
 3. Karbon murni dibakar dalam oksigen. Analisis gas pipa adalah :

CO_2 72%

CO 16%

O_2 12%

Berapa persen kelebihan oksigen yang digunakan ?
 4. Toluena (C_7H_8) dibakar dengan 35% kelebihan udara. Pembakar yang buruk menyebabkan 17% dari karbon tersebut membentuk jelaga (C murni) yang

menempel pada dinding dari tungku pembakar. Apa analisis orsat dari gas yang keluar dari tungku pembakar ?

5. Bahan bakar hidrokarbon di bakar dengan dengan udara berlebih. Analisis orsat dari gas pipa menunjukkan :

CO₂ 11,3%

CO 1,7%

O₂ 9,8%

N₂ 77,2%

Berapakah rasio atom H terhadap C dalam bahan bakar tersebut ?

6. Suatu gas yang hanya mengandung CH₄ dan N₂ di bakar dengan udara menghasilkan gas pipa yang mempunyai analisis orsat :

CO₂ 8,9%

CO 1,3%

O₂ 4,7%

N₂ 85,1%

Hitunglah persen kelebihan udara yang digunakan dalam pembakaran dan komposisi dari campuran CH₄ – N₂ !

D. DAFTAR PUSTAKA

American National Metric Council. 1977. Metric Guide for Educational Materials. Washington DC: ANMC.

Bhatt, B.I., dan S.M. Vora. 1976. Stoichiometry, edisi kedua. New Delhi: Tata McGraw-Hill.

Clausen, C.A., dan G. Mattson. 1979. Principles of Industrial Chemistry. New York: Wiley.

Distantina S. 2001. Diktat Pendahuluan Neraca Massa.

Eva, Bayu, Sisil. 2003. Diktat Neraca Massa dan Energi.

Felder, R.M., dan R.W. Rousseau. 1986. Elementary Principles of Chemical Processes. Edisi kedua, New York: Wiley.

Himmelblau, D. 1996. Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 6th edition, Prentice-Hall.

- Husain, A. 1986. Chemical Process Simulation. New Delhi: Halstead (Wiley).
- Horvath, A.D. 1986. Conversion Tables of Units in Science and Engineering. New York: Elsevier.
- Massey, B.S. 1986. Measures in Science and Engineering. New York: Halsted Press.
- Reklaitis, G.V. 1983. Introduction to Material and Energy Balances. New York: Wiley.
- Russel, T.W.F., dan M.M. Denn. 1972. Introduction to Chemical Engineering Analysis. New York: Wiley.

PERTEMUAN 14

NERACA MASSA DENGAN REAKSI KIMIA 2

A. CAPAIAN PEMBELAJARAN

Setelah mengikuti materi pertemuan ini, mahasiswa diharapkan mampu :

1. Menghitung neraca massa dengan reaksi kimia lanjutan.
2. Menulis sebuah kumpulan persamaan kesetimbangan materi independen untuk sebuah proses.
3. Menyelesaikan sebuah kumpulan persamaan linier, atau menyelesaikan satu atau dua persamaan nonlinier simultan.

B. URAIAN MATERI

Hubungan yang sederhana Input sama dengan Output berlaku untuk proses-proses keadaan tunak (tidak ada akumulasi) dalam keadaan berikut :

Jenis Kesetimbangan	Kesamaan dibutuhkan untuk masukan dan keluaran dari proses keadaan tunak	
	Kimia dengan reaksi	Kimia tanpa reaksi
Kesetimbangan total		
Massa total	Ya	Ya
Mol total	Ya	Tidak
Kesetimbangan komponen		
Massa dari senyawa murni	Ya	Tidak
Mol dari senyawa murni	Ya	Tidak
Massa dari spesies atom	Ya	Ya

Mol dari spesies atom

Ya

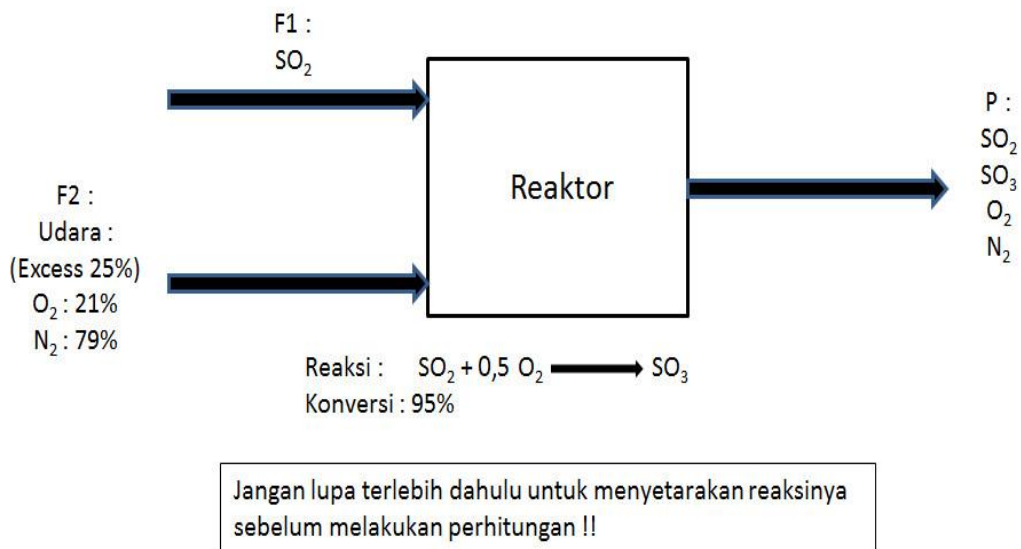
Ya

Contoh Soal 1 :

Sebuah reaktor digunakan untuk mengoksidasi SO_2 menjadi SO_3 . Udara umpan berlebih 25% dan konversi SO_2 hanya 95%. Tentukan komposisi gas hasil reaktor.

Jawab :

PFD :

Basis : 100 mol F1 (SO_2)

Analisis Neraca Massa di sekitar Reaktor :

1. Neraca Massa SO_2 :

Input – Reaksi = Output

 $100 - \text{Reaksi} = \text{Output}$

Berdasarkan data konversi :

$$\text{Konversi} = 90\% = \frac{\text{mol } \text{SO}_2 \text{ yang bereaksi}}{\text{mol } \text{SO}_2 \text{ umpan}}$$

Mol SO_2 yang bereaksi = $100 \text{ mol} \times 0,95 = 95 \text{ mol}$ Sehingga SO_2 dalam produk sebesar = $100 - 95 = 5 \text{ mol}$ 2. Neraca Massa O_2

Input – Reaksi = Output

Berdasarkan persamaan reaksi, jika SO₂ yang bereaksi adalah 95 mol, maka O₂ yang bereaksi adalah = 0,5 x 95 mol = 47,5 mol

Berdasarkan data excess :

$$25\% = \frac{\text{mol } O_2 \text{ sisa}}{\text{mol } O_2 \text{ yang bereaksi}}$$

Maka O₂ umpan = 1,25 x (0,5 x 100) = 62,5 mol

Sehingga O₂ pada produk = 62,5 mol – 47,5 mol = 15 mol

3. Neraca Massa N₂

Input = Output

Berdasarkan persamaan reaksi, maka jika O₂ umpan adalah 62,5 mol, maka N₂ umpan adalah = (0,79 / 0,21) x 62,5 mol = 235,12 mol

4. Neraca Massa SO₃

Input + Reaksi = Output

0 + Reaksi = Output

Berdasarkan persamaan reaksi, jika terdapat 95 mol SO₂ yang bereaksi, maka SO₃ yang dihasilkan dari reaksi adalah = (1/1) x 95 mol = 95 mol

Sehingga SO₃ pada produk sebesar : 95 mol

5. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Neraca Massa :

Komponen	Umpan (mol)	Reaksi (mol)	Produk (mol)	Komposisi (%)
SO ₂	100	95	5	1,43
SO ₃	-	95	95	27,13
O ₂	62,5	47,5	15	4,28
N ₂	235,12	-	235,12	67,16
Total			350,12	100

Contoh Soal 2 :

Sebuah utilitas lokal membakar batubara yang mempunyai komposisi pada basis kering sebagai berikut. (Catat bahwa analisis batubara dibawah ini adalah yang memudahkan untuk perhitungan tetapi bukanlah satu-satunya jenis analisis yang dilaporkan untuk batubara. Beberapa analisis berisi informasi yang jauh lebih sedikit tentang setiap unsur).

Komponen	Persen
C	83,05
H	4,45
O	3,36
N	1,08
S	0,70
Abu	7,36
Total	100,0

Analisis orsat rata-rata pada gas dari cerobong selama uji 24 jam adalah :

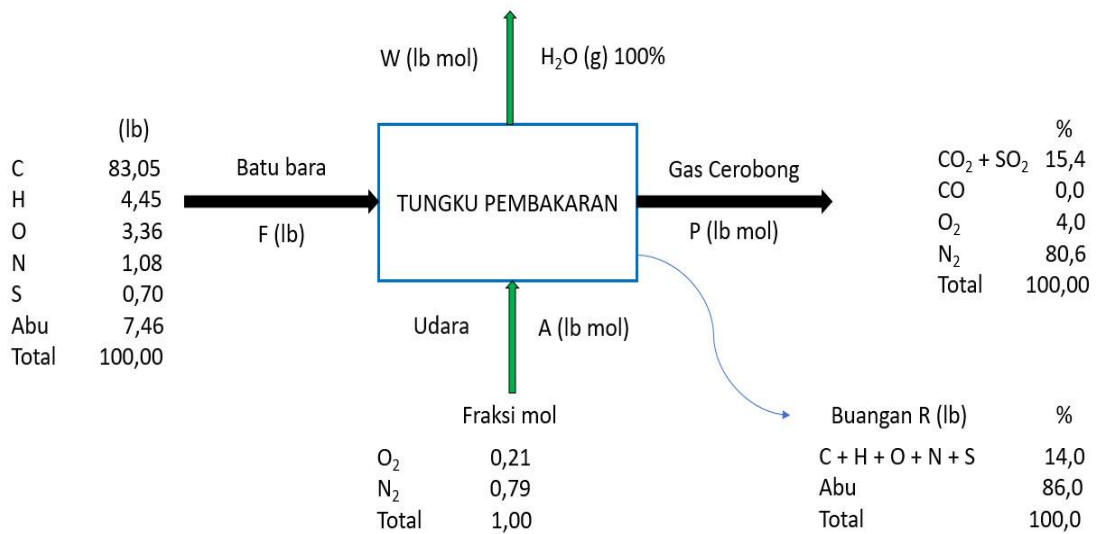
Komponen	Persen
CO ₂ + SO ₂	15,4
CO	0,0
O ₂	4,0
N ₂	80,6
Total	100,0

Kadar air dalam bahan bakar tersebut adalah 3,9%, dan udara rata-rata mengandung 0,0048 lb H₂/lb udara kering. Buangan menunjukkan 14,0% batu bara tidak terbakar Bersama sisanya yang menjadi abu. Anda diminta untuk memeriksa konsistensi data tersebut sebelum di simpan dalam database. Apakah konsistensinya memuaskan ? Berapa persen kelebihan udara rata-rata yang digunakan ?

Jawab :

Ini adalah masalah keadaan tunak dengan reaksi. Sistem adalah tungku pembakar. Akumulasinya adalah nol. Karena analisis gas adalah pada basis kering, maka kita perlu menambahkan aliran arus tertentu (W) untuk air yang keluar pada diaram alir proses.

Diagram alir proses :



Komposisi dari F dan P diberikan dalam massa dan komposisi dari P dan A dalam mol. Kita akan membuat kesetimbangan unsur dalam mol sehingga unsur generasi dan konsumsi adalah nol.

Basis : F = 100 lb

Kita harus menambahkan beberapa informasi tambahan di samping komposisi pada diagram alir.

Dalam batu bara : H₂O

$$\frac{3,9 \text{ lb H}_2\text{O}}{18 \text{ lb H}_2\text{O}} \times \frac{1 \text{ lbmol H}_2\text{O}}{18 \text{ lb H}_2\text{O}} \times \frac{2 \text{ lbmol H}}{1 \text{ lbmol H}_2\text{O}} = 0,433 \text{ lbmol H (0,217 lbmol O)}$$

Dalam udara :

$$\begin{aligned} \frac{0,0048 \text{ lb H}_2\text{O}}{1 \text{ lb udara}} \times \frac{29 \text{ lb udara}}{1 \text{ lbmol udara}} \times \frac{1 \text{ lbmol H}_2\text{O}}{18 \text{ lb H}_2\text{O}} &= 0,077 \frac{\text{lbmol H}_2\text{O}}{\text{lbmol udara}} \\ &= 0,0154 \frac{\text{lbmol H}}{\text{lbmol A}} = 0,0077 \frac{\text{lbmol O}}{\text{lbmol A}} \end{aligned}$$

Kita boleh mengabaikan C, H, O, N, dan S dalam buangan tetapi kita akan mengikutkan jumlah tersebut untuk menunjukkan perhitungan apa yang perlu jika jumlah dari unsur-unsur tersebut adalah signifikan.

Kesetimbangan abu (abu adalah komponen penghubung)

$$7,36 = R(0,86)$$

$$R = 8,56 \text{ lb}$$

Batu bara tak terbakar dalam buangan :

$$8,56 (0,14) = 1,20 \text{ lb}$$

Jika kita mengansumsikan bahwa yang mudah terbakar dalam buangan terdapat dalam proporsi yang sama dengan yang berada dalam batu bara (yang mungkin tidak benar), kuantitas dari yang mudah terbakar dalam R pada basis bebas abu adalah :

Komponen	% Massa	lb	lbmol
C	89,65	1,076	0,0897
H	4,80	0,058	0,0537
O	3,63	0,0436	0,0027
N	1,17	0,014	0,0010
S	0,76	0,009	0,0003
Total	100,00	1,20	0,1474

Variabel yang nilainya masih belum diketahui adalah : A, W dan P.

Kita dapat menulis hanya empat kesetimbangan mol pada unsur-unsur karena S dan C harus digabungkan sejauh dua unsur tersebut tergabung dalam analisis gas cerobong. Barangkali salah satu dari empat persamaan tersebut akan menjadi *redundant* dan dapat digunakan sebagai pemeriksa pada perhitungan.

Masuk

F	A
$C + S : \frac{83,05}{12,0} + \frac{0,70}{32,0} +$	0
$H : \frac{4,45}{1,008} + 0,433 +$	0,0154
$O : \frac{3,36}{16,0} + 0,217 +$	$0,21A(2) + 0,0077A$
$N : \frac{1,08}{14,0} +$	$2(0,79A)$

Selesaikan kesetimbangan C + S untuk memperoleh P = 50. Kemudian selesaikan kesetimbangan N untuk memperoleh A = 45,35. Selanjutnya, selesaikan kesetimbangan H untuk memperoleh W = 2,746. Akhirnya gunakan kesetimbangan O yang berfungsi sebagai pemeriksa : 19,8 apakah sama dengan 20 ?. Perbedaannya adalah sekitar 2%. Sejauh data yang disediakan adalah pengukuran yang sesungguhnya, mengingat kesalahan acak dan mungkin bias dalam data, kesalahan pembulatan yang dimasukkan dalam perhitungan, dan kemungkinan kebocoran, data tersebut nampaknya cukup memuaskan. Cobalah menghitung W sebuah jumlah yang kecil, baik dari kesetimbangan H maupun O. Berapa ukuran kesalahan yang anda temukan ?.

Untuk menghitung kelebihan udara yang dikarenakan oksigen dalam batu bara dan keberadaan bahan-bahan mudah terbakar, kita akan menghitung oksigen total yang masuk dan oksigen yang dibutuhkan :

$$\% \text{ kelebihan udara} = 100 \times \frac{O_2 \text{ yang masuk} - O_2 \text{ yang dibutuhkan}}{O_2 \text{ yang dibutuhkan}}$$

Komponen	Reaksi	lb	lbmol	O ₂ yang dibutuhkan (lbmol)
C	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	83,05	6,921	6,921
H	$H_2 + 0,5 O_2 \rightarrow H_2O$	4,45	4,415	1,104
O	-	3,36	0,210	(0,105)
N	-	-	-	-
S	$S + O_2 \rightarrow SO_2$	0,70	0,022	0,022
Total				7,942

Dan oksigen dalam udara adalah $(45,35)(0,21) = 9,524$ lbmol.

$$\% \text{ kelebihan udara} = 100 \times \frac{9,524 - 7,942}{7,942} = 19,9\%$$

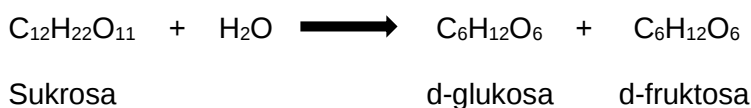
Jika anda (secara tidak benar) menghitung % kelebihan udara dari analisis gas cerobong basah saja, anda akan memperoleh:

$$\% \text{ kelebihan udara} = 100 \times \frac{4,0}{15,4 + \frac{2,746}{2}} = 23,8\%$$

Contoh Soal 3 :

Gula murni (sukrosa) dapat diubah menjadi glukosa dan fruktosa dengan proses inversi.

Reaksi :



Kuantitas gabungan glukosa plus fruktosa disebut gula inversi. Jika 90% konversi sukrosa terjadi pada satu jalan melalui reaktor. Berapa aliran arus daur ulang per

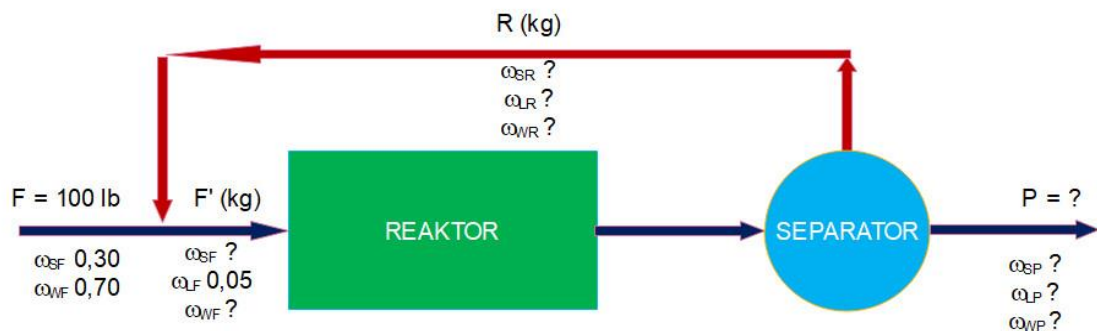
100 lb masukan segar larutan sukrosa yang memasuki proses ? Berapa konsentrasi dari gula inversi (I) dalam arus daur ulang dan dalam arus produk ? (Konsentrasi komponen dalam arus daur ulang dan arus produk tersebut sama).

Diagram Alir Proses :



Jawab :

Pertama, kita harus memasukkan konsentrasi dan aliran arus seperti tampak pada diagram alir proses berikut :



W : mewakili air

S : untuk sukrosa

R : Recycle (daur ulang)

P : Produk

ω : fraksi

I: Inversi

Basis : 100 lb F (umpan)

Data yang belum diketahui adalah F' , R , P dan $\omega_{SF'}$, $\omega_{WF'}$, ω_{SR} , ω_{LR} , ω_{WR} , ω_{SP} , ω_{LP} , ω_{WP}

Kesetimbangan keseluruhan :

Hanya kesetimbangan total di antara kesetimbangan keseluruhan yang berguna secara langsung untuk saat ini karena kesetimbangan S dan I melibatkan unsur generasi dan konsumsi.

Total : $P = 100 \text{ lb}$

Selanjutnya kita membuat kesetimbangan-kesetimbangan pada titik pencampuran (di mana F dan R bergabung). Satuannya lb.

Titik Pencampuran :

Total	: 100	+ R	= F'
Sukrosa	: 100 (0,30)	+ $R \omega_{SR}$	= $F' \omega_{SF'}$
Inversi	: 0	+ $R \omega_{IR}$	= $F' (0,05)$

Akhirnya, kita membuat kesetimbangan-kesetimbangan pada sistem dari reaktor + separator untuk alasan-alasan yang telah dinyatakan.

Reaktor Pada Separator :

	<u>Masuk</u>	<u>Keluar</u>	<u>Dikonsumsi</u>
Sukrosa	: $F' \omega_{SF'}$	– $(R + 100) \omega_{SR}$	– $F' \omega_{SF'} (0,90)$

Kita sekarang mempunyai sisa 7 yang tidak diketahui dan 6 persamaan (mudah-mudahan independen). Kita membutuhkan 1 persamaan lagi.

Kita dapat mencoba kesetimbangan total sebagai yang paling sederhana.

$$F' = R + P$$

Tetapi jelas persamaan ini redundan dengan persamaan $100 + R = F'$. Andaikan kita membuat kesetimbangan air. Untuk membuat kesetimbangan air kita harus menghitung massa (lb) air yang dikonsumsi dalam reaksi per lb sukrosa yang dikonsumsi dalam reaksi.

C. LATIHAN SOAL

1. SO_2 dioksidasi menjadi SO_3 menggunakan sebuah reaktor. Udara yang memiliki komposisi 12% SO_2 , 8% O_2 dan 80% N_2 . Jika SO_2 konversinya 85%. Hitunglah komposisi gas keluar reaktor.
2. SO_2 dioksidasi menjadi SO_3 menggunakan sebuah reaktor. Udara yang dimasukkan berlebih 12% dan SO_2 konversinya adalah 77%. Hitunglah komposisi gas keluar yang dihasilkan.
3. Salah satu produk pengolahan limbah adalah lumpur. Setelah mikroorganisme tumbuh dalam proses aktivasi lumpur untuk menghilangkan nutrien dan materi organik, sejumlah besar lumpur basah dihasilkan. Lumpur ini harus dihilangkan airnya, satu bagian dari bagian termahal dalam kebanyakan operasi pabrik pengolahan. Bagaimana membuang lumpur yang telah dihilangkan airnya adalah masalah utama. Beberapa organisasi menjual lumpur kering untuk pupuk, beberapa menyebarkan lumpur tersebut pada tanah pertanian dan di beberapa tempat lumpur tersebut di bakar. Untuk membakar lumpur kering, minyak bakar dicampur dengannya dan campuran tersebut dibakar dalam sebuah tungku dengan udara. Jika analisis untuk lumpur tersebut dan untuk gas yang dihasilkan :

Lumpur (%)		Gas Cerobong (%)	
S	32	SO_2	1,52
C	40	CO_2	10,14
H_2	4	O_2	4,65
O_2	24	N_2	81,67
		CO	2,02

Tentukan :

- a. Persen berat dari karbon dan hidrogen dalam minyak bakar.
- b. Rasio dari lb lumpur kering terhadap lb minyak bakar dalam campuran yang dimasukkan ke tungku pembakaran.

D. DAFTAR PUSTAKA

- American National Metric Council. 1977. Metric Guide for Educational Materials. Washington DC: ANMC.
- Bhatt, B.I., dan S.M. Vora. 1976. Stoichiometry, edisi kedua. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Clausen, C.A., dan G. Mattson. 1979. Principles of Industrial Chemistry. New York: Wiley.
- Distantina S. 2001. Diktat Pendahuluan Neraca Massa.
- Eva, Bayu, Sisil. 2003. Diktat Neraca Massa dan Energi.
- Felder, R.M., dan R.W. Rousseau. 1986. Elementary Principles of Chemical Processes. Edisi kedua, New York: Wiley.
- Himmelblau, D. 1996. Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 6th edition, Prentice-Hall.
- Husain, A. 1986. Chemical Process Simulation. New Delhi: Halstead (Wiley).
- Horvath, A.D. 1986. Conversion Tables of Units in Science and Engineering. New York: Elsevier.
- Massey, B.S. 1986. Measures in Science and Engineering. New York: Halsted Press.
- Reklaitis, G.V. 1983. Introduction to Material and Energy Balances. New York: Wiley.
- Russel, T.W.F., dan M.M. Denn. 1972. Introduction to Chemical Engineering Analysis. New York: Wiley.

GLOSARIUM

Analisis Orsat	: Semua gas yang dihasilkan dari sebuah proses pembakaran tak termasuk uap air.
Degree of Freedom	: Suatu ukuran yang dapat memberikan indikasi bahwa suatu persamaan (neraca bahan) mungkin dapat diselesaikan atau tidak.
Faktor Konvers	: Pernyataan nilai yang ekuivalen dari unit-unit yang berbeda dalam sistem yang sama atau di antara sistem-sistem satuan.
Kelebihan Udara	: Jumlah udara (oksigen) yang lebih dari yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna.
Key Component	: Komponen yang selama proses dari satu aliran ke aliran lain tidak mengalami perubahan sama sekali (hanya numpang lewat).
Konversi	: Perubahan satuan (<i>unit</i>) dari suatu bentuk ke bentuk yang lainnya.
Multi Unit	: Jumlah alat proses yang lebih dari satu alat.
Single Unit	: Jumlah alat proses yang hanya satu alat.
Stoikiometri kimia	: Hubungan kuantitatif antara reaktan dan produk, didasarkan pada kenyataan bahwa materi tersusun atas atom dan molekul.

DAFTAR PUSTAKA

- American National Metric Council. 1977. Metric Guide for Educational Materials. Washington DC: ANMC.
- Bhatt, B.I., dan S.M. Vora. 1976. Stoichiometry, edisi kedua. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Clausen, C.A., dan G. Mattson. 1979. Principles of Industrial Chemistry. New York: Wiley.
- Distantina S. 2001. Diktat Pendahuluan Neraca Massa.
- Eva, Bayu, Sisil. 2003. Diktat Neraca Massa dan Energi.
- Felder, R.M., dan R.W. Rousseau. 1986. Elementary Principles of Chemical Processes. Edisi kedua, New York: Wiley.
- Himmelblau, D. 1996. Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 6th edition, Prentice-Hall.
- Husain, A. 1986. Chemical Process Simulation. New Delhi: Halstead (Wiley).
- Horvath, A.D. 1986. Conversion Tables of Units in Science and Engineering. New York: Elsevier.
- Massey, B.S. 1986. Measures in Science and Engineering. New York: Halsted Press.
- Reklaitis, G.V. 1983. Introduction to Material and Energy Balances. New York: Wiley.
- Russel, T.W.F., dan M.M. Denn. 1972. Introduction to Chemical Engineering Analysis. New York: Wiley.

RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER (RPS)

Program Studi	: Teknik Kimia S-1	Mata Kuliah/Kode	: Azas Teknik Kimia 1 / TKM0132
Prasyarat	: Kimia Dasar	Sks	: 2 Sks
Deskripsi Mata Kuliah	: Mata kuliah ini membahas tentang dimensi, satuan, konversi beserta faktor konversi termasuk didalamnya konsep neraca massa, neraca massa tanpa reaksi kimia, neraca massa dengan reaksi kimia.	Capaian Pembelajaran	: Setelah pembelajaran, mahasiswa mampu melakukan perhitungan neraca massa berdasarkan konsep yang telah diajarkan.
Penyusun	: 1. Budhi Indrawijaya, S.T, M.Si. (Ketua) 2. Ir. Suwoto, M.T. (Anggota 1)		

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 menjumlahkan, mengurangi, mengalikan dan membagi satuan	Dimensi dan Satuan	Penjelasan Diskusi Kelas	Tugas 1	Ketepatan dalam memberikan jawaban	7%
2	Mampu mengubah satuan-satuan dan fungsi persamaan dalam massa, panjang, gaya, dan lain-lain, mendefinisikan dan menggunakan faktor konversi g _c .	Konversi dan Faktor Konversi	Penjelasan Diskusi Kelas	Latihan 1	Ketepatan dalam memberikan jawaban	7%
3	Mampu menghitung kuantitas stoikiometrik dari reaktan dan produk yang diketahui reaksi kimianya, mendefinisikan reaktan berlebih, reaktan pembatas, konversi, derajat	Persamaan Kimia dan Stoikiometri	Penjelasan Diskusi Kelas	Latihan 2	Ketepatan dalam memberikan jawaban	7%

	penyelesaian, selektivitas, dan yang dihasilkan dalam sebuah reaksi					
4	Mampu menulis dan menyetimbangkan persamaan reaksi kimia, mengetahui, menghitung dan menentukan reaktan pembatas, reaktan berlebih, konversi, selektivitas, yield.	Reaksi Kimia dalam Industri	Penjelasan Diskusi Kelas	Latihan 3	Ketepatan dalam memberikan jawaban	7%
5	Mampu mendefinisikan sebuah sistem dan menggambarkan batas-batas sistem tersebut untuk mana kesetimbangan materi dibuat, menjelaskan antara sistem terbuka dan tertutup.	Kesetimbangan Materi	Penjelasan Diskusi Kelas	Latihan 4	Ketepatan dalam memberikan jawaban	8%
6	Mampu menulis kesetimbangan materi umum dalam kata-kata dengan memasukkan semua unsur. Mampu menerapkan	Konsep Neraca Massa	Penjelasan Diskusi Kelas	Tugas 2	Ketepatan dalam memberikan jawaban	8%

	kesetimbangan pada masalah sederhana, Menjelaskan pelbagai keadaan yang pada keadaan itu massa suatu senyawa yang memasuki sistem sama dengan massa yang meninggalkan sistem					
7	Mampu membuat diagram alir materi dari masalah dalam kata-kata; Menterjemahkan kata dan diagram yang berhubungan ke dalam kesetimbangan materi dengan simbol-simbol yang didefinisikan dengan tepat untuk variabel-variabel yang tak diketahui dan satuan-satuan yang konsisten untuk proses tanpa reaksi kimia; Menyusun persamaan-persamaan	Penyusunan Neraca Massa	Penjelasan Diskusi Kelas	Tugas 3	Ketepatan dalam memberikan jawaban	7%

	tertentu berdasarkan masalah-masalah yang ada.					
UJIAN TENGAH SEMESTER (UTS)						
8	Mampu menghitung neraca massa tanpa reaksi kimia, menulis sebuah kumpulan persamaan kesetimbangan materi independen untuk sebuah proses, Menyelesaikan sebuah kumpulan persamaan linier, atau menyelesaikan satu atau dua persamaan nonlinier simultan.	Neraca Massa Tanpa Reaksi Kimia (Single Unit)	Penjelasan Diskusi Kelas	Latihan 5	Ketepatan dalam memberikan jawaban	7%
9	Mampu menghitung massa atau mol setiap komponen dalam suatu campuran yang diketahui persen (fraksi) komposisinya, dan sebaliknya, mengubah sebuah komposisi yang dinyatakan dalam persen	Metode dan Analisis Pengukuran	Penjelasan Diskusi Kelas	Latihan 6	Ketepatan dalam memberikan jawaban	7%

	massa (berat) ke persen mol, dan sebaliknya.					
10	Mampu menentukan komponen kunci (<i>key component</i>)	Neraca Massa dengan <i>Tie Component</i> atau <i>Key Component</i>	Penjelasan Diskusi Kelas	Latihan 7	Ketepatan dalam memberikan jawaban	7%
11	Mampu Menghitung Derajat Kebebasan (DK).	<i>Degree of Freedom</i> (Derajat Kebebasan)	Penjelasan Diskusi Kelas	Latihan 8	Ketepatan dalam memberikan jawaban	7%
12	Mampu menghitung neraca massa tanpa reaksi kimia (multi unit), menulis sebuah kumpulan persamaan kesetimbangan materi independen untuk sebuah proses, menyelesaikan sebuah kumpulan persamaan linier, atau menyelesaikan satu atau dua persamaan nonlinier simultan.	Neraca Massa Tanpa Reaksi Kimia Multi Unit	Penjelasan Diskusi Kelas	Latihan 9	Ketepatan dalam memberikan jawaban	7%

13	Mampu menghitung neraca massa dengan reaksi kimia (<i>single unit</i>), menulis sebuah kumpulan persamaan kesetimbangan materi independen untuk sebuah proses, menyelesaikan sebuah kumpulan persamaan linier, atau menyelesaikan satu atau dua persamaan nonlinier simultan.	Neraca Massa dengan Reaksi Kimia 1	Penjelasan Diskusi Kelas	Latihan 10	Ketepatan dalam memberikan jawaban	7%
14.	Mampu Menghitung neraca massa dengan reaksi kimia lanjutan	Neraca Massa dengan Reaksi Kimia 2	Penjelasan Diskusi Kelas	Latihan 11	Ketepatan dalam memberikan jawaban	7%
UJIAN AKHIR SEMESTER (UAS)						

Referensi:

1. American National Metric Council. 1977. *Metric Guide for Educational Materials*. Washington DC: ANMC.
2. Bhatt, B.I., dan S.M. Vora. 1976. *Stoichiometry*, edisi kedua. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
3. Clausen, C.A., dan G. Mattson. 1979. *Principles of Industrial Chemistry*. New York: Wiley.

4. Distantina S. 2001. Diktat Pendahuluan Neraca Massa.
5. Eva, Bayu, Sisil. 2003. *Diktat Neraca Massa dan Energi*.
6. Felder, R.M., dan R.W. Rousseau.1986. *Elementary Principles of Chemical Processes*. Edisi kedua, New York: Wiley.
7. Himmelblau, D. 1996. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*, 6th edition, Prentice-Hall.
8. Husain, A. 1986. *Chemical Process Simulation*. New Delhi: Halstead (Wiley).
9. Horvath, A.D. 1986. Conversion Tables of Units in Science and Engineering. New York: Elsevier.
10. Massey, B.S. 1986. *Measures in Science and Engineering*. New York: Halsted Press.
11. Reklaitis, G.V. 1983. *Introduction to Material and Energy Balances*. New York: Wiley.

Ketua Program Studi
Teknik Kimia

Ir. Wiwik Indrawati, M. Pd
NIDN. 0429036203

Tangerang Selatan, 24 Januari 2022

Ketua Tim Penyusun
Mata Kuliah Azas Teknik Kimia 1

Budhi Indrawijaya, S.T., M.Si
NIDN. 0426057801