

LAMPIRAN A

PERHITANGAN NERACA MASSA

Kapasitas Produksi : 7.000 Ton/Tahun
: 883,8384 kg/jam
Hari Kerja : 330 hari
Basis Operasi : 1 jam
Basis hitungan : 100 kg/jam HDPE (High-Density Polyethylene)

Proses yang terjadi

Neraca massa tanpa reaksi :

$$\text{Akumulasi} = \text{input} - \text{output} + \text{generasi} - \text{konsumsi}$$

Diasumsikan bahwa proses dalam keadaan steady state sehingga akumulasi = 0.

Karena tidak ada reaksi sehingga generasi dan konsumsi = 0, maka persamaan neraca massa terjadi :

$$0 = \text{input} - \text{output} + 0 - 0$$

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

Neraca massa dengan reaksi :

$$\text{Akumulasi} = \text{input} - \text{output} + \text{generasi} - \text{konsumsi}$$

Asumsi dalam keadaan steady state, sehingga akumulasi = 0 maka persamaan neraca massa menjadi :

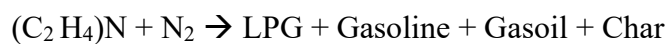
$$0 = \text{input} - \text{output} + \text{generasi} - \text{konsumsi}$$

$$\mathbf{\text{Input} = \text{output} - \text{generasi} + \text{konsumsi}}$$

A.1 Reaktor (R-01)

Fungsi : Mereaksikan High-Density Polyethylene dengan N₂ yang akan menuju cyclone 1 (CC-01).

Reaksi yang terjadi pada reaktor :



Berdasarkan penelitian J. Aguado, et.al. 2006 yang mereaksikan 100 kg HighDensity Polyethylene dengan N₂ sebanyak 0,01% massa, memperoleh presentasi massa sebagai berikut :

Arus Masuk :

Arus 1

Merupakan *High Density Polyethylene* dari tangki penyimpanan

HDPE = Basis Perhitungan = 100 kg/jam

Arus 2

Merupakan 0,01 N₂

N₂ = Basis bahan baku x 0,01 % = 0,0100 kg/jam

Arus Keluar :

Arus 3

Merupakan hasil reaksi *High Density Polyethylene* (HDPE) dan N₂

N₂ = 0,0100 kg/jam

Char = 47,7000 % x 100 kg/jam

= 47,7000 kg/jam

LPG = 9,8272 % x 100 kg/jam

= 9,8272 kg/jam

Gasoline = 37,9070 % x 100 kg/jam

= 37,9070 kg/jam

Gas Oil = 4,5658 % x 100 kg/jam

= 4,5658 kg/jam

Tabel A. 1 Neraca Massa Reaktor

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)
	A 1	A 2	A 3
HDPE	100,0000		
N ₂		0,0100	0,0100
Char			47,7000
LPG			9,8272
Gasoline			37,9070
Gas Oil			4,5658
Total	100,000	0,0100	100,0100
	100,0100		100,0100

A.2 Cyclone-01 (CC-01)

Fungsi: Mengeluarkan 95% char yang ada pada komponen keluaran reaktor (R 01)

Arus Masuk :

Arus 3

Merupakan komponen yang keluar dari reaktor

N₂ = 0,0100 kg/jam

Char = 47,7000 kg/jam

LPG = 9,8272 kg/jam

Gasoline = 37,9070 kg/jam

Gas Oil = 4,5658 kg/jam

Arus Keluar :

Arus 4

Merupakan 95% dari char yang ada diurus 3

$$\begin{aligned}\text{Char} &= 95 \% \times \text{Char Arus 3} \\ &= 95\% \times 47,7000 \text{ kg/jam} \\ &= 45,3150 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

Arus 5

Merupakan komponen yang akan masuk ke cyclone-02

$$\text{N}_2 = 0,0100 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned}\text{Char} &= \text{Char Arus 4} - \text{Char Arus 3} \\ &= 47,7000 \text{ kg/jam} - 45,3150 \text{ kg/jam} \\ &= 2,3850 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

$$\text{LPG} = 9,8272 \%$$

$$\text{Gasoline} = 37,9070 \%$$

$$\text{Gas Oil} = 4,5658 \%$$

Tabel A. 2 Neraca Massa Cyclone-01

Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
	A 3	A 4	A 5
N ₂	0,0100		0,0100
Char	47,7000	45,3150	2,3850
LPG	9,8272		9,8272
Gasoline	37,9070		37,9070
Gas Oil	4,5658		4,5658
Total	100,0100	45,3150	54,6950
	100,0100	100,0100	

A.3 Cyclone-02

Fungsi: Mengeluarkan 100% char yang ada pada komponen keluaran cyclone 01

Arus Masuk :

Arus 5

Merupakan komponen yang keluar dari cyclone-01

$N_2 = 0,0100 \text{ kg/jam}$

$\text{Char} = 2,3850 \text{ kg/jam}$

$\text{LPG} = 9,8272 \text{ kg/jam}$

$\text{Gasoline} = 37,9070 \text{ kg/jam}$

$\text{Gas Oil} = 4,5658 \text{ kg/jam}$

Arus Keluar :

Arus 6

Merupakan 100% dari char yang ada di arus 5

$\text{Char} = 100 \% \times \text{Char Pada Arus 5}$

$= 100 \% \times 2,3850 \text{ kg/jam}$

$= 2,3850 \text{ kg/jam}$

Arus 7

Merupakan komponen yang akan masuk ke separator-01

$N_2 = 0,0100 \text{ kg/jam}$

$\text{Char} = \text{Char Arus 5} - \text{Char Arus 6}$

$= 2,3850 \text{ kg/jam} - 2,3850 \text{ kg/jam}$

= 0 kg/jam

LPG = 9,8272 %

Gasoline = 37,9070 %

Gas Oil = 4,5658 %

Tabel A. 3 Neraca Massa Cyclone-02

Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
	A 5	A 6	A 7
N ₂	0,0100		0,0100
Char	2,3850	2,3850	
LPG	9,8272		9,8272
Gasoline	37,9070		37,9070
Gas Oil	4,5658		4,5658
Total	54,6950	2,3850	52,3100
	54,6950	54,6950	

A.4 Separator-01

Fungsi: Memisahkan komponen fase gas dan fase cair

Arus Masuk :

Arus 7

Merupakan komponen yang keluar dari cyclone-02

N₂ = 0,0100 kg/jam

LPG = 9,8272 kg/jam

Gasoline = 37,9070 kg/jam

Gas Oil = 4,5658 kg/jam

Arus Keluar :

Arus 8

Merupakan 100% dari char yang ada di arus 7 yang berwujud gas, berikut adalah komponen berwujud gas :

N₂ = 0,0100 kg/jam

LPG = 9,8272 kg/jam

Arus 9

Merupakan 100% dari char yang ada di arus 7 yang berwujud gas, berikut adalah komponen berwujud cair :

Gasoline = 37,9070 %

Gas Oil = 4,5658 %

Tabel A. 4 Neraca Massa separator-01

Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
	A 7	A 8	A 9
N ₂	0,0100	0,0100	
LPG	9,8272	9,8272	
Gasoline	37,9070		37,9070
Gas Oil	4,5658		4,5658
Total	53,3100	9,8272	42,4728
	53,3100	53,3100	

A.5 Separator-02

Fungsi: Memisahkan N₂ dan LPG yang keluar dari separator 1

Arus Masuk :

Arus 8

Merupakan komponen yang keluar dari separator-01

N₂ = 0,0100 kg/jam

$$\text{LPG} = 9,8272 \text{ kg/jam}$$

Arus Keluar :

Arus 12

Merupakan 100% N₂ dari arus 8

$$\begin{aligned} \text{N}_2 &= 100\% \times \text{N}_2 \text{ kg/jam} \\ &= 100\% \times 0,0100 \text{ kg/jam} \\ &= 0,0100 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Arus 13

Merupakan 100% LPG dari arus 8

$$\begin{aligned} \text{LPG} &= 100\% \times \text{LPG} \\ &= 100\% \times 9,8272 \text{ kg/jam} \\ &= 9,8272 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Tabel A. 5 Neraca Massa separator-02

Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
	A 8	A 12	A 13
N ₂	0,0100	0,0100	
LPG	9,8272		9,8272
Total	9,8272	9,8272	

A.6 Menara Distilasi

Fungsi: Memurnikan gasoline

Arus Masuk :

Arus 9

Merupakan komponen yang keluar dari separator-01

Tabel A. 6 Data kostanta antoine komponen

Komponen	A	B	C	D	E
Gasoline	2,984	-5,0E-01	-4,5E-05	1,68E-07	6,52E-11
Gasoil	3,553	2,1E-01	7,9E-04	-8,70E-07	2,60E-10

Ditetapkan : komponen kunci ringan = Gasoline

Komponen kunci berat = Gas Oil

Direncanakan : Gasoline yang ada dalm umpan terdistribusi ke puncak sebanyak 99%, sedangkan gas oil yang ada dalam umpan terdistribusi ke bottom sebanyak 70%.

Arus 9

Gasoline = 37,9070 kg/jam

Gas Oil = 4,5658 kg/jam

Komposisi bahan yang masuk bagian umpan menara distilasi :

Mol Gasoline = $37,9070/100 = 0,3791$ kmol/jam

Mol Gas Oil = $4,5658/140 = 0,0326$ kmol/jam

Jumlah mol komponen masuk = mol gasoline + mol gas oil

= $0,3791$ kmol/jam + $0,0326$ kmol/jam

= $0,4117$ kmol/jam

Arus Keluar :

Arus 10

Merupakan komponen yang akan masuk ke kondensor kondisi diatas dalam keadaan jenuh dew point

Trial kondidi atas

$$P = 1,28 \text{ atm} \times 760 \text{ mmHg} = 972,8 \text{ mmHg}$$

$$T = 174,3 \text{ }^\circ\text{C} + 273 \text{ k} = 447,271 \text{ k}$$

T dicari dengan cara trial error dan dianggap benar jika nilai $\sum_{xi=1}$

Arus 11

Merupakan komponen yang akan masuk ke reboiler, kondisi bawah dalam keadaan bubble point

Trial kondisi bawah

$$P = 3,41 \text{ atm} \times 760 \text{ mmHg} = 2591,6 \text{ mmHg}$$

$$\text{Dimana } \log P_{\text{sat}} = A + B/T + C \log_{10} T + DT + ET^2$$

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN MERACA PANAS

Proses yang terjadi :

(Energi masuk) – (energi keluar) + (energi yang terbuktikan sistem) – (energi yang dikonsumsi sistem) = (energi terakumulasi dalam sistem)

Macam macam perubahan entalpi :

1. Sensible (panas yang bisa dirasakan perubahan suhunya)

Kapasitas panas (c_p) = banyaknya panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu setiap satuan massa setiap satuan suhu. Untuk padatan dan gas, C_p merupakan fungsi suhu.

Beberapa sumber data-data C_p :

- a. $C_p = f(T)$; appendix D, Coulson and Richardson, “ Chemical Engineering” .
- b. C_p dalam bentuk grafik; Geankoplis; Perry.
- c. C_p untuk foods and biological material; appendix A.4, Geankoplis, “Transport Processes and Unit Operation”.

Rumus panas sensibel :

$$Q = m \times C \times \Delta T$$

Di mana:

Q adalah panas sensibel (dalam joule atau kalori)

m adalah massa benda (dalam kilogram)

C adalah kapasitas panas spesifik benda (dalam joule per kilogram derajat Celsius atau kalori per gram derajat Celsius)

ΔT adalah perubahan suhu (dalam derajat Celsius)

Rumus ini menggambarkan bahwa panas sensibel (Q) adalah hasil perkalian antara massa (m), kapasitas panas spesifik (C), dan perubahan suhu (ΔT) dari suatu benda. Perlu diingat bahwa kapasitas panas spesifik (C) adalah jumlah panas yang diperlukan untuk mengubah suhu satu satuan massa benda sebesar satu derajat Celsius. Nilai C akan bervariasi tergantung pada jenis benda yang sedang dipertimbangkan.

2. Laten (panas perubahan fase dengan suhu tetap).
 - a. Panas peleburan (dari fase padat menjadi cair).
 - b. Panas sublimasi (dari fase padat menjadi gas).
 - c. Panas kondensasi (dari fase gas menjadi cair).
 - d. Panas penguapan (dari fase cair menjadi gas).

Rumus panas laten :

$$Q = m \times L$$

Di mana:

Q adalah panas laten (dalam joule atau kalori)

m adalah massa benda (dalam kilogram)

L adalah kalor laten atau panas laten spesifik (dalam joule per kilogram atau kalori per gram)

Rumus ini menggambarkan bahwa panas laten (Q) adalah hasil perkalian antara massa (m) dan kalor laten (L) dari suatu benda. Kalor laten (L) adalah jumlah panas yang diperlukan untuk mengubah satu satuan massa benda dari satu fase ke fase lainnya pada suhu yang tetap. Nilai L juga akan bervariasi tergantung pada jenis benda yang sedang dipertimbangkan. Perlu dicatat bahwa kalor laten positif digunakan saat benda berubah dari fase padat ke fase cair atau dari fase cair ke fase gas, sedangkan kalor laten negatif digunakan saat benda berubah dari fase gas ke fase cair atau dari fase cair ke fase padat.

3. Reaksi (panas yang dihasilkan atau dibutuhkan pada proses yang melibatkan reaksi kimia).

Macam-macam entalpi reaksi :

- a. Heat of reaction.
- b. Heat of formation.
- c. Heat of combustion.

Suhu *reference* : 25°C - 298°K

Persamaan panas

$$Q = m.C_p.\Delta T = m \int_{T_{ref}}^T C_p . \Delta T$$

Dengan Q = panas (kj)

m = massa bahan (kg)

C_p = Spesific heat (kj/kmol Kelvin)

T_{ref} = suhu reference (kelvin)

T = suhu bahan (Kelvin)

$$C_p = A + B.T + C.T^2 + .\Delta T^3$$

Dengan C_p = specific heat (kj/Kmol.Kelvin)

A,B,C,D = Konstanta

T = Suhu bahan (Kelvin)

Penyerdehanaan integrasi .ΔH

$$C_p = A + B.T + C.T^2 + .\Delta T^3$$

C_p = kj/kmol.K

$$Q = \int_{T_{ref}}^T C_p . \Delta T = \int_{T_{ref}}^T (A + B.T + C.T^2 + .\Delta T^3) . \Delta T$$

$$= A (T - T_{ref}) + B/2 (T^2 - T_{ref}^2) + C/3(T^3 - T_{ref}^3) + D/4(T^4 - T_{ref}^4)$$

$$= \text{kJ/mol.K} \times \text{K}$$

$$= \text{kJ/kmol}$$

Data konstanta A,B,C,D :

Diketahui data kapasitas masing masing komponen dengan satuan kJ(kmol.K) sebagai berikut:

Tabel B. 1 Data konstanta A,B,C,D

Konstanta	A	B	C	D	E
Gasoline	1,011E+02	9,774E-01	3,071E-03	4,164E-06	
Gasoil	1,380E_02	1,93E+0	-3,266E-03	3,939E-06	
LPG	2,628E_01	1,160E-01	1,960E-04	-2,327E-07	6,867E-11
N ₂	2,934E+01	-3,540E-03	1,008E-05	-4,312E-09	2,594E-13
Char	-8,320E+01	3,484E-02	1,323E-05		

B.1 Neraca Panas Reaktor

Panas Masuk

$$T_{in} = 30^{\circ}\text{C} = 303 \text{ K}$$

$$T_{ref} = 25^{\circ}\text{C} = 298 \text{ K}$$

$$\int_{T_{ref}}^T CP. \Delta T = A (T - T_{ref}) + B/2 (T^2 - T_{ref}^2) + C/3(T^3 - T_{ref}^3) + D/4(T^4 - T_{ref}^4)$$

$$Q_{reaktan} = 146,6662 \text{ kJ/mol} \times 0,0087 \text{ kmol/jam}$$

$$= 1,2775 \text{ kJ/jam}$$

Menghitung Q reaksi

ΔH_f komponen

$$\text{Gasoline} = -54.800 \text{ (kJ/kgmol)}$$

$$\text{Gas Oil} = -41.800 \text{ (kJ/kgmol)}$$

$$\begin{aligned}
\text{LPG} &= -185.300(\text{kJ/kgmol}) \\
\text{N}_2 &= -781.100 (\text{kJ/kgmol}) \\
\text{Char} &= -603.500 (\text{kJ/kgmol}) \\
\text{HDPE} &= -737.000 (\text{kJ/kgmol}) \\
Q_{\text{reaksi}} &= \Delta H_f (\text{produksi}) - \Delta H_f (\text{reaktan}) \\
&= 632.700,000 \text{ kJ/kgmol} \times 9,2450 \text{ kgmol/jam} \\
&= 5.849.283,1919 \text{ kJ/jam}
\end{aligned}$$

Panas keluar :

$$\begin{aligned}
T_{\text{out}} &= 400^\circ\text{C} &= 673\text{K} \\
T_{\text{ref}} &= 25^\circ\text{C} &= 298\text{K}
\end{aligned}$$

Komponen

$$\int_{T_{\text{ref}}}^T CP \cdot \Delta T \text{ Gasoline} = 181.217,2061 \text{ kJ/kmol}$$

$$Q \text{ gasoline} = 181.217,2061 \times 9,2450 = 1.675.344,9620 \text{ kJ/jam}$$

$$\int_{T_{\text{ref}}}^T CP \cdot \Delta T \text{ Gas Oil} = 97.705,0737 \text{ kJ/kmol}$$

$$Q \text{ gas Oil} = 97.705,0737 \times 0,7954 = 77.712,3029 \text{ kJ/jam}$$

$$\int_{T_{\text{ref}}}^T CP \cdot \Delta T \text{ LPG} = 20.406,2741 \text{ kJ/kmol}$$

$$Q \text{ LPG} = 20.406,2741 \times 5,4470 = 111.153,8695 \text{ kJ/jam}$$

$$\int_{T_{\text{ref}}}^T CP \cdot \Delta T \text{ N}_2 = 10.910,5649 \text{ kJ.kmol}$$

$$Q \text{ N}_2 = 10.910,5649 \times 0,0087 \text{ kmol/jam} = 95,0329 \text{ kJ/jam}$$

$$\int_{T_{\text{ref}}}^T CP \cdot \Delta T \text{ Char} = 1.905,0762 \text{ kJ/kmol}$$

$$Q \text{ Char} = 1.905,0762 \times 0,7128 = 1.357,9869 \text{ kJ/jam}$$

Komponen	N (kmol/jam)	Cp. ΔT (kj/jam)	Q = n.Cp. ΔT
N₂	0,0087	10.910,5649	95,0329
Gasoline	9,2450	181.217,2061	1.675.344,9620
Gas oil	0,7954	97.705,0737	77.712,3029
Char	0,7128	1.905,0762	1.357,9869
LPG	5,4470	20.406,2741	111.153,8695
Total			1.865.664,1542