



MATERI PERTEMUAN 3

MATA KULIAH: AZAS TEKNIK KIMIA 1

Prof. Ir. HERLIATI, M.T, Ph.D

Contoh Soal: umpan tidak murni

Heksamin diproduksi dengan mereaksikan formaldehid dengan amoniak sbb:



Reaksi berlangsung dalam fase cair. Amoniak umpan mengandung 0,5%(w/w) H₂O sementara formaldehid umpan terdiri dari 37 % formaldehid, 62,5 % H₂O dan 0,5% CH₃OH (w/w). Perbandingan mol amoniak terhadap formaldehid umpan adalah 2:3. konversi terhadap limiting reaktan adalah 98%. Jika ingin diproduksi heksamin sebesar 9.504 ton/tahun.

Tentukan perhitungan neraca massa untuk kasus di atas dimana

Note: 1 tahun = 330 hari; 1 hari 24 jam.

- Deskripsi

Heksamin diproduksi dengan mereaksikan formaldehid dengan amoniak sbb:



Reaksi berlangsung dalam fase cair.

Amoniak umpan mengandung 0,5%(w/w) H₂O sementara formaldehid umpan terdiri dari 37 % formaldehid, 62,5 % H₂O dan 0,5% CH₃OH (w/w).

Perbandingan mol amoniak terhadap formaldehid umpan adalah 2:3.

konversi terhadap Limiting reaktan adalah 98%.

Penyelesaian :

- Pertanyaan:

Ingin diproduksi heksamin sebesar 9.504 ton/tahun.

Tentukan perhitungan neraca massa untuk kasus di atas

Note: 1 tahun = 330 hari; 1 hari 24 jam.

Hitung mol masing-masing umpan

Basis 100 kg/jam umpan bahan baku amoniak

$$\text{NH}_3 = 99,5 \% \times 100 \text{ kg} = 99,5 \text{ kg} = 99,5 \text{ kg}/17(\text{kg}/\text{kmol}) = 5,853 \text{ kmol}$$

Menghitung H₂O di dalam Amoniak

$$\text{H}_2\text{O} = 0,5\% \times 100 \text{ kg} = 0,5 \text{ kg} = 0,5 \text{ kg}/18(\text{kg}/\text{kmol}) = 0,0278 \text{ kmol}$$

Hitung mol Formaldehid berdasarkan rasio umpan 3:2

$$\text{CH}_2\text{O} = 3/2 \times \text{mol NH}_3 = 3/2 \times 5,853 = 8,7795 \text{ kmol}$$

$$= 8,7795 \text{ kmol} \times 30 \text{ kg}/\text{kmol} = 263,385 \text{ kg}$$

selanjutnya menghitung H₂O dan CH₃OH di dalam umpan CH₂O

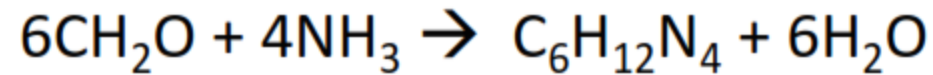
$$\text{H}_2\text{O} = (62,5/37) \times \text{massa CH}_2\text{O}$$

$$= (62,5/37) \times 263,385 \text{ kg} = 444,907 \text{ kg} = 444,907 \text{ kg}/18 (\text{kg}/\text{kmol}) = 24,717 \text{ kmol}$$

$$\text{CH}_3\text{OH} = (0,5/37) \times \text{massa CH}_2\text{O}$$

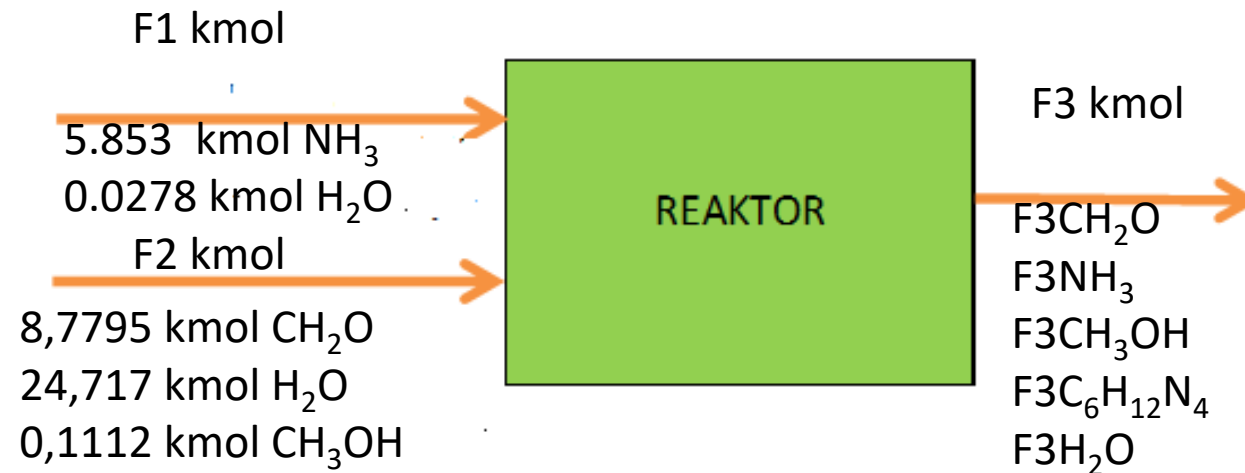
$$= (0,5/37) \times 263,385 \text{ g} = 3,5593 \text{ kg} = 3,5593 \text{ kg}/32 (\text{kg}/\text{kmol}) = 0,1112 \text{ kmol}$$

Pada reaksi di atas Siapa sebagai Limiting Reaktan?



Basis perhitungan: 100 kmol/jam umpan NH_3 ; dimana rasio mol $\text{NH}_3:\text{CH}_2\text{O} = 2:3$

NH_3 umpan = 5.852 kmol (murni) dan CH_2O umpan = 8,778 kmol (murni)



Penyelesaian :

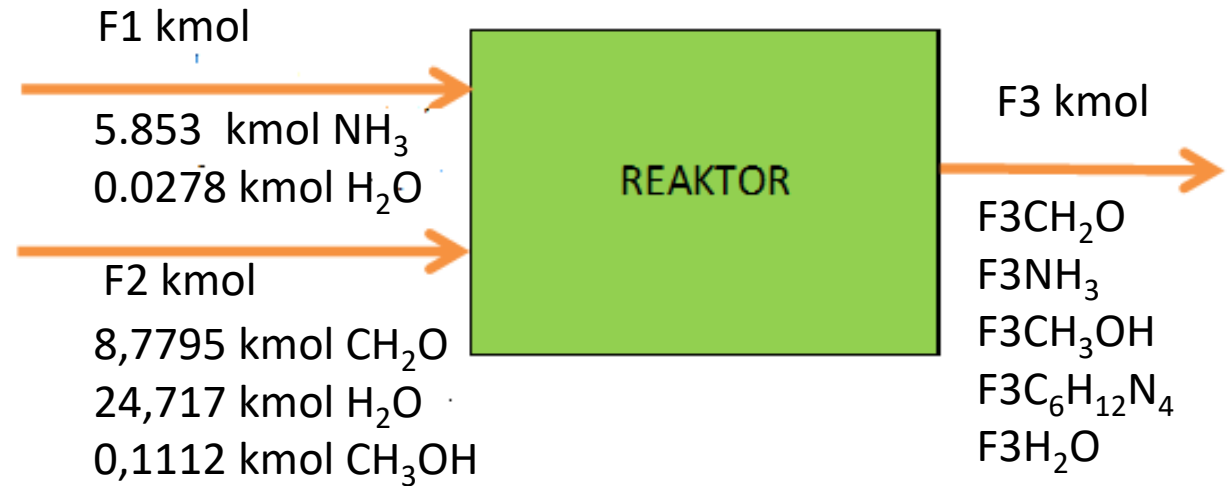


Amoniak umpan: 0,5%(w/w) H_2O

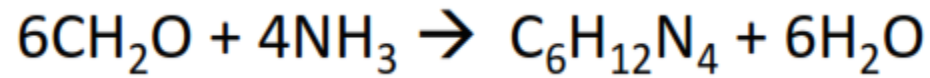
Formaldehid umpan: 37 % formaldehid
62,5 % H_2O dan 0,5% CH_3OH (w/w).

Rasio umpan mol NH_3 : CH_2O adalah
2:3. konversi terhadap Limiting reaktan
adalah 98%.

Kapasitas produksi Hexamin: 9.504
ton/tahun.



Susun persamaan aljabar berdasarkan konsep
extent of reaction



Susun Persamaan-persamaan aljabar sebagai berikut:

$$F_{3\text{CH}_2\text{O}} = 8,7795 - 6 \xi \quad (1)$$

$$F_{3\text{NH}_3} = 5.853 - 4\xi \quad (2)$$

$$F_{3\text{CH}_3\text{OH}} = 0,1112 \text{ (inert tidak ikut bereaksi)}$$

$$F_{3\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_4} = \xi \quad (3)$$

$$F_{3\text{H}_2\text{O}} = 0.0278 + 24,717 + 6 \xi \quad (4)$$

Selanjutnya akan ditentukan nilai ξ 1 menggunakan informasi konversi 98 % terhadap limiting reaktan (sudah ditentukan CH_2O)

$$\text{Fraksi konversi} = \text{kmol CH}_2\text{O bereaksi} / \text{kmol CH}_2\text{O umpan}$$

$$\text{kmol CH}_2\text{O bereaksi} = 0,98 \times 8,7795 = 8,6091 \text{ dengan kata lain}$$

$$\text{CH}_2\text{O sisa} = 8,7795 - 8,6091 = 0,17559 \text{ kmol}$$

Ini adalah nilai $F_{3\text{CH}_2\text{O}}$

Subtitusikan nilai $F_{3\text{CH}_2\text{O}}$
ke persamaan 1

$$0,17559 = 8,7795 - 6 \xi 1; \text{ maka } \xi 1 = 1,43398$$

Subtitusikan nilai $\xi 1$ ke persamaan 2 – 4 akan diperoleh hasil sebagai berikut:

$$F3NH_3 = 5.853 - 4 \xi 1 = 0,11708 \text{ kmol amoniak sisa}$$

$$F3CH_3OH = 0,1112 \text{ (inert tidak ikut bereaksi)}$$

$$F3C_6H_{12}N_4 = \xi 1 = 1,43398 \text{ kmol hexamine yang dihasilkan}$$

$$F3H_2O = 0.0278 + 24,717 + 6 \xi 1 = 33,3489 \text{ kmol air yang dihasilkan}$$

Selanjutnya akan ditentukan factor pengali untuk memperoleh input dan output actual jika kapasitas 9.504 ton/tahun

$$C_6H_{12}O_4 = 9.504 \text{ ton/tahun} \times 1000 \text{ kg/ton} \times 1 \text{ tahun/330 hari} \times 1 \text{ hari/24 jam} = 1200 \text{ kg/jam}$$

$$C_6H_{12}O_4 \text{ berdasarkan basis} = 1,43374 \text{ kmol} \times 140 \text{ kg/kmol} = 200,7236 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Faktor pengali} = 1200 \text{ kg jam}^{-1} / 200,7572 \text{ kg jam}^{-1}$$

$$= 5,9774 \text{ (buat 4 decimal agar lebih presisi)}$$

TABEL NERACA MASSA DENGAN BASIS UMPAN REAKTOR
100 kg NH₃

Senyawa	BM	Input, F1		Input, F2		Output, F3	
		kmol	kg	kmol	kg	kmol	kg
CH ₂ O	30			8.7795	263.385	0.17559	5.2677
NH ₃	17	5.853	99.5			0.11708	1.99036
H ₂ O	18	0.0278	0.5	24.717	444.906	33.3489	600.2802
CH ₃ OH	32			0.1112	3.5584	0.1112	3.5584
C ₆ H ₁₂ O ₄	140	0	0			1.43398	200.7572
SUB TOTAL			100		711.8494		
TOTAL			812.85		812.85		

TABEL NERACA MASSA DENGAN KAPASITAS 1200 KG/JAM
FP = 5,9774

Senyawa	BM	Input, F1		Input, F2		Output, F3	
		kmol	kg	kmol	kg	kmol	kg
CH ₂ O	30						
NH ₃	17						
H ₂ O	18						
CH ₃ OH	32						
C ₆ H ₁₂ O ₄	140						
SUB TOTAL							
TOTAL							

Apa yang akan dipelajari hari ini?

❖ Reaksi single dengan umpan tidak murni

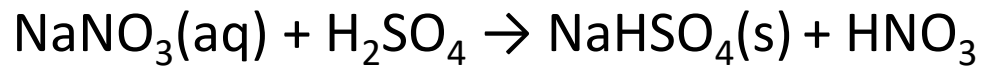
Reaksi Ganda:

❖ Yield

❖ Selectivity

CONTOH SOAL

ASAM NITRAT diproduksi dengan mereaksikan natrium nitrat dan asam sulfat sbb:



Reaksi berlangsung dalam fase cair dengan konversi terhadap NaNO_3 98 %. Natrium nitrat umpan mengandung 2 % air (w/w) sedangkan asam sulfat mengandung 7 % air (w/w). Natrium nitrat dan asam sulfat diumpankan pada rasio equimolar. Jika ingin diproduksi sebesar 1000 kg/jam asam nitrat. Asumsi produk Asam Nitrat 100 % berat.

BM : Na = 23 ; N = 14; O = 16; S = 32; H = 1 mol/gr

Untuk basis 100 kmol umpan dan 1 jam operasi, tentukan:

1. Persen mol umpan NaNO_3 dan H_2SO_4 .
2. Massa Input reactor untuk semua senyawa (kg)
3. Massa Output reactor untuk semua senyawa (kg)
4. Faktor pengali jika diinginkan produksi sebesar 1000 kg/jam Asam Nitrat (4 decimal)
5. Total massa input dan total massa output reactor aktual untuk kapasitas dimaksud

SOLUTION

NaNO₃ 98 % berat: basis 100 g

→ NaNO₃ = 98 g = 98/85 = 1,1529 mol

H₂O = 2 g = 2/18 = 0,1111 mol

Total mol = 1,153 + 0,111 = 1,2641 mol

→ % mol komponen NaNO₃

NaNO₃ = (1,1529 / 1,2641) x 100 = 91,2099 %

H₂O = (0,1111 / 1,264) x 100 = 8,7901 %

H₂SO₄ 93 % berat: basis 100 g

→ H₂SO₄ = 93 g = 93/98 = 0,9490 mol

H₂O = 7 g = 7/18 = 0,3889 mol

Total mol = 0,949 + 0,3889 = 1,3379 mol

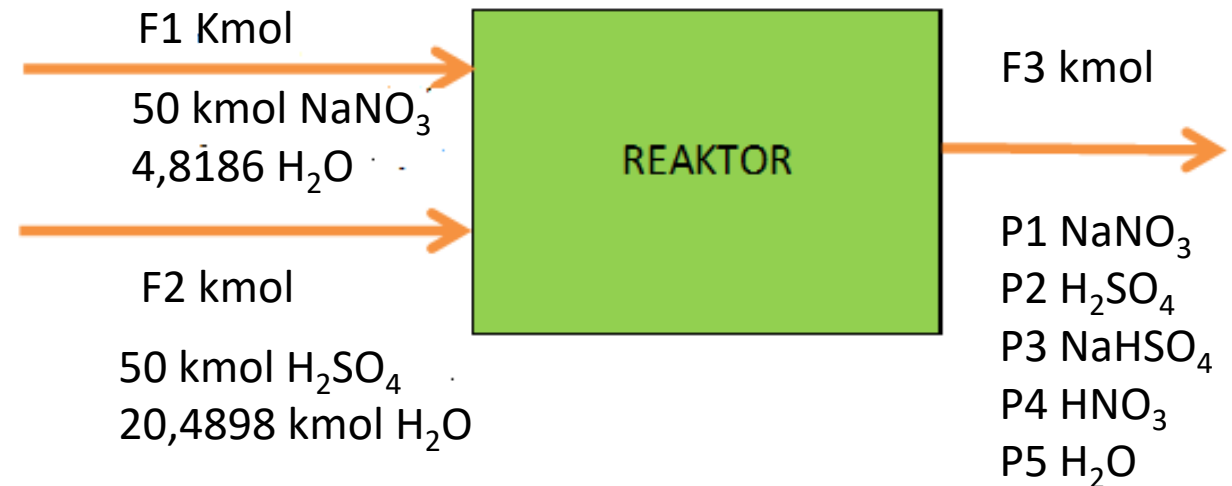
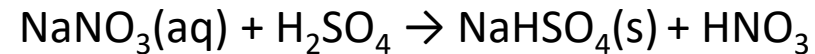
→ % mol komponen H₂SO₄

NaNO₃ = (0,949 / 1,3379) x 100 = 70,9322 %

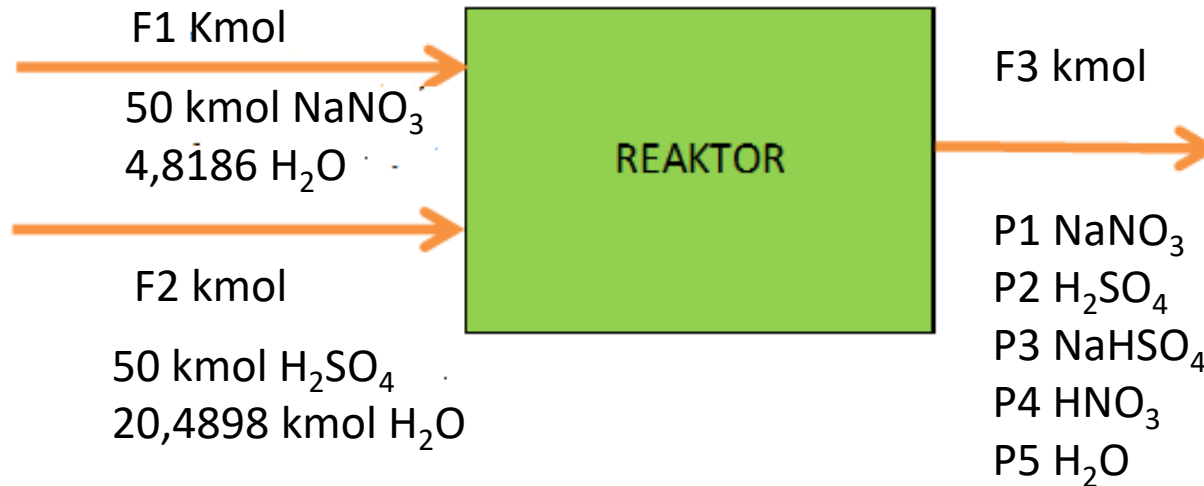
H₂O = (0,3889 / 1,3379) x 100 = 29,0678 %

Basis Umpan Reaktor 100 kmol

Maka: 50 kmol NaNO₃ dan 50 kmol H₂SO₄ (equimolar)



Menentukan output reaktor



$$P1 = 50 - \xi \quad (1)$$

$P1 = \text{mol NaNO}_3 - \text{mol NaNO}_3 \text{ bereaksi}$

konversi terhadap NaNO_3 98 %.

$\rightarrow P1 = 50 - 0,98 \times 50 = 1 \text{ kmol NaNO}_3 \text{ output reaktor}$
 substitusi nilai P1 ke pers (1)

$$\rightarrow \xi = 50 - 1 = 49$$

$P2 = 50 - \xi$, substitusi nilai $\xi = 49$

$\rightarrow P2 = 1 \text{ kmol H}_2\text{SO}_4 \text{ output reaktor}$

$P3 = \xi = 49 \text{ kmol NaHSO}_4 \text{ output reaktor}$

$P4 = \xi = 49 \text{ kmol HNO}_3 \text{ output reaktor}$

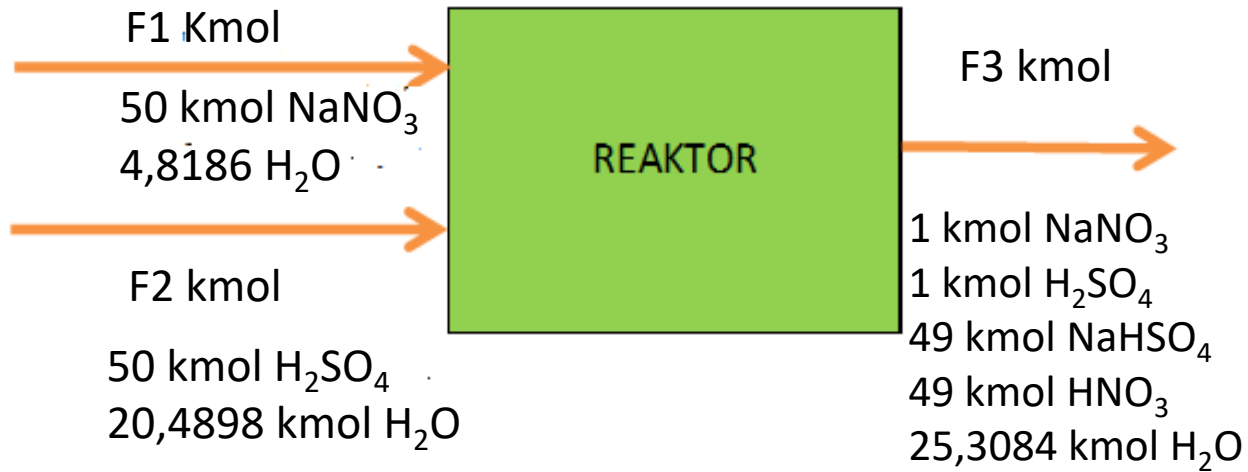
$P5 = 4,8186 + 20,4898 = 25,3084 \text{ kmol (berasal dari umpan)}$

$$n_i = n_{i0} + \beta_i \xi$$

Resume Hasil Perhitungan



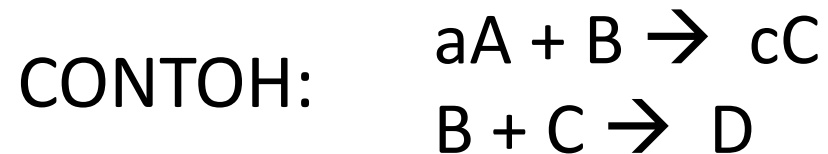
Tabel Neraca Massa

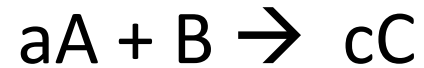


Komp	BM	Input		Output	
		kmol	kg	kmol	kg
NaNO_3	85	50	4250	1	85
H_2SO_4	98	50	4900	1	98
NaHSO_4	120		0	49	5880
HNO_3	63		0	49	3087
H_2O	18	25,3084	455,552	25,3084	455,552
TOTAL			9605,5519		9605,5519

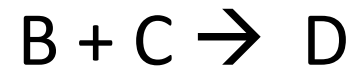
$$Yield = \frac{\text{moles of desired product formed}}{\text{moles of desired product formed if there were no side reactions and the limiting reactant reacts completely}}$$

$$Selectivity = \frac{\text{moles of desired product formed}}{\text{moles of undesired product formed}}$$





(ξ 1)



(ξ 2)

asumsi C = Desired ; D undesired

$$Yield = \frac{\text{moles of C}}{\left(\frac{c}{a}\right) \cdot \text{moles of A feed}}$$

Dimana: asumsi A sebagai Limiting Reactant

$$Selectivity = \frac{\text{moles of C}}{\text{moles of D}}$$

extent of reaction untuk multi reaksi :

$$n_i = n_{i0} + \sum \beta_{ij} \xi_j$$

Dimana:

ξ = extent of reaction untuk reaksi ke j

i = Komponen yang terlibat dalam reaksi

n_i = mol reaktan sisa atau mol produk hasil

n_{i0} = mol senyawa mula-mula

β_{ij} = $+v_i$, jika produk i pd reaksi j

= $-v_i$, jika reaktan i pd reaksi j

= 0, jika inert

Prosedur penyelesaian

1. Beri notasi untuk setiap reaksi seperti berikut:



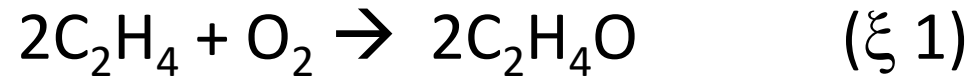
2. Susun persamaan aljabar guna menentukan mol masing-masing senyawa pada akhir reaksi dengan persamaan:

$$n_i = n_{i0} + \sum \beta_{ij} \xi_j$$

3. Selesaikan persamaan aljabar dengan Informasi, Konversi, yield dan selektiviti (paling tidak harus ada 2 informasi yang diketahui).

Contoh Soal Menyusun persamaan aljabar:

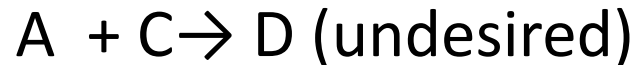
untuk reaksi berikut, dimana setiap 3 mol etilen umpan
maka 1 mol juga oksigen diumpankan menurut reaksi sbb:



Dengan basis umpan reactor 3 mol etilen, tentukan
persamaan aljabar untuk reaksi di atas

Contoh menentukan % yield

Perhatikan reaksi berikut:



A dan B diumpangkan masing-masing 100 mol menuju batch reactor dimana produk akhir mengandung 160 mol C dan 10 mol D. Tentukan:

- ✓ Persen yield produk C,
- ✓ Selectivity produk C relatif terhadap produk D
- ✓ Menggunakan extents of the reactions.

- mol dari desired product (C) terbentuk = 160

- mol desired product terbentuk jika tidak ada reaksi samping dan LR bereaksi sempurna

$$= 2/1 \times 100 \text{ mol} = 200 \text{ mol}$$

Maka:

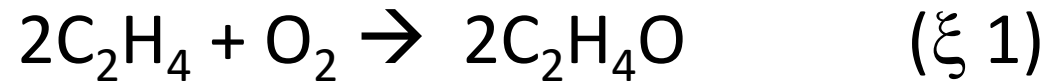
$$\begin{aligned} \text{yield (\%)} &= 160/200 \times 100\% \\ &= 80\% \end{aligned}$$

Selectivity: C terhadap D

$$= 160/10 = 16$$

Contoh Soal:

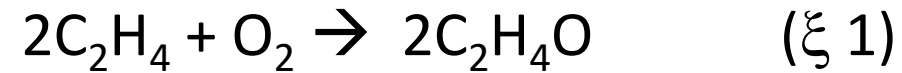
untuk reaksi berikut, dimana setiap 3 mol etilen umpan maka 1 mol juga oksigen diumpankan menurut reaksi sbb:



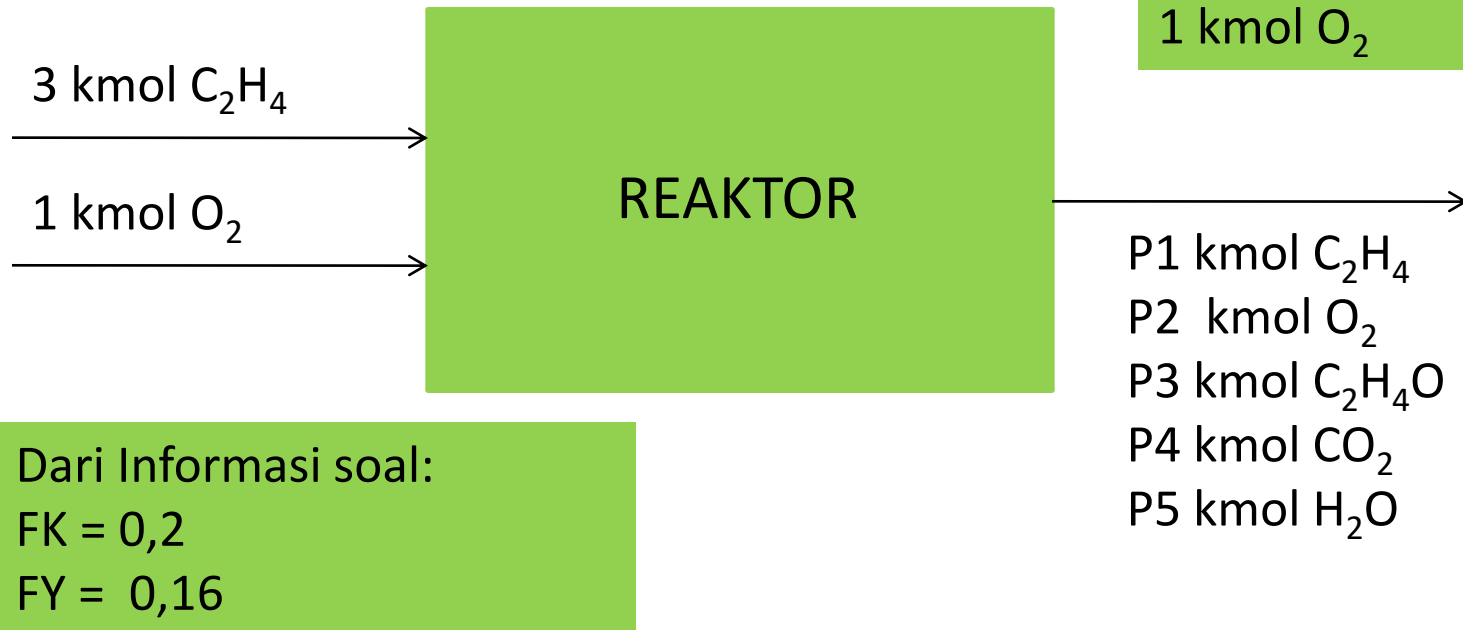
Jika etilen terkoversi sebanyak 20% dan etilen oksida dihasilkan dengan yield 16 %. Tentukan

- komposisi masing-masing senyawa pada akhir reaksi.
- Umpan etilen dan oksigen jika kapasitas etilen oksida 1500 kg

Reaksi:



Proses Diagram



Susun persamaan aljabar untuk menentukan Mol masing-masing senyawa pada akhir reaksi/output reaktor sbb:

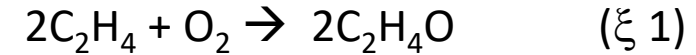
$$P1 = n_{C_2H_4} = 3 - 2 \xi_1 - \xi_2 \quad (1)$$

$$P2 = n_{O_2} = 1 - \xi_1 - 3 \xi_2 \quad (2)$$

$$P3 = n_{C_2H_4O} = 2 \xi_1 \quad (3)$$

$$P4 = n_{CO_2} = 2 \xi_2 \quad (4)$$

$$P5 = n_{H_2O} = 2 \xi_2 \quad (5)$$



Gunakan informasi yang diketahui dari soal untuk menyederhanakan persamaan2 yang dibuat.

Selesaikan persamaan2 yang dibentuk dengan metode eliminasi atau substitusi.

Selanjutnya akan ditentukan nilai ξ_1 dan ξ_2 dengan menggunakan informasi konversi dan yield

Sesuaikan dengan persamaan aljabar di samping:

Yield = $P3/3$; dari basis perhitungan C_2H_4 umpan = 3 kmol.

Subtitusikan nilai FY dan P3 maka:

$$0,16 = 2 \xi_1 / 3$$

$$\xi_1 = 0,24$$

Menentukan ξ_2 : menggunakan informasi konversi = 0,2

$$\text{Fraksi Konversi} = \frac{C_2H_4 \text{ bereaksi}}{C_2H_4 \text{ umpan}}$$

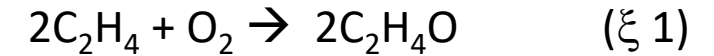
$$C_2H_4 \text{ bereaksi} = \text{Fraksi Konversi} \times C_2H_4 \text{ umpan}$$

$$C_2H_4 \text{ bereaksi} = 0,2 \times 3 = 0,6 \text{ kmol, maka}$$

$$\begin{aligned} C_2H_4 \text{ sisa} &= C_2H_4 \text{ umpan} - C_2H_4 \text{ bereaksi} \\ &= 3 - 0,6 = 2,4 \text{ kmol (ini adalah nilai P1)} \end{aligned}$$

Subtiituskan nilai ξ_1 dan P1 ke persamaan (1), akan diperoleh:

$$2,4 = 3 - (2 \times 0,24) - \xi_2, \text{ Maka, } \xi_2 = 0,12$$



$$P1 = n_{C_2H_4} = 3 - 2 \xi_1 - \xi_2 \quad (1)$$

$$P2 = n_{O_2} = 1 - \xi_1 - 3 \xi_2 \quad (2)$$

$$P3 = n_{C_2H_4O} = 2 \xi_1 \quad (3)$$

$$P4 = n_{CO_2} = 2 \xi_2 \quad (4)$$

$$P5 = n_{H_2O} = 2 \xi_2 \quad (5)$$

Dari pers (2-5)

$$P2 = 1 - 0,24 - 3 \times 0,12 = 0,4 \text{ kmol Oksigen sisa}$$

$$P3 = 2 \xi_1 = 2 \times 0,24 = 0,48 \text{ kmol produk } C_2H_4O$$

$$P4 = 2 \xi_2 = 2 \times 0,12 = 0,24 \text{ kmol } CO_2$$

$$P5 = 2 \xi_2 = 2 \times 0,12 = 0,24 \text{ kmol } H_2O$$

Menentukan angka faktor pengali:

Dengan basis 3 kmol umpan C_2H_4 dihasilkan $0,48 \times 44 = 21,12$ kg C_2H_4O

Kapasitas yang diinginkan = 1500 kg C_2H_4O , Maka

$$FP = 1500 \text{ kg} / 21,1 \text{ kg} = 71,0227$$

Menentukan Feed untuk kedua reaktan:

$$F_{C_2H_4} = 3 \text{ kmol} \times 71,0227 = 213,0681 \text{ kmol}$$

$$F_{O_2} = 1 \text{ kmol} \times 71,0227 = 71,0227 \text{ kmol}$$

Tabel Neraca Massa Dengan Basis umpan

3 kmol C₂H₄

Komp	BM	Input		Output		% massa
		kmol	kg	kmol	kg	
C ₂ H ₄	28	3	84	2.4	67.2	57.93
O ₂	32	1	32	0.4	12.8	11.03
C ₂ H ₄ O	44	0	0	0.48	21.12	18.21
CO ₂	44	0	0	0.24	10.56	9.10
H ₂ O	18	0	0	0.24	4.32	3.72
TOTAL		4	116	3,76	116	100

Tabel Neraca Massa Dengan Kapasitas 1500 kg/jam C₂H₄O

Komp	BM	Input		Output		% massa
		kmol	kg	kmol	kg	
C ₂ H ₄	28	213.07	5965.91	170.4545	4772.725	57.93
O ₂	32	71.02	2272.73	28.40908	909.0906	11.03
C ₂ H ₄ O	44	0	0	34.0909	1499.999	18.21
CO ₂	44	0	0	17.04545	749.9997	9.10
H ₂ O	18	0	0	17.04545	306.8181	3.72
TOTAL		284.09	8238.63	267.05	8238.63	100

Latihan Soal 3 : Pembuatan Syngas

Syn gas (utamanya merupakan campuran CO dan H₂) adalah diperoleh dengan reaksi katalitik gas metana dengan steam pada temperatur tinggi dan tekanan atmosfir dengan reaksi steam reforming sebagai berikut:



selain itu terjadi reaksi samping yang disebut dengan water-gas shift reaction sbb:



Jika reaktan yang disuplay ke reaktor terdiri dari steam dan metana dengan perbandingan 2:1, dimana metana habis bereaksi dan aliran produk dianalisa terdapat kandungan 17,4 % mol CO. Tentukan:

1. Tentukan massa masing-masing senyawa yang keluar reaktor dengan basis 100 kmol umpan reaktor.
2. Jika kapasitas produk H₂ 100.000 ton/tahun dimana (1 tahun = 330 hari), tentukan factor pengali untuk kapasitas dimaksud.
3. Kebutuhan umpan CH₄ dan H₂O (kg/jam), tanpa desimal
4. Total massa input dan total massa output reactor aktual untuk kapasitas dimaksud



Kampus
Merdeka
INDONESIA JAYA

ADA PERTANYAAN??

