



BAB IX

TUGAS KHUSUS

“PERHITUNGAN NERACA MASSA, KONSENTRASI KATALIS NIKEL, DAN SET POINT GAS HIDROGEN DI PLANT 4 PADA PROSES HIDROGENASI MINYAK KELAPA”

IX.1 Latar Belakang Masalah

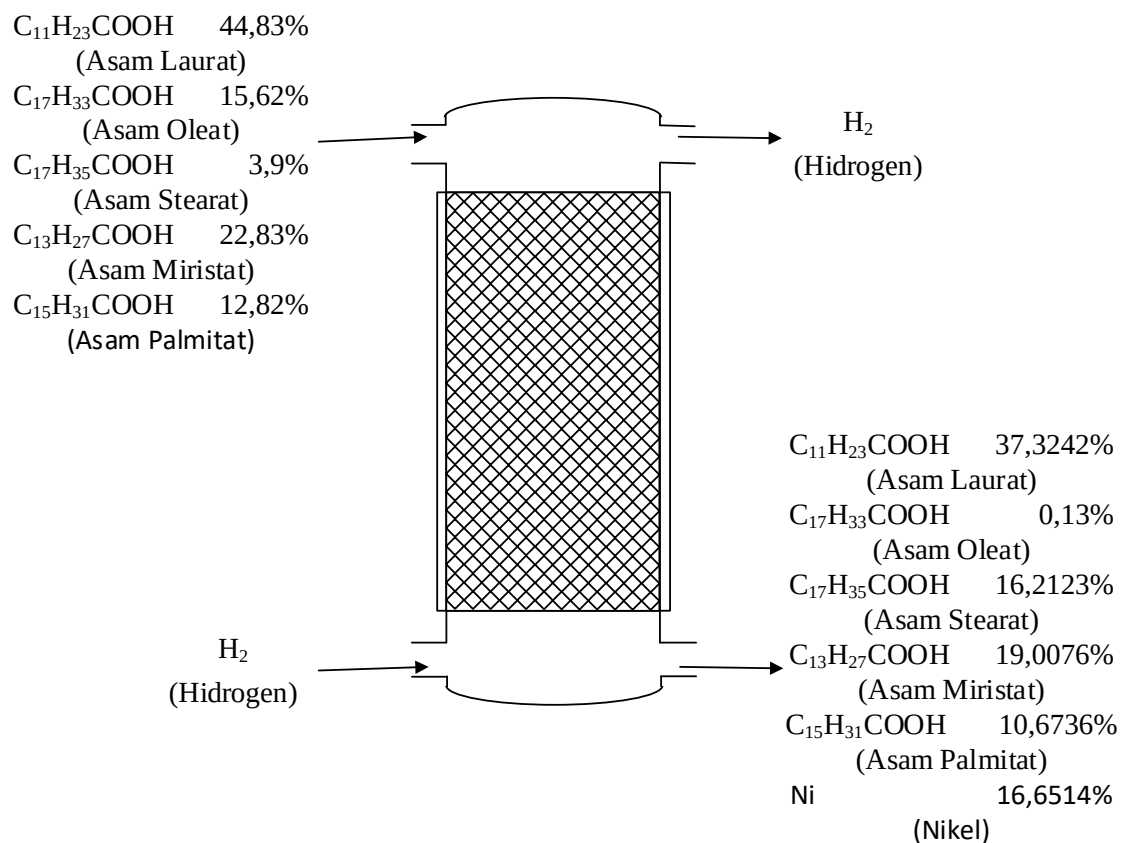
Proses hidrogenasi memiliki tujuan untuk mengubah lemak jenuh menjadi tidak jenuh dengan menambahkan gas H_2 dan dibantu oleh katalis nikel. Produksi Minyak HCNO pada *plant-4* di PT. Sari Mas Permai, menyentuh angka 80 ton/tahun dari permintaan konsumen di berbagai negara. Secara spesifik terdapat masalah pada *plant-4*, yakni terjadi penambahan produksi dari permintaan konsumen minyak HCNO mencapai 100 ton/tahun di tahun 2025 mendatang, sehingga mahasiswa dibutuhkan untuk menghitung kebutuhan bahan baku dari setiap alat yang berada pada *plant-4*. Selain itu emisi gas yang keluar reaktor dilihat dari monitor komputer dari *plant-4*, sehingga mahasiswa harus dapat menghitung set point gas hidrogen dalam reaktor dikarenakan pernah terjadi kesalahan pada aplikasi dan PT. Sari Mas Permai mengalami kerugian pada gas H_2 . Fungsi mahasiswa dalam pemberian tugas khusus ini diharapkan dapat menyelesaikan masalah di *plant-4*, guna bermanfaat bagi PT. Sari Mas dan mahasiswa dapat secara langsung belajar dan menerapkan ilmu yang telah diperoleh selama perkuliahan. Dengan demikian, tugas khusus yang diberikan adalah perhitungan neraca panas pada reaktor, kebutuhan nikel per kilogram secara teoritis dalam sekali produksi HCNO, dan perhitungan *set point* gas hidrogen.

IX.2 Penyelesaian Masalah

1. Perhitungan Neraca Massa Reaktor Hidrogenasi

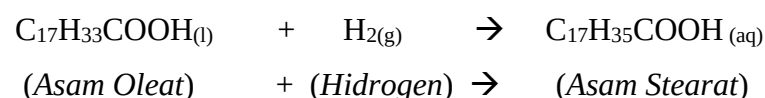
Pada proses hidrogenasi diperlukan perhitungan neraca massa dan neraca panas secara teoritis, hal tersebut bermanfaat untuk mengetahui kebutuhan bahan yang masuk dan produk yang keluar dari reaktor, serta kebutuhan energinya, sehingga proses produksi lebih maksimal dan efisien. Berikut merupakan perhitungan neraca massa dan neraca panas pada proses hidrogenasi *crude coconut oil* (CNO):

- Ilustrasi reactor hidrogenasi



- Reaksi yang terjadi pada proses hidrogenasi

Persamaan reaksi hidrogenasi adalah:



- Data-data yang dibutuhkan untuk perhitungan neraca massa

Basis	: 1 hari
Waktu Operasi	: 330 hari/tahun
	: 24 jam/hari
1 hari	: 10 batch
Kapasitas HCNO	: 100 ton/hari
Kapasitas HCNO/batch	: 10 ton/batch
Bahan baku CNO/batch	: 10 ton/batch

Komposisi CNO yang masuk reaktor:

Asam Laurat	(C ₁₁ H ₂₃ COOH)	44,83%
Asam Oleat	(C ₁₇ H ₃₃ COOH)	15,62%
Asam Stearat	(C ₁₇ H ₃₅ COOH)	3,9%
Asam miristat	(C ₁₃ H ₂₇ COOH)	22,83%
Asam palmitat	(C ₁₅ H ₃₁ COOH)	12,82%

- Neraca Massa Reaktor Hidrogenasi

Reaksi Hidrogenasi yang terjadi

Reaksi:	C ₁₇ H ₃₃ COOH	+	H ₂	C ₁₇ H ₃₅ COOH
m	5,5390		5,7980	-
r	5,4836		5,4836	5,4836
s	0,0554		0,3144	5,4836

$$\begin{aligned}\text{massa C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH tersisa} &= \text{mol C}_{11}\text{H}_{33}\text{COOH sisa} \times \text{BM C}_{11}\text{H}_{33}\text{COOH} \\ &= 0,0554 \text{ kmol} \times 282 \text{ kg/kmol} \\ &= 15,62 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{massa H}_2 \text{ tersisa} &= \text{mol H}_2 \text{ sisa} \times \text{BM H}_2 \\ &= 0,3144 \text{ kmol} \times 2 \text{ kg/kmol} \\ &= 0,6288 \text{ kg}\end{aligned}$$

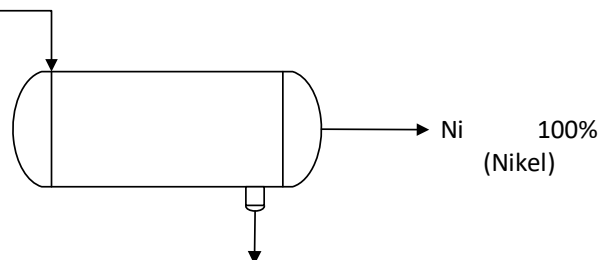
$$\begin{aligned}\text{massa C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH tersisa} &= \text{mol C}_{11}\text{H}_{35}\text{COOH sisa} \times \text{BM C}_{11}\text{H}_{35}\text{COOH} \\ &= 5,4836 \text{ kmol} \times 284 \text{ kg/kmol} \\ &= 1557,3472 \text{ kg}\end{aligned}$$

Tabel IX.1 Perhitungan Neraca Massa Proses Hidrogenasi

Masuk		Keluar	
Komponen	massa (kg)	Komponen	massa (kg)
dari Heater		Ke Filter Press	
asam laurat	4483	asam laurat	4483
asam oleat	1562	asam oleat	15,62
asam stearat	390	asam stearat	1947,347234
asam miristat	2283	asam miristat	2283
asam palmitat	1282	asam palmitat	1282
dari tagki Hidrogen		Nikel	2000
Hidrogen	11,596	Kembali ke reactor	
dari tangki Penyimpanan katalis		Hidrogen	0,628765957
Nikel	2000		
Total	12011,596	Total	12011,596

- Neraca Massa Filter press

$C_{11}H_{23}COOH$ 37,3242%
 (Asam Laurat)
 $C_{17}H_{33}COOH$ 0,13%
 (Asam Oleat)
 $C_{17}H_{35}COOH$ 16,2123%
 (Asam Stearat)
 $C_{13}H_{27}COOH$ 19,0076%
 (Asam Miristat)
 $C_{15}H_{31}COOH$ 10,6736%
 (Asam Palmitat)
 Ni 16,6514%
 (Nikel)



$C_{11}H_{23}COOH$ 44,7809%
 (Asam Laurat)
 $C_{17}H_{33}COOH$ 0,156%
 (Asam Oleat)
 $C_{17}H_{35}COOH$ 19,4521%
 (Asam Stearat)
 $C_{13}H_{27}COOH$ 22,805%
 (Asam Miristat)
 $C_{15}H_{31}COOH$ 12,806%
 (Asam Palmitat)

Dikarenakan nikel berupa padatan, maka pemisahan mudah dilakukan. Massa filtrat yang tertahan dipadatan 0%, sehingga diperoleh

Tabel IX.2 massa filtrat yang lolos pemisahan

Komponen	Massa Filtrat	% tertahan	Massa Filtrat yang lolos (kg)
asam laurat	3732,226758	0	3732,226758
asam oleat	13,00410037		13,00410037
asam stearat	1621,22272		1621,22272
asam miristat	1900,663326		1900,663326
asam palmitat	1067,301964		1067,301964

Tabel IX.3 Perhitungan Neraca Massa Separator

Masuk		Keluar	
Komponen	massa (kg)	Komponen	massa (kg)
dari Reaktor		Ke Penyimpanan	
asam laurat	4483	asam laurat	4483
asam oleat	15,62	asam oleat	15,62
asam stearat	1947,347234	asam stearate	1947,347234
asam miristat	2283	asam miristat	2283
asam palmitat	1282	asam palmitat	1282
Nikel	2000	Spent Keluat	
		Nikel	2000
Total	12010,9672	Total	12010,9672

2. Perhitungan Neraca Panas Reaktor Hidrogenasi

- Perhitungan Cp gas hidrogen

$$Cp \text{ gas H}_2 = 25,399 + \left[\left(\frac{2,0178E-2}{2} \right) \times (T_1 - T_2^2) \right] - \left[\left(\frac{-3,8549E-5}{3} \right) \times (T_1^2 + (T_1 \times T_2) + T_2^2) \right] + \left[\left(\frac{3,1880E-8}{4} \right) \times (T_1 + T_2) \times (T_1^2 + T_2^2) \right] + \left[\left(\frac{-8,7585E-12}{5} \right) \times (T_1 + T_2 \times (T_1^2 + T_2^2)) \right]$$

$$Cp \text{ gas H}_2 (30^\circ\text{C}) = \frac{28,8474 \text{ J/mol.K}}{2,01594 \text{ kg/mol}} = 14,3097 \text{ J/Kg.C}$$

$$= 14,3097 \text{ J/Kg.C} \times 0,239 \text{ kkal/J}$$

$$= 3,42 \text{ kkal/Kg.C}$$

$$Cp \text{ gas H}_2 (170^\circ\text{C}) = \frac{29,2 \text{ J/mol.K}}{2,0159 \text{ kg/mol}} = 14,485 \text{ J/Kg.C}$$

$$= 14,485 \text{ J/Kg.C} \times 0,239 \text{ kkal/J}$$

$$= 3,4618 \text{ kkal/Kg.C}$$



Cp HCNO (170°C) = 0,8167 kkal/Kg.C (berdasarkan literatur)

Cp Minyak Kelapa = 0,525813 kkal/kg.C

- Tabel perhitungan neraca panas masuk dan keluar reaktor hidrogenasi

Masuk

komponen	massa	Cp	dt	H
Asam Laurat	4483	0,525813	120	282866,3615
Asam Oleat	1168	0,525813	120	73697,95008
Asam Stearat	390	0,525813	120	24608,0484
Asam Miristat	2283	0,525813	120	144051,7295
Asam palmitat	1282	0,525813	120	80891,07192
Gas Hidrogen	7,596	3,42	120	3117,3984
Nikel	5,407754	3,417782	120	2217,903078
Total				611450,4628

Keluar

komponen	Massa	Cp	dt	H
Asam Laurat	4483	0,8167	120	439351,932
Asam Oleat	1175,596	0,8167	120	115213,1104
Asam Stearat	390	0,8167	120	38221,56
Asam Miristat	2283	0,8167	120	223743,132
Asam palmitat	1282	0,8167	120	125641,128
Gas Hidrogen	0	3,4618	120	0
nikel	6	3,417782	120	2460,80304
total				944631,6654

$$\begin{aligned} Q_{\text{Steam}} &= (\text{entalpi keluar} - \text{entalpi masuk}) / 0,9 \\ &= \frac{(944631,6654 - 611450,4628)}{0,9} \end{aligned}$$

$$= 370201,336 \text{ kkal/Kg.C}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{loss}} &= 10\% \times 544407,533 \text{ kkal/Kg.C} \\ &= 37020,1336 \text{ kkal/Kg.C} \end{aligned}$$

T Steam masuk = 200°C pada tekanan 1553,8 kpa (Sumber Smith Vannased.5)

Pada T = 200°C, maka Hv = 667,1444 kcal/kg

HI = 203,6042 kcal/Kg

$\lambda = 667,1444 - 203,6042 = 463,5402$ kcal/kg

Q steam = massa steam x λ

$$\text{massa steam} = \frac{Q \text{ Steam}}{\lambda}$$

$$\begin{aligned}\text{massa steam} &= \frac{370201,336 \frac{\text{kcal}}{\text{Kg}} \cdot \text{C}}{463,5402 \text{ kcal/Kg}} \\ &= 798,6391 \text{ kg}\end{aligned}$$

Neraca panas masuk dan keluar pada tangki reaktor ditunjukkan seperti tabel dibawah ini:

masuk	kcal/Kg	Keluar	kcal/Kg
Total panas masuk	611450,4628	Total panas keluar	944631,6654
Q steam	370201,336	Q steam	37020,1336
Total panas masuk	981651,7988	Total panas keluar	981651,799

3. Perhitungan Set Point Gas H₂

Proses hidrogenasi merupakan proses liquid-gas, di mana emisi gas yang keluar reaktor belum dihitung secara teoritis untuk berapa banyak kuantitas gas yang keluar. Berikut merupakan perhitungan *set point* gas hidrogen:

Diketahui:

$$\begin{aligned}P &= 200 \text{ Bar} \\ V &= 10 \text{ Ton} = 10 \text{ m}^3 \\ R &= 0,082 \text{ m}^3 \cdot \text{bar/mol} \cdot \text{K} \\ T &= 150 \text{ }^\circ\text{C} = 423,15 \text{ K} \\ \text{Mr Nikel} &= 2 \text{ g/mol}\end{aligned}$$

Ditanya:

Massa H₂ pada tangki T1303?

Jawab:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$



$$n = \frac{P.V}{R.T}$$

$$n = \frac{200 \text{ Bar} \times 10 \text{ m}^3}{0,082 \frac{\text{m}^3 \cdot \text{Bar}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 423,15 \text{ K}}$$

$$n = 56.899,36 \text{ mol}$$

$$n = \frac{m}{Mr}$$

$$m = n \cdot Mr$$

$$m = 56.899,36 \text{ mol} \times 2 \text{ g/mol}$$

$$m = 0,113 \text{ kg}$$

4. Perhitungan Kebutuhan Katalis Nikel secara Teoritis

Pada proses hidrogenasi, diperlukan katalis nikel untuk memutus ikatan rangkap pada minyak, di mana kebutuhan katalis nikel untuk tiap produksi minyak hidrogenasi masih dalam trial dan belum memiliki perhitungan teoritis. Berikut merupakan perhitungan kebutuhan katalis nikel secara teoritis:

Diketahui:

Konsentrasi Nikel yang dipakai C : 22%

Volume Tangki V : 0,5 m³

Ditanya:

Berat katalis yang dibutuhkan m : ?

Jawab

Pelarut yang digunakan untuk melarutkan katalis nikel adalah minyak kelapa sehingga;

840 kg/m³ adalah massa jenis minyak kelapa

$$V = 0,5 \text{ m}^3 \times 840 \text{ kg/m}^3 = 420 \text{ kg}$$

$$C = \frac{m}{V}$$

$$22\% = \frac{m}{420 \text{ kg}}$$

$$m = 420 \text{ kg} \times \frac{22}{100}$$

$$m = 9,2 \text{ kg}$$