

ANALISIS SISTEM dalam TEKNIK KIMIA

Catatan kuliah ini hanya diperuntukkan bagi kalangan yang sudah memahami konsep azas teknik kimia, seperti system unit dan chemical engineering tools.

Dalam pabrik sering dijumpai banyak peralatan yang terangkai, dan masing-masing peralatan mempunyai persamaan matematis. Dijumpai banyak persamaan dan banyak variable. Berkembang suatu metode sistematis untuk menganalisis system yang besar tersebut.

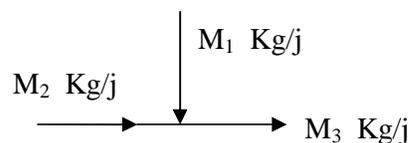
Berikut disajikan sejumlah contoh aplikasi dengan harapan bisa diekstrak esensinya.

Ada beberapa istilah yang harus dipahami terlebih dahulu, yaitu:

1. **DEGREES OF FREEDOM:** yaitu jumlah variable yang bebas dipilih nilainya pada suatu system.

Contoh:

a.



Variabel yang dapat dipilih ada 2.

Misal: M_1 dan M_2 .

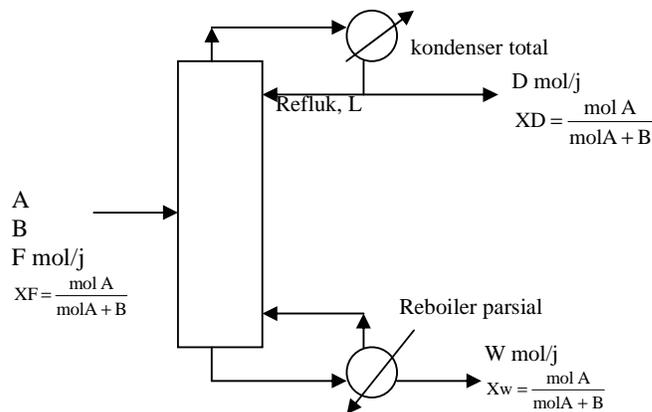
M_1 dan M_3 .

M_2 dan M_3

Jika M_1 , M_2 diketahui nilainya, maka dengan mudah M_3 dapat ditentukan.

Tetapi bayangkan jika M_1 , M_2 , dan M_3 diketahui. Tentu saja hal ini akan menyimpang dengan hukum kekekalan massa.

b. Suatu Menara Distilasi.



Variabel : F, D, W, XF, XD, XW.

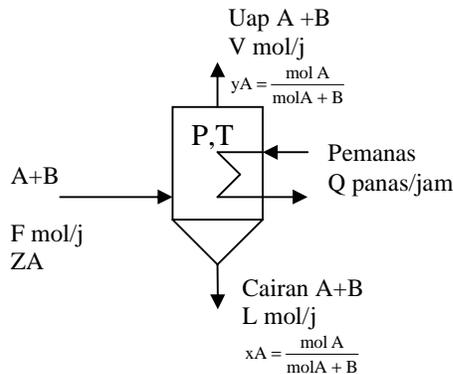
Degrees of freedom :

Dipilih : F, XF, XD dan XB, maka (D dan W) dihitung.

Dipilih : F, XF, XD, dan D, maka (XW dan W) dihitung.

Tampak secara intuitiv, degrees of freedom ada 4.

c. Evaporator



Variabel :

F, V, L, zA, yA, xA, T, P, Q

Ada 9 variabel.

Secara intuitiv, ada 4 degrees of freedom. Hal ini bisa dibuktikan dengan menyusun persamaan:

NM total.....(1)

NM komponen.....(2)

NP..... (3)

Keseimbangan (4)

Hubungan P dan T.....(5)

Degrees of freedom = jumlah variabel dikurangi jumlah persamaan.

Orang yang pertama kali mengkorelasikan degrees of freedom dengan jumlah variable adalah Gibbs, dengan hukum keseimbangan fase yang dicetuskannya dan masih relevan hingga sekarang.

Ada kalanya degrees of freedom sudah tertentu, seperti:

- a. konsentrasi yang sudah diketahui dari alam, misal komposisi udara di atmosfer.
- b. Konsentrasi yang diinginkan pasar, misal diinginkan alkohol 70% sebagai cairan antiseptik.

2. **FIXED VARIABLE**, yaitu variable yang karena kondisi lingkungannya dan lain-lain. Nilainya sudah tidak bias bebas ditentukan lagi.

Fixed variable sama dengan degrees of freedom sudah tertentu, seperti yang telah ditulis di atas.

Contoh lain:

- a. suhu air pendingin (untuk di Indonesia, suhu air pendingin berkisar 35°C sampai 45°C).
- b. kecepatan alir bahan yang akan diolah.

Number fixed variable adalah jumlah variable yang nilainya tidak bisa dipilih lagi.

3. **NUMBER OF DESIGN VARIABLE**, yaitu jumlah variable yang nilainya bebas dipilih, umumnya bertujuan untuk optimasi.

$$\text{Number of DV} = (\text{Degrees of freedom}) - (\text{number of FV})$$

4. **OBJECTIVE FUNCTION**, yaitu suatu fungsi yang nilainya ingin dimaksimumkan atau diminimumkan pada proses optimasi.

Optimasi adalah proses untuk mencari kondisi-kondisi yang paling menguntungkan (optimum). Optimasi ada dua jenis:

- a. maksimasi : Objective function (f Obj.) sebesar-besarnya, misal keuntungan.
- b. Minimasi: f Obj. sekecil-kecilnya, misal pengeluaran, pengorbanan.

Ada 3 aspek optimasi, yaitu :

- a. Optimasi matematis. Optimasi ini dilakukan pada proses (industri/kimia) yang tetap, kemudian dicari kondisi yang optimum. Misal proses tertentu pada suatu reaktor, dicari T, P, D optimum untuk produksi maksimum.
- b. Optimasi inovatif. Optimasi dilakukan dengan merubah proses supaya keuntungan sebesar-besarnya. Misal perubahan proses RAP menjadi RATB, Perubahan dari suatu proses ke proses lain didasarkan atas inovatif kita, berdasarkan pengalaman. Jadi, optimasi ini merupakan suatu kreativitas.
- c. Optimasi gabungan, yaitu optimasi matematis dan inovatif dilakukan bersamaan. Misal suatu reaksi dapat dijalan pada fase gas dan cair. Optimasi matematis untuk mencari kondisi optimum reaksi dengan fase cair. Optimasi matematis untuk mencari kondisi optimum jika reaksi dengan fase gas. Selanjutnya, antara reaksi dengan fase cair dan fase gas dibandingkan kondisi optimumnya, lalu dipilih proses yang paling optimum dengan optimasi inovatif.

Langkah penting dalam optimasi adalah merumuskan hubungan matematis objective function dengan variabel-variabelnya.

F obj = f (x) ; satu variabel bebas.

F obj = f (X1, X2, X3,.....) ; banyak variabel bebas.

Dari intuitiv, dapat dirumuskan bahwa :

$$\text{Number of DV} = (\text{jumlah variabel}) - (\text{jumlah persamaan})$$

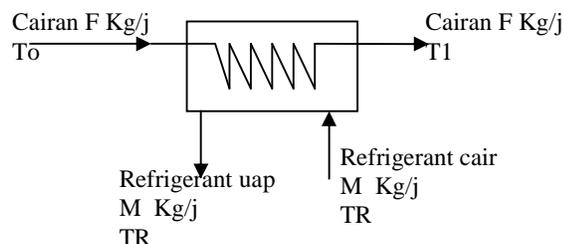
Atau:

$$\text{Number of DV} = (\text{juml. Variabel dengan FV yang sudah dikeluarkan}) - (\text{jumlah persamaan}).$$

Catatan ini hanya berisi ide bagaimana mengkorelasikan variabel dengan objective function-nya. Pada catatan ini tidak dibahas metode optimasi bentuk matematis yang diperoleh. Di bawah ini ada beberapa contoh optimasi dari kasus yang paling sederhana sampai kasus yang agak sulit.

KASUS 1 : PENDINGINAN CAIRAN

Diketahui : suatu cairan F Kg/j didinginkan dari T_0 sampai T_1 di dalam HE menggunakan pendingin refrigeran.



Harga refrigerant : CR (\$/Kg) = a - b . TR

Harga Heat Exchanger : CH (\$/jam) = $\alpha \cdot A^{0,6}$

A = area transfer panas di HE.

Panas laten penguapan refrigerant dianggap tetap = λ , panas/kg

Ingat, sebagai pengetahuan umum, harga alat umumnya mengikuti faktor six tenth.

Ingin dicari: kondisi proses yang membutuhkan biaya pendinginan minimum.

Analisis:

Objective function = biaya pendinginan = CT (\$/jam).

$$CT = M \cdot CR + CH$$

$$CT = M (a - b \cdot TR) + \alpha \cdot A^{0.6}$$

Persamaan matematis:

Neraca panas cairan :

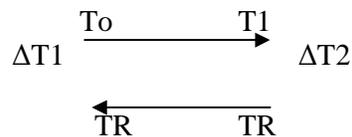
$$Q = F \cdot Cp \cdot (To - T1) \dots\dots\dots (1)$$

Neraca panas refrigerant :

$$Q = M \cdot \lambda \dots\dots\dots (2)$$

Neraca panas alat HE :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots (3)$$



Untuk HE, perbedaan suhu sepanjang HE tidak seragam, maka menggunakan rerata logaritmis:

$$\Delta T = \frac{(To - TR) - (T1 - TR)}{\ln \frac{To - TR}{T1 - TR}} \dots\dots (4)$$

Sebagai pengetahuan umum, macam-macam rerata antara X1 dan X2:

- a. aljabar, $\bar{x} = \frac{X1 + X2}{2}$
- b. akar, $\bar{x} = \sqrt{X1 \cdot X2}$, cocok untuk viskositas rerata.
- c. Logaritmis, cocok untuk HE.

Fixed variable adalah F, To, dan T1.

Variabel : Q, M, TR, A, dan ΔT . Ada 5 variabel.

Jumlah persamaan ada 4.

Maka number of DV = $5 - 4 = 1$.

Selanjutnya:

- a. variable mana yang dipilih sebagai design variabel (DV).
- b. Bagaimana hubungan DV dengan F Obj.

Ada metode sistematis untuk menentukan DV, yaitu:

1. susun matrik variabel dan nomor persamaan.
2. coret kolom yang hanya berisi satu variabel.
3. urutan pencoretan harus diingat, karena urutan perhitungan adalah kebalikan dari urutan pencoretan.

Matrik variabel dan nomor persamaan:

No. Pers.	Q	M	TR	A	ΔT
1	X				
2	X	X			
3	X			X	X
4			X		X

Mulai pencoretan:

	Q	M	TR	A	ΔT	
1	X					Urutan perhitungan 4 $\xrightarrow{2}$ M
2	X	X				
3	X			X	X	
4			X		X	

Urutan
pencoretan: 1

	Q	M	TR	A	ΔT	
1	X					4 $\xrightarrow{2}$ M 3 $\xrightarrow{3}$ A
2	X	X				
3	X			X	X	
4			X		X	

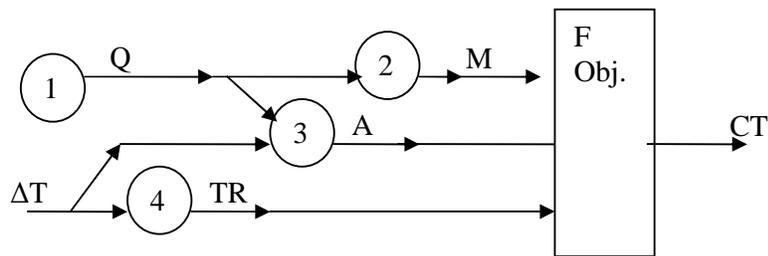
1 2

Akhirnya diperoleh:

	Q	M	TR	A	ΔT	
1	*					1 $\xrightarrow{1}$ Q
2	*	*				4 $\xrightarrow{2}$ M
3	*			*	*	3 $\xrightarrow{3}$ A
4			*		*	2 $\xrightarrow{4}$ TR
	4	1	3	2		

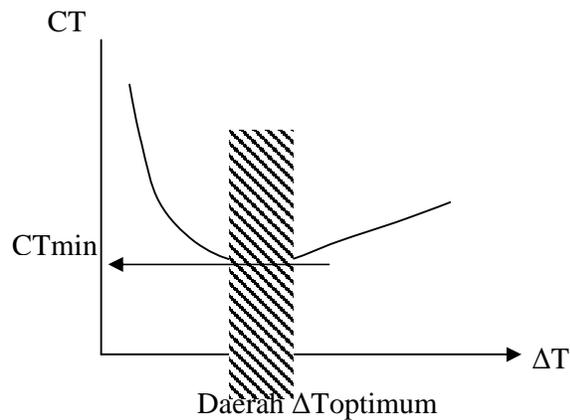
Dengan pencoretan seperti di atas, maka ΔT dipilih sebagai DV.

Urutan perhitungan (algoritma) adalah sbb.:



Diperoleh hubungan $CT=f(\Delta T)$.

Tabulasi: ΔT vs CT , kemudian dibuat grafik CT vs ΔT .



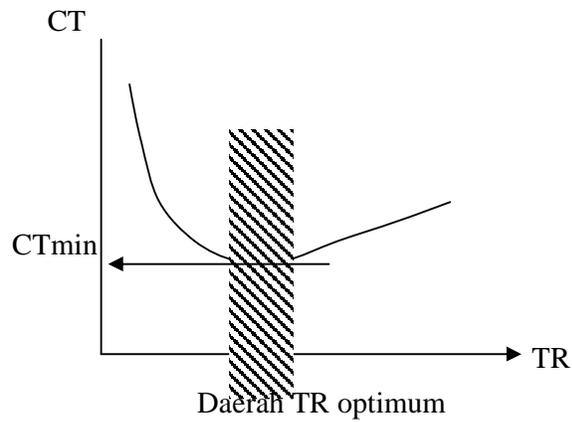
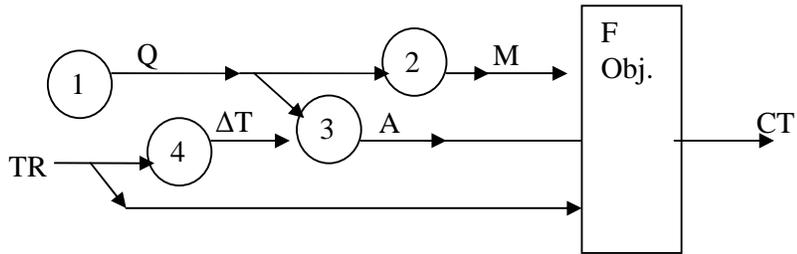
Secara teknis, menghitung TR dari data ΔT menggunakan persamaan 4 tidaklah mudah. Kemungkinan perlu usaha trial and error, maka cara ini harus dihindari.

Untuk itu ΔT harus dicoret terlebih dulu daripada TR.

	Q	M	TR	A	ΔT	
1	x					1 $\xrightarrow{1}$ Q
2	x	x				4 $\xrightarrow{2}$ M
3	x			x	x	3 $\xrightarrow{3}$ A
4			x		x	2 $\xrightarrow{4}$ ΔT
	4	1		2	3	

Maka DV adalah TR.

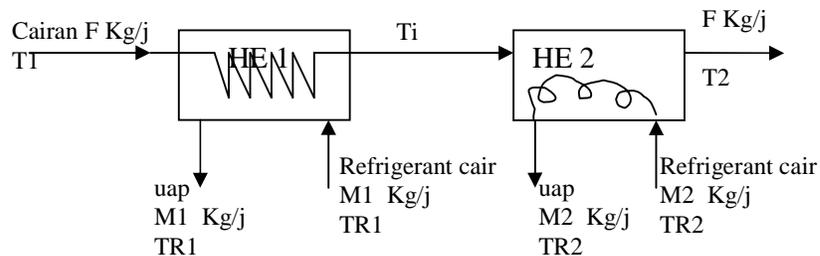
Urutan perhitungan adalah sbb.:



KASUS 2: PENDINGINAN BERTINGKAT

Diketahui : Cairan F Kg/jam didinginkan dari T1 menjadi T2 menggunakan 2 HE secara berturutan.

Pengetahuan umum: mengapa pendinginan dilakukan secara bertingkat? Tentu saja pendinginan juga dipengaruhi kemampuan suhu pendingin atau refrigeran. Semakin tinggi suhu pendingin/refrigerant maka harganya semakin murah. Bayangkan harga cooling water (beroperasi pada suhu 35 s/d 45°C) dengan harga refrigerant amonia (beroperasi pada suhu -32 s/d 27°C). Tentu saja jika cairan yang didinginkan dari suhu 100°C menjadi 0°C akan dilakukan secara bertahap, HE pertama mendinginkan dari 100°C menjadi 50°C menggunakan pendingin air, selanjutnya HE berikutnya mendinginkan cairan dari 50°C menggunakan refrigeran sampai 0°C.



Harga:

Harga refrigeran 1 = β_1 \$/Kg

Harga refrigerant 2 = β_2 \$/Kg

Harga HE = $\alpha \cdot A^{0,6}$

Ingin dicari kondisi yang memberikan biaya pendinginan minimum.

Analisis:

Secara intuitiv : jika $\beta_2 > \beta_1$, maka dicari $M_1 > M_2$. Artinya T_i serendah mungkin. Tetapi jika T_i mendekati suhu TR_1 maka ΔT_1 sangat kecil sehingga A_1 menjadi besar sekali dan tentunya HE 1 menjadi mahal sekali. Jadi, perlu dicari T_i yang memberikan harga HE1 rendah dan biaya refrigeratn 2 rendah pula.

Objective function:

$$CT = \beta_1 \cdot M_1 + \beta_2 \cdot M_2 + \alpha \cdot A_1^{0,6} + \alpha \cdot A_2^{0,6}$$

Persamaan matematis:

HE1:

$$Q1 = F. Cp. (T1 - Ti) \dots\dots\dots (1)$$

$$Q1 = M1 . \lambda \dots\dots\dots (2)$$

$$Q1 = U. A1. \Delta T1 \dots\dots\dots (3)$$

$$\Delta T1 = \frac{(T1 - TR) - (Ti - TR)}{\ln \frac{T1 - TR}{Ti - TR}} \dots\dots (4)$$

HE2:

$$Q2 = F. Cp. (Ti - T2) \dots\dots\dots (5)$$

$$Q2 = M2 . \lambda \dots\dots\dots (6)$$

$$Q2 = U. A2. \Delta T2 \dots\dots\dots (7)$$

$$\Delta T2 = \frac{(T1 - TR) - (Ti - TR)}{\ln \frac{T1 - TR}{Ti - TR}} \dots\dots (8)$$

Variabel : Q1, Ti, M1, A1, ΔT1,

Q2, M2, A2, ΔT2.

Ada 9 variabel.

Jumlah persamaan = 8.

Number of DV = 9 – 8 = 1.

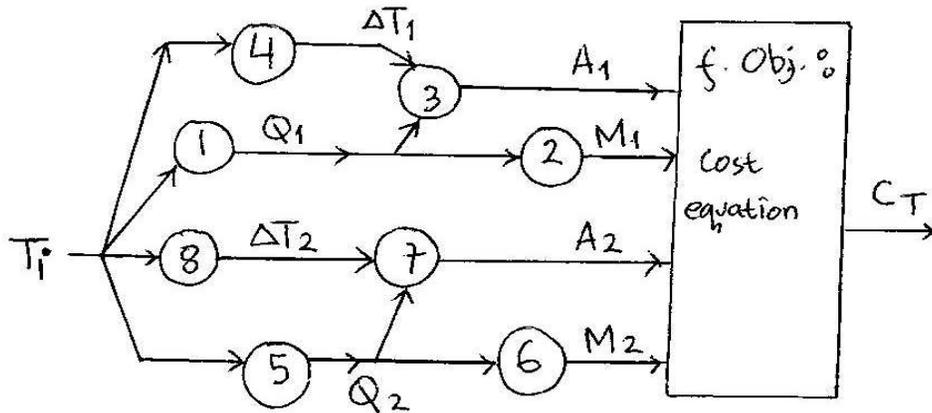
(Intuitif di atas cocok, oleh karena itu, Ti diarahkan untuk menjadi DV).

Menentukan DV:

Pers.	Q1	Ti	M1	A1	ΔT1	Q2	M2	A2	ΔT2
1	x	x							
2	x		x						
3				x	x				
4		x			x				
5		x				x			
6						x	x		
7								x	x
8		x							x

Tidak dipilih Q1 atau Q2 sebagai DV, karena kisaran suhu Ti sudah dapat ditebak antara T1 dan T2.

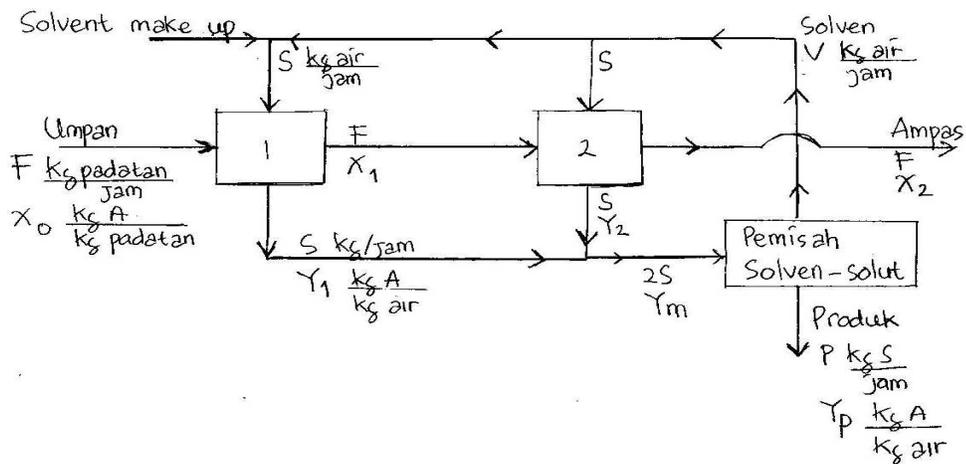
Buktikan bahwa urutan perhitungan seperti di bawah ini:



Kasus 3: EKSTRAKSI PADAT-CAIR

Pada pemungutan santan (A), kelapa yang telah diparut (padatan) diekstraksi menggunakan air (S) secara cross current seperti skema berikut.

Diketahui:



Umpan F Kg/jam berisi santan dengan konsentrasi X_0 $\frac{\text{Kg A}}{\text{Kg padatan}}$ diekstraksi sehingga diperoleh konsentrat santan Y_p $\frac{\text{Kg A}}{\text{Kg air}}$.

Harga umpan : CF , \$/Kg.

Harga produk : CP, \$/Kg.

Ongkos penguapan air : CV, \$/Kg.

Ingin dicari kondisi yang dapat memberikan profit maksimum.

Analisis:

Objective function= Profit.

$$\text{Profit} = Pr = P \cdot Yp \cdot CP - F \cdot CF - V \cdot CV$$

Persamaan matematis :

Neraca Massa A di ekstraktor 1 :

$$F \cdot X_o = F \cdot X_1 + S \cdot Y_1 \quad \dots\dots\dots(1)$$

Keseimbangan di esktraktor 1 :

$$Y_1 = K \cdot X_1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

Neraca Massa A di ekstraktor 2 :

$$F \cdot X_1 = F \cdot X_2 + S \cdot Y_2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

Keseimbangan di esktraktor 1 :

$$Y_2 = K \cdot X_2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

Neraca massa A di pencampuran ekstrak:

$$\begin{aligned} S \cdot Y_1 + S \cdot Y_2 &= 2S \cdot Y_m \\ Y_1 + Y_2 &= 2 \cdot Y_m \quad \dots\dots\dots .(5) \end{aligned}$$

Neraca Massa A di pemisah :

$$2S = V + P \quad \dots\dots\dots (6)$$

Variabel : S, X1, X2, Y1, Y2, Ym, V, P.

Ada 8 variabel.

Jumlah persamaan = 6.

Jadi, number of DV = 7-6 = 1.

Menentukan DV:

	S	X ₁	X ₂	Y ₁	Y ₂	Y _m	V	P
1	x	x		x				
2		x		x				
3	x	x	x		x			
4			x		x			
5					x			
6	x						x	x
7						x		x

Setelah berhasil mencoret 3 variabel, tidak ada variabel dalam kolom yang bisa dicoret lagi. Jika pencoretan dilanjutkan, maka akan muncul penyelesaian dengan trial and error (coba-coba). Sebaiknya penyelesaian dengan coba-coba dihindari. Oleh karena itu dicoba membentuk persamaan lain.

Persamaan (1) dan (2) digabung menjadi persamaan (2a):

$$F \cdot X_0 = F \cdot X_1 + S \cdot K \cdot X_1 \quad \dots\dots\dots (2a)$$

Persamaan (3) dan (4) digabung menjadi persamaan (3a) :

$$F \cdot X_1 = F \cdot X_2 + S \cdot K \cdot X_2 \quad \dots\dots\dots (3a)$$

Yang harus diingat dalam menyusun persamaan adalah bahwa persamaan yang disusun merupakan persamaan bebas (independent equation).

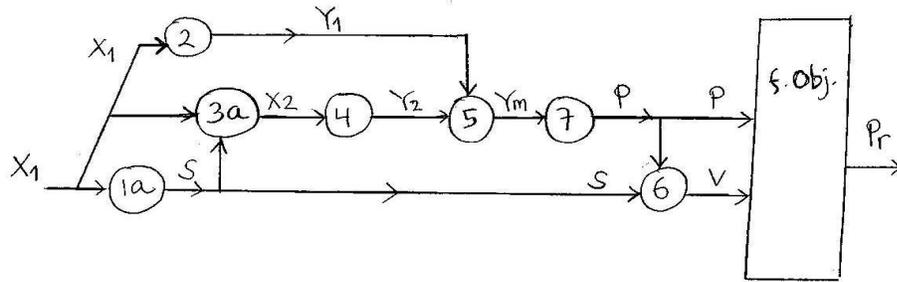
Contoh: persamaan (1), (2), dan (2a) bukanlah persamaan-persamaan yang independent, karena persamaan (2a) disusun dari persamaan (1) dan (2).

Persamaan (1) dan (2a) adalah persamaan-persamaan independent.

	S	X ₁	X ₂	Y ₁	Y ₂	Y _m	V	P
1a	x	x						
2		x		x				
3a	x	x	x					
4			x		x			
5				x	x	x		
6	x						x	x
7	x					x		x

Dipilih X₁ sebagai DV, karena kisaran nilai X₁ dapat diprediksi, yaitu lebih besar dari nol, dan lebih kecil dari X₀.

Buktikan bahwa algoritma perhitungan adalah sebagai berikut:

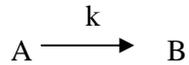


Kasus 4 : REAKTOR ALIR TANGKI BERPENGADUK (RATB).

RATB adalah bahasa Indonesia dari Continuous Stirrer Tank Reactor (CSTR).

Diketahui:

Reaksi fase cair order satu, volum tetap, searah, endotermis dijalankan dalam RATB. Panas reaksi = λR , dianggap tetap.

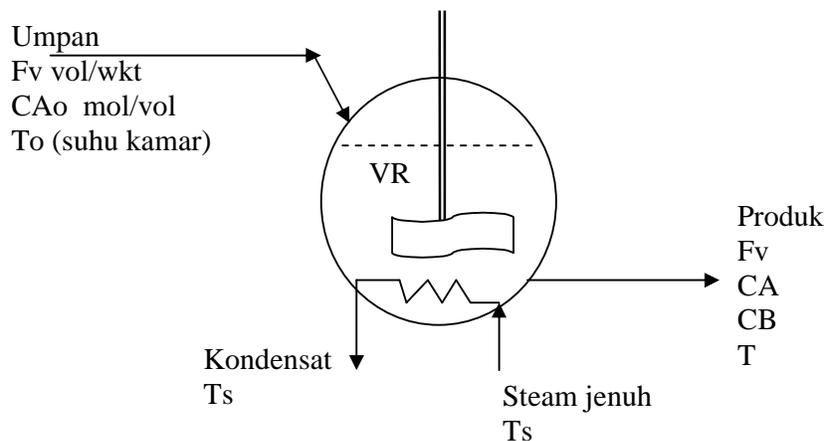


RATB dilengkapi pemanas koil untuk mempertahankan suhu reaktan tetap. Sebagai pemanas dipakai steam bersuhu T_s (saturated steam). Nilai tetapan kecepatan reaksi :

$$k = A \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$$

Jumlah umpan = $F_v \frac{\text{volum}}{\text{waktu}}$, konsentrasi A = $CA_o \frac{\text{mol A}}{\text{volum}}$.

Skema:



Harga umpan A = α \$/mol A

Harga B dalam produk = β \$/mol B

Harga reaktor = $a \cdot VR^{0,6}$ \$/waktu

Harga koil = $b \cdot Ac^{0,6}$ \$/waktu

Harga steam = γ \$/Kg

Harga pengaduk = $f(VR)$; untuk kasus ini dianggap nilainya kecil.

Industri akan menarik jika nilai $\beta \gg \alpha$, biasanya $\frac{\beta}{\alpha} \geq 2,5$.

Pengetahuan umum:

Mengapa untuk pemanas digunakan steam jenuh, bukan steam lewat jenuh (superheated atau supersaturated steam)?

Jawab: Panas perubahan fase >>>>> panas perubahan suhu.

Panas laten saturated steam berkisar 1000 kal/g.

Kisaran kapasitas panas H₂O gas = 0,5 kal/g/°C.

Kisaran kapasitas panas H₂O cair = 1 kal/g/°C.

Lalu mengapa industri menyediakan superheated steam?

Jawab: salah satunya untuk memutar turbin, dimana di dalam turbin, kondensat tidak boleh terbentuk.

Ingin dicari kondisi yang memberikan keuntungan maksimal.

Analisis:

$$\text{Profit} = Pr = (\beta \cdot FV \cdot CB) - (\alpha \cdot FV \cdot CA_0) - (S \cdot \gamma) - (a \cdot VR^{0,6}) - (b \cdot Ac^{0,6})$$

Persamaan matematis :

$$\text{Stoikiometri : } FV \cdot CB = FV \cdot (CA_0 - CA) \dots\dots\dots (1)$$

NM A di reaktor: input – output – reaksi = akumulasi

$$FV \cdot CA_0 - FV \cdot CA - VR \cdot k \cdot CA = 0 \dots\dots\dots (2)$$

Dengan,

$$k = A \cdot e^{\frac{E}{RT}} \dots\dots\dots (3)$$

Neraca Panas dalam reaktor :

Input – output – reaksi + panas dari koil = akumulasi

$$FV. \rho. Cp (To - Tref) - FV. \rho. Cp (T - Tref) - FV (CAo- CA) . \lambda R + Q = 0$$

$$Q - FV (CAo- CA) . \lambda R = FV .\rho Cp (T-To) \quad (4)$$

Panas yang disuplai steam ke koil:

$$Q = S. \lambda_s \quad \dots\dots\dots (5)$$

Panas sebesar Q harus bias ditransfer oleh koil:

$$Q = U. Ac. \Delta T \quad \dots\dots\dots (6)$$

Berapakah ΔT ??

Ingat, konsep RATB ideal adalah mixed flow, dimana kondisi fluida di dalam reaktor di setiap tempat dianggap seragam. Maka suhu dan konsentrasi keluar reaktor adalah sama dengan suhu dan konsentrasi di dalam reaktor.

Jangan dibalik, karena suhu keluar adalah T maka suhu di dalam reaktor adalah T.

Yang benar adalah, karena suhu di dalam adalah T, maka suhu keluar juga T.

Ingat, kita ambil sesendok larutan gula dari gelas, manisnya larutan dalam sendok bukan yang menyebabkan larutan di dalam gelas menjadi manis. Yang membuat larutan dalam sendok manis adalah larutan di dalam gelas.

Berapakah ΔT ??

Konsep mixed flow, menunjukkan bahwa suhu di dalam reaktor adalah T. Sedangkan saturated steam juga bersuhu tetap T_s (hanya berubah fase), maka

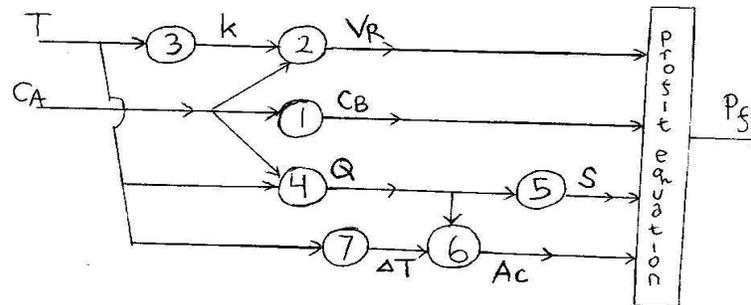
$$\Delta T = T_s - T \quad \dots\dots\dots (7)$$

Variabel : CA, CB, T, k, VR, Q, S, Ac, ΔT . Ada 9 variabel, dengan 7 persamaan, maka jumlah DV adalah 2.

Menentukan DV:

	CA	CB	T	k	VR	Q	S	Ac	ΔT
1	x	x							
2	x			x	x				
3			x	x					
4	x		x			x			
5						x	x		
6						x		x	
7			x						x

Buktikan bahwa algoritma hubungan DV dengan objective function adalah:



Optimasi 2 variabel, bisa dilakukan dengan metode numeris Hooke-Jeeves, tidak dibahas di catatan ini.

Untuk alat yang banyak, sehingga jumlah variabel dan persamaan yang terlibat sangat banyak, maka optimasi dapat dilakukan secara bertingkat atau sub sistem.

Sistem dibagi menjadi sub sistem. Pada kasus ini:

- a. sub sistem reaktor.
- b. Sub sistem koil.

- a. sub sistem reaktor.

Variabel : CA, CB, T, k, VR, Q. Ada 6 variabel.

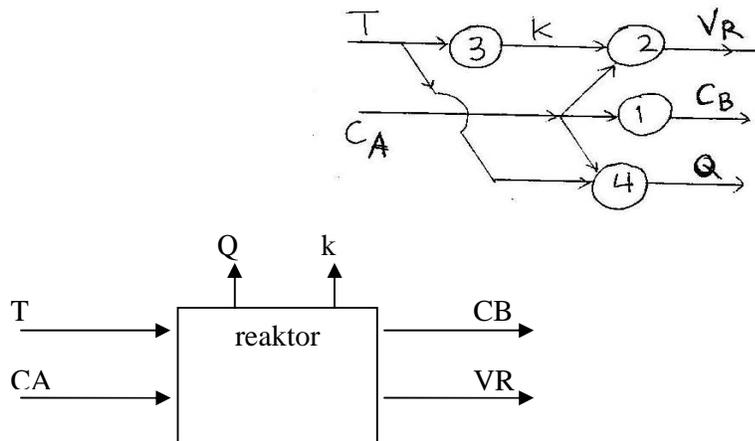
Persamaan nomor (1), (2), (3), dan (4).

Maka ada 2 DV.

Menentukan DV:

	C_A	C_B	T	k	V_R	Q
1	x	x				
2	x			x	x	
3			x	x		
4	x		x			x

Diperoleh bahwa T dan C_A sebagai DV. Algoritma perhitungan :



b. Sub sistem koil

Variabel : T , Q , S , A_c , ΔT .

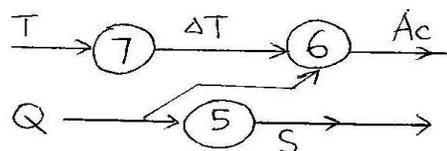
Persamaan nomor (5), (6), dan (7).

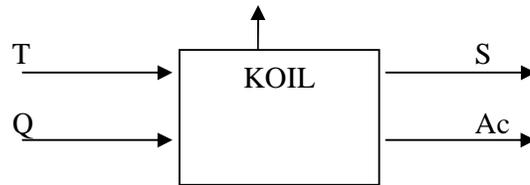
Jadi, jumlah DV = 2.

Menentukan DV:

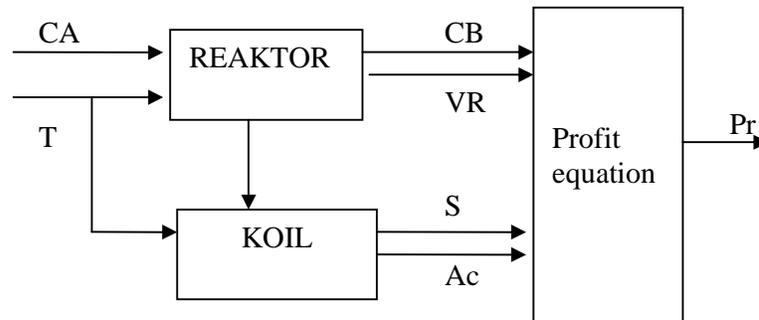
	T	Q	S	A_c	ΔT
5		x	x		
6		x		x	x
7	x				x

Diperoleh T dan Q sebagai DV. Algoritma adalah seperti:





Penggabungan:

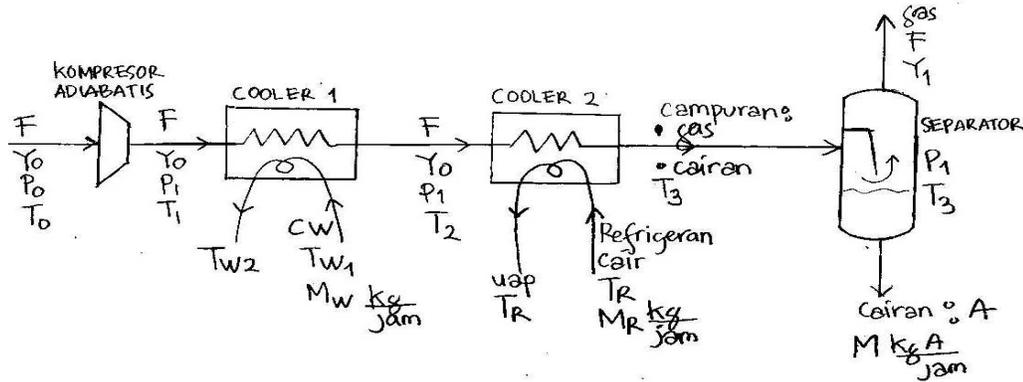


Kasus 5 : RECOVERY DENGAN KONDENSASI .

Beberapa cara merecovery bahan yang mudah menguap dalam campuran gas, seperti:

- Menggunakan absorpsi, kelemahannya setelah absorpsi komponen volatil harus dipisahkan dengan pelarutnya.
- Menggunakan kondensasi, kelemahannya gas harus ditekan dan dikondensasi pada suhu rendah.

Diketahui : Pada kasus ini, uap A tercampur dengan udara yang akan dibuang. Uap A tersebut akan diambil dengan kondensasi pada suhu rendah dan tekanan tinggi. Skema proses seperti di bawah ini.



Konsentrasi A dalam gas umpan adalah $Y_0 \frac{\text{mol A}}{\text{mol udara bebas A}}$.

Kecepatan gas umpan bebas A = kecepatan udara bebas A = $F \frac{\text{mol udara bebas A}}{\text{waktu}}$.

Kompresor dianggap adiabatik reversibel.

Variabel yang telah diketahui dan ditentukan (Fixed Variable) : F, Y_0 , P_0 , T_0 , T_{w1} , T_{w2} , TR.

Biaya kompresi = $\alpha \cdot P_1^{0,6}$ \$/waktu

Power kompresor (biaya listrik) = $\beta \cdot W_c$ \$/waktu

Harga cooler 1 = $\gamma \cdot A_1^{0,6}$

Harga Cooling water (CW) = δ \$/waktu

Harga cooler 2 = $\gamma \cdot A_2^{0,6}$

Harga refrigerant = η \$/Kg

Harga separator = μ \$/waktu.

Harga jual cairan = ϵ \$/Kg.

Ingin dicari kondisi yang memberikan profit maksimum.

Analisis: f Obj. = profit.

Profit = Pr = $M \cdot \epsilon - \alpha \cdot P_1^{0,6} - \beta \cdot W_c - \gamma \cdot A_1^{0,6} - \gamma \cdot A_2^{0,6} - \eta - \mu$

Persamaan matematis:

Suhu keluar kompresor :

$$T_1 = T_0 \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (1)$$

$$k = \frac{C_p}{C_v}$$

Power kompresor : $W_c = \Delta H - Q$

Karena adiabatic, maka $Q = 0$, dan

$$W_c = \Delta H$$

$$W_c = (F \cdot C_{p \text{ udara}} + F \cdot Y_o \cdot C_{p_{vA}}) (T_1 - T_o) \quad \dots \quad (2)$$

Cooler 1:

$$Q_1 = (F \cdot C_{p \text{ udara}} + F \cdot Y_o \cdot C_{p_{vA}}) (T_2 - T_1) \quad \dots (3)$$

$$Q_1 = M_w \cdot C_{pw} (T_w2 - T_w1) \quad \dots \quad (4)$$

$$Q_1 = U_1 \cdot A_1 \cdot \Delta T_1 \quad \dots \quad (5)$$

$$\Delta T_1 = \frac{(T_1 - T_w2) - (T_2 - T_w1)}{\ln \frac{T_1 - T_w2}{T_2 - T_w1}} \quad \dots \quad (6)$$

Cooler 2 :

$$Q_2 = (F \cdot C_{p \text{ udara}} + F \cdot Y_o \cdot C_{p_{vA}}) (T_3 - T_2) + M \cdot \lambda_A \text{ pada } T_3 \quad \dots \quad (7)$$

$$Q_2 = M_R \cdot \lambda_R \quad \dots \quad (8)$$

$$Q_2 = U_2 \cdot A_2 \cdot \Delta T_2 \quad \dots \quad (9)$$

$$\Delta T_2 = \frac{(T_2 - T_R) - (T_3 - T_R)}{\ln \frac{T_2 - T_R}{T_3 - T_R}} \quad \dots \quad (10)$$

Separator:

Neraca massa A :

$$M = F \cdot Y_o - F \cdot Y_1 \quad \dots \quad (11)$$

Keseimbangan :

$$f^{\text{liquid}} = f^{\text{vapor}}$$

$$x \cdot \Phi \cdot P_i^o = \Phi \cdot y \cdot P$$

x = fraksi mol A di fase cair.

y = fraksi mol A di fase uap.

Dianggap Φ mendekati 1, dan cairan berisi A saja, maka $x = 1$ dan

$$P_i^o = y \cdot P$$

Pada kasus ini, maka:

$$P_A^s = y \cdot P_1$$

Data yang diketahui adalah Y1 yaitu rasio mol A terhadap mol udara bebas A, maka

$$P_A^s = \left(\frac{Y_1}{1 + Y_1} \right) P_1 \quad \dots\dots \quad (12)$$

Hubungan tekanan uap murni A dengan suhu :

$$P_A^s = A + \frac{B}{T_3} \quad \dots\dots\dots \quad (13)$$

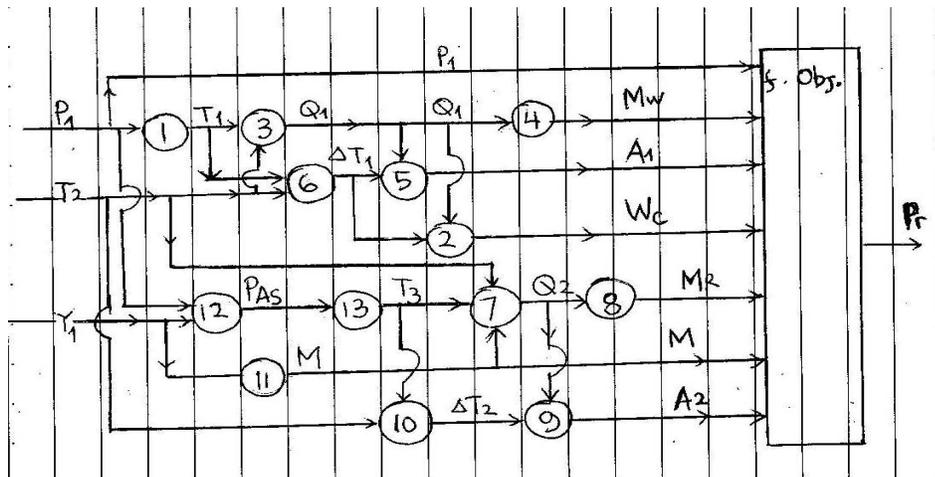
Variabel : P1, T1, Wc, Mw, T2, Q1, A1, ΔT1, MR, Q2, T3, A2, ΔT2, Y1, M, P_A^s.

Ada 16 variabel dengan 13 persamaan, maka ada 3 DV.

Menentukan DV:

	P1	T1	Wc	Mw	T2	Q1	A1	ΔT1	MR	Q2	T3	A2	ΔT2	Y1	M	P _A ^s
1	X	X														
2		X	X													
3		X			X	X										
4				X		X										
5						X	x	X								
6		X			X			x								
7					X					X	x				X	
8									x	X		X	X			
9										x			X			
10					X						X			X	X	
11														X		X
12	X															X
13											X					

Buktikan bahwa urutan perhitungan seperti di bawah ini.



Soal latihan:

It is desired to recover the wasted heat the exhauste gases leaving a furnace (flow rate, $m=60,000$ lh/hr, heat capacity, $c_p= 0.25$ Btu/lb/ $^{\circ}$ F) at temperature of $T_{in} = 500^{\circ}$ F by installing a heat exchanger (overall heat transfer coefficient, $U = 4$ Btu/hf/ft 2 / $^{\circ}$ F) to produce saturated steam at $T_s = 220$ $^{\circ}$ F from saturated water at 220° F. The latent heat of vaporization of $w = 1000$ Btu/lb. The value of the steam is $p = \$ 0.75/1000$ lb and the installed cost of the heat exchanger is $c = \$ 1.00/ft^2/year$.

- a. derive the equation connecting the profit and its variables.
- b. Obtain the maximum profit.