

# **NERACA MASSA DAN ENERGI**

**DISUSUN OLEH:  
Ir. Sri Wuryanti, MSi**



**JURUSAN TEKNIK KONVERSI ENERGI  
POLITEKNIK NEGERI BANDUNG  
2016**



## **KATA PENGANTAR**

Buku ini penulis susun berhubungan dengan pencapaian tujuan kurikulum baru yang akan diarahkan pada aplikasi ilmu Neraca Massa dan Energi pada alat-alat yang ada di Industri. Didalam buku ini akan mempelajari mengenai Dasa-Dasar Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Energi, Neraca Massa, Neraca Energi dan Penerapan Neraca Massa dan Neraca Energi Pada Suatu Sistem.

Dengan buku ini diharapkan mahasiswa semakin mahir dalam menghitung Neraca Massa dan Neraca Energi pada system – system peralatan yang ada di Industri. Demikian buku ini disusun dengan harapan bisa memenuhi pencapaian tujuan kurikulum dan bermanfaat bagi mahasiswa di Jurusan Teknik Konversi Energi.

Bandung

Penulis



## DAFTAR ISI

	Hal	
Prakata	i	
Daftar Isi	ii	
Daftar Gambar	iv	
Daftar Tabel	v	
<b>BAB I</b>	<b>Dasar-Dasar Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Energi</b>	<b>1</b>
1.1	Satuan dan Dimensi	1
1.2	Konversi Satuan	2
1.3	Basis Perhitungan	5
1.4	Sifat-sifat Fisika dan Kimia	5
1.4.1	Campuran Gas-gas	6
1.4.2	Hukum Dalton	6
1.4.3	Hukum Amagat	6
1.4.4	Perubahan Volume Komponen Komposisi	7
1.4.5	Metode Volume Komponen Murni	7
1.4.6	Metode Tekanan Partil	8
1.4.7	Gas-gas dalam Reaksi Kimia	9
1.4.8	Gas Ideal	11
1.4.9	Gas Nyata	12
1.4.10	Tekanan Uap	13
1.4.11	Perubahan Tekanan Uap dengan Suhu	13
1.4.12	Critical Properties	14
1.4.13	Penguapan dengan Steam Lewat Jenuh	15
1.4.14	Estimasi Critical Properties Bahan-bahan Organik	16
1.4.15	Tekanan kritis dan Tekanan Uap Zat-zat Organik	16
1.4.16	Tekanan Uap dari Zat-zat lain yang tidak tercampur	17
1.5	Soal-Soal	18
<b>BAB II</b>	<b>Neraca Massa</b>	<b>21</b>
2.1	Pengertian Neraca Massa	21
2.2	Persamaan dan Stokiometri Kimia	23
2.2.1	Penulisan Persamaan Reaksi dan Koefisien Reaksi	23
2.2.2	Istilah-istilah dalam Reaksi Kimia	23
2.2.3	Pembakaran Bahan Bakar	23
2.3	Neraca Massa dengan Penyelesaian Langsung	24
2.4	Neraca Massa dengan Reaksi Kimia	25
2.5	Neraca Massa dengan Proses Recycle	26
2.6	Neraca Massa dengan Aliran Purge	28

	2.7	Neraca Massa dengan By Pass	29
	2.8	Soal-Soal	30
BAB III		Neraca Energi	31
	3.1	Konsep Makro Neraca Energi	31
	3.2	Kapasitas Panas dan Perubahan Entalpi	32
		3.2.1 Kapasitas Panas	32
		3.2.2 Entalpi	38
		3.2.3 Panas Pembentukan	39
		3.2.4 Panas Pembakaran	42
	3.3	Persamaan Neraca Energi	42
	3.4	Neraca Energi Secara Umum	42
	3.5	Neraca Energi dengan Perubahan Fasa dan Panas Proses	43
		3.5.1 Neraca Energi dengan Reaksi Kimia	43
		3.5.2 Neraca Energi disertai Perubahan Fasa	43
	3.6	Neraca Energi Mekanik	44
	3.7	Neraca Energi dengan Fluida Steam	46
	3.8	Neraca Energi pada Reaktor	47
		3.8.1 Temperatur Nyala Adiabatik	47
		3.8.2 Pengaruh Temperatur pada Panas Reaksi	49
	3.9	Neraca Energi dengan Perhitungan Net Heating Value dan Gross Heating Value	53
	3.10	Soal-Soal	54
		Daftar Pustaka	57
		Lampiran	58



Gambar 2.1	Diagram Neraca Massa	21
Gambar 2.2	Diagram Proses Aliran Recycle	27
Gambar 2.3	Diagram Proses Aliran Purge	28
Gambar 2.4	Diagram Proses Aliran by Pass	29
Gambar 3.1	Skema Proses pada Sistem Batch	31
Gambar 3.2	Skema Proses pada Sistem Alir	32
Gambar 3.3	Grafik kapasitas panas zat cair	36
Gambar 3.4	Skema panas reaksi	49



## DAFTAR TABEL

		Hal
Tabel 1.1	Satuan dan symbol	1
Tabel 1.2	Sistem satuan	2
Tabel 1.3	Perbedaan gas ideal dengan gas nyata	12
Tabel 3.1	Harga Cp zat padat	33
Tabel 3.2	Harga kapasitas panas zat padat	34
Tabel 3.3	Harga Cp zat cair organic	35
Tabel 3.4	Harga Cp gas inorganic	37
Tabel 3.5	Harga Cp gas organic	38
Tabel 3.6	Panas pembentukan dan panas pembakaran	40



## BAB I DASAR-DASAR PERHITUNGAN NERACA MASSA DAN ENERGI

Tujuan Umum: Untuk memahami dasar-dasar di dalam menghitung neraca massa dan energi.

Tujuan Khusus:

- Mengerti dan dapat menerapkan besaran atau satuan pada suatu dimensi.
- Dapat mengkonversi satuan dari suatu sistem unit ke sistem unit lain.
- Dapat menentukan basis perhitungan yang tepat, sehingga mempermudah tahap perhitungan selanjutnya.
- Mengenal berbagai sifat fluida sehingga mampu menyelesaikan berbagai kasus meskipun menggunakan fluida yang berbeda.

### 1.1 Satuan dan Dimensi

Dimensi adalah cara menyatakan dimensi-dimensi tersebut seperti feet dan centimeter untuk panjang, jam, dan detik untuk waktu. Memberikan satuan pada besaran-besaran yang pada dasarnya bukan tak bersatuan adalah penting sekali. Keuntungannya adalah sebagai berikut:

- a. Menghilangkan kemungkinan membolak-balik dari perhitungan.
- b. Membuat perhitungan menjadi mudah.
- c. Mengurangi atau menghemat waktu dalam penyelesaian suatu problem.
- d. Memungkinkan untuk memahami persoalan secara logis, bukan dengan cara mengingat rumus dan memasukkan besaran-besaran pada rumus tersebut.
- e. Menunjukkan arti fisis dari besaran yang digunakan.

Aturan untuk memakai unit-unit tersebut sangat sederhana, yaitu perlakuan unit-unit sebagaimana symbol-symbol aljabar. Misalnya satuan-satuan yang berlainan tak boleh ditambah, dikurang, dibagi, atau dikalikan. Yang bisa adalah satuan-satuan yang sama.

Tabel 1.1 Satuan dan Simbol

Besaran	Simbol	Definisi	Satuan		
Massa	m	-	g	kg	lb
Panjang	L	-	cm	m	ft
Waktu	t	-	detik	-	-
Kecepatan	c	$C = lt$	m/detik	-	-
Gaya	F	$F = ft$	dyne	Newton	-
Energi	E	$P = W/t$	erg	Joule	-
Daya	P	-	-	Watt	-
Volume	V	-	cc	$m^3$	Cuft
Mol, Fraksi mol	x,y	-	-	-	-

Lanjutan table 1.1

Density	$\rho$	-	g/cc	lb/cuft	-
Kapasitas panas	$C_p$	-		Cal/gmol °C	-
Entalpi	H	-	-	Cal/gmol	-
Temperatur	T	-	C,F,R,K	-	-
Spesifik Gravity	$S^*$	-	-	-	-

Latihan Soal:

Tambahkan unit satuan berikut!

- 1 feet + 3 detik
- 1 hp + 300 Watt

Penyelesaian:

Operasi 1 feet + 3 detik tak mempunyai arti apa-apa, karena dimensi dari kedua besaran ini tidak sama. Satu feet adalah dimensi panjang dan 3 detik adalah dimensi waktu. Untuk 1 hp + 300 Watt, dimensi dari kedua besaran ini sama (yaitu energy persatai waktu) tapi satuannya sama sebelum operasi penambahan dilakukan. Karena 1 hp = 745,7 Watt, maka:  
 $1 \text{ hp} + 300 \text{ Watt} = 745,7 \text{ Watt} + 300 \text{ Watt} = 1045,7 \text{ Watt}$ .

## 1.2 Konversi Satuan

Untuk menyelesaikan suatu perhitungan akan banyak membuang waktu dalam merubah suatu sistem unit kedalam sistem unit lain. Oleh karena itu perlu suatu cara yang sistematis untuk merubah sistem-sitem tersebut sehingga menghemat waktu dan memperkecil kesalahan.

Setelah kita menyelesaikan suatu perhitungan-perhitungan dengan lengkap, kita harus meneliti apakah kita telah memakai unit-unit yang sama (kosisten). Konversi dari unit-unit dengan mudah sekali dikerjakan dengan menjadikan suatu bilangan yang akan kita ubah dengan suatu unit rasio yang sesuai. Jadi cara perhitungan konversi satuan adalah:

- Mengetahui factor konversi antar satuan.
- Menggunakan prinsip manipulasi besaran yang berdimensi.
- Pembagian besaran dengan satuan yang sama menghasilkan besaran tak berdimensi.
- Perkalian antar satuan dimensi yang sama menghasilkan satuan berpangkat.

Latihan Soal:

Ubahlah 400 in<sup>3</sup>/hari menjadi cm<sup>3</sup>/menit

Penyelesaian:

$$\frac{400 \text{ in}^3}{\text{Hari}} \times \frac{(2,54)^3 \text{ cm}^3}{1 \text{ in}^3} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \times \frac{1 \text{ jam}}{60 \text{ menit}} = 4,56 \text{ cm}^3/\text{menit}$$

Latihan Soal:

Apakah satuan dari konstanta gas R dalam persamaan ideal  $pV = n R T$ ?

Penyelesaian:

$$R = \frac{pV}{nT}$$



maka satuan R adalah:

$$\frac{(\text{atm})(\text{liter})}{(\text{gmol})(^\circ\text{C})} \quad \text{atau} \quad \frac{(\text{mmHg})(\text{ft}^3)}{(\text{lbmol})(\text{R})}$$

Sesudah diatas kita bicarakan satuan dan pemahamannya, maka sekarang akan kita bahas mengenai macam-macam sistem satuan. Sistem-sistem yang paling umum dipakai dapat dilihat pada table 1.2.

Tabel 1.2 Sistem Satuan

	Panjang	Waktu	Massa	Gaya	Energi
Absolute System c.g.s	cm	sec.	gram	dyne	erg, Joule, kalori
E.p.s (foot,lb,sec.) atau English Absolute	ft	sec.	lb	poundal	ft Poundal
Gravitational System British Engineering	ft	sec.	slug	Pound Weight	Btu-ft-lb
American Engineering	ft	sec.	Pound (lbm)	Pound (lbf)	ft-lbf,Btu, hp-hr

Pada c.g.s, f.p.s dan bentuk Engineering System hanya ada tiga satuan dasar. Sedang American System Engineering System, mempunyai empat satuan dasar. Akibatnya system ini diperlukan pemakaian factor konversi, agar unit-unit ini dapat sesuai. Untuk lebih jelasnya adalah sebagai berikut:

Hukum Newton:

$$F = C \times m \times a \quad (1.1)$$

Dimana:

F = gaya

m = massa

a = percepatan

C = konstanta yang harganya dan satuannya tergantung pada satuan F, m dan a

Dalam c.g.s sytem, satuan gaya didefinisikan sbb.:

$$\frac{1 \text{ g} \times 1 \text{ cm}}{1 \text{ sec}^2} = 1 \text{ dyne} \quad \frac{1 \text{ dyne}}{(\text{g})(\text{cm})/\text{sec}^2} = C$$

Dalam f.p.s system, satuan didefinisikan sebagai:

$$\frac{1 \text{ ft} \times 1 \text{ lbm}}{1 \text{ sec}^2} = 1 \text{ Poundal} \quad \frac{\text{poundal}}{(\text{slug})(\text{ft})/\text{sec}^2} = C$$

Dalam British Engineering System, satuan massa didefinisikan sebagai:

$$\frac{1 \text{ lb weight}}{1 \text{ ft/sec}^2} = 1 \text{ slug} \qquad \frac{1 \text{ lb weight}}{(\text{slug})(\text{ft})/\text{sec}^2} = C$$

- 1 slug = massa dari berat 1 lb – weight di dalam medan gravitasi bumi yang dipercepat dengan rate 1 ft/sec<sup>2</sup>.
- 1 lb mass x percepatan gravitasi bumi 32,2 ft/sec<sup>2</sup> juga sama dengan 1 lb weight, sehingga 1 slug adalah 32,2 x 1 lbmass

Dalam American Engineering System:

$$1 \text{ lbm} \times g \text{ ft/sec}^2 \times C = 1 \text{ lbf}$$

### TEMPERATUR

Faktor Konversi:

Kelvin	Celcius	Fahrenheit	Rankine
0	-271	-460	0
273	0	32	460
373	100	212	672

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

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

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

$$\text{T K} = \text{T}^{\circ}\text{C} + 273$$

$$\text{T R} = \text{T}^{\circ}\text{F} + 460$$

### TEKANAN

$$\begin{aligned} 1 \text{ atm} &= 1,013 \times 10^5 \text{ Pa} \\ &= 33,91 \text{ ft H}_2\text{O} \\ &= 14,7 \text{ psia} \\ &= 29,92 \text{ mmHg} \\ &= 760 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

$$1 \text{ Pascal} = 1 \text{ N/m}^2$$

Absolute Pressure = Barometer Pressure + Gauge Pressure

Tekanan Gauge: pernyataan tekanan di hitung mulai setelah barometer atau suatu tekanan pembandingan lainnya.

Tekanan Absolute	Tekanan Gauge	Tekanan Volume
2 atm = 142 cmHg	76 cmHg	-
1 atm = 76	0 cmHg	0
0 atm = 0	- 76 cmHg	76

### Mol Unit

Mol unit biasa berbentuk gram mole (gmol), pound mole (lbmol) yang dirumuskan sbb:

$$\text{Gram mole} = \frac{\text{Massa dalam gram}}{\text{Berat molekul}}$$

$$\text{Pound mole} = \frac{\text{Massa dalam pound}}{\text{Berat molekul}}$$

### 1.3 Basis Perhitungan

Untuk menyelesaikan perhitungan-perhitungan dalam neraca massa dan energy diperlukan suatu basis atau patokan yaitu suatu pemilihan reference untuk mempermudah penyelesaiannya. Biasanya dinyatakan pada salah satu bahan masuk atau bahan yang keluar. Basis bias berupa periode waktu (jam, menit, atau detik) atau beupa massa suatu bahan misalnya pound, gram, kg mole dsb.

Untuk lebih mempermudah biasanya diambil unit basis 1 atau 100 lb, 1 lbmole, jam, cuft dsb. Untuk zat cair dan zat padat apabila analisa massanya diketahui biasanya dipakai basis 1 atau 100 lb bahan masuk atau keluar. Untuk gas atau uap diambil 1 atau 100 lbmole atau grmole.

Contoh:

Gas hasil suatu proses , dianalisa mengandung 10% H<sub>2</sub>, 40% CH<sub>4</sub>, 30% CO dan 20% CO<sub>2</sub>. Berapa BM rata-rata untuk gas tersebut?

Penyelesaian:

Basis 100 kgmole gas

Komponen	% kgmole	BM	kg
CO <sub>2</sub>	20	44	880
CO	30	28	840
CH <sub>4</sub>	40	16	640
H <sub>2</sub>	10	2	20
			2382

$$BM_{rata-rata} = \frac{2382}{100 \text{ kgmole}} = 23,82$$

### 1.4 SIFAT - SIFAT FISIKA DAN KIMIA

#### (Gas, Uap dan Zat Cair)

Apabila suatu zat berada dalam bentuk gas, maka akan timbul dua macam persoalan untuk menentukan hubungan antara massa, tekanan, suhu, dan volume. Jenis pertama adalah menyangkut tiga variable yakni tekanan, suhu dan volume. Misalnya suatu volume tertentu dari suatu gas berada dalam suhu dan tekanan tertentu, apabila kondisinya berubah, dua dari variable dalam kondisi akhir sudah tertentu, maka diperlukan untuk menghitung variable ketiga.

Jenis kedua adalah apabila massa dari zat yang ada dalam bentuk gas dengan kondisi dua variable yang tertentu, maka variable ketiga bisa dihitung. Pada keadaan pertama, jika massa tidak diketahui, maka perhitungannya diselesaikan dengan hukum gas ideal, yakni:

$$PV = nRT \tag{1.2a}$$

Untuk n mole gas pada kondisi P<sub>1</sub>, V<sub>1</sub>, T<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>, T<sub>2</sub>

Maka:

$$P_1 \times V_1 = n RT_1 \quad \text{dan} \quad P_2 \times V_2 = n RT_2$$

Atau

$$\frac{P_1 \times V_1}{T_1} = \frac{P_2 \times V_2}{T_2} \tag{1.2b}$$

Persamaan ke (1.2) dapat digunakan untuk setiap gas dengan anggapan gas tersebut mengikuti hukum gas ideal dan dinyatakan pada kondisi standart.

### 1.4.1 Campuran Gas-Gas

Di dalam campuran gas-gas dikenal dua istilah penting, yakni:

- a. Tekanan Partiil  
Adalah tekanan yang akan terjadi oleh komponen gas tersebut apabila berada sendiri pada volume dan suhu yang sama dalam campuran.
- b. Volume Komponen Murni  
Adalah volume yang akan ditempati oleh komponen gas tersebut apabila berada sendiri pada tekanan dan suhu yang sama dalam campuran.

### 1.4.2 Hukum Dalton

Penyataan Hukum Dalton adalah: Tekanan total yang terjadi pada campuran gas-gas adalah sama dengan jumlah tekanan –tekanan partiilnya atau dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{\text{total}} = P_A + P_B + P_C + \dots \quad (1.3)$$

### 1.4.3 Hukum Amagat

Pernyataan Hukum Amagat adalah: Total volume yang ditempati oleh campuran gas adalah sama dengan jumlah volume-volume komponennya atau dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{\text{total}} = V_A + V_B + V_C + \dots \quad (1.4)$$

Jika Hukum gas ideal berlaku, maka persamaannya adalah:

$$P_A = \frac{n_A RT}{V} \quad (1.5)$$

Dimana:  $V$  = total volume dari campuran

$n_A$  = jumlah mole komponen A murni dalam campuran

dari persamaan (1.3) dan (1.5) diperoleh:

$$P_{\text{total}} = (n_A + n_B + n_C + \dots) \frac{RT}{V} \quad (1.6)$$

Persamaan (1.5) dan (1.6) diperoleh;

$$P_A = \frac{n_A}{(n_A + n_B + n_C + \dots)} P = N_A \times P_{\text{total}} \quad (1.7)$$

Dimana:  $N_A$  = mole fraksi komponen A

Jika hukum gas ideal berlaku, maka tekanan partial suatu komponen dari suatu campuran adalah sama dengan hasil kali tekanan total dan jumlah mole dari komponen tersebut untuk setiap volume komponen murni:

$$P (V_A + V_B + V_C + \dots) = (n_A + n_B + n_C + \dots)RT \quad (1.8)$$

#### 1.4.4 Perubahan Volume dengan Perubahan Komposisi

Adanya perubahan volume dengan perubahan komposisi pada absorpsi gas, pengeringan dan beberapa jenis penguapan menyangkut perubahan komposisi dari campuran gas, kemungkinan ada tambahan dan pengeluaran sesuatu komponen.

#### 1.4.5 Metode Volume Komponen Murni

Metode volume komponen murni adalah suatu perhitungan dengan cara penggunaan volume komponen murni, dimana volume dari setiap komponen ideal dapat diperoleh dengan menambahkan volume komponen murni dari komponen-komponennya, serta perhitungan suatu komponen dari campurannya yang akan mengurangi volume total dari komponen murninya. Untuk syarat tersebut harus dipenuhi semua volume yang akan ditambahkan atau dikurangi dinyatakan pada tekanan dan temperature yang sama.

Untuk proses yang menangani perubahan temperature, tekanan dan komposisi dilakukan dengan dua tahap, yakni tahap pertama menghitung perubahan komposisi pada temperature dan tekanan awal. Kemudian untuk perhitungan seluruhnya harus didasarkan pada sejumlah tertentu komponen yang melalui proses tanpa perubahan massa.

Latihan Soal:

Kolom absorpsi yang menyerap HCL 96%. Gas masuk system pada suhu 125°F. Untuk membuat HCL, dihasilkan produk yang mengandung gas 30% HCL dan udara 70% (% volume). Kemudian gas dialirkan ke dalam kolom absorpsi yang menyerap HCL 96%. Gas masuk system pada suhu 125°F dan tekanan 740 mmHg, keluar pada suhu 80°F dan tekanan 735 mmHg.

Hitung:

- Volume gas yang meninggalkan kolom absorber/100 ft<sup>3</sup> masuk kolom
- % komposisi (% Volume) dari gas-gas keluar kolom
- Massa HCL yang diserap/100 ft<sup>3</sup> gas masuk kolom

Penyelesaian:

Basis: 100ft<sup>3</sup> gas masuk (740,125°F) mengandung 70 ft<sup>3</sup> udara yang tidak akan berubah jumlahnya

- Volume komponen murni HCL = 30 ft<sup>3</sup>
- Volume komponen murni HCL yang diserap = 96 % x 30 ft<sup>3</sup> = 28,8 ft<sup>3</sup>
- Volume komponen murni HCL sisa = (30 – 28,8) ft<sup>3</sup> = 1,2 ft<sup>3</sup>
- Volume gas sisa = (70 + 1,2) ft<sup>3</sup> = 71,2 ft<sup>3</sup> (740 mmHg, 125°F)

- Volume gas yang meninggalkan kolom absorpsi

$$V_2 = 71,2 (V_1) \times \frac{740 (P_1)}{735 (P_2)} \times \frac{540 (T_2)}{585 (T_1)}$$

$$= 66,17 \text{ ft}^3 \text{ ((735 mmHg, 80°F)}$$

- Komposisi gas-gas yang keluar kolom

$$- \text{HCL} = \frac{1,2 \text{ ft}^3}{71,2 \text{ ft}^3} \times 100\% = 1,68\%$$

$$- \text{Udara} = (100 - 1,68)\% = 98,32\%$$

c. Massa HCL yang diserap:

Volume HCL yang diserap pada STP

$$V_2 = 28,8 \times \frac{740}{760} \times \frac{492}{585} = 23,58 \text{ ft}^3$$

$$\text{Massa HCL yang diserap} = \frac{23,58}{359} = 0,0657 \text{ lbmole} = 2.398 \text{ lb}$$

#### 1.4.6 Metode Tekanan Partiiil

Untuk jenis-jenis tertentu, terutama yang terdapat pada uap-uap kondensibel, sebaiknya komposisi campuran gas-gas dinyatakan dalam tekanan partial untuk berbagai komponen. Jadi penyelesaiannya hanya menganggap perubahan tekanan adalah hasil dari perubahan komposisi. Pengurangan atau penambahan suatu komponen dalam campuran dianggap sebagai perubahan partial dari semua komponen lainnya.

Volume actual tiap-tiap komponen tersebut selalu sama dengan volume seluruh campurannya, sehingga volume campuran dapat ditentukan dengan memakai hukum gas ideal untuk setiap komponen yang melewati proses yang tidak berubah jumlahnya dan tekanan partial diketahui pada kondisi awal dan akhir.

Latihan soal:

Pembuatan Calcium Hipoclorid dengan cara mengabsorbsi Clorine dalam cairan kapur. Gas Clorine yang dihasilkan dari proses Deacon masuk ke alat absorpsi pada tekanan 742 mmHg dan suhu 77°F. Tekanan partial dari clorine 60 mmHg dan sisanya adalah gas inert. Gas keluar dari absorber pada suhu 80°F dan tekanan 747 mmHg dengan tekanan partial Clorine = 0,5 mmHg.

Hitung:

a. Volume yang keluar absorber/100 ft<sup>3</sup>

b. Massa Clorine yang diserap/100 ft<sup>3</sup>

Penyelesaian:

Basis: 100 ft<sup>3</sup> gas masuk (742 mmHg, 77°F)

- Tekanan partial gas inert masuk = (742 - 60) mmHg = 682 mmHg

- Tekanan partial gas inert keluar = (747 - 0,5) mmHg = 746,5 mmHg

- Volume actual dari gas inert masuk = 100 ft<sup>3</sup>

- Volume actual dari gas inert keluar =  $100 \times \frac{682}{746,5} \times \frac{540}{537} = 91,87 \text{ ft}^3$

a. Volume total gas masuk (742 mmHg, 77°F)  
= 100 ft<sup>3</sup>

$$\begin{aligned} \text{Volume total gas keluar (747 mmHg, 80°F)} \\ = 91,87 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume chlorine masuk pada kondisi standart} \\ = 100 \times \frac{60}{760} \times \frac{492}{537} = 7,233 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume chlorine keluar pada kondisi standart} \\ = 91,87 \times \frac{0,5}{760} \times \frac{492}{540} = 0,055 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

b. Volume chlorine yang diserap pada kondisi standart

$$(7,233 - 0,055) \text{ ft}^3 = 7,178 \text{ ft}^3$$

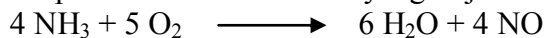
$$\text{Jadi massa Chlorine yang diserap} = \frac{7,178}{359} = 0,0199 \text{ lbmole} = 0,709 \text{ lb}$$

#### 1.4.7 Gas- Gas dalam Reaksi Kimia

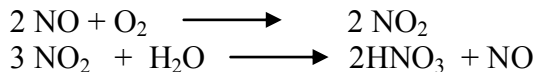
Pada dasarnya untuk reaksi atau reaksi metalurgi, mengandung gas-gas baik yang terdapat pada bahan-bahan yang direaksikan atau yang terdapat pada produk, jumlah dari gas-gas pada umumnya dinyatakan dalam satuan volume.

Latihan Soal:

Pembuatan  $\text{HNO}_3$  diproses dengan Metoda Oswald dengan oksidasi  $\text{NH}_3$  dan udara. Mula-mula  $\text{NH}_3$  dan udara dicampur, kemudian campurannya dialirkan melalui katalisator pada suhu  $53^\circ\text{F}$ . Reaksi yang terjadi adalah:



Hasil gas dari proses tersebut dialirkan kedalam kolom kemudian didinginkan dan oksidasi terjadi menurut reaksi berikut:

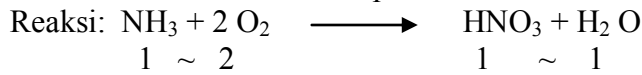


Sebagian  $\text{NO}$  yang dibebaskan dioksidasi lagi dan membentuk lebih banyak lagi  $\text{HNO}_3$ .  $\text{NH}_3$  dan udara masuk proses pada suhu  $53^\circ\text{F}$  dan tekanan 750 mmHg. Udara awal mengandung oksigen 20% berlebihan daripada yang dibutuhkan untuk terjadi oksidasi sempurna dari  $\text{NH}_3$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Gas-gas yang keluar dari katalisator pada suhu  $95^\circ\text{F}$  dan tekanan 740 mmHg. Hitung:

- Volume udara yang dibutuhkan/100  $\text{ft}^3$   $\text{NH}_3$  yang masuk proses.
- Komposisi (% volume) dari gas-gas yang masuk katalisator.
- Komposisi (% volume) dari gas-gas yang keluar katalisator, dengan asumsi bahwa derajat kesempurnaan reaksi 80% dan tidak terjadi reaksi dekomposisi.
- Volume gas-gas yang meninggalkan katalisator/100  $\text{ft}^3$   $\text{NH}_3$  masuk proses.
- Massa  $\text{HNO}_3$  yang dihasilkan/100  $\text{ft}^3$   $\text{NH}_3$  masuk proses, dengan asumsi 87 % dari  $\text{NO}$  yang masuk kolom dioksidasi menjadi  $\text{HNO}_3$ .

Penyelesaian:

Basis: 1 lbmole NH<sub>3</sub> masuk proses



a. O<sub>2</sub> yang dibutuhkan = 2 lbmole (dari reaksi)

O<sub>2</sub> yang tersedia (20% berlebihan)

$$= (100 + 20)\% = 120\% = 1,2$$

O<sub>2</sub> Yang tersedia = 2 lbmole x 1,2 = 2,4 lbmole

$$\text{Udara yang tersedia} = \frac{2,4}{0,21} = 11,42 \text{ lbmole}$$

(udara 21%O<sub>2</sub>, 79% N<sub>2</sub>)

Volume udara = 11,42 x (Volume NH<sub>3</sub> pada STP)

$$\begin{aligned} \text{Volume NH}_3 &= 359 (V_2) \times \frac{513}{492} \times \frac{760}{750} \\ &= 379,314 \text{ ft}^3 \text{ (750 mmHg, 53}^\circ\text{F)} \end{aligned}$$

$$\text{Volume udara} = 11,42 \times 379,314 \text{ ft}^3 = 4332,06 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume udara/100 ft}^3 \text{ NH}_3 = \frac{4332,06 \times 100}{379,314} = 1141,999 \text{ ft}^3$$

b. Gas masuk kedalam proses

N<sub>2</sub> yang terdapat dalam udara

$$= 0,79 \times 11,42 = 9,02 \text{ lbmole}$$

Jumlah gas yang masuk kedalam proses

$$= (11,42 + 1) \text{ lbmole} = 12,42 \text{ lbmole}$$

Komposisi (% Volume)

$$\text{NH}_3 = \frac{1}{12,42} \times 100\% = 8,05\%$$

$$\text{O}_2 = \frac{2,4}{12,42} \times 100\% = 19,33\%$$

$$\text{N}_2 = \frac{9,02}{12,42} \times 100\% = 72,62\%$$

c. Gas-gas yang meninggalkan katalisator

NH<sub>3</sub> yang dioksidasi didalam katalisator

$$= 0,80 \text{ lbmole}$$

NH<sub>3</sub> yang meninggalkan katalisator

$$= 0,20 \text{ lbmole}$$

O<sub>2</sub> yang digunakan di dalam katalisator

$$= 5/4 \times 0,8 \text{ lbmole} = 1 \text{ lbmole}$$

O<sub>2</sub> yang meninggalkan katalisator

$$= (2,4 - 1) \text{ lbmole} = 1,4 \text{ lbmole}$$



NO yang terbentuk didalam katalisator = 0,80 lbmole x 4/4 = 0,8 lbmole  
 H<sub>2</sub>O yang terbentuk didalam katalisator = 6/4 x 0,8 lbmole = 1,2 lbmole  
 N<sub>2</sub> yang meninggalkan katalisator = 9,02 lbmole

Total gas yang meninggalkan katalisator  
 = (0,2 + 0,8 + 1,4 + 1,2 + 9,02) lbmole = 12,62 lbmole

Komponen gas yang meninggalkan katalisator

$$\text{NO} = \frac{0,8}{12,62} \times 100\% = 6,34\%$$

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{1,2}{12,62} \times 100\% = 9,51\%$$

$$\text{NH}_3 = \frac{0,2}{12,62} \times 100\% = 1,59\%$$

$$\text{O}_2 = \frac{1,4}{12,62} \times 100\% = 11,09\%$$

$$\text{N}_2 = \frac{9,02}{12,62} \times 100\% = 71,4\%$$

d. Mole NH<sub>3</sub> =  $\frac{100}{379,314} = 0,264$  lbmole

Mole gas yang meninggalkan katalisator  
 = 0,264 x 12,62 = 3,331 lbmole

Volume gas yang meninggalkan katalisator pada kondisi STP  
 = 3,331 x 359 = 1195,829 ft<sup>3</sup>

Volume gas yang meninggalkan katalisator  
 = 1195,829 x  $\frac{760}{750}$  x  $\frac{555}{492}$  = 1366,93 ft<sup>3</sup>

e. NO yang diproduksi didalam katalisator  
 = 0,264 x 0,8 = 0,2112 lbmole

NO yang dioksidasi didalam kolom  
 = 0,2112 x 0,87 = 0,184 lbmole

HNO<sub>3</sub> yang terbentuk = 0,184 lbmole = 11,592 lb

### 1.4.8 Gas Ideal

Hukum gas ideal hanya dapat dipakai pada kondisi suhu dan tekanan rendah yang sesuai dengan molal volume yang besar. Pada kondisi molal volume yang rendah gaya tarik menarik antara molekul-molekulnya akan menjadi besar dan volume yang dihitung memakai hukum gas ideal akan menjadi besar juga dan untuk beberapa kasus bisa jadi

volume yang dihitung 5x volume aktualnya. Hukum gas ideal masih bias dipakai pada kesalahan  $\leq 1\%$ . Pemakaian hokum gas ideal dapat diterapkan pada:

- Gas-gas diatomic dimana gram olal volume lebih kecil dari 5 L (80 ft<sup>3</sup>/lbmole).
- Gas-gas yang struktur molekulnya lebih kompleks (CO<sub>2</sub> Acytelere, NH<sub>3</sub> dan Hydrokarbon) dimana gram molal volume > 20 mL (320 ft<sup>3</sup>/lbmole).

#### 1.4.9 Gas Nyata

Dalam suhu ruang, gas mempunyai sifat-sifat gas ideal. Jadi sebenarnya gas nyata pada kondisi tertentu saja yang memenuhi hokum-hukum gas ideal, ini disebabkan karena teori ideal sama tepat dengan kenyataan.

Tabel1.2 Perbedaan gas ideal dengan gas nyata

Gas Ideal	Gas Nyata
Teori kinetik gas berdasarkan asumsi molekul-molekulnya bertabrakan -Tidak ada gaya tarik menarik. -Tabrakan atau tumbukan antar molekul gas dianggap elastis sempurna. - PV = nRT	-Molekul-molekul nyata itu sendiri mempunyai volume yang tidak dapat diabaikan terhadap volume gas. -Tergantung dari jarak antar molekul , ada gaya tarik menarik dan tolak menolak. -Tumbukan antar molekul tidak elastic sempurna

- Persamaan Van der Waal, untuk 1 mole gas:

$$(P + a/v^2) (V - b) = RT \text{ per grammole gas} \quad (1.9)$$

Dimana:

$$\frac{a}{v^2} = \text{dalam atm/gmole X}$$

$$a = \text{konstanta, [ atm(cm}^3\text{/gmole)]}$$

$$b = \text{konstanta, (L/gmole)}$$

$$V = \text{cm}^3\text{/gmole}$$

- Persamaan Redlich Kwong

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{T^{1/2} V(v + b)} \quad (1.10)$$

### 1.4.10 Tekanan Uap

Tekanan uap adalah tekanan keseimbangan pada proses penguapan dan pengembunan pada suhu dan tekanan konstan. Keseimbangan tersebut adalah keadaan dimana tidak terdapat tendensi akan terjadi perubahan yang spontan antar fase cair dan fase uap dari suatu zat murni.

#### Gas dan Uap (vapor)

Perbedaan antara gas dengan uap yakni:

- Gas adalah zat yang berada diatas suhu kritis.
- Uap (vapor) adalah zat yang berada dibawah suhu kritis.  
Contoh CO<sub>2</sub> pada suhu biasa (dibawah suhu kritis adalah Vapor tapi biasanya dinyatakan sebagai gas.

Uap yang terdapat pada kondisi dimana tekanan partiilnya sama dengan tekanan uap keseimbangannya disebut Saturated Vapor (uap jenuh). Uap yang tekanan partiilnya kurang dari pada tekanan uap keseimbangannya disebut Superheated Vapor.

Suhu dimana suatu uap adalah jenuh disebut Dew Point atau Saturation Temperature. Perbedaan antara suhu yang ada dan suhu jenuhnya disebut Degrees of Superheat.

Jika uap jenuh didinginkan atau ditekan akan terjadi pengembunan dan terbentuk uap basah/Wet Vapor (terdiri dari saturated vapor dan saturated liquid dan keseimbangan dan fraksi berat dari uap dalam campuran tersebut disebut Quality dari Wet Vapor. Persamaan Quality adalah:

$$\% \text{ Quality} = X = \frac{W_v}{W_v + W_L} \times 100\% \quad (1.11)$$

Dimana:  $W_v$  = massa uap                       $W_L$  = massa liquid

### 1.4.11 Perubahan Tekanan Uap dengan Suhu

Hubungan tekanan dengan suhu secara Termodinamik adalah:

$$\frac{dp}{p} = \frac{V_G}{V_L} \frac{\lambda dT}{RT^2} \quad (1.12)$$

Dimana:

- P = tekanan uap
- T = suhu absolute
- $\lambda$  = panas penguapan pada suhu T
- $V_G$  = Volume gas
- $V_L$  = Volume liquid

Persamaan (1.12) biasa disebut sebagai persamaan Clapeyron. Jika volume liquid diabaikan dan dianggap hukum gas ideal dapat diterapkan, maka persamaan (1,12) menjadi:

$$\frac{dp}{P} = \frac{\lambda dt}{RT^2}$$

$$d \ln P = - \frac{\lambda dt}{R} \left( \frac{1}{T} \right) \quad (1.13)$$

Jika suhu tidak banyak berubah, maka hanya dianggap konstan sehingga persamaan (1.13) menjadi:

$$\ln \frac{P}{P_0} = \frac{\lambda}{R} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \quad (1.14)$$

Atau

$$\log \frac{P}{P_0} = \frac{\lambda}{2,303R} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \quad (1.15)$$

Persamaan (1.15) digunakan untuk menghitung tekanan uap suatu zat pada suhu T apabila tekanan uap  $P_0$  pada suhu  $T_0$  diketahui bersama-sama.

Latihan soal:

Diketahui tekanan uap ethyl ether = 185 mmHg pada suhu  $0^\circ\text{C}$ . Panas penguapan molal ( $\lambda$ ) = 92,5 kal/gram pada  $0^\circ\text{C}$ . hitung tekanan uap pada  $20^\circ\text{C}$ !

Penyelesaian:

Dari table sifat fisika:

$$BM_{EE} = 74$$

$$\lambda = 6850 \text{ kal/gmole}$$

$$R = 1,99 \text{ kal/gmole K}$$

$$T_0 = 273 \text{ K}$$

$$P_0 = 185 \text{ mmHg}$$

$$\text{Pada suhu } 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$$

$$\log \frac{P}{185} = \frac{6850}{2,303 \times 1,99} \left( \frac{1}{273} - \frac{1}{293} \right)$$

$$P/185 = 1,454$$

$$P = 268,99 \text{ mmHg}$$

#### 1.4.12 Critical Properties

Dapat tidaknya suatu substansi dalam keadaan cair tergantung dari suhunya. Jika suhunya tinggi sekali sehingga lintasan energy kinetic dari molekul-moleku melebihi

energy potensial maksimum dari tarik menarik diantaranya, tidak mungkin terbentuk keadaan cair. Macam-macam critical properties adalah:

-Suhu kritis( $T_C$ ) : suhu dimana energi kinetik sama dengan energy potensial maximum.

-Tekanan kritis ( $P_C$ ): tekanan yang dibutuhkan untuk mencairkan suatu gas pada suhu kritisnya.

-Volume kritis( $V_C$ ) : volume dalam keadaan kritis.

Reduced temperature: rasio suhu suatu substansi dengan suhu kritisnya.Reduced ratio:

- $T_r = T/T_C$
- $P_r = P/P_C$
- $V_r = V/V_c$
- Faktor Kompresibilitas ( $Z$ ):.
  - Pada gas ideal  $PV/RT = 1$
  - Pada gas nyata  $Z$  mendekati 1

### 1.4.13 Penguapan dengan Steam Lewat Jenuh

Hukum Rault:

$$P_A = P_A' \frac{n_A}{(n_A + n_B + n_C + \dots)} = N_A \times P_A \quad (1.16)$$

$P_A$  = tekanan uap komponen A dalam larutan dengan komponen B,C,.....

$P_A'$  = tekanan uap A murni

$n_A, n_B, n_C$  = mole komponen A,B,C.....

$N_A$  = mole fraksi A

Contoh Soal:

Hitung tekanan total dan komposisi dari uap yang berkontak dengan suatu larutan pada suhu 100°C yang mengandung 30% Benzena ( $C_6H_6$ ), 40% Toluena ( $C_6H_5CH_3$ ), 30% Orthozylena [ $C_6H_4(CH)_2$ ]. Tekanan uap murni pada 100°C:

Benzena = 1340 mmHg

Toluen = 560 mmHg

Orthozylena = 210 mmHg

Penyelesaian:

Basis: 100 lb larutan

Benzena 30% dari 100 lb = 30 lb = 0,449 lbmole

Toluen 40% dari 100 lb = 40 lb = 0,435 lbmole

Orthozylena 30% dari 100 lb = 30 lb = 0,236 lbmole

100 lb = 1,12 lbmole

Yang dicari:

Tekanan uap

Benzena = 1340 x 0,449/1,12 = 536 mmHg

Toluen = 560 x 0,435/1,12 = 217 mmHg

Orthozylena = 210 x 0,236/1,12 = 44 mmHg

797 mmHg

### Komposisi

	% liquid	%vapor
Benzena	$0,449/1,12 = 40,1$	$536/797 = 67,3$
Toluen	$0,435/1,12 = 38,8$	$217/797 = 27,2$
Orthozylena	$0,236/1,12 = 21,1$	$44/797 = 5,5$
Total	$\frac{\quad}{100}$	$\frac{\quad}{100}$

### 1.4.14 Estimasi Critical Properties dari Bahan-bahan Organik

a. Suhu kritis:

$$\frac{T_b}{T_c} = 0,567 + \Sigma \Delta T - (\Sigma \Delta T)^2 \quad (1.17)$$

Dimana:

$\Sigma \Delta T$  = jumlah increment dari atom-atom

$T_b$  = normal titik didih

Deviasi = 1 %

b. Tekanan kritis

$$\frac{\sqrt{M}}{P_C} = 0,34 + \Sigma \Delta P \quad (1.18)$$

Dimana:

$M$  = Berat Molekul

$\Sigma \Delta P$  = jumlah increment dari atom-atom

Deviasi = 3,3%

c. Volume kritis

$$V_C = 40 + \Sigma \Delta V \quad (1.19)$$

d. Critical Compresibilitas Factor

$$Z_C = \frac{1}{3,43 + 0,0067 \lambda_b^2} \quad (1.20)$$

Dimana:

$\lambda_b$  = panas penguapan pada titik didih normal

$T_b$  = titik didih

### 1.4.15 Tekanan Kritis dan Tekanan Uap Zat-Zat Organik

Persamaan tekanan uap

$$\text{Log } P = \frac{-A}{T_r} + B - C^{-20(T_r - b)^2} \quad (1.21)$$

Dimana:

$T_r$  = reduced temperature

A, B, C = konstanta

Tekanan kritis

$$\text{Log } P_C = B - A - C^{-20(T_r - b)^2}$$

$$\text{Log } P_r = \frac{-A(1 - T_r)}{T_r} - C^{-20(T_r - b)^2} \quad (1.22)$$

Jika atom-atom cairan dalam organik  $>2$ , konstanta  $b$  bertambah besar. Untuk hidrokarbon paraffin dibuat suatu grafik antara jumlah atom-atom cairan dengan konstanta tekanan uap  $b$ ! Untuk komponen selain paraffin, maka harga konstanta  $b$  adalah:

$$B = b' + \Delta b$$

$\Delta b$  diperoleh dari table

Latihan soal:

Menghitung tekanan uap dari n-propylamine pada  $0^\circ\text{C}$  titik didih normal =  $48,7^\circ\text{C}$ ,  $P_C = 46,8$   $b = 0,253$  atau suhu kritis n-propylamine =  $119^\circ\text{C}$ .

Cara Penyelesaian:

$$\text{Pada } n_c = 3 \quad b' = 0,133 \quad \Delta b = 0,12$$

$$b = b' + \Delta b = 0,133 + 0,12 = 0,253$$

$$\text{Pada titik didih normal: } T_r = 322/492 = 0,647$$

$$P_r = 1/46,8 = 0,014$$

Dari persamaan:

$$\text{Log } P_r = \frac{-A(1 - T_r)}{T_r} - C^{-20(T_r - b)^2}$$

$$\text{Untuk } A = 2,9763 \quad T_r \text{ pada } 0^\circ\text{C} = 273/492 = 0,549$$

$$\text{Jadi log } P_r = \frac{2,9763(1 - 0,549)}{0,549} - C^{-20(549 - 0,2532)^2}$$

$$P_r = 0,00243$$

$$P = P_r \times P_C = 0,00243 \times 46,8 = 0,113 \text{ atm}$$

#### 1.4.16 Tekanan Uap Dari Zat-Zat Cair Yang Tidak Tercampur

Pada beberapa zat cair yang tidak tercampur, kalau dilakukan pencampuran secara merata/pengadukan, kemudian dидiamkan beberapa saat, maka akan terbentuk beberapa lapisan pada permukaan tiap-tiap komponen dan akan menguap pada permukaannya yang berlangsung terus samapai terjadi suatu keseimbangan tekanan partial dariuap-uapnya diatas permukaan. Beberapa pernyataan menyangkut system diatas adalah:

- Jumlah tekanan uap yang terdapat pada suatu campuran adalah sama dengan jumlah dari tekanan uap tiap-tiap komponen pada suhu tertentu.

- b. Jika tekanan uap yang dari suatu system sama dengan tekanan total permukaannya, campuran tersebut akan mendidih dan mengeluarkan uapnya.
- c. Tekanan partial tiap-tiap komponen dalam uap sama dengan tekanan uap dalam keadaan cair.
- d. Rasio dari tekanan partial dengan tekanan total sama dengan fraksi atau jumlah volume, dan dari sini massa dapat dihitung.

### 1.5 Soal – Soal

1. Ubahlah satuan-satuan berikut:

- a. 50 mil/jam menjadi m/detik
- b. 75 lb/m<sup>2</sup> menjadi gram/cm<sup>2</sup>
- c. 30 kg/L menjadi lb/ft<sup>3</sup>

e.  $\frac{100 \text{ ft (cm}^2\text{)}}{\text{cm}^3 \text{ hari minggu}}$  menjadi  $\frac{\text{mil (in}^2\text{)}}{\text{barrel dt}^2}$

d.  $\frac{90 \text{ (in)(mm}^2\text{)}}{\text{(tahun)(detik)(minggu)(barrel)}}$  menjadi:

$$\frac{\text{(mil)(ft}^2\text{)}}{\text{(min)}^3 \text{ (cm)}^3}$$

2. Densitas yang dinyatakan sebagai fungsi linear dari suhu berikut:  $\rho = \rho_0 + \alpha t$

Dimana:  $\rho$  dalam lb/ft<sup>3</sup> pada suhu T  
 $\rho_0$  dalam lb/ft<sup>3</sup> pada suhu T<sub>0</sub>  
 t dalam °F

Apa satuan dari  $\alpha$  ?

3. Suatu cairan mempunyai spesifik gravity = 2, hitung densitasnya dalam lbm/ft<sup>3</sup>!
4. Berapa densitas dari minyak yang mempunyai spesifik gravity = 0,782. Nyatakan jawabannya dalam lbm/ft<sup>3</sup> dan dalam gram/cm<sup>3</sup>!
5. 100 lb gas mempunyai komposisi sebagai berikut:  
 CH<sub>4</sub> = 30%    H<sub>2</sub> = 10%    N<sub>2</sub> = 60%  
 Berapa massa molekul rata-rata dari gas tersebut?
6. Hitung massa molekul rata-rata dari campuran gas berikut:  
 CO<sub>2</sub> = 2%    CO = 10%    O<sub>2</sub> = 8%    N<sub>2</sub> = 75%    H<sub>2</sub>O = 5%
7. Untuk campuran 50 gallon Benzena dengan 50 gallon Octana, hitung:
  - a. Massa Molekul dari campuran tersebut
  - b. °API dari campuran tersebut
  - c. Spesifik gravity dari campuran tersebut
 Diketahui: Benzena    °API = 28,5    Sp.Gr. = 0,8844  
                          Octana    °API = 68,6    Sp.Gr. = 0,7072
8. Campuran gas mempunyai komposisi dalam % volume sebagai berikut:  
 CH<sub>4</sub> = 60%    C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> = 15%    C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> = 15%    H<sub>2</sub> = 5%    N<sub>2</sub> = 5%
  - a. Berapa mole % dari tiap-tiap komponen tersebut?
  - b. Berapa massa % dari tiap-tiap komponen tersebut?



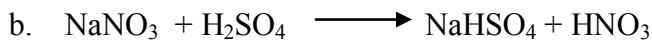
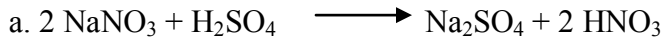
9. Batu fosfat mengandung 80%  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \text{CaF}_2$ 
  - a. Berapa fosfor yang terkandung dalam 100 lb batu fosfat?
  - b. Berapa phosphor anhidrid  $\text{P}_2\text{O}_5$  yang terkandung dalam 100 lb Berapa phosphor batu fosfat tersebut?
10. Larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pada  $60^\circ\text{F}$  mempunyai sp.gr. = 1,22. Larutan tersebut mengandung 30% massa  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Berapa konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$  tersebut dalam:
  - a. lbmol/gallon
  - b. lb/ft<sup>3</sup>
  - c. gr/L
  - d. lb  $\text{H}_2\text{SO}_4$ /lb  $\text{H}_2\text{O}$
  - e. lbmole  $\text{H}_2\text{O}$ /lbmole  $\text{H}_2\text{SO}_4$
11. Berapa massa molekul rata-rata udara yang terdiri dari  $\text{O}_2 = 21\%$  dari  $\text{N}_2 = 79\%$ ?
12. Gas hasil pembakaran mengandung 40%  $\text{CO}$ , 35%  $\text{CO}_2$ , 5%  $\text{O}_2$  dan 20%  $\text{H}_2\text{O}$ . Berapa massa molekul rata-rata gas tersebut?
13. 100 kg minyak bumi mengandung 80% C dan 20% H. Hitung perbandingan C/H dalam mol!
14. Tabung 1 ft<sup>3</sup> yang berisi 15 lb steam pada suhu  $100^\circ\text{F}$ . Diketahui:  $a = 5,48 \times 10^6$  atm(cm<sup>3</sup>/gmole) dan  $b = 30,6$  L/gmole. Hitung tekanan dengan persamaan Van der Waals!
15. Campuran gas terdiri dari 80% Vol  $\text{NH}_3$ , 8%  $\text{O}_2$  dan 12%  $\text{N}_2$  pada tekanan 740 mmHg yang dialirkan melalui menara absorber, dimana 85% dari amoniak akan diserap menjadi ammonium hidroksida. Gas meninggalkan proses pada  $85^\circ\text{F}$  dan 725 mmHg, sedang 1 lbmole gas pada  $32^\circ\text{F}$ , 760 mmHg adalah 359 ft<sup>3</sup>. Hitung:
  - a. Volume gas yang keluar tiap 100 ft<sup>3</sup> gas masuk!
  - b. Komposisi gas yang keluar tiap 100 ft<sup>3</sup> gas masuk!
16. Larutan encer Natrium Chlorida mengandung 28 gr NaCL/100 cc larutan pada suhu  $20^\circ\text{C}$ . Densitas larutan pada suhu tersebut adalah 1,5 gr/cc. Hitung:
  - a. Komposisi dalam % massa!
  - b. Komposisi dalam % mole!
  - c. lb NaCL/lb  $\text{H}_2\text{O}$
17. Hitung critical properties dari chlorobenzena! Diketahui:  $T_b = 405,2$  K  $\lambda_b = 8,735$  kkal/gmole BM= 112,5
18. Hitung tekanan uap dari n-propylamine pada  $0^\circ$  dan titik didih normal =  $48,7^\circ\text{C}$ !
19. Untuk memurnikan Benzena dari sejumlah kecil larutan non-volatile dilakukan distilasi dengan uap jenuh pada tekanan 745 mmHg. Hitung:
  - a. Suhu distilasi
  - b. Massa steam per lb uap Benzena
20. Analisa dari larutan gara di dapat 10%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dan sisanya air. Berapa mole fraksi dan mole% dari tiap komponen dalam larutan tersebut?
21. Buktikan bahwa:
  - a.  $T (^{\circ}\text{F}) = 2 \{T(^{\circ}\text{C}) + [160^{\circ}\text{C} - T(^{\circ}\text{C})]\}$
  - b.  $T (^{\circ}\text{F}) = \{T(^{\circ}\text{C} \times 2)\} - 1/10 [T(^{\circ}\text{C}) \times 2] + 32$
22. Tekanan gas dari tangki berisi udara, tekanan menunjukkan 115 Psig. Pembacaan barometer adalah 725 mmHg. Hitung tekanan absolute dari tangki tersebut dalam:
  - a. atm
  - b. psi
  - c. mmHg
  - d. lb/ft<sup>2</sup>
  - e. ft water
  - f. gr/cm<sup>2</sup>

23. Oksigen dibuat menurut reaksi sebagai berikut:



- Berapa hasil oksigen apabila 9 gr kalium Chlorat yang terurai?
- Berapa gram kalium chlorat yang harus terurai untuk memperoleh 3 gr oksigen?

24. Apabila Natrium Nitrat direaksikan dengan asam sulfat, akan terjadi dua reaksi sebagai berikut:



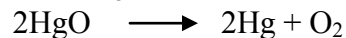
Untuk sejumlah massa asam sulfat yang diberikan, reaksi mana yang akan menghasilkan asam nitrat yang terbanyak

25. Belerang dioksida dapat dibuat dari reaksi:



- Berapa tenaga yang dibutuhkan?
- Berapa  $\text{H}_2\text{SO}_4$  89% yang dipakai untuk memperoleh 15 kg  $\text{SO}_4$ ?

26. Reaksi untuk membuat oksigen dari kalium chlorat dan merkuri oksida adalah sebagai berikut:



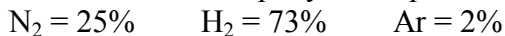
Apabila harga merkuri oksida Rp 5.000 dan harga kalium chlorat Rp 1.000 per kg, berapa biayanya untuk menghasilkan 15 kg oksigen dari reaksi diatas?

27. Batu kapur mempunyai komposisi sebagai berikut:

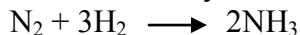


- Berapa lb calcium oksida yang akan didapat dari 7 ton batu kapur tersebut?
- Berapa lb karbondioksida yang keluar per lb batu kapur tersebut?

28. Gas ammonia mempunyai komposisi sebagai berikut:



Mengalir melalui catalytic converter. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Didapat 5 ton produk tiap hari yang mengandung 9,2%  $\text{NH}_3$ , hitung:

- Gas ammonia yang masuk ke dalam converter dalam ton/hari
- Komposisi gas produk yang keluar dari converter

29. Chlorine dibuat dari hasil samping HCL dengan reaksi sebagai berikut:



Kedalam tanur diisi 500 lb  $\text{MnO}_2$  dan 3700 lb HCL, reaksi berlangsung 87%, hitung:

- $\text{Cl}_2$  yang diperoleh dalam kg
- %excess reaksi

30. Propana dibakar dengan 30 % udara berlebih dan 10 % karbonnya membentuk karbonmonoksida. Bagaimana analisa gasnya?



## BAB II NERACA MASSA

Tujuan Umum: Untuk mempelajari dan memahami perhitungan neraca massa

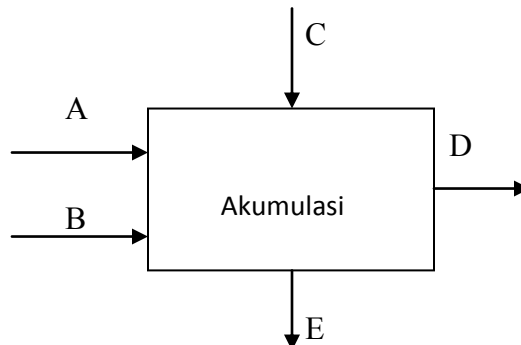
Tujuan Khusus:

- Memahami prinsip-prinsip neraca massa.
- Dapat menggunakan persamaan neraca massa dan dapat mereaksikan zat-zat yang terlibat didalam suatu proses.
- Menyelesaikan soal secara langsung
- Mampu menghitung neraca massa yang berhubungan dengan proses recycle
- Mampu menghitung neraca massa yang berhubungan dengan proses yang menggunakan aliran purge
- Mampu menghitung neraca massa yang berhubungan dengan proses yang menggunakan aliran by pass

### 2.1 Pengertian Neraca Massa

Neraca massa adalah suatu perhitungan yang tepat dari semua bahan-bahan yang masuk, yang terakumulasi dan yang keluar dalam waktu tertentu. Pernyataan tersebut sesuai dengan hukum kekekalan massa yakni: massa tak dapat dijelmakan atau dimusnahkan.

Prinsip umum neraca massa adalah membuat sejumlah persamaan-persamaan yang saling tidak tergantung satu sama lain, dimana persamaan-persamaan tersebut jumlahnya sama dengan jumlah komposisi massa yang tidak diketahui. Persamaan neraca massa secara umum adalah:



Gambar 2.1 Diagram Neraca Massa

Persamaan neraca massa:

Massa masuk = massa keluar + massa yang terakumulasi

$$M_A + M_B + M_C = M_D + M_E + M_{\text{akumulasi}} \quad (2.1)$$

Bila tidak ada massa yang terakumulasi, maka persamaan menjadi:

Massa masuk = massa yang keluar

$$M_A + M_B + M_C = M_D + M_E \quad (2.2)$$

Tahap-tahap menyelesaikan soal-soal neraca massa adalah sebagai berikut:

1. Pilih atau tentukan basis perhitungan
2. Gambarkan diagram proses
3. Jika tidak terjadi reaksi kimia, penyelesaian soal bukan didasarkan atas unsur yang ada tetapi atas dasar senyawa
4. Jika tidak melibatkan reaksi kimia, memakai satuan massa dan jika ada reaksi kimia memakai satuan mole
5. Jika terjadi reaksi kimia dihitung atas dasar unsur
6. Jumlah persamaan neraca massa yang dibuat adalah jumlah besaran yang tidak diketahui tidak boleh melebihi jumlah persamaan neraca massa independen

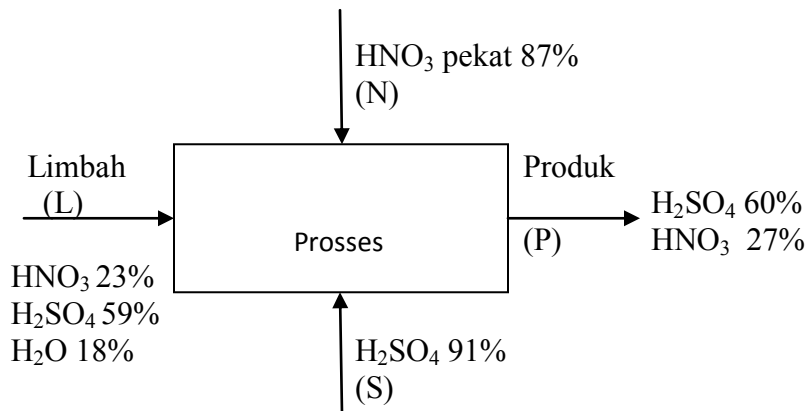
Contoh Soal:

Suatu limbah industry mengandung 23%  $\text{HNO}_3$ , 59%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan 18%  $\text{H}_2\text{O}$  (% massa). Asam ini akan dipekatkan menjadi 27%  $\text{HNO}_3$  dan 60%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan penambahan asam sulfat pekat yang mengandung 91%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan asam nitrat pekat mengandung 87%  $\text{HNO}_3$ . Hitung massa limbah,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat dan  $\text{HNO}_3$  pekat yang ditambahkan! Diketahui produk campuran 1000 kg.

Penyelesaian:

Basis: 1000 kg campuran produk.

Diagram proses:



Neraca massa total:

$$M_L + M_N + M_S = M_P \text{ atau } M_L + M_N + M_S = 1000$$

$$M_N = 1000 - M_L - M_S \quad (1)$$

Neraca massa komponen  $\text{HNO}_3$ :

$$0,23 M_L + 0,87 M_N = 0,27(1000) \quad (2)$$

Substitusi persamaan (1) dan (2):

$$0,23M_L + 0,87(1000 - M_L - M_S) = 270$$

$$0,23 M_L + 870 - 0,87 M_L - 0,87 M_S = 270$$

$$-0,64 M_L - 0,87 M_S = -600$$

$$0,64 M_L + 0,87M_S = 600 \quad (3)$$

Neraca massa komponen H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

$$0,59 M_L + 0,91 M_S = 0,6 \times 1000 \quad (4)$$

Eliminasi persamaan (3) dan (4):

$$\begin{array}{l} 0,64 M_L + 0,87M_S = 600 \quad | \times 0,59 \\ 0,59 M_L + 0,91M_S = 600 \quad | \times 0,64 \end{array}$$

Diperoleh:  $M_S = 434,15 \text{ kg}$   
 $M_L = 347,32 \text{ kg}$   
 $M_N = 218,53 \text{ kg}$

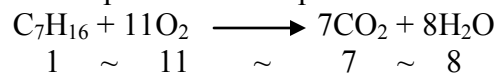
## 2.2 Persamaan dan Stokiometri Kimia

Dalam beberapa perhitungan neraca massa dipakai prinsip mengenai:

1. Penulisan persamaan reaksi beserta koefisien stokiometrinya.
2. Pengertian istilah: limiting reaktan, excess reaktan, konversi, yield, dan derajat kesempurnaan reaksi.
3. Produk beberapa reaksi yang umum dipakai seperti reaksi pembakaran.

### 2.2.1 Penulisan Persamaan Reaksi dan Koefisien Stokiometri

Contoh reaksi pembakaran heptana:



Reaktan akan bereaksi menghasilkan produk yang jumlahnya sebanding dengan koefisien stokiometris. Di industry reaksi kimia jarang ditemukan tepat stokiometris. Jika proses menggunakan bahan mahal, supaya ekonomis memakai reaktan berlebih.

### 2.2.2 Istilah-Istilah dalam Reaksi Kimia

Pada peralatan proses dengan kondisi serba terbatas akan menjadi reaksi samping yang berpengaruh terhadap jumlah produk. Untuk itu perlu dilakukan hal-hal yang bisa mengatasi kendala tersebut. Jadi dalam proses reaksi kimia dikenal istilah-istilah:

- a. Limiting reaktan yaitu reaktan dalam jumlah stokiometris reaksi terkecil.
- b. Excess reaktan yaitu reaktan yang berlebih dari stokiometrinya terhadap limiting reaktan.
- c. Konversi yaitu fraksi bahan baku atau reaktan yang bereaksi menjadi produk.
- d. Derajat reaksi yaitu fraksi dari limiting reaktan yang bereaksi menjadi produk.
- e. Yield suatu reaktan = mole produk/mole awal reaktan.

### 2.2.3 Pembakaran Bahan Bakar

Pembakaran adalah reaksi oksidasi yang berlangsung dengan cepat antara bahan bakar dengan udara, menghasilkan panas dan hasil oksidasi sempurna maupun tak sempurna. Besaran fisik dalam proses pembakaran adalah:

- Komposisi kimia bahan bakar.
- Laju alir bahan bakar.
- Nilai kalor bahan bakar.
- Laju alir udara.
- Hasil pembakaran.
- Efisiensi penggunaan bahan bakar.

Jenis bahan bakar yang biasa digunakan di industry adalah batu bara, BBM, gas alam, LPG, CNG. Pada saat bahan bakar dibakar karbon bereaksi dengan oksigen membentuk CO<sub>2</sub> (reaksi sempurna) atau CO (reaksi tak sempurna), hydrogen membentuk H<sub>2</sub>O dan sulfat membentuk SO<sub>2</sub>. Untuk alasan ekonomis udara digunakan untuk kebutuhan oksigen dalam proses pembakaran. Didalam perhitungan asumsi komposisi udara adalah 79% N<sub>2</sub> dan 21% O<sub>2</sub>.

Gas-gas hasil pembakaran disebut gas buang(stack gas/flue gas). Stack gas adalah semua gas hasil pembakaran termasuk uap air. Sedang flue gas adalah semua gas hasil pembakaran tidak termasuk uap air.

### 2.3 Neraca Massa dengan Penyelesaian Langsung

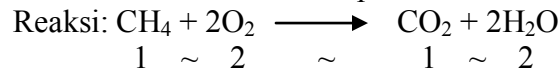
Neraca massa ini menyangkut soal-soal dimana bisa diselesaikan dengan penambahan atau pengurangan secara langsung.

Contoh Soal:

Gas alam mengandung 100% CH<sub>4</sub>. Gas alam tersebut dibakar menggunakan udara berlebih 20%. Buat neraca massanya!

Penyelesaian:

Basis : 1 mole CH<sub>4</sub> masuk proses



O<sub>2</sub> yang dibutuhkan untuk reaksi adalah 2 mole.

Udara yang dibutuhkan untuk reaksi:

$$\frac{100}{21} \times 2 \text{ mole} = 9,54 \text{ mole}$$

Jadi udara yang dibutuhkan 9,54 mole terdiri dari:

O<sub>2</sub> yang dibutuhkan 2 mole

N<sub>2</sub> yang dibutuhkan 7,54 mole

Udara berlebih 20% berarti udara berlebih yang dibutuhkan:

$$\frac{120}{100} \times 9,54 = 11,448 \text{ mole yang terdiri dari:}$$

O<sub>2</sub> = 21% x 11,448 mole = 2,404 mole

N<sub>2</sub> = 79% x 11,448 mole = 9,04 mole

Maka gas yang keluar adalah:

	Mole	%
CO <sub>2</sub>	1	8,03
H <sub>2</sub> O	2	16,07
O <sub>2</sub>	0,404	3,24
N <sub>2</sub>	9,04	72,67
	<u>12,444</u>	<u>100</u>

Jadi komposisi gas-gas yang keluar adalah:

CO <sub>2</sub>	8,03 %
H <sub>2</sub> O	16,07 %
O <sub>2</sub>	3,24 %
N <sub>2</sub>	<u>72,67 %</u>
	<u>100 %</u>

Massa yang masuk: CH <sub>4</sub>	= 1	mole = 16	lb
O <sub>2</sub>	= 2,404	mole = 76,92	lb
N <sub>2</sub>	= 9,04	mole = 253,12	lb

Massa yang keluar: CO <sub>2</sub>	= 1	mole = 44
H <sub>2</sub> O	= 2	mole = 36
O <sub>2</sub>	= 0,404	mole = 12,928
N <sub>2</sub>	= 9,04	mole = 253,12
	Massa masuk = massa keluar	

## 2.4 Neraca Massa Dengan Reaksi Kimia

Pada neraca massa ini biasanya komposisi dan massa dari beberapa aliran masuk diketahui dan komposisi serta massa aliran keluar dicari.

Latihan Soal:

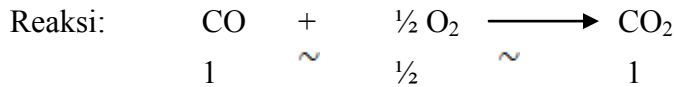
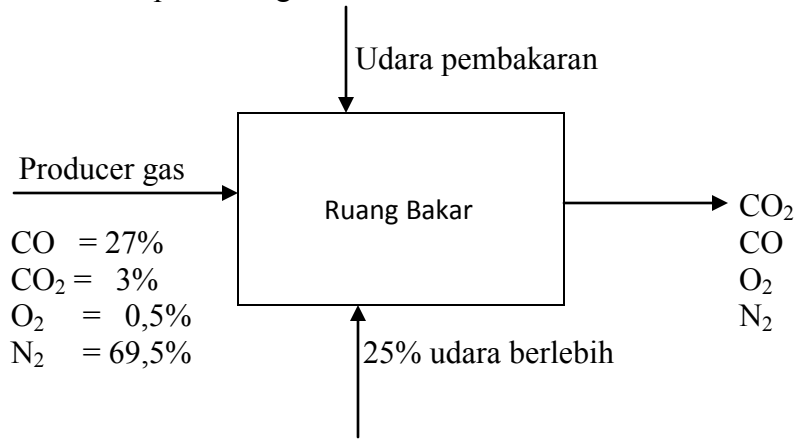
Suatu produser gas yang dibuat dari batu bara mempunyai volume komposisi sebagai berikut:

CO	= 27 %
CO <sub>2</sub>	= 3 %
O <sub>2</sub>	= 0,5 %
N <sub>2</sub>	= 69,5 %

Gas tersebut dibakar dengan udara, dimana oksigen dari udara berlebihan 25%. Jika pembakaran berlangsung 95 %. Berapa massa total gas yang keluar tiap 100 lb producer gas yang dibakar?

Penyelesaian:

Basis: 100 lbmole producer gas



Massa yang masuk dari producer gas:

$$\begin{array}{l} \text{CO} = 27\% \times 100 \text{ lbmole} = 27 \text{ lbmole} = 756 \text{ lb} \\ \text{CO}_2 = 3\% \times 100 \text{ lbmole} = 3 \text{ lbmole} = 132 \text{ lb} \\ \text{O}_2 = 0,5\% \times 100 \text{ lbmole} = 0,5 \text{ lbmole} = 16 \text{ lb} \\ \text{N}_2 = 69,5\% \times 100 \text{ lbmole} = 69,5 \text{ lbmole} = 1946 \text{ lb} \\ \hline \text{Total} = 2850 \text{ lb} \end{array}$$

Neraca Massa O<sub>2</sub>:

- O<sub>2</sub> yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan CO =  $\frac{1}{2} \times 27 \text{ lbmole} = 13,5 \text{ lbmole}$
  - O<sub>2</sub> yang masuk ke ruang bakar dari producer gas = 0,5 lbmole
  - Jadi kebutuhan O<sub>2</sub> = (13,5 - 0,5) lbmole = 13 lbmole
  - O<sub>2</sub> dari udara berlebih dari kebutuhan O<sub>2</sub> =  $(100+25)\% \times 13 \text{ lbmole} = 16,25 \text{ lbmole}$
- Udara yang dibutuhkan  $100/21 \times 16,25 = 77,38 \text{ lbmol}$
- O<sub>2</sub> untuk pembakaran 95% =  $95\% \times 13,5 \text{ lbmole} = 12,825 \text{ lbmole}$
  - O<sub>2</sub> hasil pembakaran = (16,25 + 0,5 - 12,825) lbmole = 3,925 lbmole

Neraca Massa Carbon:

- C dalam producer gas atau dalam CO dan CO<sub>2</sub> = (27+3) lbmole = 30 lbmole
- C dalam CO hasil pembakaran =  $(100-95)\% \times 27 \text{ lbmole} = 1,35 \text{ lbmole}$
- C dalam CO<sub>2</sub> hasil pembakaran = (30-1,35) lbmole = 28,65 lbmole

Neraca Massa Nitrogen:

- N<sub>2</sub> dalam producer gas = 69,5 lbmole
  - N<sub>2</sub> dari udara berlebih =  $79/21 \times 16,25 \text{ lbmole} = 61,13 \text{ lbmole}$
- Total N<sub>2</sub> yang keluar dari ruang bakar = 130,63 lbmole

Jadi massa yang keluar dari ruang bakar:

- CO = 1,35 lbmole = 38,67 lb



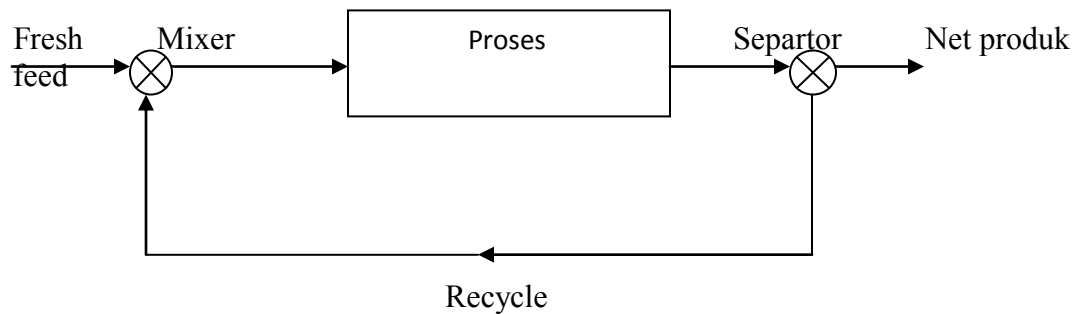
- CO<sub>2</sub> = 28,65 lbmole = 1260,6 lb
- O<sub>2</sub> = 3,925 lbmole = 125,6 lb
- N<sub>2</sub> = 130,63 lbmole = 3657,64 lb
- Total = 5082,51 lb

Massa total gas yang keluar per 100 lb producer gas:  
 $(5082,51/2850) \times 100 \text{ lb} = 178,3 \text{ lb}$

### 2.5 Neraca Massa Dengan Process Recycle

Proses dengan aliran recycle berlangsung dalam kondisi stedi, yakni tidak ada akumulasi didalam proses maupun didalam aliran recycle. Massa yang masuk ke proses berupa bahan fresh feed dan bahan recycle. Sedangkan produk yang keluar berupa bahan net produk dan bahan recycle.

Diagram proses dengan aliran recycle adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 Diagram proses aliran recycle

Latihan Soal:

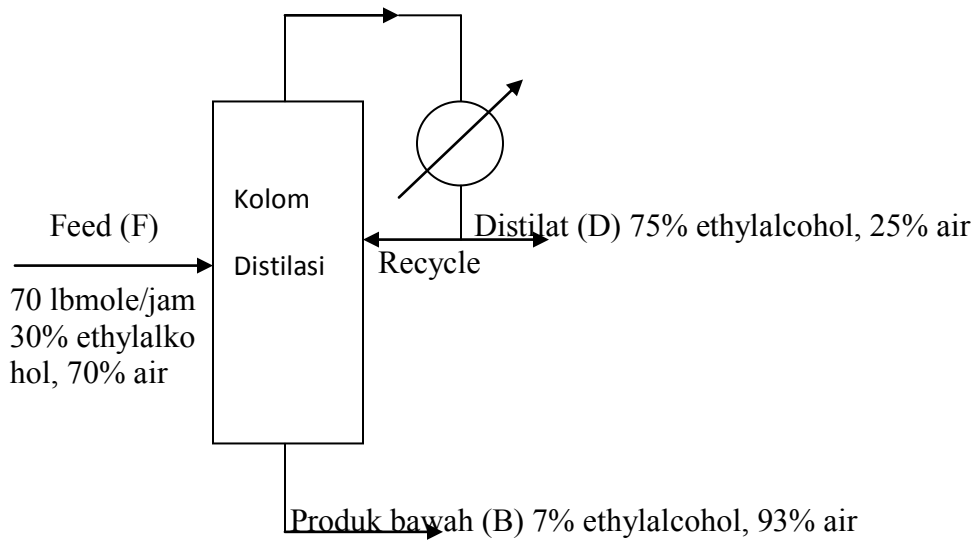
Suatu kolom distilasi untuk memisahkan campuran yang terdiri dari 30% ethyl alcohol dan 70% air. Distilat mengandung 75% ethylalcohol dan 25% air. Sedang produk bawah mengandung 7% ethylalcohol dan 93% air. Jika fresh feed sebesar 70 lbmole/jam, hitung:

- a. Jumlah distilat dan produk bawah!
- b. Rasio bahan yang direcycle terhadap distilat!

Penyelesaian:

Basis: 1 jam operasi

Diagram proses:



Neraca Massa Total:

$$F = D + B$$

$$70 = D + B \longrightarrow D = 70 - B \dots\dots\dots(1)$$

Neraca Massa Komponen ethylalcohol:

$$0,3 F = 0,75 D + 0,07 B \dots\dots\dots(2)$$

Substitusi persamaan (1) dan (2):

$$0,3 \times 70 = 0,75 (70 - B) + 0,07 B$$

$$B = 46,3 \text{ lbmole/jam}$$

$$D = (70 - 46,3) \text{ lbmole/jam} = 23,7 \text{ lbmole/jam}$$

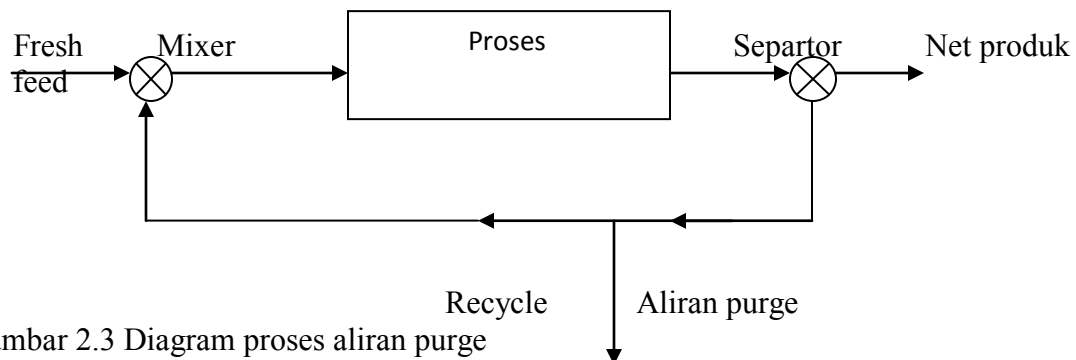
Jadi: a. Distilat (D) = 23,7 lbmole/jam dan produk bawah (B) = 46,3 lbmole/jam

$$\text{b. \% recovery} = \frac{D \times 0,75}{F \times 0,3} = \frac{23,7 \times 0,75}{70 \times 0,3} = 84,6\%$$

Berarti yang direcycle  $(100 - 84,6)\% \times 70 \text{ lbmole/jam} = 10,78 \text{ lbmole/jam}$ .

### 2.6 Neraca Massa Dengan Aliran Purge

Aliran purge adalah aliran yang di bled-off untuk menghilangkan akumulasi dari inert (bahan-bahan yang tidak diinginkan) yang dapat terakumulasi didalam aliran recycle. Diagram proses dengan aliran purge adalah sebagai berikut:

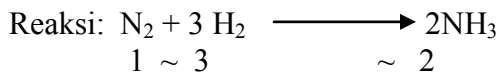
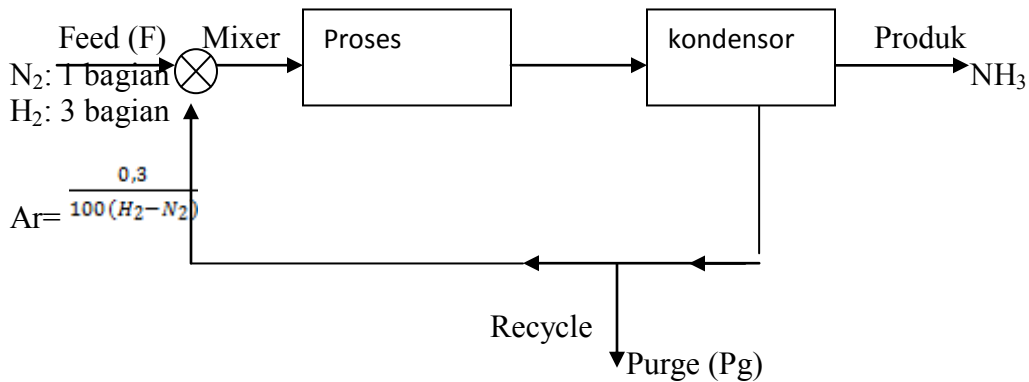


Gambar 2.3 Diagram proses aliran purge

Dalam suatu proses mengandung 0,3 Ar/100 campuran N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>. Batas maximum Ar yang masuk ke reactor 5/100 campuran N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>. Hitung rasio aliran purge terhadap feed! Produk terkonversi 65 %.

Penyelesaian:

Basis: 100 mole campuran N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>



Neraca Proses

Campuran N<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> masuk proses = 100 + R

Campuran N<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> keluar proses = 0,65 (100 + R)

Ar yang diijinkan masuk dalam proses = 0,05 (100 + R)

Perbandingan Ar yang diijinkan per mole campuran N<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> keluar dari kondensor =  $\frac{0,05(100+R)}{0,65(100+R)} = 0,077$

Jumlah mole Ar dalam aliran purge = 0,077 x Pg

Ar dalam Feed = 0,3 mole

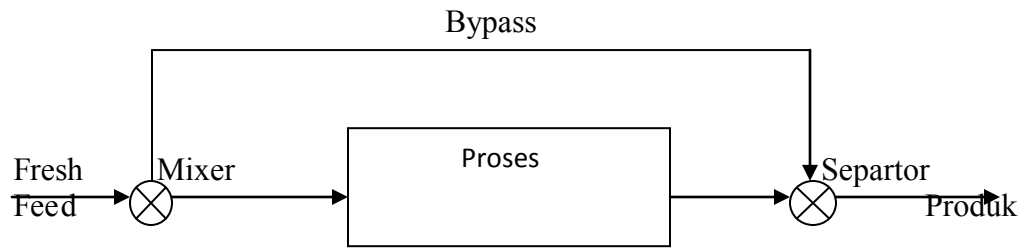
Pada kondisi stedi  $\longrightarrow$  Ar dalam aliran purge = Ar dalam Feed

$$0,077\text{Pg} = 0,3 \longrightarrow \text{Pg} = 3,896$$

Sehingga rasio Pg/F = 3,896/100 = 0,03896.

## 2.7 Neraca Massa Dengan By Pass

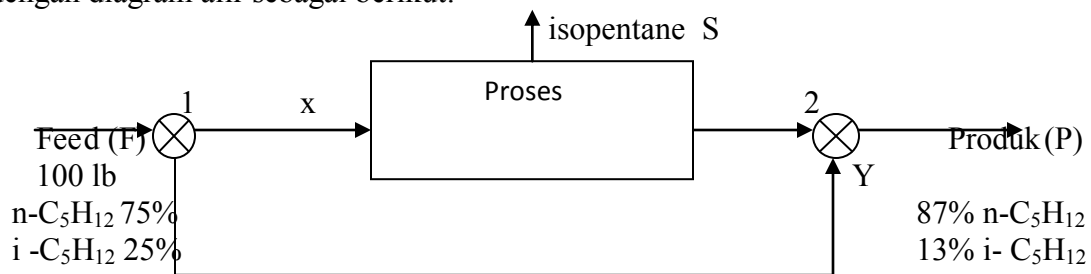
Aliran by pass mempunyai tujuan untuk mengatur komposisi aliran keluar ke akhir suatu unit. Diagram proses dengan bypass adalah sebagai berikut:



Gambar 2.4 Diagram proses aliran bypass

Contoh Soal:

Didalam pembuatan bensin, isopentane dipisahkan dari bensin bebas butane, dengan diagram alir sebagai berikut:



Hitung S, P dan x!

Penyelesaian:

Basis: 100 lb feed

Neraca massa total:  $F = S + P$

$$100 = S + P \dots\dots\dots(1)$$

Neraca massa komponen n-pentane

$$0,75 \times 100 = 0,87 P \dots\dots\dots(2)$$

$$P = 86,2 \text{ lb}$$

$$S = 100 - P$$

$$S = (100 - 86,2) \text{ lb}$$

$$S = 13,6 \text{ lb}$$

Neraca Massa pada titik 2:

Neraca massa komponen I-C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>:  $(100 - x)(0,25) = 86,2 \times 0,13$

$$x = 55,176 \text{ lb}$$

## 2.8 Soal-Soal

1. 100 kg oksigen dimasukkan ke ruang bakar yang berisi 10 kg karbon, pembakaran berlangsung sempurna, hitung:

- a. massa karbon dan oksigen yang keluar bersama produk!
- b. massa total bahan masuk ke reactor!
- c. massa total bahan yang keluar reactor!

2. Suatu gas mengandung 80 % vol CH<sub>4</sub> dan 20% vol N<sub>2</sub>, dibakar dengan udara pada sebuah boiler. Gas hasil pembakaran dikeringkan, kemudian dilewatkan ke sebuah scrubber,

dimana sebagian besar  $\text{CO}_2$  diserap sebagai dry ice ( $\text{CO}_2$  padat). Analisa gas-gas yang keluar dari scruber sebagai berikut:

$$\text{CO}_2 = 1,2\% \quad \text{O}_2 = 4,9\% \quad \text{N}_2 = 93,9\% \text{ (% vol)}$$

- Berapa %  $\text{CO}_2$  yang dapat diserap sebagai dry ice didalam scruber?
- Berapa % excess udara?

3.  $\text{CO}_2$  dibuat dengan cara pengolahan batu kapur dengan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  didalam air. Batu kapur yang digunakan didalam proses mengandung  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  dan zat inert. Asam yang digunakan mengandung 12%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (% massa). Selama proses massa dipanaskan sehingga  $\text{CO}_2$  dan uap air terpisahkan dalam bentuk gas. Sedangkan residu dari proses mempunyai komposisi sebagai berikut:

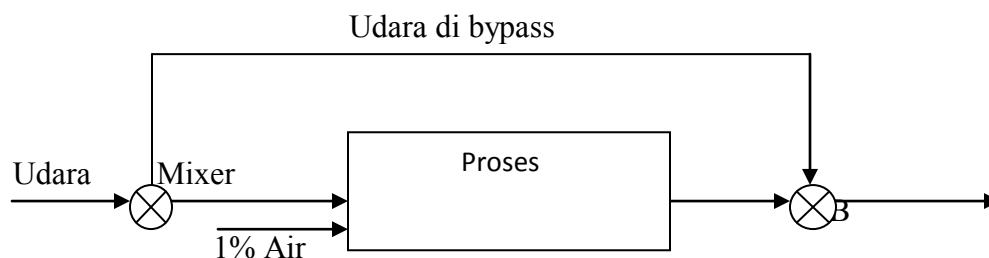
$$\begin{array}{lll} \text{CaSO}_4 = 8,56\% & \text{MgSO}_4 = 5,25\% & \text{H}_2\text{SO}_4 = 1,05\% \\ \text{Inert} = 0,53\% & \text{CO}_2 = 0,12\% & \text{H}_2\text{O} = 81,51\% \end{array}$$

- Hitung % excess dari asam yang digunakan!
  - Hitung massa campuran gas  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ /1000 lb batu kapur!
4. Akan dibuat gas  $\text{Cl}_2$  dengan jalan membakar gas  $\text{HCl}$  dengan udara didalam suatu reactor. Udara yang digunakan adalah 20% berlebih. Konversi pada reaksi pembakaran  $\text{HCl}$  sebesar 75%. Gas-gas yang keluar dari reactor masuk ke alat pemisah, dimana  $\text{HCl}$  yang tak bereaksi di recycle kembali, sedang gas-gas lainnya masuk ke kondensor dan  $\text{H}_2\text{O}$  mengalami pengembunan.  $\text{HCl}$  yang masuk ke reactor 100 lbmole/jam.

- Berapa lbmole  $\text{Cl}_2$  yang terbentuk?
- Berapa  $\text{HCl}$  yang direcycle/lbmole  $\text{Cl}_2$  yang terbentuk?
- Hitung komposisi gas-gas yang keluar dari kondensor!

5.  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  dihasilkan dari  $\text{C}_2\text{H}_4$  dengan cara hidrasi fasa uap dari  $\text{C}_2\text{H}_4$  dengan memakai katalis. Hasil setelah keluar dari reactor, air dan alcohol masuk ke kondensor dan dikeluarkan. Ethylene yang tak bereaksi direcycle. Rasio uap air dan ethylene yang masuk reactor harus 0,6, konversi ethylene per satu kali operasi = 4,2 %. Hitung fraksi recycle yang dibbled-off!

6. Diketahui diagram proses sebagai berikut:



Udara masuk proses mengandung 1% air (%vol) pada tekanan 1,47 psi.

- Berapa % vol air dalam aliran udara pada titik A?
- Bila aliran B mempunyai komposisi air 7% (%vol), berapa fraksi aliran udara yang masuk bypass?

7. Reaksi antara  $\text{N}_2$  dan  $\text{H}_2$  menghasilkan  $\text{NH}_3$ . Reaksi tersebut adalah reaksi bolak-balik pada suhu  $515^\circ\text{C}$  dan tekanan 300 atm akan seimbang. Misal 280 kg  $\text{N}_2$  dan 64 kg  $\text{H}_2$  direaksikan dan dihasilkan 38 kg mole gas-gas dalam keadaan seimbang.

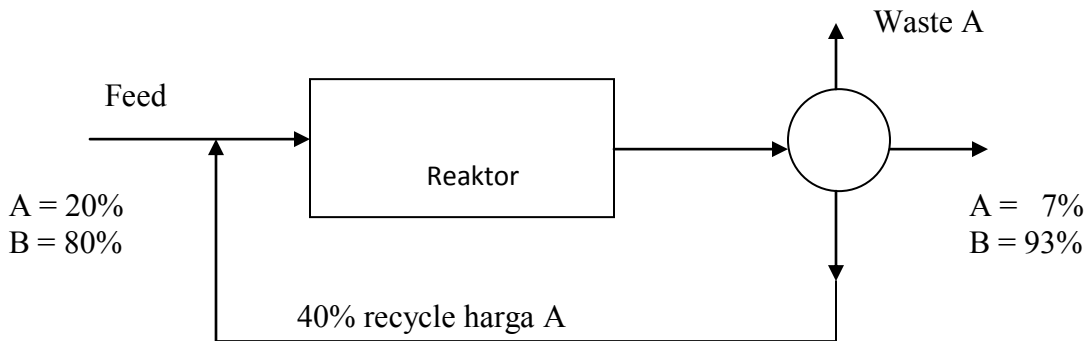
- Berapa kgmole  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  dan  $\text{NH}_3$  yang ada dalam keadaan seimbang?

- b. Berapa limiting reaktan dan excess reaktan?  
 c. Berapa excess H<sub>2</sub>?
8. Sebuah ruang bakar direncanakan untuk membakar batu bara dengan kecepatan 200 lb/jam. Batu bara tersebut mempunyai komposisi sebagai berikut:  
 C = 89,1% dan abu = 10,9%
- Efisiensi ruang bakar maximum 75% dari batu bara yang dimuat. Udara berlebih 30% dari yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna. Jika 80% dari karbondioksida sempurna dan yang lain menjadi CO, maka: hitung komposisi volume gas yang keluar.
9. Suatu kolom distilasi beroperasi dengan data-data sebagai berikut:  
 Bahan baku masuk adalah etanol 35% dan air 65%, menghasilkan etanol 85% dan air 15%. Produk bawah 5% dan air 95%. Berapa kg hasil distilat per kg bahan baku dan berapa kg distilat per produk bawah?
10. Pul basah dengan 69% air dikeringkan sehingga 51% air teruapkan. Hitung:  
 a. Komposisi pulp yang sudah kering!  
 b. Massa air yang hilang per kg pulp basah!
11. Analisa gas adalah sebagai berikut:  
 CH<sub>4</sub> = 10% CS<sub>2</sub> = 30% CO<sub>2</sub> = 10% H<sub>2</sub> = 10% N<sub>2</sub> = 40%
- Dibakar dengan udara 100% berlebihan.  
 Hitung:  
 a. Massa gas-gas yang keluar!  
 b. Komposisi gas-gas yang keluar!
12. Suatu pabrik akan menghasilkan 50 ton/hari produk. Larutan Natrium Karbonat dalam air di pompa ke dalam tangki Netralisasi dan bereaksi dengan 10% excess asam phosphate. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:  

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 \longrightarrow \text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
 Asam phosphate yang dimasukkan mengandung 87% larutan dalam air. Karbondioksida yang dihasilkan dipompa ke dalam tangki netralisasi kedua dimana kelebihan asam phosphate dan disodium phosphate diubah menjadi trisodium phosphate dengan penambahan 50% larutan NaOH. Larutan yang keluar tangki netralisasi kedua mengandung 25% trisodium phosphate (Na<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>). Semua phosphate diubah menjadi trisodium phosphate dalam tangki netralisasi kedua. Trisodium phosphate ini kemudian didinginkan dan dikristalkan, sisa larutannya dikeringkan dan hasil zat padat dari kristalisasi dan pengeringan kemudian dicampur menjadi satu dan dihasilkan zat padat dengan komposisi sebagai berikut:  
 Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> = 47%  
 NaOH = 2%  
 H<sub>2</sub>O = 51%
- Buat neraca massa lengkap!
13. Ethylena Oksida C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O dibuat dengan cara reaksi katalitik antara ethylene dan oksigen. C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> dan O<sub>2</sub> bersama-sama recycle masuk kedalam reactor mengandung 30% mole C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>. Reaksi berlangsung pada tekanan 1 atm dan 250°C. Percobaan menunjukkan bahwa 30% ethylene yang masuk ke dalam reactor diberikan setiap sekali proses dan dari harga ini 55% berubah menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Ethylena yang tidak bereaksi dipisahkan dari hasil reactor dan recycle, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan O<sub>2</sub> dikeluarkan. Untuk tiap 10.000 ft<sup>3</sup> ethylena

yang masuk proses pada suhu 27°C dan tekanan 1 atm. Hitung mole ethylene oksida yang direcycle per mole ethylene yang masuk!

14. Berapa kg recycle per kg feed apabila jumlah waste A adalah 10kg?



15. Dalam pembuatan  $\text{NH}_3$ , perbandingan mole  $\text{N}_2$  dan  $\text{H}_2$  yang masuk feed adalah 1:3. Dari feed yang masuk reactor 25% diubah menjadi  $\text{NH}_3$ .  $\text{NH}_3$  yang terbentuk dembunkan dan mencair, kemudian dikeluarkan semuanya dari reactor. Sedang  $\text{N}_2$  dan  $\text{H}_2$  yang tidak bereaksi di recycle kembali untuk dicampur dengan feed ke dalam reactor. Berapa perbandingan recycle dan feed dalam lb recycle per feed? Feed masuk pada suhu 135°F, 1 atm dan keluar pada suhu 10°, 8 atm.

16. Kolom distilasi digunakan untuk memisahkan campuran ethyl alcohol-air agar diperoleh alcohol murni. Bahan baku masuk dengan komposisi 30% mole ethyl alcohol. Distilat mengandung 91% mole ethyl alcohol dan hasil bawah mengandung 7% mole alcohol.

a. Untuk bahan baku sebesar 50 lbmole/jam, hitung jumlah distilat dan hasil bawah!

b. Berapa % alcohol dari bahan baku direcover dari distilat?

17. Alumunium sulfat dibuat dengan jalan mereaksikan bauxite dengan sulfat bauxite mengandung 55% massa Al-Oksida. Sedang sisanya merupakan impurities yang bereaksi. Sedangkan asam sulfat mengandung 77%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  murni sedang sisanya air. Untuk menghasilkan alumunium sulfat murni sebanyak 1790 lb, diperlukan 1075 lb bauxite dan 2515 lb larutan asam sulfat. Hitung % excess!



## BAB III NERACA ENERGI

Tujuan: Diharapkan setiap mahasiswa dapat memahami dengan mudah konsep makro neraca energy

### 3.1. Konsep Makro Neraca Energi

Neraca energy adalah persamaan matematis yang menyatakan hubungan antara energy masuk dan energy keluar suatu system yang berdasarkan pada satuan waktu operasi.

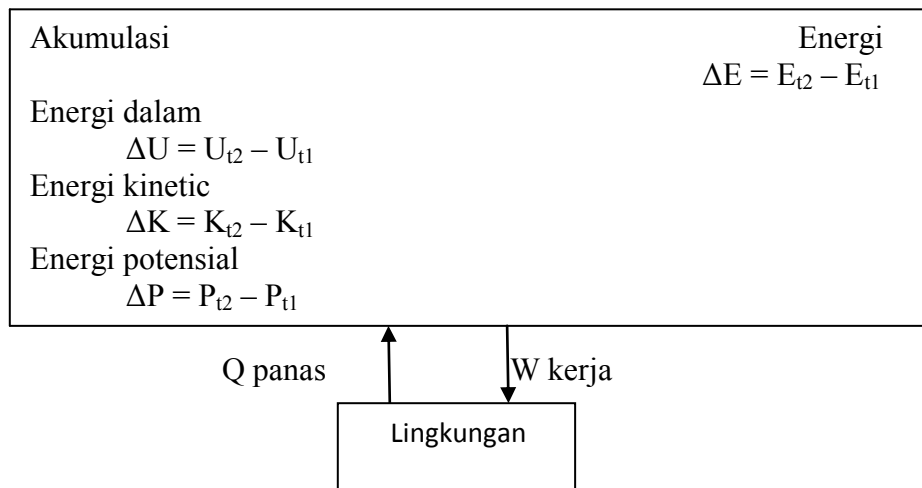
Konsep Makro:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Energi} \\ \text{Masuk} \\ \text{Ke system} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{Energi yang} \\ \text{timbul} \\ \text{dalam system} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Akumulasi} \\ \text{energy} \\ \text{dalam system} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{Energi keluar} \\ \text{dari system} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{Energi yang} \\ \text{dipakai dalam} \\ \text{system} \end{array} \right)$$

$$E_1 + Q = \Delta E + E_2 + W \quad (3.1)$$

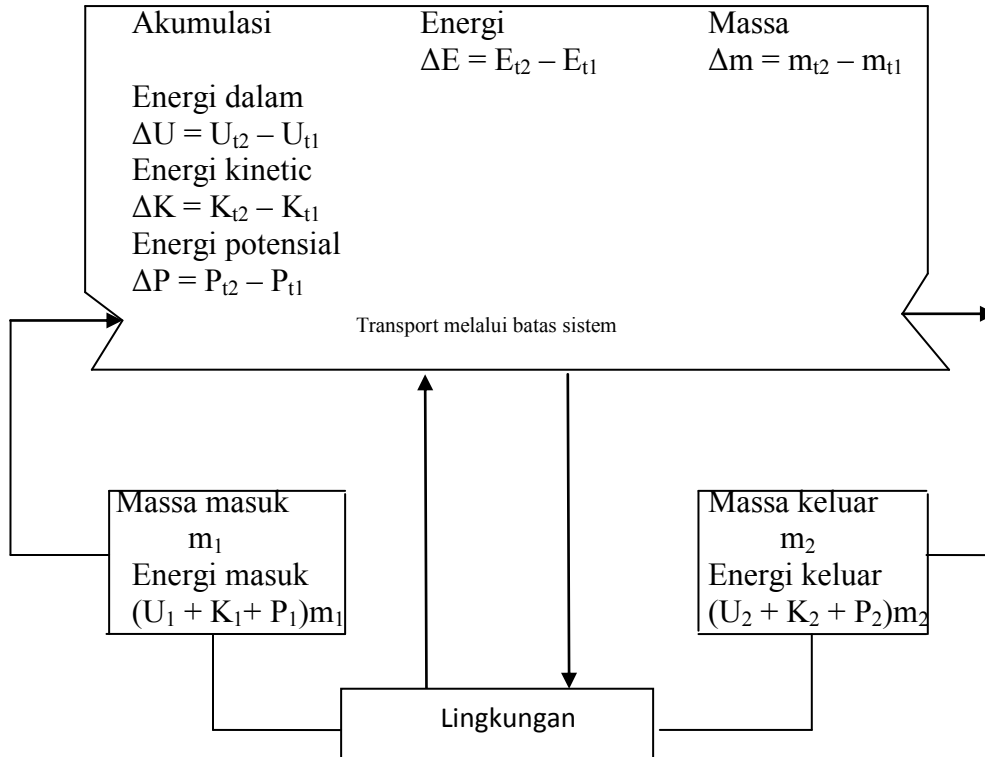
Ada dua macam proses dalam perhitungan neraca energy:

- Proses alir yaitu bahan masuk dan keluar system secara kontinyu
- Proses batch yaitu bahan masuk dan keluar pada waktu tertentu



Gambar 3.1 Skema proses pada system batch





Gambar 3.2 Skema proses system alir

Keterangan Skema:

Energi dapat berada dalam beberapa bentuk, yakni sebagai berikut:

1. Energi dalam (U), persatuan massa (mU), untuk massa m

Energi dalam ini tidak ada instrument yang dapat mengukurnya, sehingga energy dalam harus dinyatakan dalam variable lain, seperti: tekanan, volume, suhu atau komposisi.

2. Energi berupa kerja

Untuk memasukkan bahan ke dalam system, kerja tersebut dinyatakan dalam:

$$m_2(P_2V_2) - m_1(P_1V_1) \quad (3.2)$$

Dimana;

P = tekanan sistem

V = volume persatuan massa

3. Energi potensial

$$E_p = m \times g_L/g_c \times h \quad (3.3)$$

Dimana:

h = beda tinggi terhadap reference, m

$g_L$  = gravitasi ditempat ketinggian L,  $m/s^2$

$g_c$  = konstanta gravitasi,  $m/s^2$

4. Energi kinetic
5. Energi dari bahan yang masuk dan keluar system dinyatakan dengan  

$$E_K = \frac{1}{2} m v^2 \quad (3.4)$$

Energi dapat dipindahkan dalam bentuk panas (Q) atau dalam bentuk kerja (W). Energi dapat masuk atau keluar bersama bahan atau tanpa bahan. Neraca zat memiliki energy karena posisinya, kecepatan atau keadaan fisisnya.

Ketentuan Skema :

1. Panas yang diserap system(+), yang dikeluarkan system(-).
2. Kerja yang dilakukan oleh system terhadap lingkungan (+), kerja yang dilakukan terhadap system(-).
3. Notasi
 

U = energy dalam	K = energy kinetic
P = energy potensial	m = massa
t <sub>1</sub> = pada saat 1	t <sub>2</sub> = pada saat 2

### 3.2 Kapasitas Panas dan Perubahan Entalpi

#### 3.2.1 Kapasitas Panas

Kapasitas panas adalah energy panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu sejumlah zat sebesar 1°C, °F, K, karena energy bisa dipindahkan dengan cara perindahan panas dalam suatu proses.

Satuan kapasitas panas: kal/g°C, Btu/lb°F, J/g K

Konversi  $\frac{1 \text{ Btu}}{\text{lb}^\circ \text{F}} = \frac{4,184 \text{ J}}{\text{g K}} = \frac{1 \text{ kal}}{9^\circ \text{C}} = 4,14 \text{ kJ/kg}$

Harga Cp

- a. Untuk zat padat, harga Cp merukan fungsi temperature  

$$C_p = a + bT + cT^2 \quad (3.5)$$

Dimana T dalam K, Cp dalam Btu/(lbmol)(°F) atau kal/(gmol)(°C) dan a, b, c adalah konstanta. Bila dengan harga pendekatan memakai aturan Kopp, yakni pada suhu kamar, kapasitas panas senyawa = kapasitas panas total unsure-unsur penyusunnya

Tabel 3.1 Harga Cp zat padat

Nilai Cp pada 20°C (Cal /g atau °C)	
Unsur	Harga
C	1,8
H	2,3
B	2,7
Si	3,8
O	4,0
F	5,0
Patau s	5,4
Selain di atas	6,2

Contoh soal: menghitung  $C_p$   $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$   
 $C_p \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O} = 2(6,2) + 5,4 + 14(4) + 2,3 \times 20$   
 $= 119,8 \text{ kal}/(\text{gmol})(^\circ\text{C})$

Tabel 3.2 Harga kapasitas panas zat padat

$C_p = a + bT + cT^2$  dimana T dalam (K) dan  $C_p$  dalam  $\text{Btu}/(\text{lbmol})(^\circ\text{F})$  atau  $\text{kal}/(\text{gmol})(^\circ\text{C})$

Zat padat	Range Temperatur (K)	$a$	$b \times 10^3$	$c \times 10^{-5}$
CaO	298 – 2000	11.67	1.08	-1.56
CaCO <sub>3</sub> (calcite)	298 – 1200	24.98	5.24	-6.20
Ca(OH) <sub>2</sub>	298 – 700	19.07	10.8	
CaC <sub>2</sub>	298 – 720	16.40	2.84	-2.07
CaCl <sub>2</sub>	298 – 1055	17.18	3.04	-0.60
C (graphite)	298 – 2500	4.03	1.14	-2.04
Cu	298 – 1357	5.41	1.5	
CuO	298 – 1250	9.27	4.8	+0.60
Fe( $\alpha$ )	298 – 1033	3.04	7.58	-3.55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	298 – 950	23.49	18.60	
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	298 – 900	21.88	48.20	
FeS	298 – 411	5.19	26.40	
I <sub>2</sub>	298 – 368.6	9.59	11.90	
Nh <sub>4</sub> Cl	298 – 458	11.80	32.00	
Na	298 – 371	4.02	9.04	
NaCl	298 – 1073	10.98	3.90	
NaOH	298 – 566	0.24	32.42	+3.87
NaHCO <sub>3</sub>	298 – 400	10.19	36.06	
S (rhombic)	298 – 369	3.58	6.24	
SiO <sub>2</sub> (quartz)	298 – 848	11.22	8.20	-2.70

Dari data K.K. Kelley, US. Bur. Mines Bull. 584, 1960.

b. Cairan

Harga Cp cairan bisa dilihat pada grafik (3.1)

Bila dengan pendekatan :

-Untuk larutan dalam air, bila tidak ada data experimental digunakan Cp air

-Senyawa hidrokarbon, Cp merupakan fungsi gravity dan T

$$C_p = (0,355 + 0,128 + 10^{-20} \text{ API}) + (0,503 + 0,117 \times 10^{-20} \text{ API}) \times [10^{-3} T(0,05K + 0,41)] \text{ dalam satuan Btu/lb}^\circ\text{F} \quad (3.6)$$

$$\text{Dimana } ^\circ\text{API} = \frac{141,5}{\text{Sp.Gr } 60^\circ\text{F}/60^\circ\text{F}}$$

Sp.Gr = Spesific gravity

F = satuan temperature

K = Faktor karakteristik UOP (Universal Oil Product)

10,1 < K < 13

-Zat cair Organik

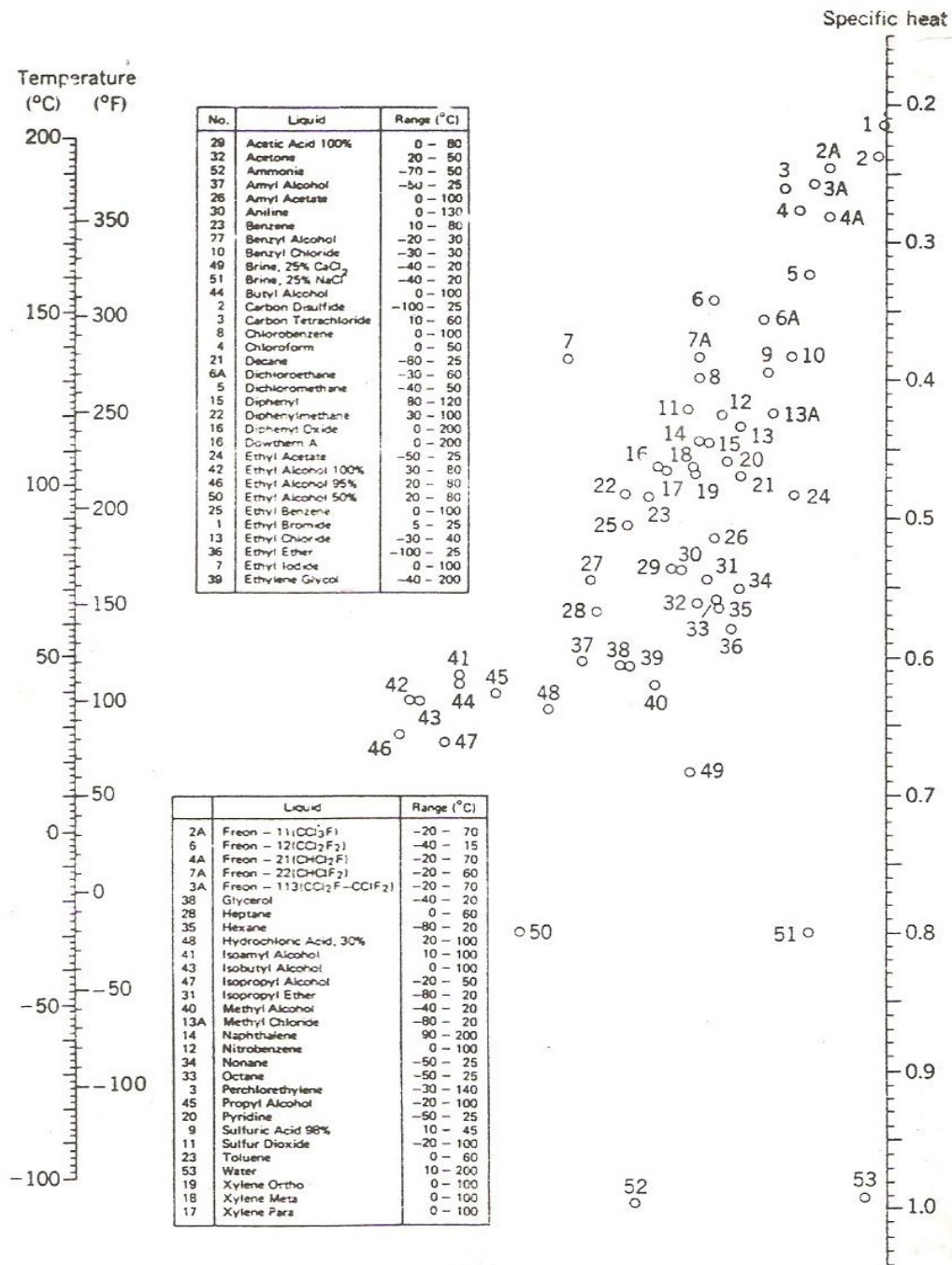
$$C_p = kM^a \quad (3.7)$$

Dimana: Cp = kal/g°C

M = Berat Molekul

Tabel 3.3 Harga Cp Zat cair organic  
Kapasitas panas dalam Btu/lbm°F atau cal/g°C

Senyawa	k	a
Alcohol	0,85	-0,1
Asam	0,91	-0,152
Keton	0,587	-0,0135
Ester	0,6	-0,0573
Hidrokarbon Aliphatic	0,873	-0,113



Grafik 3.3 Kapasitas panas zat cair

c. Uap, minyak bumi

$$C_p = \frac{(4 - S)(T + 670)}{6450} \quad (3.8)$$

Dimana:  $C_p$  = kapasitas panas (Btu/lb<sup>o</sup>F)

$S$  = Specific gravity 60<sup>o</sup>F/60<sup>o</sup>F

$T$  = temperature (<sup>o</sup>F)

d. Gas

Untuk menghitung kapasitas panas gas

$$C_p = a + bT + cT^2 \quad (3.9)$$

Untuk menghitung kapasitas panas hydrocarbon gas

$$C_p = a + bT + cT^2 \text{ atau } C_p = 7,95 + UTV \quad (3.10)$$

e. Gas ideal

-Monoatomic  $C_p = 5/2 R$

-Polyatomic, linier  $C_p = (3n - 3/2)R$

-Polyatomic, non linear  $C_p = (3n - 2)R$

Contoh soal:

Menghitung kapasitas panas methane pada suhu 278 K

Penyelesaian: Untuk methane  $a = 3,381$   $b = 18,044 \times 10^{-3}$   $c = -4,3 \times 10^{-6}$

$$C_p = a + bT + cT^2$$

$$= 3,381 + 18,044 \times 10^{-3}(278) - 4,3 \times 10^{-6}(278)^2$$

$$= 8,065 \text{ Btu/lbmol } ^\circ\text{F}$$

Tabel 3.4 Harga kapasitas panas gas inorganic pada keadaan ideal

$C_p = a + bT + cT^2$  dimana  $T$  dalam (K) dan  $C_p$  dalam Btu/(lbmol)(<sup>o</sup>F) atau kal/(gmol)(<sup>o</sup>C)

Compound	Formula	Temperature range (K)	$a$	$b \times 10^3$	$c \times 10^{-5}$
Ammonia	NH <sub>3</sub>	298-1800	7.11	6.00	-0.37
Bromine	Br <sub>2</sub>	298-3000	8.92	0.12	-0.30
Carbon monoxide	CO	298-2500	6.79	0.98	-0.11
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	298-2500	10.57	2.10	-2.06
Carbon disulfide	CS <sub>2</sub>	298-1800	12.45	1.60	-1.80
Chlorine	Cl <sub>2</sub>	298-3000	8.85	0.16	-0.68
Hydrogen	H <sub>2</sub>	298-3000	6.52	0.78	+0.12
Hydrogen sulfide	H <sub>2</sub> S	298-2300	7.81	2.95	-0.46
Hydrogen chloride	HCl	298-2000	6.27	1.24	+0.30
Hydrogen cyanide	HCN	298-2500	9.41	2.70	-1.44
Nitrogen	N <sub>2</sub>	298-3000	6.83	0.90	-0.12
Nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	298-2000	10.92	2.06	-2.04
Nitric oxide	NO	298-2500	7.03	0.92	-0.14
Nitrogen dioxide	NO <sub>2</sub>	298-2000	10.07	2.28	-1.67
Nitrogen tetroxide	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	298-1000	20.05	9.50	-3.56
Oxygen	O <sub>2</sub>	298-3000	7.16	1.00	-0.40
Sulfur dioxide	SO <sub>2</sub>	298-2000	11.04	1.88	-1.84
Sulfur trioxide	SO <sub>3</sub>	298-1500	13.90	6.10	-3.22
Water	H <sub>2</sub> O	298-2750	7.30	2.46	0.00



Tabel 3.5 Harga kapasitas panas gas organik pada keadaan ideal  
 $C_p = a + bT + cT^2$  dimana T dalam (K) dan  $C_p$  dalam Btu/(lbmol)(°F) atau kal/(gmol)(°C), T dari 298 sampai 1500K

Compound	Formula	$\alpha$	$\beta \times 10^3$	$\gamma \times 10^6$
Normal paraffins:				
Methane	CH <sub>4</sub>	3.381	18.044	-4.300
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2.247	38.201	-11.049
Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2.410	57.195	-17.533
n-Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	3.844	73.350	-22.655
n-Pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	4.895	90.113	-28.039
n-Hexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	6.011	106.746	-33.363
n-Heptane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	7.094	123.447	-38.719
n-Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	8.163	140.217	-44.127
Increment per C atom above C <sub>8</sub>		1.097	16.667	-5.338
Normal monoolefins (1-alkenes):				
Ethylene	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2.830	28.601	-8.726
Propylene	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	3.253	45.116	-13.740
1-Butene	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	3.909	62.848	-19.617
1-Pentene	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	5.347	78.990	-24.733
1-Hexene	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	6.399	95.752	-30.116
1-Heptene	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	7.488	112.440	-35.462
1-Octene	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	8.592	129.076	-40.775
Increment per C atom above C <sub>8</sub>		1.097	16.667	-5.338
Miscellaneous materials:				
Acetaldehyde†	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	3.364	35.722	-12.236
Acetylene	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	7.331	12.622	-3.889
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	-0.409	77.621	-26.429
1,3-Butadiene	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	5.432	53.224	-17.649
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	-7.701	125.675	-41.584
Ethanol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	6.990	39.741	-11.926
Methanol	CH <sub>4</sub> O	4.394	24.274	-6.855
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0.576	93.493	-31.227

### 3.2.2 Entalpi

Menurut Termodinamika:

$$H = U + pV \quad (3.11)$$

pV mempunyai satuan energy, tapi bukan merupakan energy yang sebenarnya.

Perubahan entalpi dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta H = H_2 - H_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad (3.12)$$

$C_p$  adalah kapasitas panas pada tekanan konstan

Perubahan entalpi tanpa perubahan fasa

$$\int_{H_1}^{H_2} dH = \Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad (3.13)$$

Jika  $C_p = a + bT + cT^2$

Maka  $\Delta H$  sebagai berikut:

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} (a + bT + cT^2) dT \quad (3.14)$$

$$= a(T_2 - T_1) + b/2(T_2^2 - T_1^2) + c/3(T_2^3 - T_1^3) \quad (3.15)$$

Jika pada Cp rata-rata (Cpm), maka menghitung Cpm lebih dahulu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_{pm} &= \frac{\int_{T_1}^{T_2} C_p dT}{\int_{T_1}^{T_2} dT} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} (a + bT + cT^2) dT}{T_2 - T_1} \\ &= \frac{a(T_2 - T_1) + \frac{b}{2}(T_2^2 - T_1^2) + \frac{c}{3}(T_2^3 - T_1^3)}{T_2 - T_1} \end{aligned}$$

Baru menghitung  $\Delta H$  sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta H &= C_{pm} \Delta T \\ &= C_{pm} (T_2 - T_1) \end{aligned} \quad (3.15)$$

### 3.2.3 Panas Pembentukan

Suatu zat pada berbagai suhu dikatakan dalam keadaan standart, bila aktivitasnya sama dengan satu. Aktivitas dengan symbol  $a$  diaanggap sebagai koreksi tekanan atau konsentrasi secara termodinamik. Untuk zat-zat padat murni, cairan dan gas-gas ideal, kondisi standar yang sesuai untuk zat-zat tersebut adalah 1 atm tekanannya. Untuk gas-gas nyata keadaan standar tidak sama dengan 1 atm. Entalpi zat-zat dalam keadaan standar ditunjukkan dengan symbol  $H^\circ$ , sedang  $\Delta H$  reaksi dimana semua reaktan dan produk pada aktivitas = 1 ditunjukkan dengan symbol  $\Delta H^\circ$ .

Perubahan panas yang menyertai dalam pembentukan 1 mole suatu zat dari unsur-unsur disebut panas pembentukan zat. Panas pembentkan standar adalah panas pembentukan bila semua zat yang terlibat dalam reaksi masing-masing aktivitasnya 1. Maka persamaan termokimianya:



Untuk harga  $\Delta H_{25}$  diperoleh dari tabel.  $\Delta H^\circ$  pada persamaan (3.16) berdasarkan definisi diperoleh:

$$\Delta H_{25}^\circ = -17889 = \Delta H^\circ CH_4(g) - [\Delta H^\circ C(s) + 2 \Delta H^\circ H_2(g)]$$

Dimana  $\Delta H^\circ$  adalah entalpi standar per mole, dengan entalpi unsur-unsur pada keadaan standar pada 25°C adalah nol.



Tabel 3.6 Panas pembentukan dan pembakaran standar pada 25°C dalam kal/gmole.

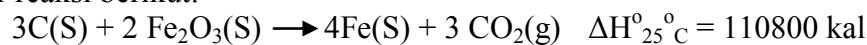
Substance	Formula	State	$\Delta H_f^{\circ}_{298}$	$-\Delta H_c^{\circ}_{298}$
<b>Normal paraffins:</b>				
Methane .....	CH <sub>4</sub>	<i>g</i>	-17,889	212,800
Ethane .....	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	<i>g</i>	-20,236	372,820
Propane .....	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	<i>g</i>	-74,820	530,500
<i>n</i> -Butane .....	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	<i>g</i>	-30,150	687,640
<i>n</i> -Pentane .....	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	<i>g</i>	-35,000	845,160
<i>n</i> -Hexane .....	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	<i>g</i>	-39,960	1,002,570
Increment per C atom above C <sub>6</sub> .....		<i>g</i>	-4,925	157,440
<b>Normal monoolefins (1-alkenes):</b>				
Ethylene .....	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	<i>g</i>	12,496	337,150
Propylene .....	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	<i>g</i>	4,879	491,990
1-Butene .....	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	<i>g</i>	-30	649,380
1-Pentene .....	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	<i>g</i>	-5,000	806,700
1-Hexene .....	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	<i>g</i>	-9,960	964,240
Increment per C atom above C <sub>6</sub> .....		<i>g</i>	-4,925	157,440
<b>Miscellaneous organic compounds:</b>				
Acetaldehyde .....	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	<i>g</i>	-39,760	
Acetic acid .....	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	<i>l</i>	-116,400	
Acetylene .....	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	<i>g</i>	54,194	310,620
Benzene .....	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	<i>g</i>	19,820	789,080
Benzene .....	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	<i>l</i>	11,720	780,980
1,3-Butadiene .....	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	<i>g</i>	26,330	607,490
Cyclohexane .....	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	<i>g</i>	-29,430	944,770
Cyclohexane .....	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	<i>l</i>	-37,340	936,860
Ethanol .....	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	<i>g</i>	-56,030	
Ethanol .....	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	<i>l</i>	-66,200	
Ethylbenzene .....	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	<i>g</i>	7,120	1,101,130
Ethylene glycol .....	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	<i>l</i>	-108,580	
Ethylene oxide .....	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	<i>g</i>	-12,190	
Methanol .....	CH <sub>4</sub> O	<i>g</i>	-48,050	
Methanol .....	CH <sub>4</sub> O	<i>l</i>	-57,110	
Methylcyclohexane .....	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	<i>g</i>	-36,990	1,099,580
Methylcyclohexane .....	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	<i>l</i>	-45,450	1,091,130
Styrene .....	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	<i>g</i>	35,220	1,060,900
Toluene .....	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	<i>g</i>	11,950	943,580
Toluene .....	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	<i>l</i>	2,870	934,500
<b>Miscellaneous inorganic compounds:</b>				
Ammonia .....	NH <sub>3</sub>	<i>g</i>	-11,040	
Calcium carbide .....	CaC <sub>2</sub>	<i>s</i>	-15,000	
Calcium carbonate .....	CaCO <sub>3</sub>	<i>s</i>	-288,450	
Calcium chloride .....	CaCl <sub>2</sub>	<i>s</i>	-190,090	
Calcium chloride .....	CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	<i>s</i>	-623,150	
Calcium hydroxide .....	Ca(OH) <sub>2</sub>	<i>s</i>	-235,800	
Calcium oxide .....	CaO	<i>s</i>	-151,900	
Carbon .....	C	Graphite		94,051

Lanjutan tabel 3.6

Substance	Formula	State	$\Delta H_{f,298}^{\circ}$	$-\Delta H_{c,298}^{\circ}$
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	g	-94,051	
Carbon monoxide	CO	g	-26,416	67,636
Hydrochloric acid	HCl	g	-22,778	
Hydrogen	H <sub>2</sub>	g	.....	68,317
Hydrogen sulfide	H <sub>2</sub> S	g	-4,815	
Iron oxide	FeO	s	-64,300	
Iron oxide	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	s	-267,000	
Iron oxide	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	s	-196,500	
Iron sulfide	FeS <sub>2</sub>	s	-42,520	
Lithium chloride	LiCl	s	-97,700	
Lithium chloride	LiCl·H <sub>2</sub> O	s	-170,310	
Lithium chloride	LiCl·2H <sub>2</sub> O	s	-242,100	
Lithium chloride	LiCl·3H <sub>2</sub> O	s	-313,500	
Nitric acid	HNO <sub>3</sub>	l	-41,404	
Nitrogen oxides	NO	g	21,570	
	NO <sub>2</sub>	g	7,930	
	N <sub>2</sub> O	g	19,513	
	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	g	2,190	
Sodium carbonate	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	s	-270,300	
Sodium carbonate	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	s	-975,600	
Sodium chloride	NaCl	s	-98,232	
Sodium hydroxide	NaOH	s	-101,990	
Sulfur dioxide	SO <sub>2</sub>	g	-70,950	
Sulfur trioxide	SO <sub>3</sub>	g	-94,450	
Sulfur trioxide	SO <sub>3</sub>	l	-104,800	
Sulfuric acid	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	l	-193,910	
Water	H <sub>2</sub> O	g	-57,798	
Water	H <sub>2</sub> O	l	-68,317	

Contoh soal:

Bagaimana untuk mendapatkan panas pembentukan standar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan menggunakan reaksi-reaksi berikut:



Dengan entalpi unsur-unsur sama dengan nol.

Penyelesaian:

$$\Delta H^{\circ} = 110800 = 3 \Delta H^{\circ}\text{CO}_2 - 2 \Delta H^{\circ}\text{Fe}_2\text{O}_3$$

$$\Delta H^{\circ} \text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{3 \Delta H^{\circ} \text{CO}_2 - \Delta H^{\circ}}{2}$$

$$= \frac{3(-94050) - 110800}{2} = -196500 \text{ kal/gmole Fe}_2\text{O}_3$$

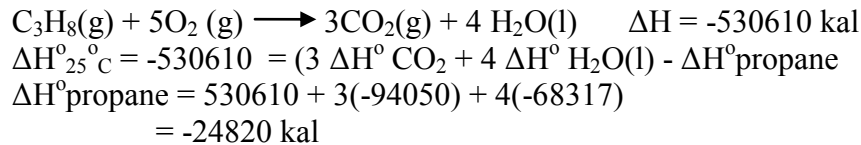
### 3.2.4 Panas Pembakaran

Panas pembakaran adalah jumlah panas yang dibebaskan permole zat yang dibakar. Panas pembakaran digunakan secara langsung untuk menghitung panas pembentukan persenyawaan organik. Jika persenyawaan organik hanya mengandung unsure-unsur C, H, dan O, maka keterangan yang diperlukan adalah panas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O(l).

Contoh soal:

Bagaimana cara menghitung panas pembakaran gas propane?

Penyelesaian:



### 3.3 Persamaan Neraca Energi

Persamaan neraca energy secara umum adalah:

$$m_2(U + K + P)_2 - m_1(U + K + P)_1 = (U_1 + K_1 + P_1)m_1 - (U_2 + K_2 + P_2)m_2 + Q - W + P_1V_1m_1 - P_2V_2m_2 \quad (3.17)$$

Atau

$$\begin{aligned} \sum m_1 U_1 + \sum m_1 P_1 V_1 + \frac{\sum m_1 V_1^2}{2g_c} + \sum m_1 Z_1 \frac{g_L}{g_c} + Q = \sum m_2 U_2 + \sum m_2 P_2 V_2 + \frac{\sum m_2 V_2^2}{2g_c} + \sum m_2 Z_2 \frac{g_L}{g_c} \\ + W + \Delta E \end{aligned} \quad (3.18)$$

Untuk proses industry digunakan asumsi-asumsi sebagai berikut:

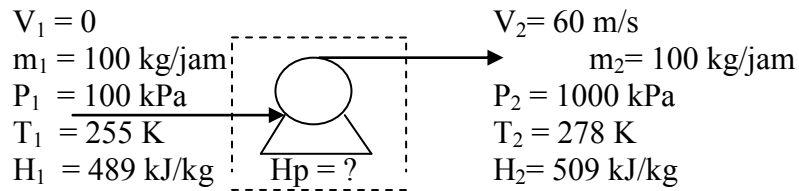
- Proses tidak mengalami akumulasi,  $\Delta E = 0$
- Proses batch tanpa transfer massa ( $m_1 = m_2 = 0$ ),  $\Delta E = Q - W$
- Proses batch tanpa transfer massa dan akumulasi  $\Delta E = 0$ ,  $Q = W$
- Proses alir, tanpa akumulasi  $Q - W = \Delta(H + K + P)m$
- Proses alir, tanpa akumulasi ( $\Delta E = 0$ ) dan tanpa transfer massa ( $m_1 = m_2 = 0$ ),  $Q = W$

### 3.4 Neraca Energi Secara Umum

Neraca energy secara umum adalah neraca energy tanpa reaksi kimia dan tidak ada perubahan fasa dan perhitungannya didasarkan pada persamaan neraca energy secara umum.

Contoh soal:

Udara ditekan dengan kompresor dari 100 kPa, 255K (H= 489 kJ/kg) hingga tekanan 1000 kPa, 278K (H = 509kJ/kg). Tentukan daya kompresor yang dibutuhkan jika kecepatan udara keluar kompresor 60 m/dt dan udara yang ditekan 100 kg/jam.



$$\begin{aligned}
 & \text{Hp} = W = \text{usaha (kerja kompresor)} & m_1 = m_2 & \Delta E = 0 \\
 & Q = 0 & \Delta V = 0 & \Delta mZ = 0
 \end{aligned}$$

Neraca Energi:

$$\sum m_1 P_1 V_1 = \sum m_2 P_2 V_2 + W + \frac{\sum m_2 V_2^2}{2g_c}$$

Atau

Neraca Energi menjadi:

$$\Delta mPV = W + K \tag{1}$$

Persamaan Entalpi:

$$\Delta H = \Delta(U + mPV) \longrightarrow \Delta U = 0 \longrightarrow \Delta H = \Delta mPV \tag{2}$$

Substitusi 1 dan 2

$$\Delta H = W + K \longrightarrow -W = -\Delta H + K$$

$$\Delta H = 509 \text{ kJ/kg} - 489 \text{ kJ/kg} = 20 \text{ kJ/kg}$$

$$K = \frac{\Delta v^2}{2} = \frac{1}{2} (60 \text{ m/s})^2 \times \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ kg m}^2 / \text{s}^2} = 1800 \text{ kJ/kg} = 1,8 \text{ kJ/kg}$$

$$-W = -\Delta H + K = [-(20) + 1,8] \text{ kJ/kg}$$

$$W = 18,2 \text{ kJ/kg}$$

### 3.5 Neraca Energi Dengan Perubahan Fasa dan Panas Proses

#### 3.5.1 Neraca Energi dengan Reaksi Kimia

Semua reaksi kimia selalu disertai pengeluaran atau penguapan energy berupa panas. Untuk reaksi kontinyu, jika tenaga mekanik, kinetic dan potensial dapat diabaikan, maka panas, maka panas yang ditambahkan dengan perubahan entalpi system.

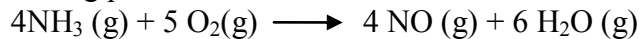
$$q = \Delta H \tag{3.18}$$

Untuk reaksi bukan kontinyu pada P tetap, energy yang ditambahkan sama dengan kenaikan entalpi, demikian juga pada kondisi V tetap:

$$q = \Delta H \tag{3.19}$$

Contoh soal:

Hitung panas reaksi 1 mol NH<sub>3</sub>



Penyelesaian:

$$\Delta H^\circ \text{ reaksi} = [4(21,6) + 6(-57,8)] - [(5 \times 0) + 4(-11,04)]$$

$$= -216,24 \text{ kkal/4 mol}$$

$$\Delta H^\circ \text{ reaksi} = -54 \text{ kkal/mol NH}_3$$

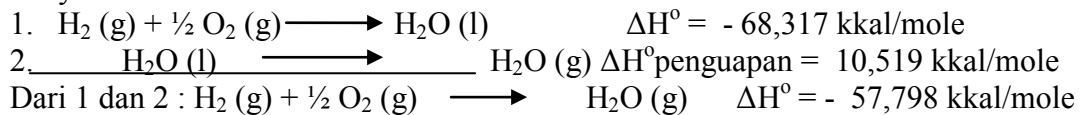
### 3.5.2 Neraca Energi disertai Perubahan Fasa

Disini terjadi panas pembentukan yang disertai perubahan fasa.

Contoh soal:

Hitung panas pembentukan standar  $H_2O(g)$ ? jika diketahui panas pembentukan  $H_2O_{\text{cair}} = -68,317 \text{ kkal/mole}$  dan panas penguapan ( $25^\circ\text{C}$ ,  $1 \text{ atm}$ ) =  $10,519 \text{ kkal/mol}$

Penyelesaian:



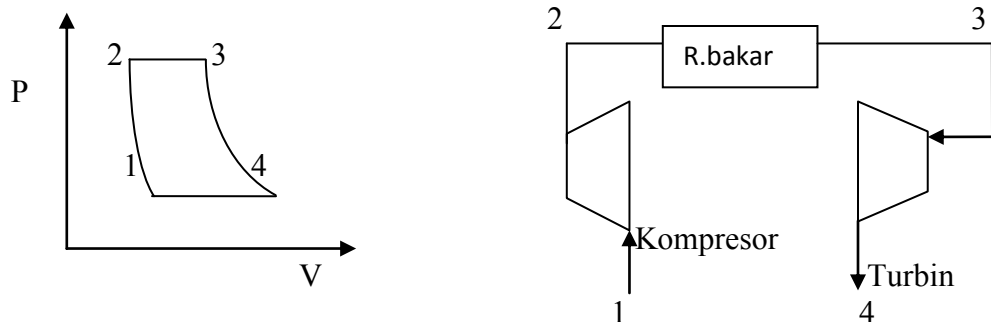
### 3.6 NERACA ENERGI MEKANIK

Adalah neraca energy pada peralatan mekanik yang perhitungannya didasarkan pada persamaan termodinamik dan persamaan neraca energy.

Contoh soal:

Diketahui turbin gas dengan  $P_{23} : P_{14} = 5 : 1$  , sedang temperature =  $20^\circ\text{C}$  hingga  $675^\circ\text{C}$ , tentukan efisiensi thermal dan laju alir udara yang diperlukan!  $\gamma = 1,2$  output =  $350 \text{ kW}$   $C_p = 1,01 \text{ kJ/kg K}$

Penyelesaian:



Proses 1-2 Isentropis

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma \quad (1)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} \quad (2)$$

Dari 1 dan 2:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2}{P_1} \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{1/\gamma}$$

$$= \frac{P_2}{P_1} \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{1/\gamma} = P_2^{1-1/\gamma} \times P_1^{1/\gamma-1}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \left( \frac{5}{1} \right)^{\frac{1,2-1}{1,2}} = 1,3077$$

$T_2 = 1,3077 \times T_1 = 1,3077 (20 + 273)K = 383,2 K$   
 Dengan cara yang sama Proses 3-4 Isentropis

$$\frac{T_3}{T_4} = \left( \frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \left( \frac{5}{1} \right)^{\frac{1,2-1}{1,2}} = 1,3077$$

$$T_4 = \frac{T_3}{1,3077} = \frac{675+273}{1,3077} = 724,9K$$

Basis: 1 kg udara

$$\Delta H_1 = C_p (T_3 - T_2)$$

$$= 1,01 kJ/(kg K) (948 - 383,2)K$$

$$= 570,5 kJ/kg$$

$$\Delta H_2 = C_p (T_4 - T_1)$$

$$= 1,01 kJ/(kg K) (724,9 - 293) K$$

$$= 436,2 kJ/kg$$

Neraca Energi

$$\Delta U = 0 \quad K = 0 \quad P = 0 \quad \longrightarrow \quad Q = W$$

Gesekan  $\Delta F = 0$

$$Q = \Delta(H_1 - H_2) = (570,5 - 436,2) kJ/kg = 134,3 kJ/kg$$

$$\text{Efisiensi siklus} = \frac{\text{energi yang terpakai}}{\text{energi yang masuk}} \times 100\%$$

$$= \frac{134,3}{570,5} \times 100\% = 23,5 \%$$

Diketahui output 350 kW = 350 kJ/s = 21000 kJ/menit

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran udara} &= \frac{\text{energi yang dibutuhkan}}{\text{energi yang terpakai}} \\ &= \frac{21000 \text{ kJ/menit}}{134,3 \text{ kJ/kg}} = 156,36 \text{ kg/menit} \end{aligned}$$

### 3.7 Neraca Energi dengan Fluida Steam

Didalam proses produksi steam mungkin sebagian terkondensasi sehingga terdapat fraksi air dan uap. Besarnya fraksi uap dalam campuran tersebut biasa disebut sebagai "kualitas steam". Jika fraksi uap didalam steam =  $x$ , maka:

- $x = 0$   $\longrightarrow$  berarti campuran berupa air jenuh pada suhu yang sama dengan titik didihnya.
- $x = 1$   $\longrightarrow$  berarti campuran berupa uap jenuh pada suhu yang sama dengan titik didihnya dengan tekanan yang sesuai
- $0 < x < 1$   $\rightarrow$  berarti campuran berupa uap dan air yang biasa disebut "wet steam".

Untuk menghitung entalpi dan volume "wet steam" menggunakan persamaan sebagai berikut:

- Entalpi spesifik  

$$H_{\text{campuran}} = (H_v)(x) + H_L (1 - x) \quad (3.20)$$

- Volume spesifik  

$$V_{\text{campuran}} = (V_v)(x) + V_L (1 - x) \quad (3.21)$$

$H_v$ ,  $H_L$ ,  $V_v$  dan  $V_L$  diperoleh dari tabel steam.

Tabel steam terdiri dari 2 macam, yakni:

- Tabel steam jenuh (Saturated Steam Table)
- Tabel steam lewat jenuh (Superheated Steam Table)

Contoh soal:

Suatu bejana bertekanan dengan volume =  $0,3 \text{ m}^3$  berisi  $10 \text{ kg}$  air bertekanan  $60 \text{ bar}$ . Hitung kualitas steam jenuh dan entalpi spesifik ! Dari tabel didapat:

Pada  $P = 60 \text{ bar}$   $\longrightarrow$   $V_L \text{ jenuh} = 0,001319 \text{ m}^3 / \text{kg}$   
 $V_v \text{ jenuh} = 0,0324 \text{ m}^3 / \text{kg}$

- Kualitas steam berada diantara kedua nilai tersebut, jadi:

$$\begin{aligned} V_{\text{campuran}} &= V_v (x) + V_L (1 - x) \\ 0,03 &= 0,0324 (x) + 0,001319 (1 - x) \\ x &= 0,923 \end{aligned}$$

- Entalpi spesifik

Pada  $P = 60 \text{ bar}$   $\longrightarrow$   $H_v \text{ jenuh} = 2784,3 \text{ kJ/kg}$   
 $H_L \text{ jenuh} = 1213,35 \text{ kJ/kg}$   

$$\begin{aligned} H_{\text{campuran}} &= (H_v)(x) + H_L (1 - x) \\ &= 2784,3 (0,923) + 1213,35 (1 - 0,923) \\ &= 2663,32 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Contoh soal:

Satu kg steam pada  $T = 99,63^\circ\text{C}$  dan tekanan 1 bar dalam bejana bertekanan. Berapa energy yang diperlukan untuk menaikkan temperature steam dalam bejana tekanan 5 bar sampai  $T = 300^\circ\text{C}$  dan berapa tekanan akhir?

Penyelesaian:

Persamaan neraca energy:

$$\Delta E = Q - W \quad W \stackrel{0}{=} 0 \quad \text{karena tidak ada kerja}$$

Jadi  $\Delta E = Q$

$$\begin{array}{ll} \text{Pada 1 bar dan } 99,63^\circ\text{C} & \longrightarrow V_{99,63} = 1,694 \text{ m}^3/\text{kg} \\ \text{Volume bejana konstan} & \longrightarrow V_{300} = 2,64 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ (steam lewat jenuh)} \end{array}$$

Dari tabel steam:

$$P = 5 \text{ bar } T = 300^\circ\text{C} \longrightarrow V = 0,5225 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ (steam lewat jenuh)}$$

Kondisi setelah pemanasan berada pada kondisi:

$$\begin{aligned} P_2 \text{ (tekanan akhir)} &= 1 \text{ bar} + (5 - 1) \text{ bar} \frac{(1,694 - 2,64) \text{ m}^3/\text{kg}}{(0,5225 - 2,64) \text{ m}^3/\text{kg}} \\ &= 2,794 \text{ bar} \end{aligned}$$

$$\text{Pada 1 bar, } 99,63^\circ\text{C} \longrightarrow H_1 = 2675,5 \text{ kJ/kg (saturated)}$$

$$\text{Pada 2,794 bar, } 300^\circ\text{C} \longrightarrow H_2 = 3069,87 \text{ kJ/kg (superheated)}$$

$$Q = m (H_2 - H_1) = m \text{ (kg)} (3069,87 - 2675,5) \text{ kJ/kg} = 394,37 \text{ m kJ}$$

Contoh soal:

Steam bertekanan absolute 143,58 psia dengan  $210^\circ\text{F}$  lewat jenuh diumpankan ke turbin laju  $m = 2000 \text{ lb/jam}$ . Turbin beroperasi secara adiabatic dan aliran keluar berupa steam jenuh pada tekanan 14,696 psia. Hitung kerja yang dihasilkan turbin dalam kilowatt!

Penyelesaian:

- Steam masuk pada 143,58 psia pada tekanan jenuh suhunya  $355^\circ\text{F}$ . T steam seluruhnya jadi  $(355 + 210)^\circ\text{F} = 565^\circ\text{F}$  (superheated) sehingga diperoleh  $H_i = 1308,26 \text{ Btu/lb}$  (dari tabel superheated)
- Steam keluar pada kondisi jenuh pada tekanan 14,695 psia diperoleh  $H_o = 1150,5 \text{ Btu/lb}$  (dari tabel saturated)

$$\text{Jadi } W_s = m \Delta H = m (H_i - H_o)$$

$$= 2000 \text{ lb/jam} (1308,26 - 1150,5) \text{ Btu/lb} = 315520 \text{ Btu/jam} = 92,47 \text{ kWh}$$

### 3.8 Neraca Energi pada Reaktor

Didalam reactor akan dibahas mengenai temperature nyala adiabatic dan pengaruh temperature pada panas reaksi.



### 3.8.1 Temperatur Nyala Adiabatik

Pada proses pembakaran suatu bahan bakar akan dihasilkan energy, yang diterima oleh dinding reactor berupa panas dan untuk menaikkan produk reaksi semakin kecil panas yang diserap dinding reactor, semakin tinggi temperature produk. Temperature tertinggi dapat dicapai jika kondisi reactor adiabatic yang biasa disebut temperature nyala adiabatic. Persamaan neraca energy reactor adiabatic adalah:

$$\Delta H = n_c H_c + \sum_{\text{keluar}} n_o H_o T_{\text{ad}} - \sum_{\text{masuk}} n_i H_i T_{\text{masuk}} = 0$$

atau

$$\sum_{\text{keluar}} n_o H_o T_{\text{ad}} + n_c H_c = \sum_{\text{masuk}} n_i H_i T_{\text{masuk}} \quad (3.22)$$

Dimana:

$\Delta H^\circ_c$  = panas pembakaran bahan bakar pada 25°C, kJ/kg

$n_i, n_o$  = jumlah mol komponen ke-I, o pada zat masuk atau keluar

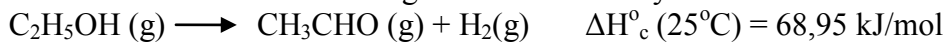
$H_i, H_o$  = entalpi spesifik komponen ke-i, o, kJ/kg

$T_{\text{ad}}$  = temperature adiabatic, °C

$T_{\text{masuk}}$  = temperature masuk, °C

Contoh soal:

Etanol didehidrasi menghasilkan acetaldehyde menurut reaksi berikut:



Diproses didalam reactor adiabatic. Ethanol masuk ke reactor dalam bentuk uap pada temperature 300°C. Didalam reactor terjadi konversi sebesar 30%. Hitung T nyala adiabatic!

Penyelesaian:

Dari tabel kapasitas panas diperoleh:

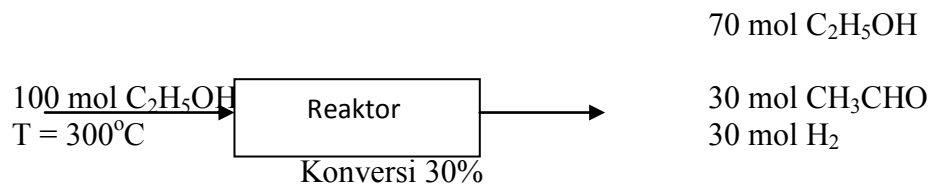
$$C_p \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} (\text{g}) = 0,110 \text{ kJ/mol}^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ CH}_3\text{CHO} (\text{g}) = 0,08 \text{ kJ/mol}^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ H}_2 (\text{g}) = 0,02 \text{ kJ/mol}^\circ\text{C}$$

Basis : 100 mol bahan masuk

Diagram proses:



Menghitung entalpi masuk:

$$H_i = \int_{25}^{300} C_p \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} dT$$

$$= (0,110 \text{ kJ/mol}^\circ\text{C})(300 - 25)^\circ\text{C}$$

$$= 30,25 \text{ kJ/mol}$$

$$\sum n_i H_i = 100 \text{ mol} \times 30,25 \text{ kJ/mol} = 3025 \text{ kJ}$$

Reaksi pada 25°C:

$$\sum n_c H_c = \frac{68,95 \text{ kJ}}{1 \text{ mol CH}_3 \text{ CHO yang terbentuk}} \times 30 \text{ mol CH}_3\text{CHO}$$

$$= 2069 \text{ kJ}$$

Misal  $T_{nyala\ adiabatic} = T$

Menghitung entalpi keluar:

$$\begin{array}{rcl}
 H^\circ & = \int_{25}^T C_p dT & = C_p (T-25) \\
 H^\circ C_2H_5OH & & = 0,110 (T-25) \text{ kJ/mol} \\
 H^\circ CH_3CHO & & = 0,080 (T-25) \text{ kJ/mol} \\
 H^\circ H_2 & & = 0,020 (T-25) \text{ kJ/mol} \\
 \hline
 \sum n_o \Delta H_{T_{ad}} & = [70(0,110) + 30(0,08) + 30(0,02)](T-25) & \\
 & = (11 T - 274) \text{ kJ} & 
 \end{array}$$

Persamaan neraca energy reactor adiabatic

$$\Delta H = n_c H_c + \sum_{keluar} n_o H_o T_{ad} - \sum_{masuk} n_i H_i T_{masuk} = 0$$

$$\Delta H = [2069 + (11T - 274) - 3025] \text{ kJ} = 0$$

$$\Delta H = (11 T - 274) \text{ kJ} = 3025 - 2069$$

Proses adiabatic tidak ada panas yang hilang

$$Q = \Delta H = (11 T - 274) \text{ kJ} = 956$$

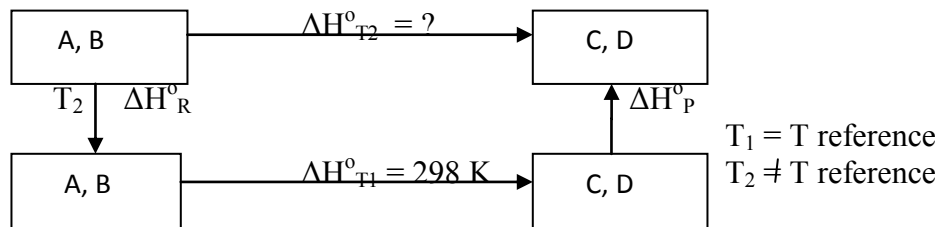
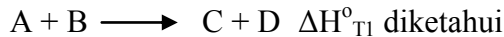
$$11 T = 956 + 274$$

$$T = 112^\circ\text{C}$$

Jadi  $T_{nyala\ adiabatic} = 112^\circ\text{C}$

### 3.8.2 Pengaruh Temperatur pada Panas Reaksi

Reaksi pada umumnya terjadi pada suhu tinggi dan tidak pada suhu  $25^\circ\text{C}$ . Untuk dapat menghitung pengaruh suhu pada panas reaksi, perlu ditentukan lebih dahulu suhu tertentu sebagai reference. Sedangkan panas reaksi pada suhu  $25^\circ\text{C}$ , 1 atm diketahui. Kemudian menghitung perubahan entalpi dari aliran masuk dan aliran keluar terhadap keadaan reference. Panas reaksi adalah jumlah perubahan entalpi yang terjadi pada reaksi sebagai berikut:



Gambar 3.4 Skema panas reaksi

$$\Delta H^\circ_{T_2} = \Delta H^\circ_R + \Delta H^\circ_{T_1} + \Delta H^\circ_P \quad (3.23)$$

$$\text{Dengan } \Delta H^\circ_R = \int_{T_1}^{T_2} (C_{p_A} + C_{p_B}) dT$$

$$\Delta H^\circ_P = \int_{T_1}^{T_2} (C_{p_C} + C_{p_D}) dT$$

$$\text{Jadi } \Delta H^\circ_{T_2} = \Delta H^\circ_{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} (C_{p_C} + C_{p_D} - C_{p_A} - C_{p_B}) dT \quad (3.24)$$

Catatan:

- $\Delta H^\circ \text{ reaksi} = \Delta H^\circ \text{ produk} - \Delta H^\circ \text{ reaktan}$

$$b. C_p = a + bT + cT^2$$

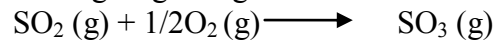
Contoh soal:

SO<sub>2</sub> (g) dan O<sub>2</sub> (g) diumpankan ke reactor pada suhu 300°C dan stokiometris. Suhu reactor = 300°C, 1 atm. Produk reaksi SO<sub>3</sub> (g) bersuhu 300°C dan C<sub>p</sub> = a + bT + cT<sup>2</sup> pada suhu 300 K < T < 1500K.

Diketahui data C<sub>p</sub> sebagai berikut:

C <sub>p</sub>	a	b x 10 <sup>3</sup>	c x 10 <sup>6</sup>
SO <sub>2</sub>	6,945	10,01	-3,794
SO <sub>3</sub>	7,454	19,13	-6,628
O <sub>2</sub>	6,117	3,167	-1,005

Reaksi berlangsung sebagai berikut:



$$\Delta H_{f,298K}^{\circ}(SO_2) = -70,96 \text{ kkal/mol}$$

$$\Delta H_{f,298K}^{\circ}(SO_3) = -94,45 \text{ kkal/mol}$$

Hitung: a. Panas reaksi pada suhu 25°C

b. Panas reaksi pada suhu 300°C

Penyelesaian:

Basis 1 mol SO<sub>2</sub> umpan

Neraca massa

Senyawa	Masuk	Keluar
SO <sub>2</sub>	1	0
SO <sub>3</sub>	0,5	0
O <sub>2</sub>	0	1

Pada T = 25°C

$$\Delta H_{f,298K}^{\circ} = \Delta H_{f,298K}^{\circ} SO_3(g) - \Delta H_{f,298K}^{\circ} SO_2(g)$$

$$= [-94,45 - (-74,96)] \text{ kkal/mol}$$

$$= -23,49 \text{ kkal/mol} = -98,28 \text{ kJ}$$

Pada T = 300°C = 573K

$$\Delta H_R^{\circ} = m \left[ \int_{573}^{298} C_{p_{SO_2}} dT + \int_{573}^{298} C_{p_{O_2}} dT \right]$$

$$= 1 \left\{ \int_{573}^{298} [6,945 + 10,01 \times 10^{-3} T - 3,794 \times 10^{-6} T^2] dT \right\} + 0,5$$

$$\left\{ \int_{573}^{298} [6,117 + 3,167 \times 10^{-3} T - 1,005 \times 10^{-6} T^2] dT \right\}$$

$$= \int_{573}^{298} [10,004 + 1,159 \times 10^{-3} T - 4,2965 \times 10^{-6} T^2] dT$$

$$= 10,004(298 - 573) + \frac{1,159 \times 10^{-3}}{2} (298^2 - 573^2) - \frac{4,2965 \times 10^{-6}}{3} (298^3 - 573^3)$$

$$= -3908 \text{ kal} = -16,35 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_P^{\circ} = n \int_{298}^{573} C_{p_{SO_3}} dT$$

$$\begin{aligned}
&= 1 \int_{298}^{573} [7,454 + 1,913 \times 10^{-3} T - 6,628 \times 10^{-6} T^2] dT \\
&= 7,454(573 - 298) + \frac{1,913 \times 10^{-3}}{2} (573^2 - 298^2) - \frac{6,628 \times 10^{-6}}{3} (573^3 - 298^3) \\
&= 3984 \text{ kal} = 16,67 \text{ kJ}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Jadi } \Delta H_{573\text{K}}^{\circ} &= \Delta H_{298\text{K}}^{\circ} + \Delta H_{\text{P}}^{\circ} - \Delta H_{\text{R}}^{\circ} \\
&= (-98,28 + 16,67 + 16,35) \text{ kJ} = -65,26 \text{ kJ}
\end{aligned}$$

Contoh soal:

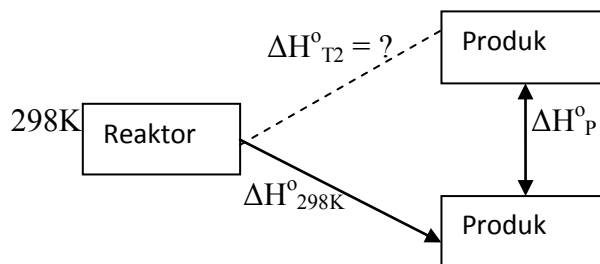
CO (g) dan O<sub>2</sub> (g) diumpankan pada suhu 298K ke reaktor bersuhu 800K, 1 atm dalam perbandingan stokiometri, menghasilkan CO<sub>2</sub> (g) pada pembakaran sempurna. CO<sub>2</sub> keluar pada suhu 80K. Diketahui data sebagai berikut:

$$\Delta H_{298\text{K}}^{\circ} = -283 \text{ kJ/mol dan } C_p \text{ CO}_2 = 6,339 + 0,01014 T - 3,415 \times 10^{-6} T^2 \text{ (kal/mol K)}$$

Hitung panas reaksinya!

Penyelesaian:

Zat masuk pada suhu 298K kedalam reaktor bersuhu 800K berarti ada perbedaan temperature sehingga skema prosesnya sebagai berikut:



Basis: 1 mol CO

Neraca Massa:

Zat	Masuk	Keluar
CO	1	0
O <sub>2</sub>	0,5	0
CO <sub>2</sub>	0	1

Dari skema proses:

$$\begin{aligned}
\Delta H_{T2}^{\circ} = Q &= \Delta H_{298\text{K}}^{\circ} + \Delta H_{\text{P}}^{\circ} \\
&= -283 + \int_{298}^{800} n C_p dT \\
&= -283 + \int_{298}^{800} 1 [6,339 + 0,01014 T - 3,415 \times 10^{-6} T^2] dT \\
&= -283 + \left[ 6,339 T + \frac{0,01014}{2} T^2 - \frac{3,415 \times 10^{-6}}{3} T^3 \right]_{298}^{800} \\
&= -283 + [6,339(800 - 298) + \frac{0,01014}{2} (800^2 - 298^2) - \frac{3,415 \times 10^{-6}}{3} (800^3 - 298^3)]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= -283 \text{ kJ/mol} + [3,182 + 2794 - 553] \text{ kal/mol} \\
&= -283 \text{ kJ/mol} + 5423 \frac{\text{kal}}{\text{mol}} \times \frac{1}{298} \times \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \\
&= -275,3 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Contoh soal:

CO pada suhu 100°C dicampur dengan udara eksek 100% dengan suhu 200°C dibakar pada tekanan 1 atm. Pembakaran dianggap sempurna. Berapa entalpi pada T produk 800 K, 1100K, 1400K, 1800K, 2100K?

Diketahui data:

$$\Delta H_{298K}^{\circ} = -283 \text{ kJ/mol}$$

Dan data Cp sebagai berikut:

Zat	373K	473K	800K	1100K	1400K	1800K	2100K
CO	7						
O <sub>2</sub>		7,2	7,5	7,8	8	8,2	8,3
N <sub>2</sub>		7	7,2	7,4	7,6	7,8	7,9
CO <sub>2</sub>			10,9	11,6	12,1	12,2	13

Penyelesaian:

Basis: 1 mol CO<sub>2</sub>

Reaksi:  $\text{CO} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$

Neraca Massa:

Zat	Masuk	Keluar
CO	1	0
O <sub>2</sub> bereaksi	0,5	0
O <sub>2</sub> ekses	0,5	0,5
N <sub>2</sub>	3,76	3,76
CO <sub>2</sub>	0	1

$$79/21 \times (0,5 + 0,5) = 3,76$$

$$\text{Jadi } \Delta H^{\circ} = \Delta H_{298K}^{\circ} + \Delta H_P^{\circ} + \Delta H_R^{\circ}$$

$$\Delta H_R^{\circ} = \int_{473}^{298} [nC_p dT]_{\text{O}_2, \text{N}_2} + \int_{373}^{298} [nC_p dT]_{\text{CO}}$$

$$= [(1 \times 7,2) + (3,76 \times 7)](298 - 473) + 1(7)(298 - 373)$$

$$= -6391 \text{ kal} = -26,74 \text{ kJ}$$

T produk 800K

$$\Delta H_P^{\circ} = \int_{298}^{800} [n(C_p) dT]_{\text{O}_2, \text{N}_2, \text{CO}_2}$$

$$= [(0,5 \times 7,5) + (3,76 \times 7,2) + (1 \times 10,9)](800 - 298)$$

$$= 20944 \text{ kal} = 87,63 \text{ kJ}$$

$$\text{Jadi } \Delta H^{\circ} = [-283 - (-26,74) + 87,63] \text{ kJ}$$

$$= -168,63 \text{ kJ}$$

T produk 1100K

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}_p &= \int_{298}^{1100} [n(C_p)dT]_{O_2, N_2, CO_2} \\ &= [(0,5 \times 7,8) + (3,76 \times 7,4) + (1 \times 11,6)](1100 - 298) \\ &= 32745,8 \text{ kal} = 145,38 \text{ kJ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jadi } \Delta H^{\circ} &= [-283 - 26,74 + 145,38] \text{ kJ} \\ &= -164,36 \text{ kJ}\end{aligned}$$

T produk 1400K

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}_p &= \int_{298}^{1400} [n(C_p)dT]_{O_2, N_2, CO_2} \\ &= [(0,5 \times 7,8) + (3,76 \times 7,4) + (1 \times 12,1)](1400 - 298) \\ &= 49232,95 \text{ kal} = 205,99 \text{ kJ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jadi } \Delta H^{\circ} &= [-283 - 26,74 + 205,99] \text{ kJ} \\ &= -103,75 \text{ kJ}\end{aligned}$$

T produk 1800K

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}_p &= \int_{298}^{1800} [n(C_p)dT]_{O_2, N_2, CO_2} \\ &= [(0,5 \times 8,2) + (3,76 \times 7,8) + (1 \times 12,2)](1800 - 298) \\ &= 68533 \text{ kal} = 286,75 \text{ kJ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jadi } \Delta H^{\circ} &= [-283 - 26,74 + 286,75] \text{ kJ} \\ &= -22,99 \text{ kJ}\end{aligned}$$

T produk 2100K

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}_p &= \int_{298}^{2100} [n(C_p)dT]_{O_2, N_2, CO_2} \\ &= [(0,5 \times 8,3) + (3,76 \times 7,9) + (1 \times 13)](2100 - 298) \\ &= 84430,9 \text{ kal} = 353,27 \text{ kJ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jadi } \Delta H^{\circ} &= [-283 - 26,74 + 353,27] \text{ kJ} \\ &= -43,53 \text{ kJ}\end{aligned}$$

### 3.9 Neraca Energi Dengan Net Heating Value dan Gross Heating Value

Net Heating Value (Low Calorific Value) adalah panas yang bisa dimanfaatkan sebagai hasil pembakaran, tanpa memanfaatkan panas kalor (dari pengembunan H<sub>2</sub>O) yang bisa dipergunakan dalam praktek adalah Net Heating Value (NHV).

Gross Heating Value (high Calorific Value) adalah panas yang bisa dimanfaatkan sebagai hasil pembakaran dengan memanfaatkan panas laten. Satuan Heating Value adalah:

- Satuan panas atau satuan volume untuk gas
- Satuan panas atau satuan massa untuk zat cair dan padat

Hubungan GHV dengan NHV dan entalpi pembakaran adalah:

$$\text{Entalpi pembakaran suatu senyawa} > \frac{GHV}{HCV} > \frac{NHV}{LCV}$$

Hubungan HCV dengan LCV adalah:

$$LCV (\text{NHV}) = HCV (\text{GHV}) - m_f \times h_{fg} \quad (3.25)$$

Dimana:  $m_f$  = massa air yang terkondensasi, kg  
 $h_{fg}$  = enthalpy spesifik, kJ/kg

Contoh soal:

Batu bara mempunyai komposisi sebagai berikut:

C = 71%      H<sub>2</sub> = 5,6%      N<sub>2</sub> = 1,6%  
 S = 2,7%      O<sub>2</sub> = 13%      Abu = 6,1%

Diketahui Gross Heating Value 29770 kJ/kg.

Hitung Net Heating Value ! Diketahui Panas pembentukan H<sub>2</sub>O = 2730 kJ/kg H<sub>2</sub>O

Penyelesaian: Basis 100 kg batu bara

$$\text{Air hasil pembakaran} = \frac{5,6 \times 1 \text{ mol H}_2}{2,02 \text{ kg H}_2} \times \frac{1 \text{ mol H}_2\text{O}}{1 \text{ mol H}_2} \times \frac{18 \text{ kg H}_2\text{O}}{1 \text{ mol H}_2\text{O}}$$

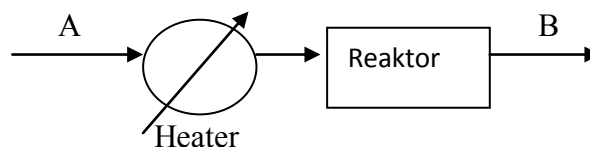
$$= 50 \text{ kg H}_2\text{O}$$

$$\text{Energi untuk menguapkan air} = \frac{50 \text{ kg H}_2\text{O}}{100 \text{ kg batu bara}} \times 2730 \frac{\text{kJ}}{\text{kg H}_2\text{O}} = 1185 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Net Heating Value} = (29770 - 1185) \text{ kJ/kg} = 28585 \text{ kJ/kg}$$

### 3.10 SOAL \_ SOAL

1. Hitung panas reaksi standart yang terjadi pada reaksi 20 kg Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menjadi 12 kg Fe! Reduksi dilakukan dengan batu bara dan produksi lain yang meninggalkan reactor hanya berupa FeO (s) dan CO (g).
2. Carbon murni 5 ton dengan suhu awal 1300 °C dialiri dengan steam, hingga suhu carbon turun menjadi 1000°C. Sedangkan suhu rata-rata gas keluar generator pada 1000°C. Analisa gas yang keluar sebagai berikut:  
 CO<sub>2</sub> = 3,1%      CO = 45,35%      N<sub>2</sub> = 51,55%  
 Berapa steam yang diperlukan tadi apabila dianggap semua steam yang masuk terurai?
3. Hitung perubahan entalpi untuk benzene pada suhu 70°F antara A dan B pada system sebagai berikut:



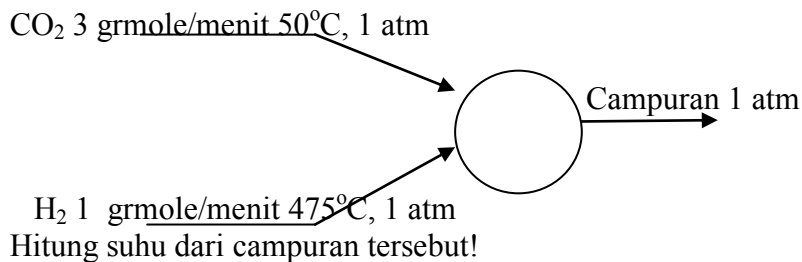
Benzene masuk pada kecepatan 60 gallon/min

Diketahui data-data sebagai berikut:

Tekanan	= 14,7 psia	PB	= 450 psia
Luas (AA)	= 0,2 ft <sup>2</sup>	AB	= 0,3 psia
Tinggi (h <sub>A</sub> )	= 0 ft	h <sub>B</sub>	= 25 ft

Kerja Pompa = 50 ft lbf/lbm      Panas Hater = 1000 Btu/min  
 Density benzene = 0,8685 gr/ml

4. Es pada suhu 32°F = 50 lb dicampur dengan uap yang bersuhu 300°F, tekanan 15 psia. Uap = 10 lb, berapa suhu akhir dari campuran tadi kalau proses adiabatic? Diketahui panas peleburan es pada 32°F = 143 Btu.
5. Suatu fuel gas mengandung 30% CH<sub>4</sub>, 30% H<sub>2</sub>, 10% CO, dan 30% N<sub>2</sub>, % dalam % Volume. Fuel gas dibakar dengan udara 20% berlebihan dalam suatu dapur. Gas-gas masuk dapur pada suhu 77°F. Gas hasil pembakaran keluar dari dapur 800°F, tekanan 760 mmHg. Berapa panas yang dibutuhkan tiap 100 lbmol fuel gas masuk?
6. Hitung perubahan entalpi 1 kgmole N<sub>2</sub> yang dipanaskan pada tekanan konstan (100 kPa) dan 18°C hingga 1100°C!
7. Batu bara mempunyai komposisi C = 71%, H<sub>2</sub> = 5,6%, N<sub>2</sub> = 1,6%, S = 2,7%, abu = 6,1%, O<sub>2</sub> = 13%. Gross Heating Value = 29770 kJ/kg. Hitung Net Heating Value, jika diketahui panas pembentukan H<sub>2</sub>O = 2370 kJ/kg!
8. Dalam bejana tegak berisi batu bara sebanyak 5 ton dengan suhu 1200°C. Dari bawah dialirkan steam dengan suhu 200°C dalam keadaan lewat jenuh. Akibatnya terjadi reaksi antara steam dengan batu bara. Hasil dari reaksi tersebut keluar dari bejana pada suhu 800°C dengan komposisi sbb.:  
 CO<sub>2</sub> = 6,5%    CO = 39,7%    H<sub>2</sub> = 53,5%  
 Analisa menunjukkan bahwa 30% dari steam yang masuk tak teruap. Tentukan banyaknya panas yang terjadi!
9. Satu ton asam sulfat dengan kadar 19,1% pada suhu 70°F akan dipekatkan menjadi 91,6% dengan menguapkannya dalam suatu koil pemanas yang memakai steam bersuhu 302°F sebagai pemanas. Penguapan dilakukan pada tekanan uap asam sulfat 9,6% yaitu pada 14 mmHg dengan suhu 150°C. Hitung panas yang dibutuhkan dan steam yang diperlukan seluruhnya!
10. Udara lembab pada temperature 60°F dan 60% relative humidity dipanaskan dengan konstan hingga 80°F. Berapa panas yang ditambahkan per ft<sup>3</sup> udara lembab mula-mula?
11. Larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 15% dengan temperature 60°F akan dipekatkan dengan jalan menambah H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 70% pada suhu 190°F. Kalau banyaknya H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 15% adalah 15 lb sedang H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 70% sebanyak 25 lb. Berapa konsentrasi dari larutan akhir dan berapa temperaturnya?
12. Gas CO<sub>2</sub> pada suhu 50°C dicampur dengan hydrogen 475°C dalam suatu zat seperti tergambar dibawah ini (asumsi tidak terjadi reaksi kimia).





Diketahui  $C_p \text{ CO} = 7,104 + 0,00675 T$

$C_p \text{ H}_2 = 6,822 + 0,000318 T$

13. Suatu analisa gas menunjukkan komposisi sebagai berikut:

$\text{CO}_2 = 9,2\%$	$\text{C}_2\text{H}_4 = 0,4\%$
$\text{CO} = 20,9\%$	$\text{H}_2 = 15,6\%$
$\text{CH}_4 = 1,9\%$	$\text{N}_2 = 52\%$

Berapa heating valuenya? Diketahui gross heating value = 15.000 Btu/lb.

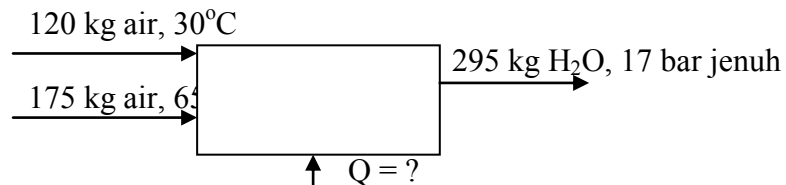
14.  $C_p$  dari udara dinyatakan sebagai berikut:

$C_p = 6,39 + 1,76 \times 10^{-3} T - 0,26 \times 10^{-6} T^2$

Hitung perubahan entalpi udara jika udara masuk pada suhu  $25^\circ\text{C}$  dan keluar pada suhu  $115^\circ\text{C}$ !

15. Karbon monoksida dibakar didalam raktor adiabatic. Karbon tersebut masuk pada kondisi gas dengan temperature  $250^\circ\text{C}$ . Konversi produk sebesar 35%. Hitung T produk!

16. Diketahui skema proses sebagai berikut:



17. Steam bertekanan absolute 10 bar dengan  $190^\circ\text{C}$  lewat jenuh diumpankan ke Turbin dengan laju 1500 kg/jam. Turbin beroperasi secara adiabatic dan aliran keluar berupa steam jenuh pada tekanan 1 bar. Hitung kerja yang dihasilkan turbin!

18. Steam jenuh 1 atm keluar dari turbin sebanyak 1000 kg/jam dicampur dengan steam  $400^\circ\text{C}$ , 1 atm. Sistem pencampur beroperasi adiabatic. Buat nraca energy steam tersebut!

19.  $\text{CO}$  (g) dan udara diumpankan pada suhu 350 K ke reactor bersuhu 900K, 1 atm dalam perbandingan stokiometri, menghasilkan  $\text{CO}_2(\text{g})$  pada pembakaran sempurna.  $\text{CO}_2$  keluar pada suhu 900 K. Diketahui:

$C_p \text{ CO}_2 = 6,339 + 0,01014 T - 3,415 \times 10^{-6} T^2$

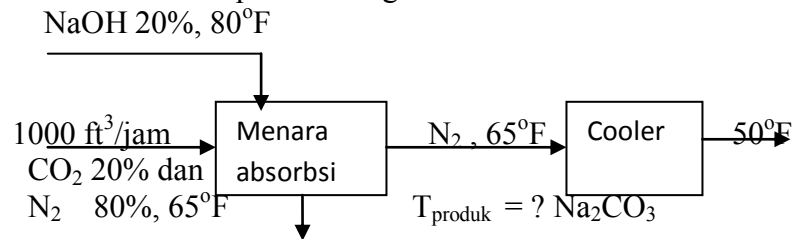
$C_p \text{ N}_2 = 6,457 + 0,001389 T - 0,069 \times 10^{-6} T^2$

Satuan  $C_p$  dalam kal/mol K

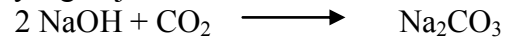
$\Delta H^\circ_{298\text{K}} = -283 \text{ kJ}$

Hitung panas reaksi!

20. Diketahui skema proses sebagai berikut:



Reaksi yang terjadi:



Hitung a. T produk

b. Kalau gas N<sub>2</sub> yang keluar dari menara absorpsi masuk ke Cooler dan suhu yang keluar dari Cooler 50°F berapa panas yang diambil oleh pendingin setiap jam?

