

PERANCANGAN PROSES KIMIA

Pertemuan_6

- Cara yang paling baik berkomunikasi tentang proses kimia adalah melalui diagram (*flow diagram*)
- Diagram dapat memberikan informasi proses kimia yang begitu komplek, sehingga dapat dipelajari dan dianalisa semua kondisi operasinya

Tingkatan Flow Diagram



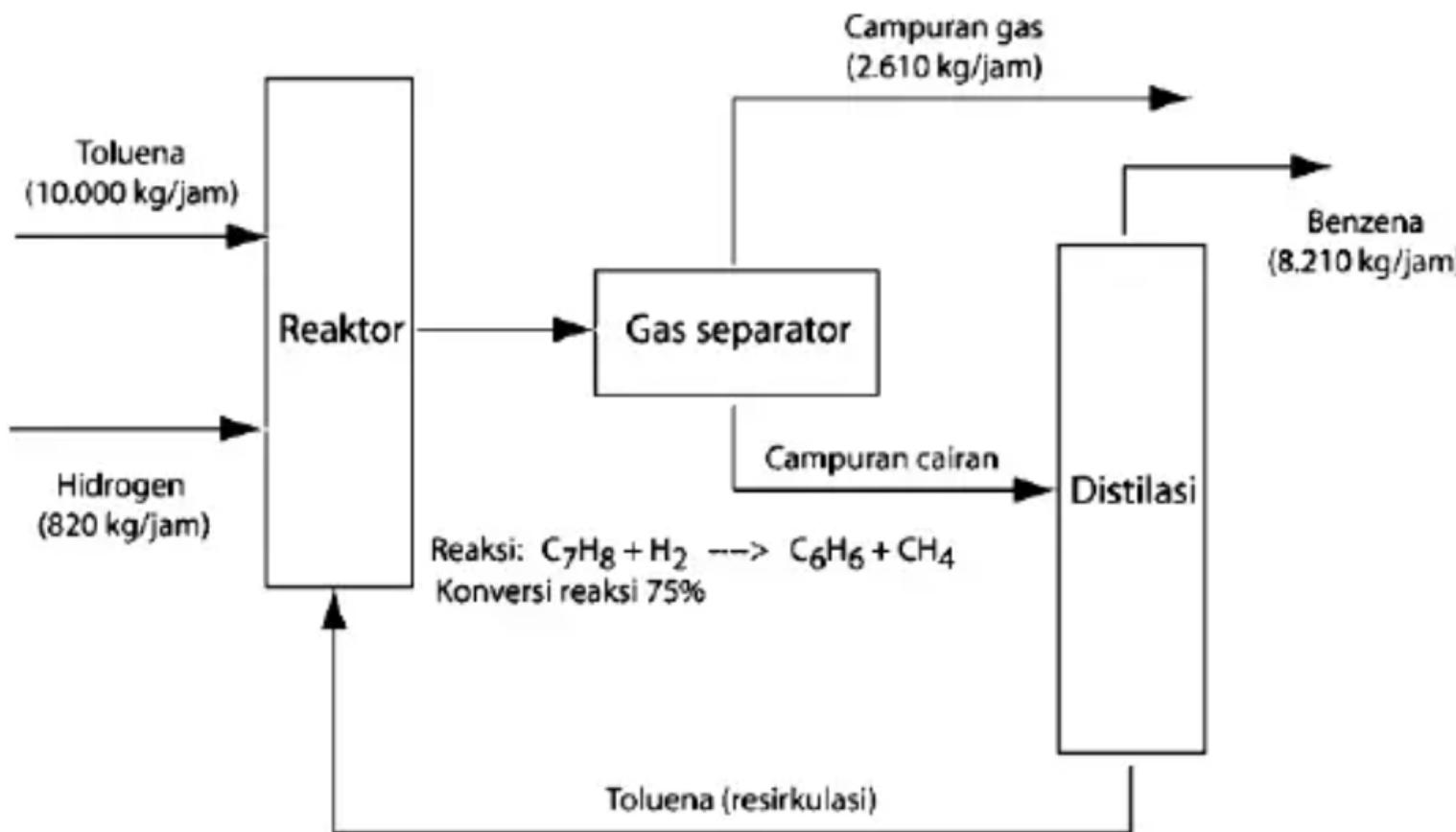
Block Flow Diagram (BFD)

- Serupa dengan sketsa dalam neraca massa dan energi
- Tediri dari gabungan beberapa *block* (kotak) yang dihubungkan dengan aliran input dan output
- Mengandung informasi seperti konversi dan rekoveri, tetapi tidak menyediakan data yang detail
- BFD sangat membantu di dalam pembuatan awal PFD.

Format Pembuatan BFD

1. Operasi diberikan dalam bentuk blok
2. Aliran utama dilengkapi dengan arah anak panah yang menunjukkan arah aliran
3. Sebaiknya aliran bergerak dari kiri ke kanan
4. Aliran gas ditunjukkan pada bagian atas blok dan arah aliran yang lain ditunjukkan pada bagian bawah blok
5. Kondisi khusus ditunjukkan pada blok
6. Apabila arah memotong, maka aliran yang dipotong adalah aliran vertikal (garis horizontal kontinyu, garis vertikal putus-putus)
7. Ditampilkan neraca massa yang sederhana

Contoh BFD (Turton, R., 2003)



Uraian Proses:

Toluena dan hidrogen diubah dalam reaktor untuk menghasilkan benzene dan metana. Karena reaksi tidak berjalan sempurna, maka diperlukan toluena berlebihan. Gas yang tidak terkondensasi dipisahkan dan dibuang.

Produk benzene dan toluena yang tidak bereaksi kemudian dipisahkan dengan distilasi. Toluena kemudian didaur ulang kembali ke reaktor dan benzene dialirkan ke dalam aliran produk

Gambar 1. BFD Produksi Benzene dari Toluena dan Hidrogen

Process Flow Diagram (PFD)

- Mengandung sejumlah data rekayasa kimia yang diperlukan di dalam desain proses kimia.
- PFD komersial mengandung informasi sebagai berikut:

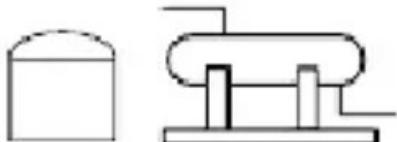
Semua peralatan utama dalam proses terdapat dalam diagram yang dilengkapi dengan deskripsi. Setiap peralatan ditandai dengan kode nama dan jumlahnya

Ditampilkan semua aliran utilitas ke peralatan utama proses

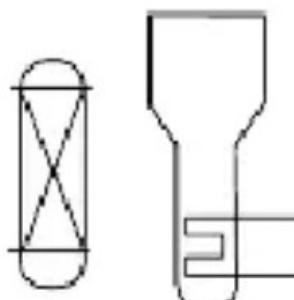
Semua aliran proses diidentifikasi dengan angka yang dilengkapi dengan kondisi proses dan komposisi kimia setiap aliran. Data ini ditampilkan baik di dalam PFD atau dalam bentuk table ringkasan aliran

Dasar-dasar *control loop* yang menggambarkan strategi pengendalian proses selama kondisi normal ditampilkan di dalam diagram

Contoh simbol yang digunakan dalam PFD



Storage tank (tangki penampung)



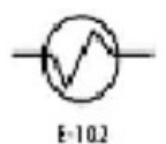
Reaktor



Vessel (tangki)



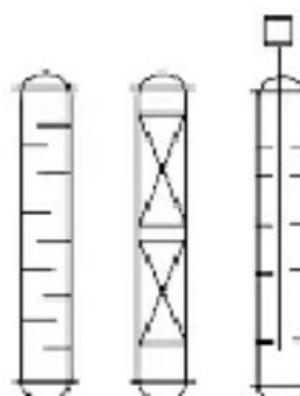
Pompa, Turbin, Kompressor



Heat Exchanger (alat penukar panas)



Fired Heater



Tower (menara atau kolumn)



Input proses



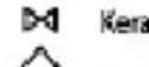
Output proses



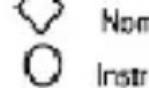
Control valve



Globe valve (kontrol manual)



Keran



Nomor aliran



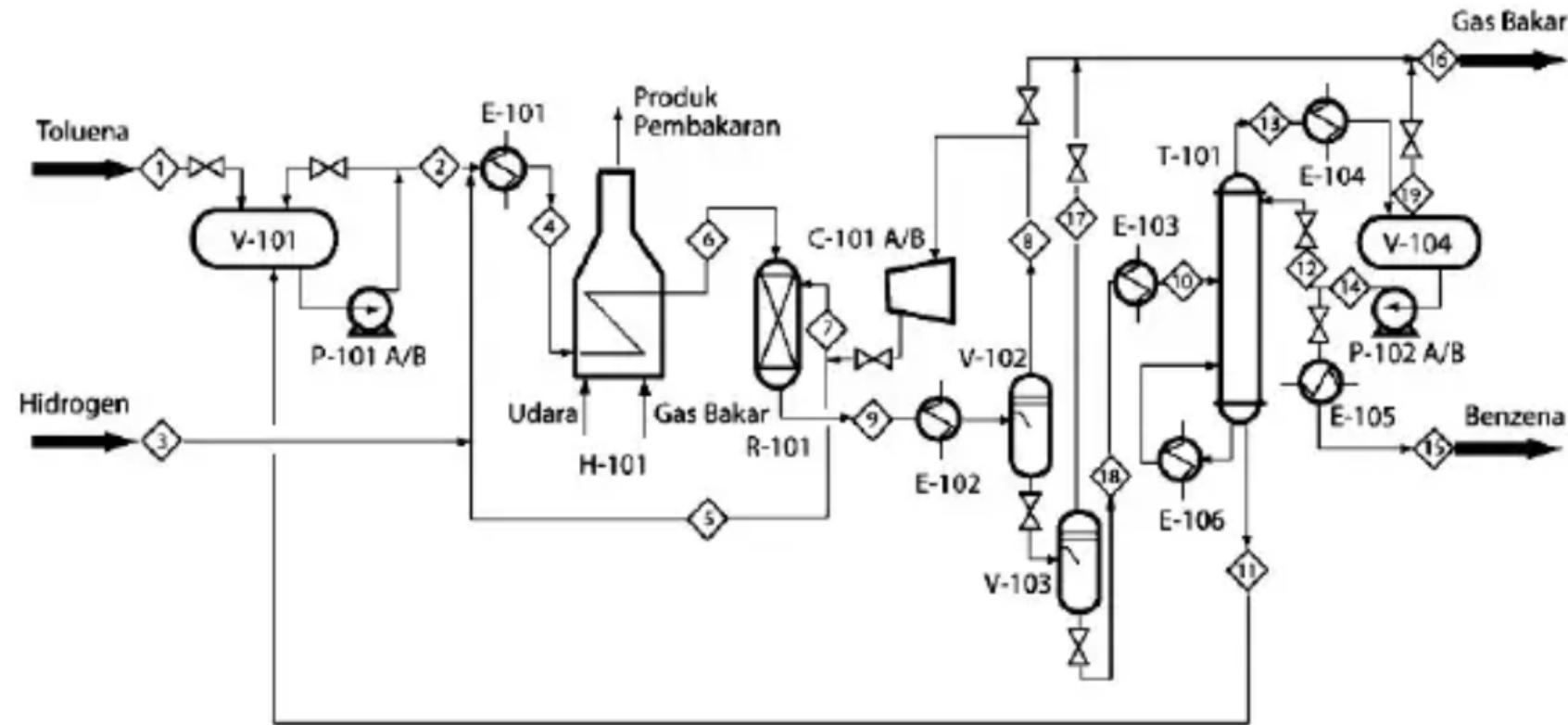
Instrument Flag

Informasi dasar yang diberikan dalam PFD dapat dibagi ke dalam satu dari tiga kelompok berikut:

1. Topologi Proses
2. Informasi aliran
3. Informasi peralatan

1. Topologi Proses

- Lokasi peralatan dan interaksi antar peralatan yang ada



Gambar 2. PFD Produksi Benzena dari Toluena dan Hidrogen

P-101A/B:
P menunjukkan peralatan pompa;
1 angka pertama pada 101 menunjukkan lokasi pompa berada di pabrik pada area 100;
01 menunjukkan nomor pompa pada unit 100;
A/B menunjukkan bahwa pompa memiliki cadangan. Kedua pompa adalah identik

Diskripsi simbol untuk mengidentifikasi peralatan proses:

Tabel 1. Contoh konvensi singkatan untuk beberapa alat proses

Peralatan Proses	Identitas
Compressor atau Turbin	C
Heat Exchanger	E
Fired Heater	H
Pump	P
Reactor	R
Tower	T
Storage tank	TK
Vessel	V
XX-YZZ A/B	Identitas nama alat
XX	Lokasi alat di dalam area pabrik
Y	Nomor alat di dalam kelompok
ZZ	Unit paralel atau cadangan
A/B	

Gunakan konvensi yang sesuai secara konsisten sebagai bahasa (komunikasi dengan lambang) untuk memberikan informasi proses yang jelas

2. Informasi Aliran

- Berisi data tentang suhu, tekanan, komposisi dan laju alir.
- Data ini dapat langsung ditempatkan pada aliran di dalam PFD atau ditempatkan di luar apabila PFD sangat kompleks
- Terbagi ke dalam dua kelompok: kelompok informasi yang dibutuhkan; dan kelompok informasi tambahan yang diperlukan untuk kondisi khusus

Informasi Penting:

Nomor Aliran
Suhu (°C)
Tekanan (bar)
Fraksi Uap (kg/jam)
Laju Alir Mol Total (kmol/jam)
Laju Alir Komponen Individu (kmol/jam)

Informasi Tambahan:

Fraksi Mol Komponen
Fraksi Massa Komponen
Komponen Individu (kg/jam)
Laju Alir Volumetrik (m³/jam)
Sifat-sifat fisika
Densiti
Viskositas
Lain-lain
Data Thermodynamika
Kapasitas Panas
Enthalpi Aliran
Nilai-K
Nama Aliran

Ringkasan data aliran pada proses produksi Benzena pada Gambar 2

Stream Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperature (°C)	25	59	25	225	41	600	41	38	654	90
Pressure (bar)	1.90	25.8	25.5	25.2	25.5	25.0	25.5	23.9	24.0	2.6
Vapor Fraction	0.0	0.0	1.00	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0
Mass Flow (tonne/h)	10.0	13.3	0.82	20.5	6.41	20.5	0.36	9.2	20.9	11.6
Mole Flow (kmol/h)	108.7	144.2	301.0	1204.4	758.8	1204.4	42.6	1100.8	1247.0	142
Component Flowrates (kmol/h)										
Hydrogen	0.0	0.0	286.0	735.4	449.4	735.4	25.2	651.9	652.6	0.0
Methane	0.0	0.0	15.0	317.3	302.2	317.3	16.95	438.3	442.3	0.8
Benzene	0.0	1.0	0.0	7.6	6.6	7.6	0.37	9.55	116.0	106
Toluene	108.7	143.2	0.0	144.0	0.7	144.0	0.04	1.05	36.0	35

3. Informasi Peralatan

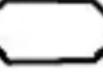
- Diperlukan untuk mengestimasi biaya peralatan dan perlengkapan lainnya

Jenis Peralatan	Deskripsi
Menara (kolom)	Ukuran (tinggi dan diameter) Tekanan, suhu Jumlah dan jenis tray Tinggi dan jenis packing Bahan konstruksi
Alat Penukar Panas (Heat Exchanger)	Jenis: Gas-Gas, Gas-Cair, Cair-Cair, Condenser, Vaporizer Proses: Beban panas, luas area perpindahan panas, temperatur, tekanan untuk kedua aliran Jumlah lewatan (pass) pada shell dan tube
Tangki dan Vessel	Tinggi Diameter Orientasi Tekanan, suhu Bahan Konstruksi

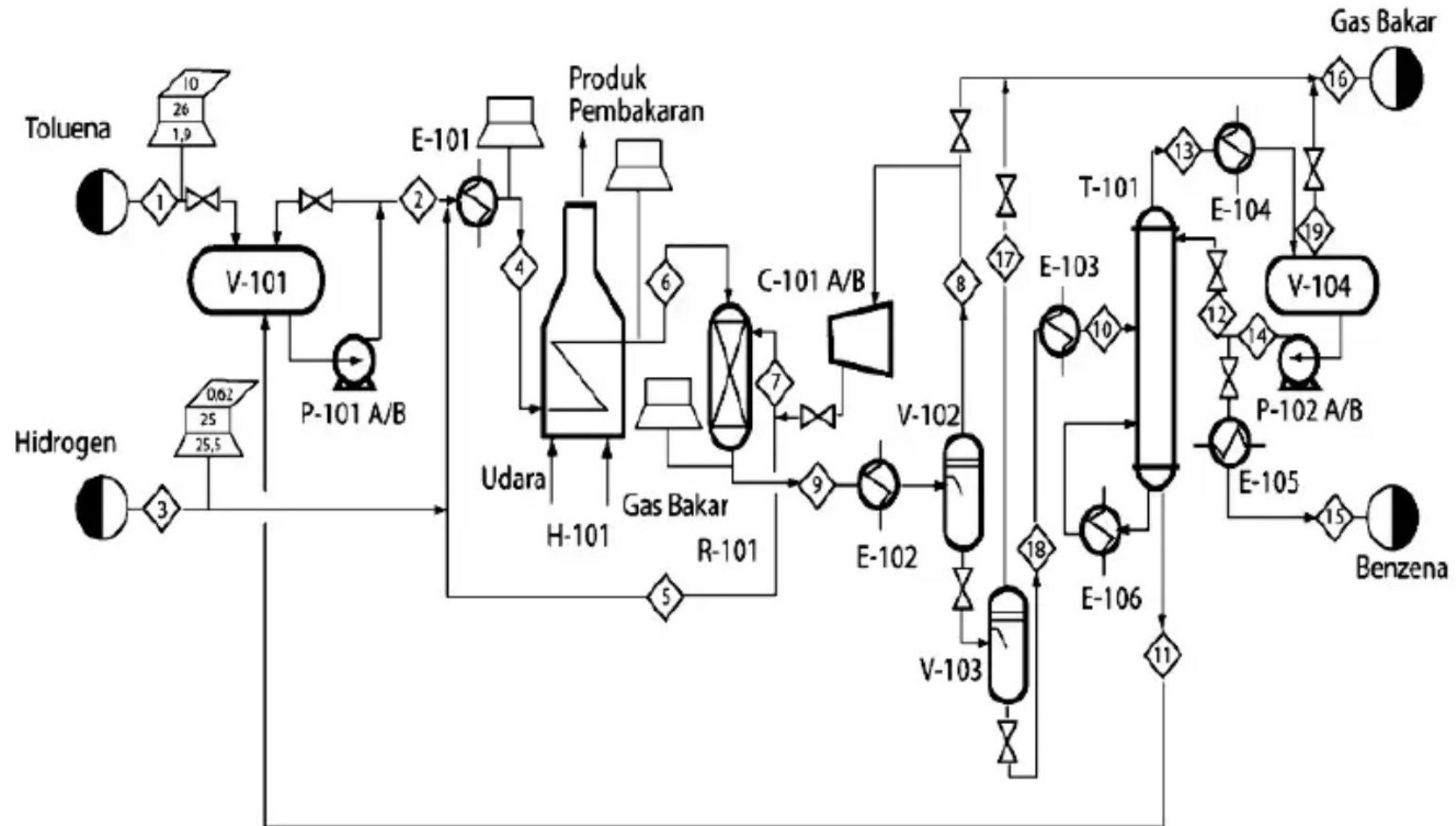
Jenis Peralatan	Deskripsi
Pompa	Aliran low Tekanan Discharge Suhu, ΔP Jenis penggerak (driver) Tenaga poros (Shaft power) Bahan konstruksi
Kompresor	Laju alir inlet aktual Suhu, tekanan Jenis penggerak (driver) Tenaga poros (shaft power) Bahan konstruksi
Pemanas (Heater)	Jenis Tekanan pada tube Suhu pada tube Beban panas Bahan bakar Bahan konstruksi

Kombinasi Topologi, Data Aliran dan Strategi Pengendalian Proses

- Untuk memperoleh informasi yang lebih akurat, aliran pada PFD dilengkapi dengan data suhu, tekanan, dan laju alir yang diisi dalam simbol "bendera"

	No. Aliran
	Suhu
	Tekanan
	Laju Alir Cairan
	Laju Alir Gas
	Laju Alir Molar
	Laju Alir Massa

Simbol bendera dalam flowsheet



Contoh PFD yang dilengkapi dengan kondisi aliran

- Informasi proses tidak semua memiliki tingkat kepentingan yang sama dalam flowsheet.
- Hanya informasi yang penting saja yang perlu ditampilkan di dalam simbol bendera.

Contoh:

Asam akrilik memiliki suhu yang sensitif dan membentuk polimer pada suhu 90°C apabila berada pada konsentrasi yang tinggi. Asam ini dipisahkan dari komponen lainnya dengan menggunakan suatu unit distilasi dan keluar melalui bagian bawah menara (*bottom product*).

Dalam kasus ini, simbol bendera yang terletak pada aliran yang meninggalkan reboiler yang memberi informasi suhu dan tekanan menjadi penting.

Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)

- Disebut juga *Mechanical Flow Diagram* (MFD)
- Berguna untuk perencanaan pabrik
- Mencakup setiap aspek mekanika pabrik kecuali informasi yang diberikan di Tabel 2 berikut
- Semua informasi proses pada P&ID ditampilkan di dalam suatu lingkaran.

Tabel 2. Data yang tidak ditampilkan di dalam P&ID

1. Kondisi Operasi (Suhu, Tekanan)
2. Aliran
3. Lokasi Peralatan
4. Data Pipa
 - a) Panjang Pipa
 - b) Sambungan Pipa
5. Pendukung, Struktur, dan Pondasi

Tabel 3. Konvensi yang digunakan untuk mengidentifikasi P&ID

Lokasi Alat Instrumentasi	
	Alat instrumen berada di pabrik
	Alat instrumen berada di panel ruang kontrol
Pengertian Identifikasi Huruf	
Berada pada huruf pertama	Berada pada huruf kedua
A Analysis	Alarm
B Burner flame	Control
C Conductivity	Element
D Density atau specific gravity	High
E Voltage	Indicate
F Flowrate	Control station
H Hand (inisiasi secara manual)	Light atau low
I Current	Middle atau intermediate
J Power	Orifice
K Time atau time schedule	Point
L Level	Record atau print
M Moisture atau humidity	Switch
O	Transmit
P Pressure atau vacumm	Valve, damper, atau louver
Q Quantity	Well
R Radioactivity atau ratio	Relay atau compute
S Speed atau frequency	Drive
T Temperature	
V Viscosity	
W Weight	
Y	
Z Position	
Identifikasi Koneksi Alat Instrumentasi	
	Capillary
	Pneumatic
	Electrical

P&ID pada proses distilasi Benzena

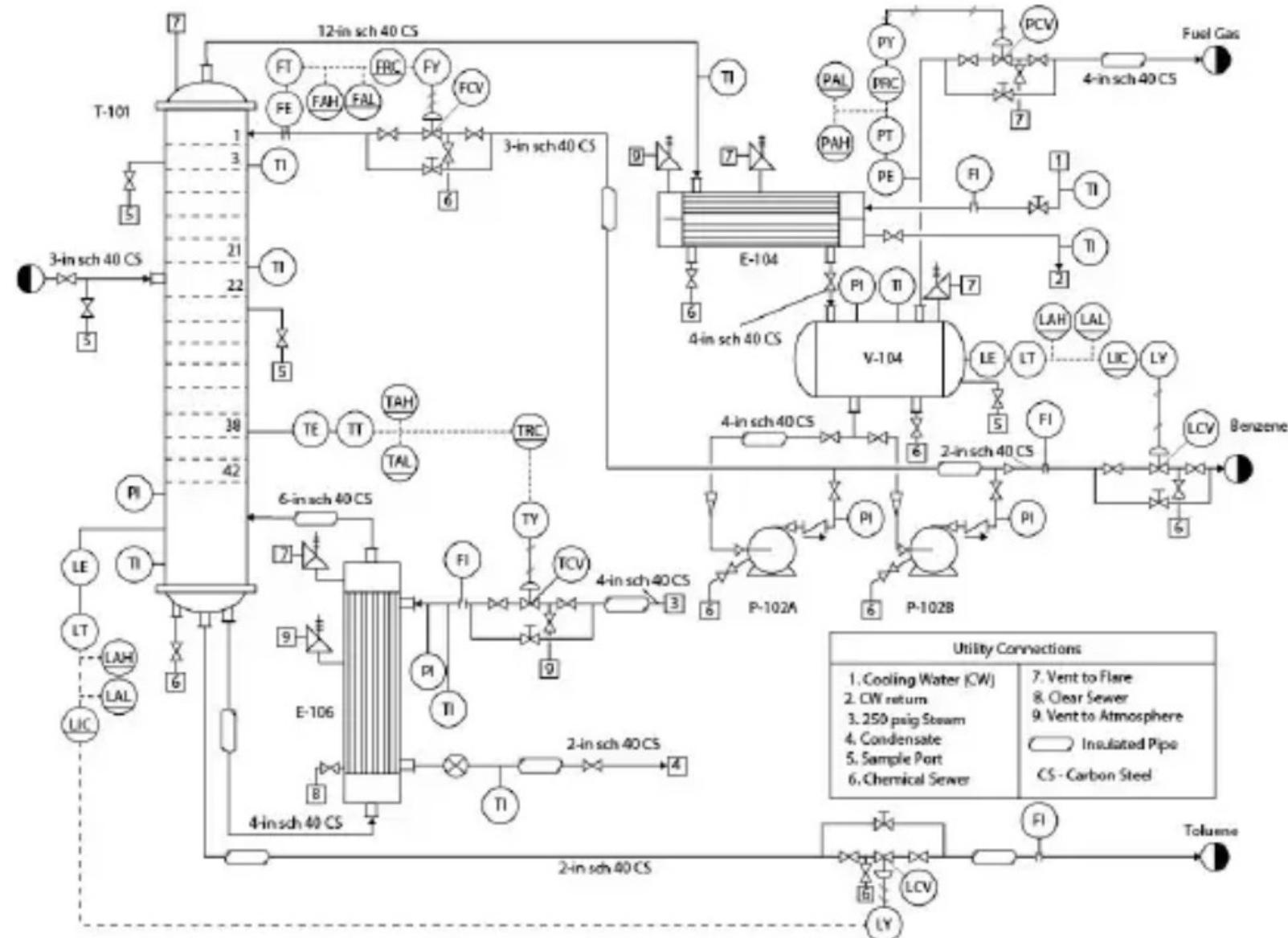
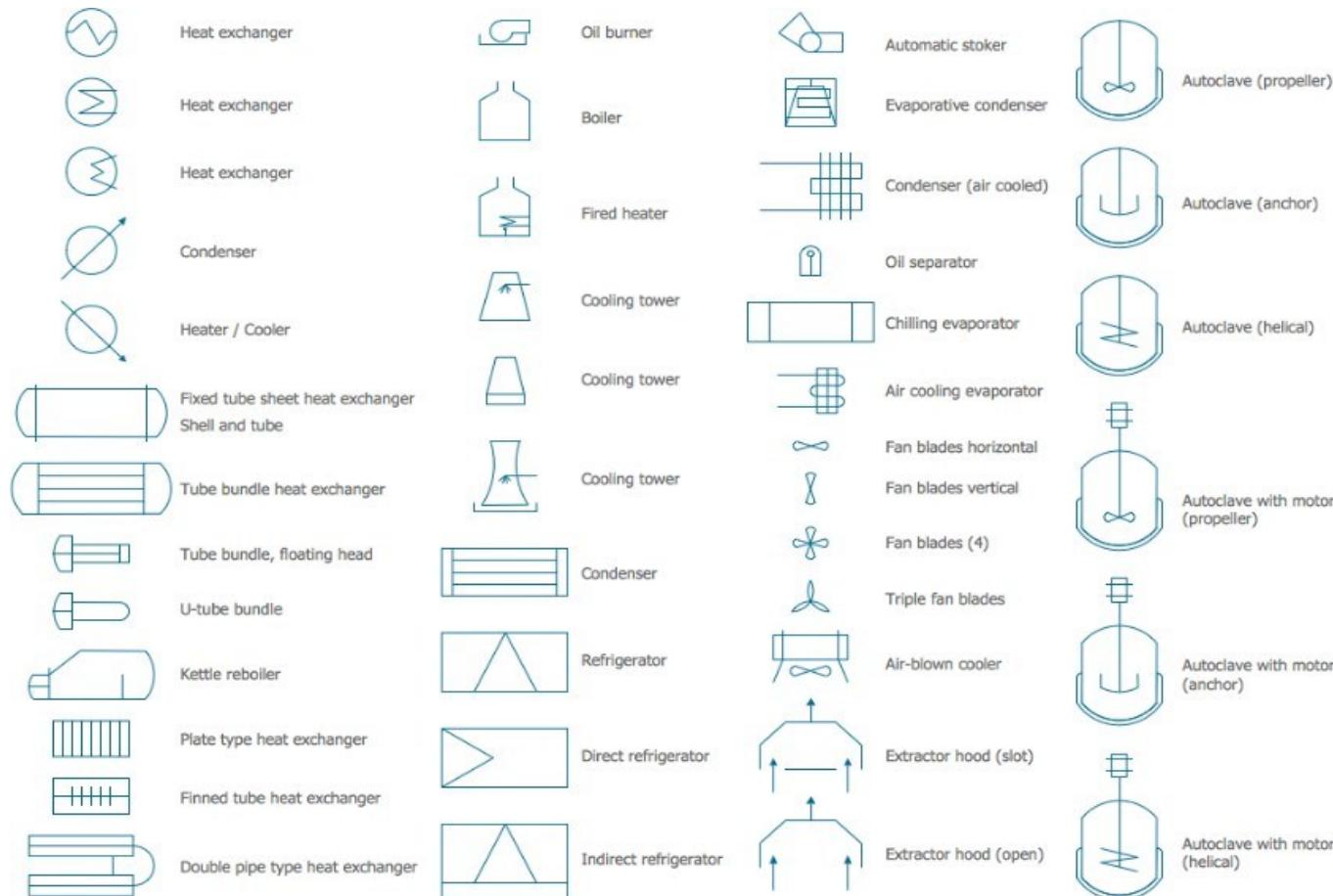


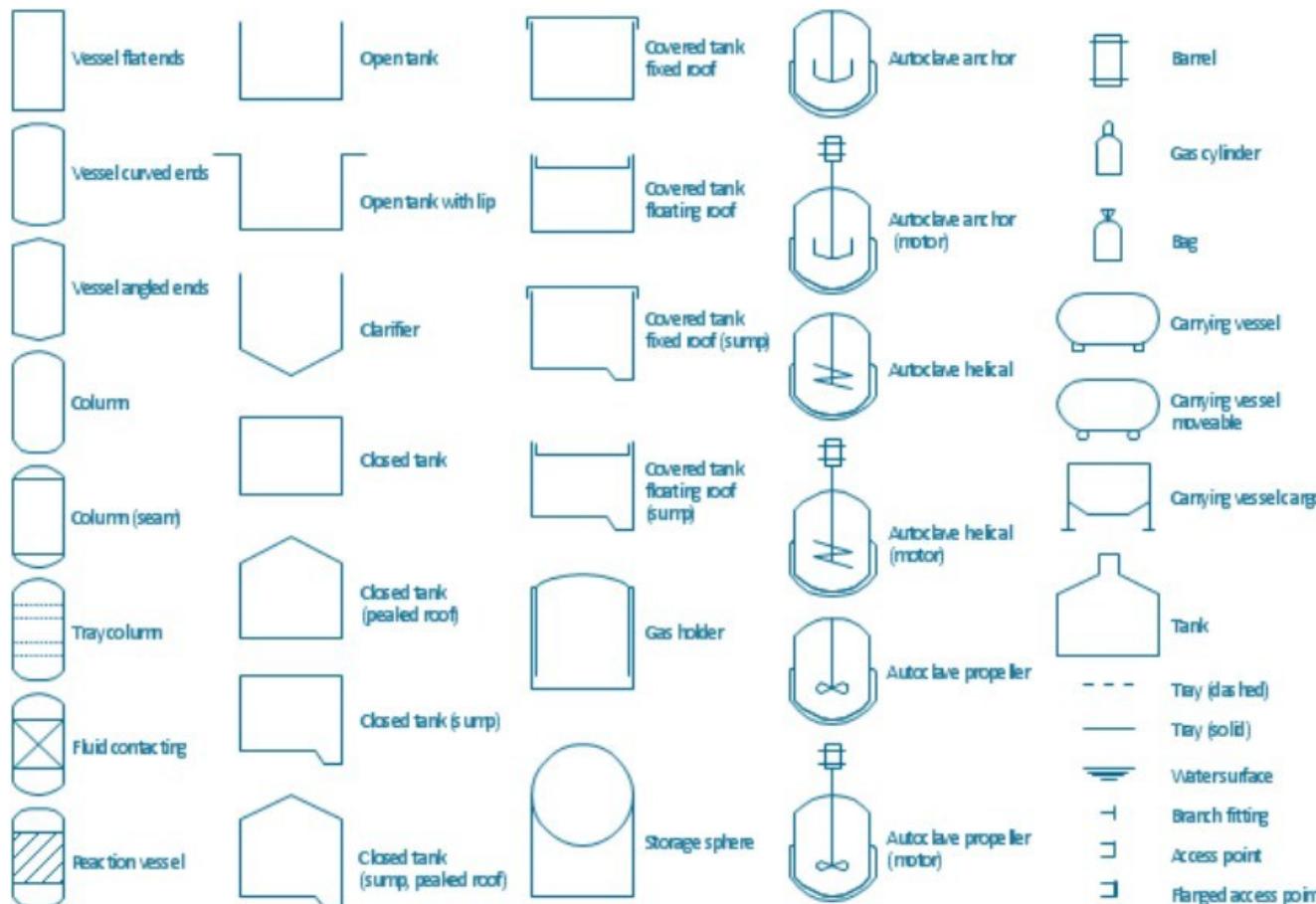
Diagram Tambahan

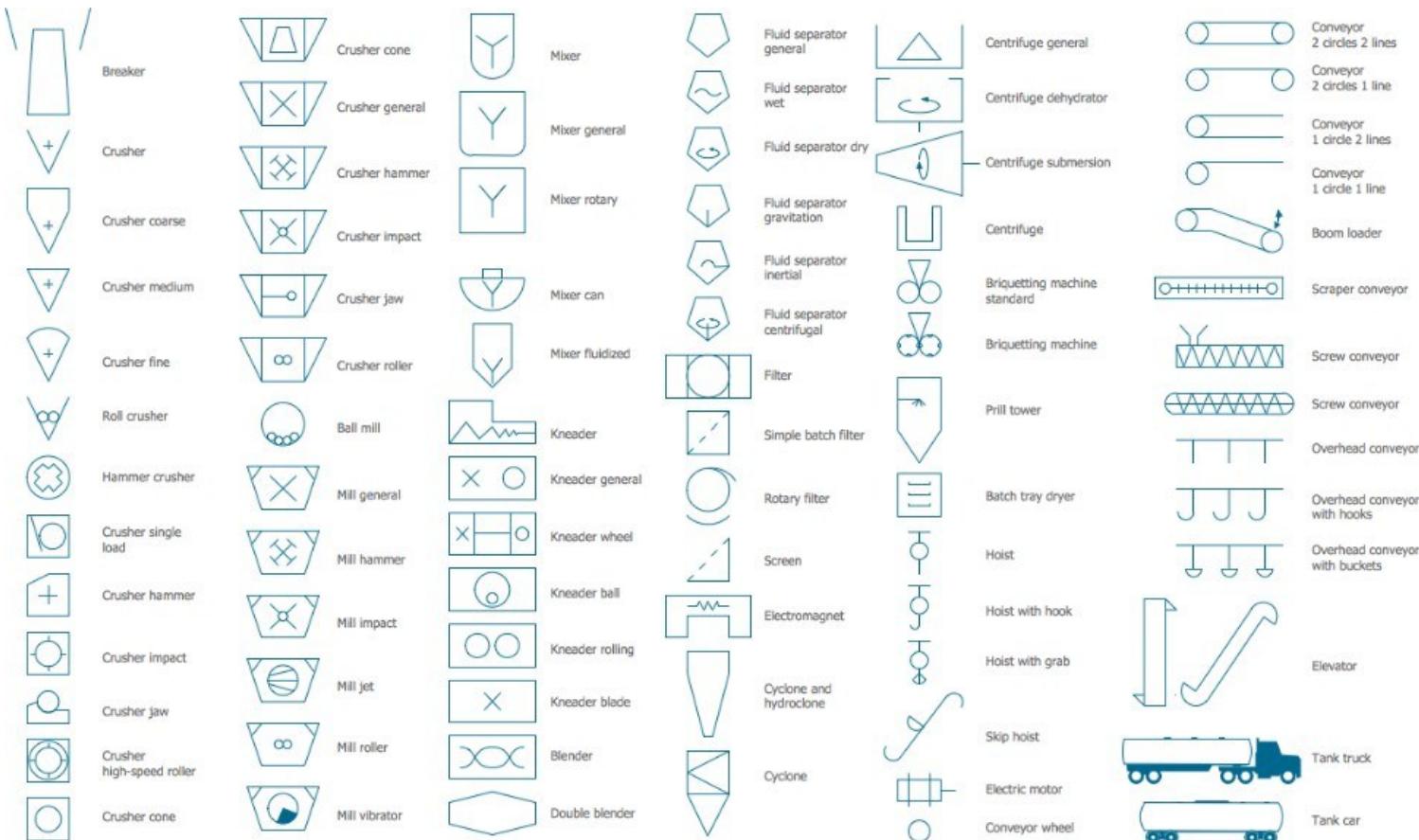
- Dibutuhkan di dalam proses perencanaan dan konstruksi
- Tidak memiliki informasi proses yang telah dimasukkan pada BFD, PFD maupun P&ID.

Diagram tambahan dapat berupa:

- *Utility flowsheet*
- *Logic ladder diagram, wiring diagram, site plan, structural support diagram*
- *Pilot plant, elevation diagram* (lokasi dan elevasi dari peralatan utama)
- *Piping isometric* dan *3-dimensional sketch*







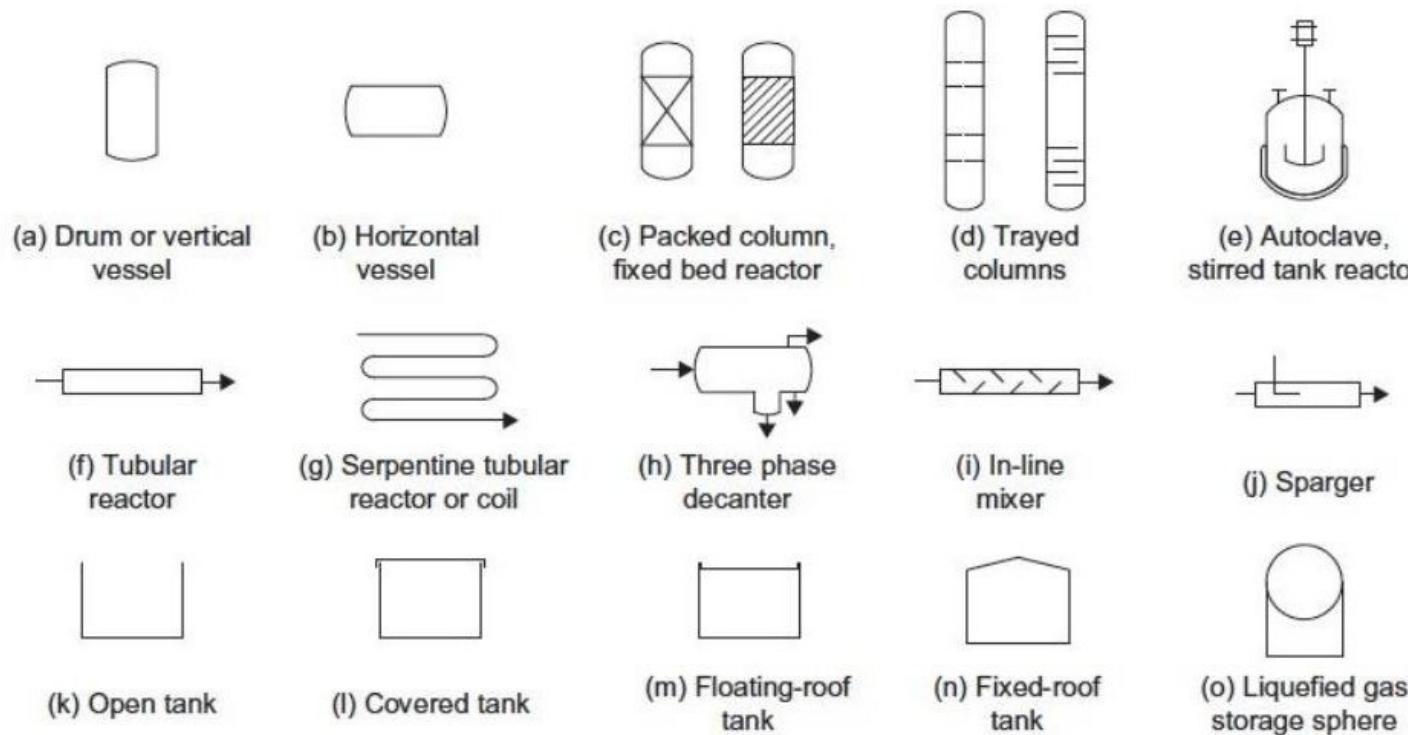


Figure 1: Various symbols for reactors, vessels and tanks (Towler and Sinnott, 2012)

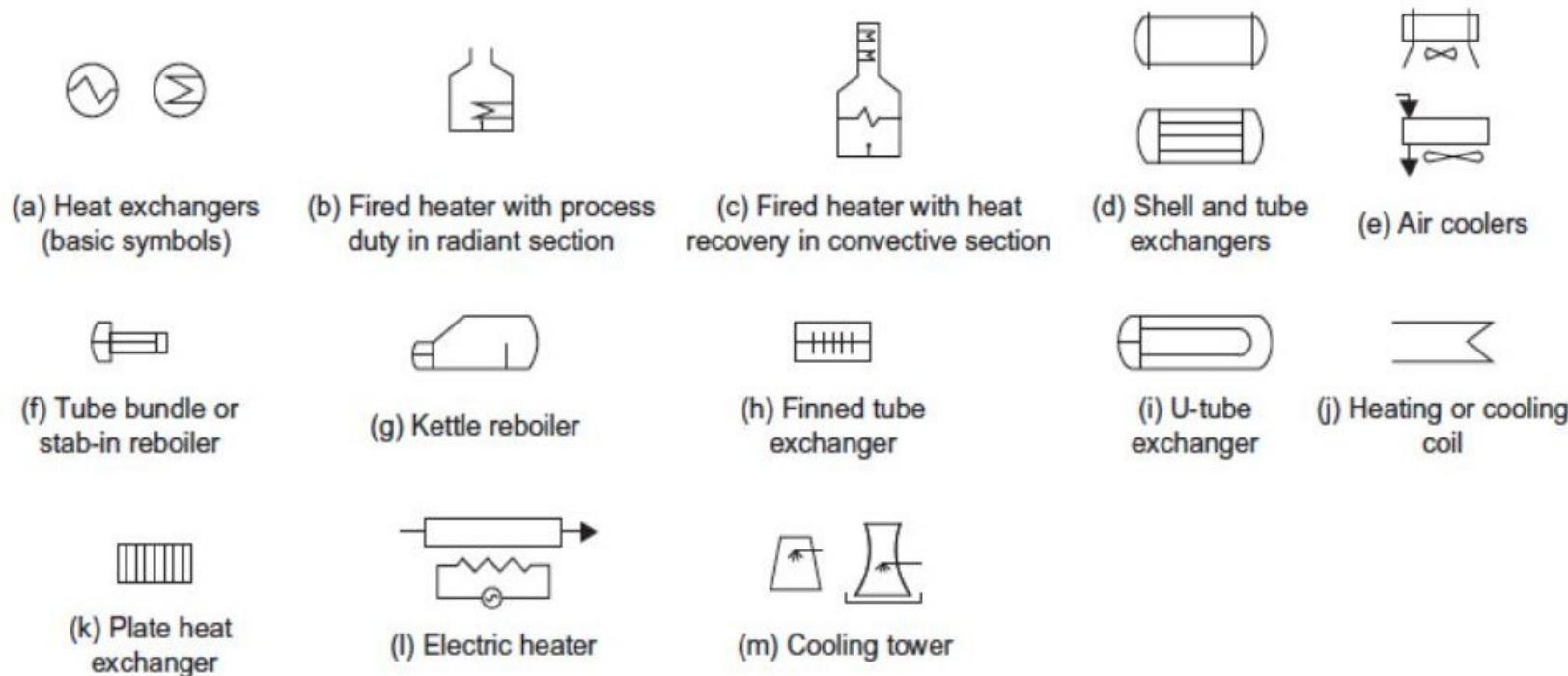
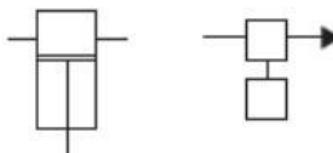


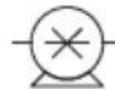
Figure 2: Various symbols for heat exchanger equipment (Towler and Sinnott, 2013)



(a) Centrifugal pumps



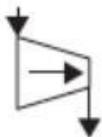
(b) Reciprocating pumps or compressors



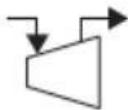
(c) Positive displacement pump or fan



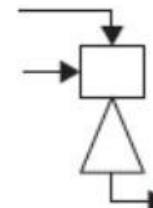
(d) Gear pump



(e) Axial or centrifugal compressor



(f) Turbine



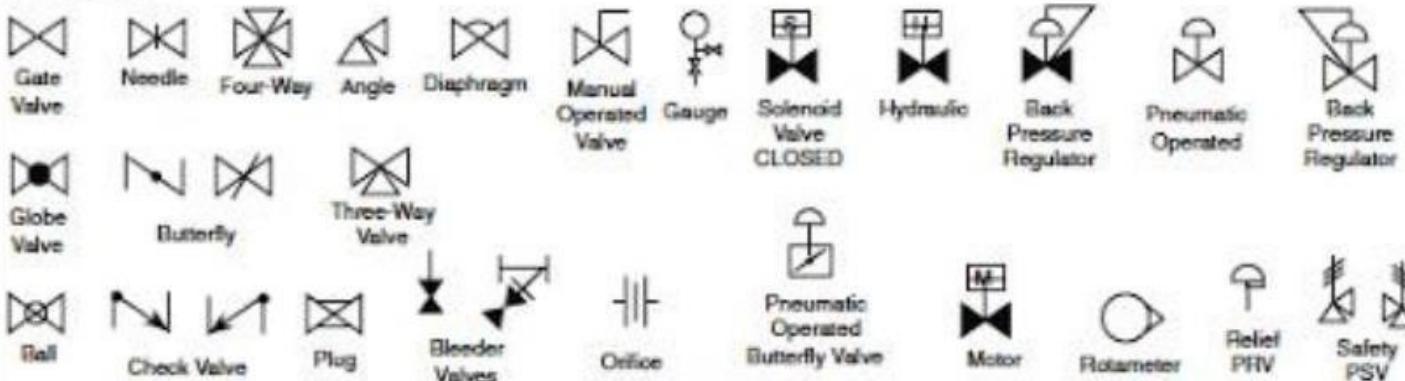
(g) Ejector

Figure 3: Various symbols for fluid handling equipment (Towler and Sinnott, 2013)

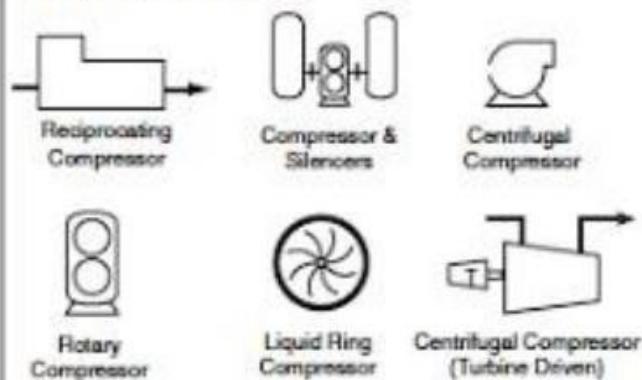
Symbols of chemical apparatus and instrumentation

	Pump		Vacuum pump or compressor		Bag		Gas bottle
	Fan		Axial fan		Radial fan		Dryer
	Packing column		Tray column		Furnace		Cooling tower
	Heat exchanger		Heat exchanger		Cooler		Plate & frame heat exchanger
	Valve		Control valve		Manual valve		Back draft damper
	Needle valve		Butterfly valve		Diaphragm valve		Ball valve

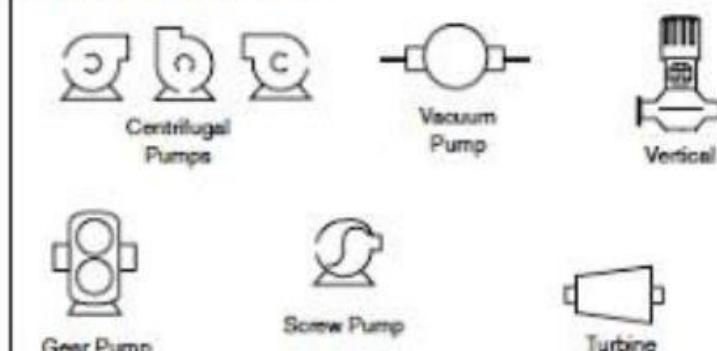
VALVES

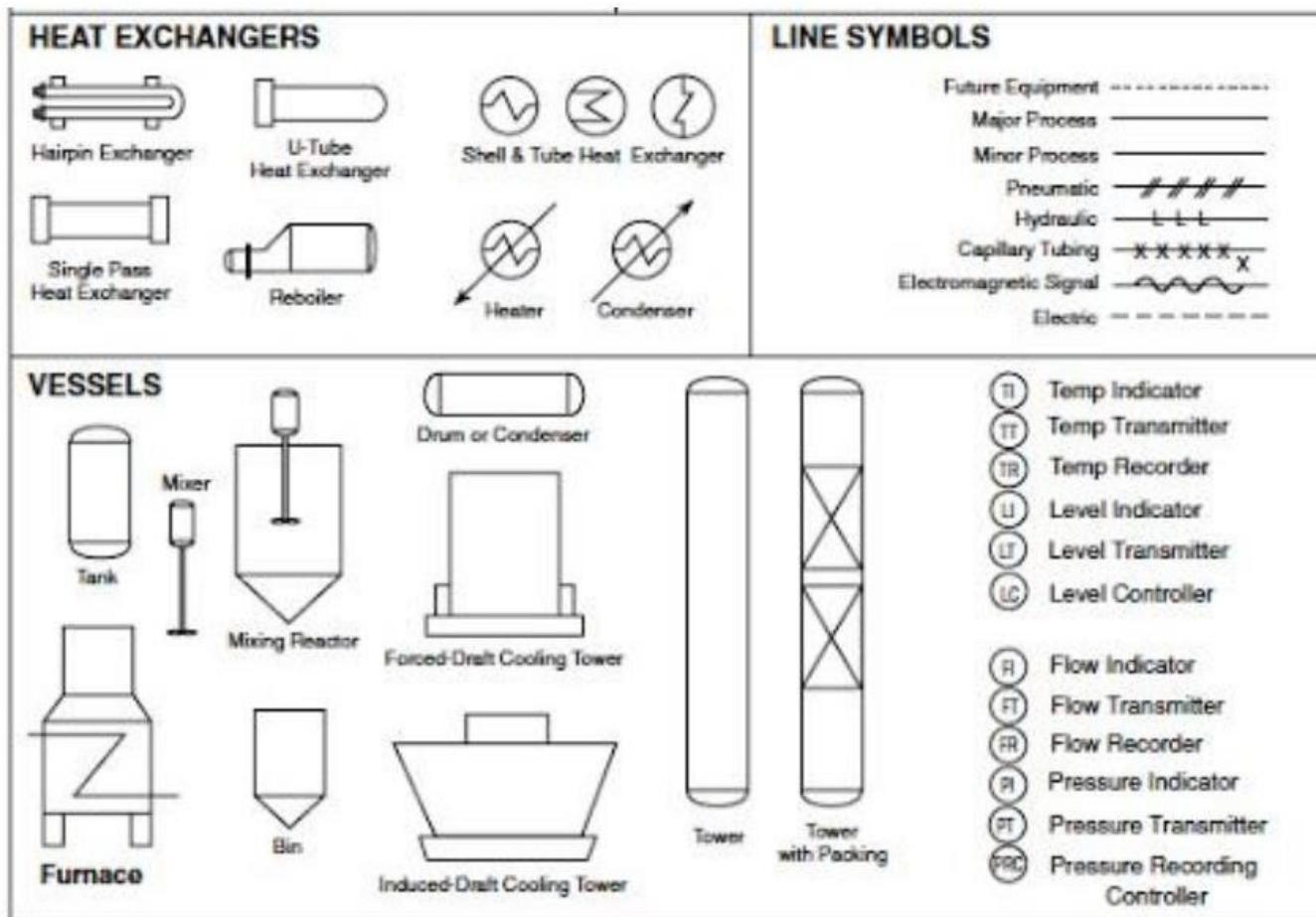


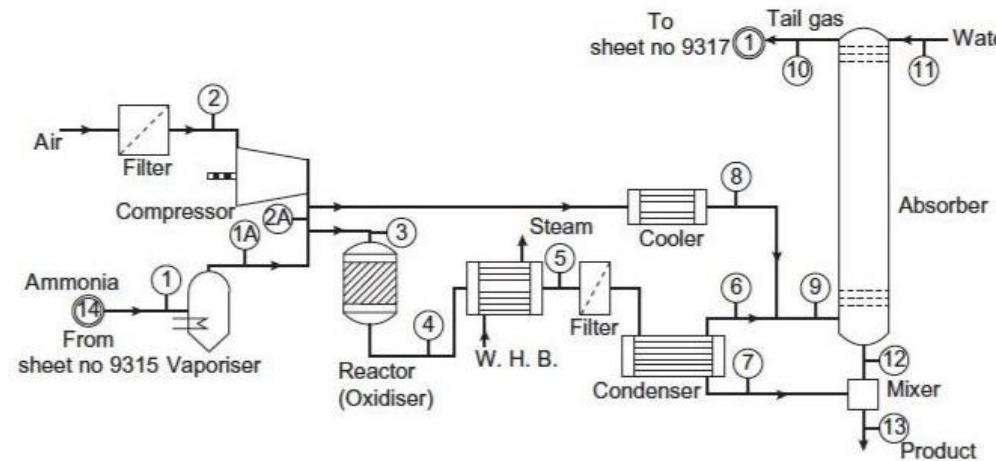
COMPRESSORS



PUMPS & TURBINE







Flows kg/h pressures nominal

Line no. Stream component	1 Ammonia feed	1A Ammonia vapor	2 Filtered air	2A Oxidiser air	3 Oxidiser feed	4 Oxidiser outlet	5 W.H.B. outlet	6 Condenser gas	7 Condenser acid	8 Secondary air	9 Absorber feed	10 Tail(2) gas	11 Water feed	12 Absorber acid	13 Product acid	C & R Construction Inc
NH ₃	731.0	731.0	—	—	731.0	Nil	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Nitric acid 60 percent
O ₂	—	—	3036.9	2628.2	2628.2	935.7 (935.7) ⁽¹⁾	275.2	Trace	408.7	683.9	371.5	—	Trace	Trace	100,000 t/y	
N ₂	—	—	9990.8	8644.7	8644.7	8668.8	8668.8	8668.8	Trace	1346.1	10,014.7	10,014.7	—	Trace	Trace	
NO	—	—	—	—	—	1238.4 (1238.4) ⁽¹⁾	202.5	—	—	202.5	21.9	—	Trace	Trace	Client BOP chemicals	
NO ₂	—	—	—	—	—	Trace (7) ⁽¹⁾	967.2	—	—	967.2	(Trace) ⁽¹⁾	—	Trace	Trace	SLIGO	
HNO ₃	—	—	—	—	—	Nil	Nil	—	850.6	—	—	—	1704.0	2554.6	Sheet no. 9316	
H ₂ O	—	—	Trace	—	—	1161.0	1161.0	29.4	1010.1	—	29.4	26.3	1376.9	1136.0	2146.0	
Total	731.0	731.0	13,027.7	11,272.9	12,003.9	12,003.9	12,003.9	10,143.1	1880.7	1754.8	11,897.7	10,434.4	1376.9	2840.0	4700.6	
Press bar	8	8	1	8	8	8	8	1	8	8	1	8	1	1	Dwg by Date	
Temp. °C	15	20	15	230	204	907	234	40	40	40	25	25	40	43	Checked 25/7/1980	

Figure 6: Process Flow Diagram Detailing the Nitric Acid Process (Towler and Sinnott, 2013)

PERANCANGAN PROSES

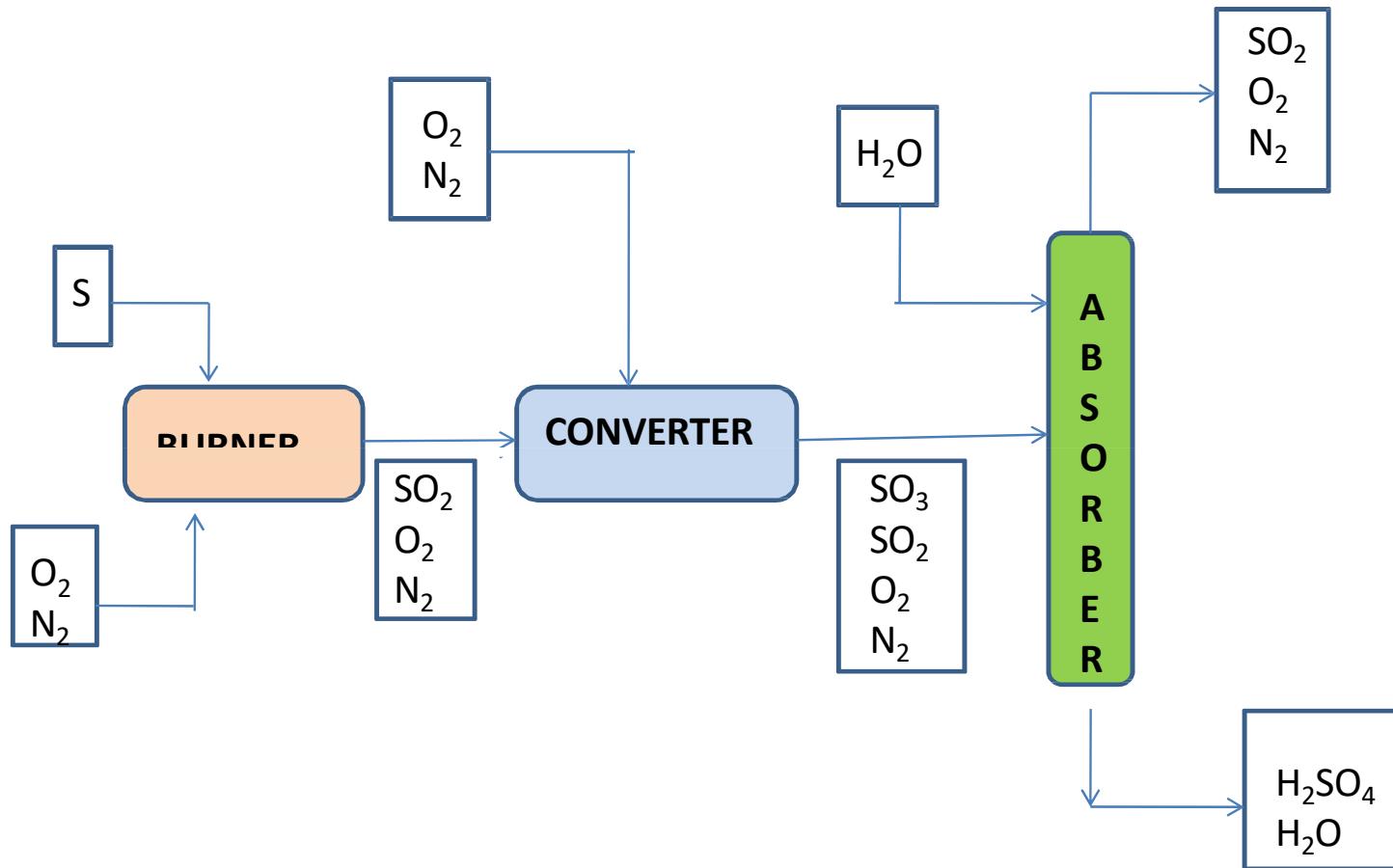
- Suatu pabrik merupakan rangkaian beberapa alat proses untuk mengolah bahan baku menjadi produk yang diinginkan
- Neraca massa dalam suatu pabrik terdiri atas neraca massa pada **masing masing alat** dan neraca massa **keseluruhan**
- Di Matakuliah Asas Teknik Kimia sudah dipelajari:
 - Neraca Massa Tanpa Reaksi
 - Neraca Massa Atom
 - Neraca Massa Berdasarkan Stoichiometri
 - Konsep Dasar Recycle

NERACA MASSA DALAM PABRIK

- Neraca massa dalam sebuah pabrik, dapat dihitung berdasarkan kapasitas dari pabrik tersebut.
- Kapasitas pabrik adalah kecepatan massa produk yang diinginkan.
- Produk bisa terdiri atas bahan yang diinginkan dan impurities
- Komposisi produk harus disesuaikan dengan spec yang diinginkan konsumen (yang ada dalam perdagangan)
- Misalnya diinginkan 50.000 ton/tahun larutan asam sulfat 98%.

- Bahan baku yang digunakan memiliki spesifikasi tertentu sesuai dengan asal dari bahan tersebut (dari alam atau merupakan produk dari suatu pabrik).
- Sekecil apapun kandungan bahan baku ataupun produk harus diperhitungkan dalam neraca massa (tidak diabaikan)

Pembuatan Asam Sulfat dari Sulfur dan Udara



Untuk menentukan kapasitas pabrik dapat dilakukan antara lain dengan mempertimbangkan:

1. Kebutuhan produk di dalam negeri
2. Kapasitas pabrik yang sudah ada dengan kapasitas terkecil.

1. Yield dalam suatu pabrik

Adalah perbandingan antara bahan baku yang bereaksi menjadi produk dengan bahan baku yang masuk ke dalam pabrik.

Besarnya yield sangat tergantung kepada :

- Ada dan tidaknya recycle bahan belum bereaksi ke dalam reaktor
- Ada dan tidaknya bahan bahan terbuang

- Adalah perbandingan antara limiting reaktan yang bereaksi menjadi suatu produk dengan bahan masuk reaktor
- Hal ini terdapat pada reaktor yang di dalamnya terjadi lebih dari satu reaksi terutama pada reaksi paralel atau reaksi seri

(lebih jelasnya kita review ke ATK I)

PERHITUNGAN BAHAN BAKU

Dapat dihitung dengan cara antara lain:

- Dari belakang melalui neraca massa pada berbagai alat sampai ke alat yang paling depan
- Dari depan dengan menggunakan basis perhitungan bahan baku, melalui berbagai alat sampai alat yang paling belakang, kemudian dikalikan dengan faktor pembanding yaitu perbandingan antara produk yang diinginkan dengan produk hasil perhitungan
- Bahan baku dihitung berdasarkan Yield.

PERHITUNGAN NERACA MASSA SETIAP ALAT

- Setelah diketahui massa produk maupun massa bahan baku, maka perhitungan neraca massa tiap alat dapat dihitung dengan berbagai ketentuan yang sudah diketahui
- Komposisi yang belum diketahui bisa dimisalkan dengan suatu notasi
- Notasi dapat dihitung dengan persamaan neraca massa dengan perhitungan dari depan maupun dari belakang

PERHITUNGAN NERACA MASSA KESELURUHAN

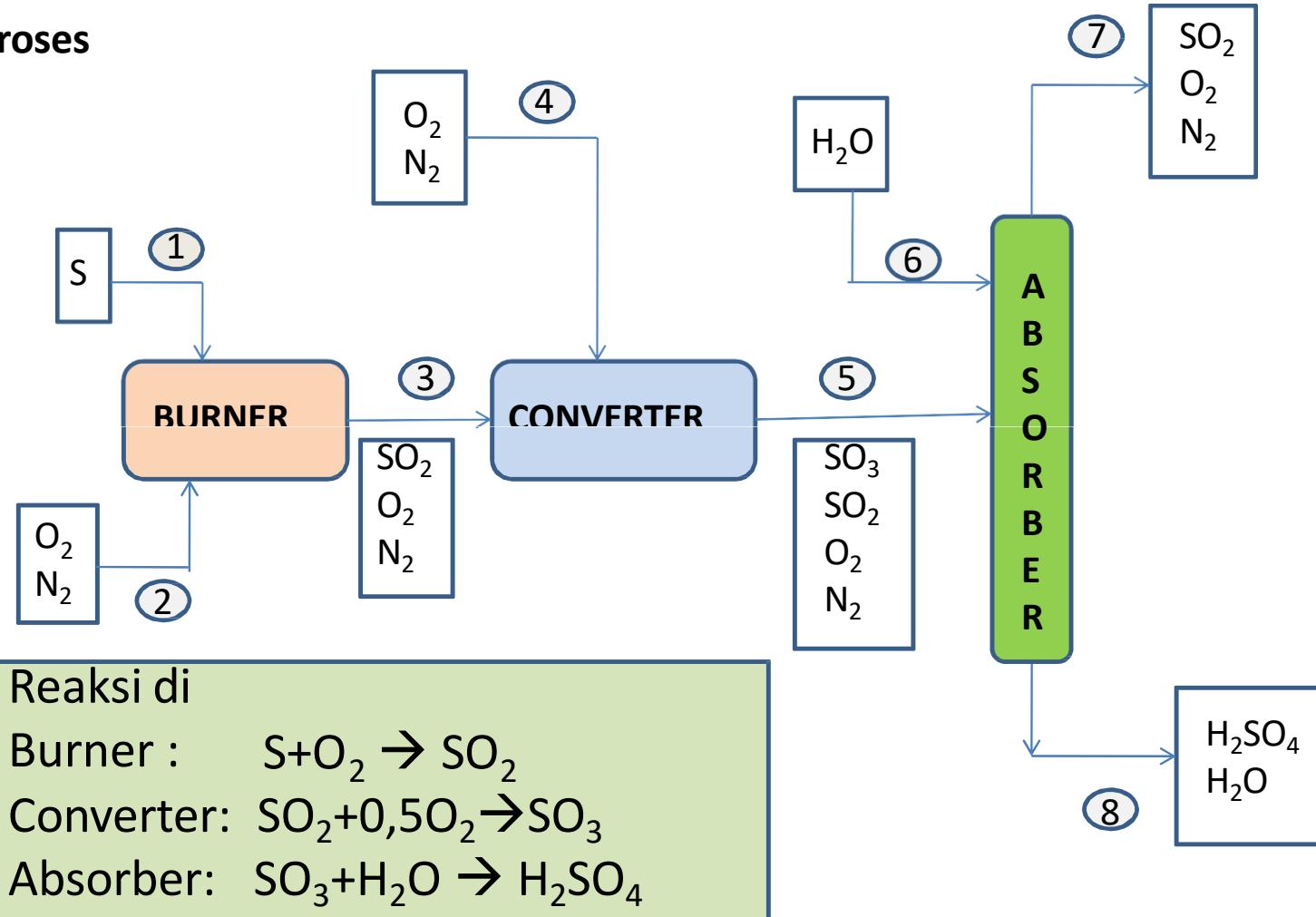
- Neraca massa keseluruhan menunjukkan bahwa massa bahan masuk ke dalam pabrik akan sama dengan massa bahan keluar pabrik.
- Massa bahan masuk meliputi semua bahan yang masuk ke pabrik, antara lain:
bahan baku, bahan tambahan untuk menetralkan, untuk mengabsorbsi, dsb
- Massa bahan keluar meliputi semua bahan keluar pabrik antara lain:
produk utama, produk samping, limbah cair/padat, gas buang

HASIL PERHITUNGAN NERACA MASSA

Dengan perhitungan neraca massa akan diketahui komposisi komponen pada setiap tempat dalam pabrik (masuk dan keluar tiap alat), Hasil perhitungan disajikan dalam :

- Diagram alir kuantitatif
- Tabel Neraca Massa Tiap Alat
- Tabel Neraca Massa Overall
- Tabel Arus Bahan dalam pabrik

Diagram alir proses



NERACA MASSA DENGAN RECYCLE

Recycle adalah pengembalian bahan bahan belum bereaksi ke dalam reaktor.

Apabila konversi tidak seratus persen maka ada bahan baku yang tidak bereaksi, keluar bersama produknya.

Apabila bahan tersebut dikembalikan ke dalam reaktor, maka akan dapat memperbesar overall conversion nya atau yield nya

Overall conversion

- Perbandingan antara limiting reaktan yang bereaksi, dengan limiting reaktan masuk pabrik.

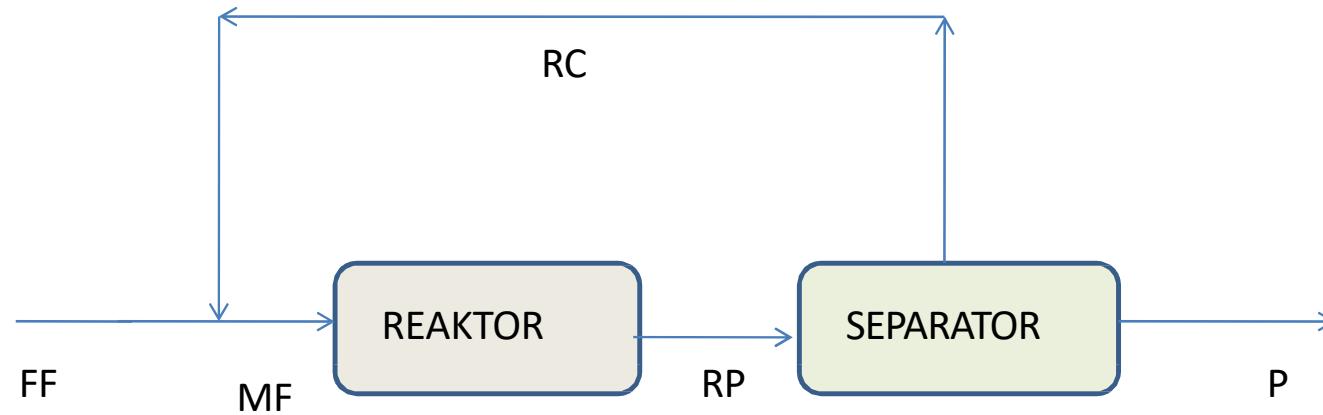
Yield

- Perbandingan antara limiting reaktan yang bereaksi menjadi produk yang diinginkan dengan bahan baku masuk pabrik.

Apabila hanya satu produk yang dihasilkan maka overall conversion sama dengan yield

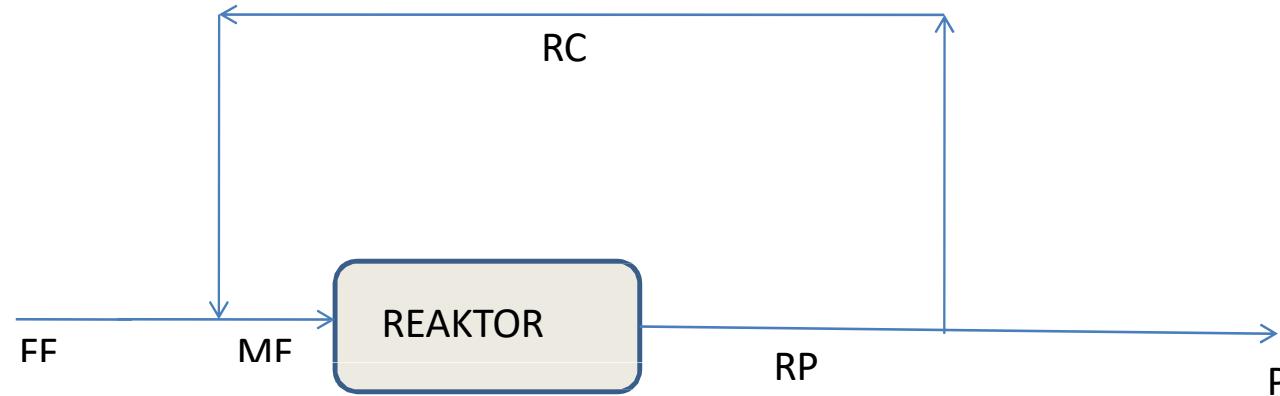
- Semakin besar bahan yang dikembalikan ke dalam overall reaktor, maka akan semakin besar conversionnya maupun yieldnya
- Apabila bahan belum bereaksi bisa dipisahkan sempurna dari produknya dan dapat dikembalikan seluruhnya ke dalam reaktor maka overall conversion mencapai 100%
- Tidak semua bahan belum bereaksi dapat dikembalikan seluruhnya ke dalam reaktor dikarenakan:
 - Adanya bahan terikut dalam produk.
 - Adanya bahan terikut dalam bahan terbuang.
 - Adanya inert dalam bahan.

Recycle dengan pemisahan sempurna



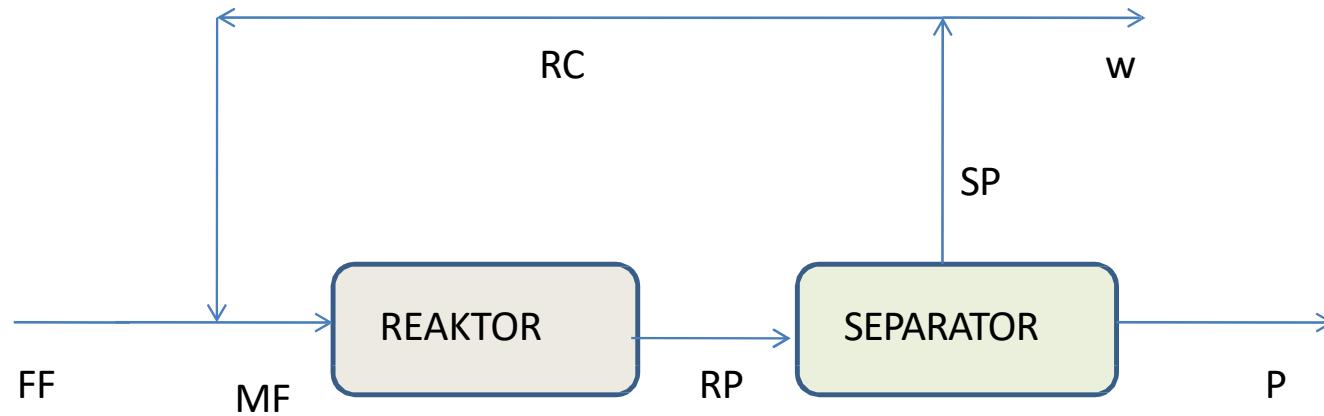
FF	=Fresh Feed	=Umpan Segar
MF	=Mixed Feed	=Umpan Campuran
RP	=Reactor Product	=Hasil Keluar Reaktor
P	= Product	= Produk / Hasil
RC	= Recycle	= Daur Ulangulang

Recycle tanpa pemisahan



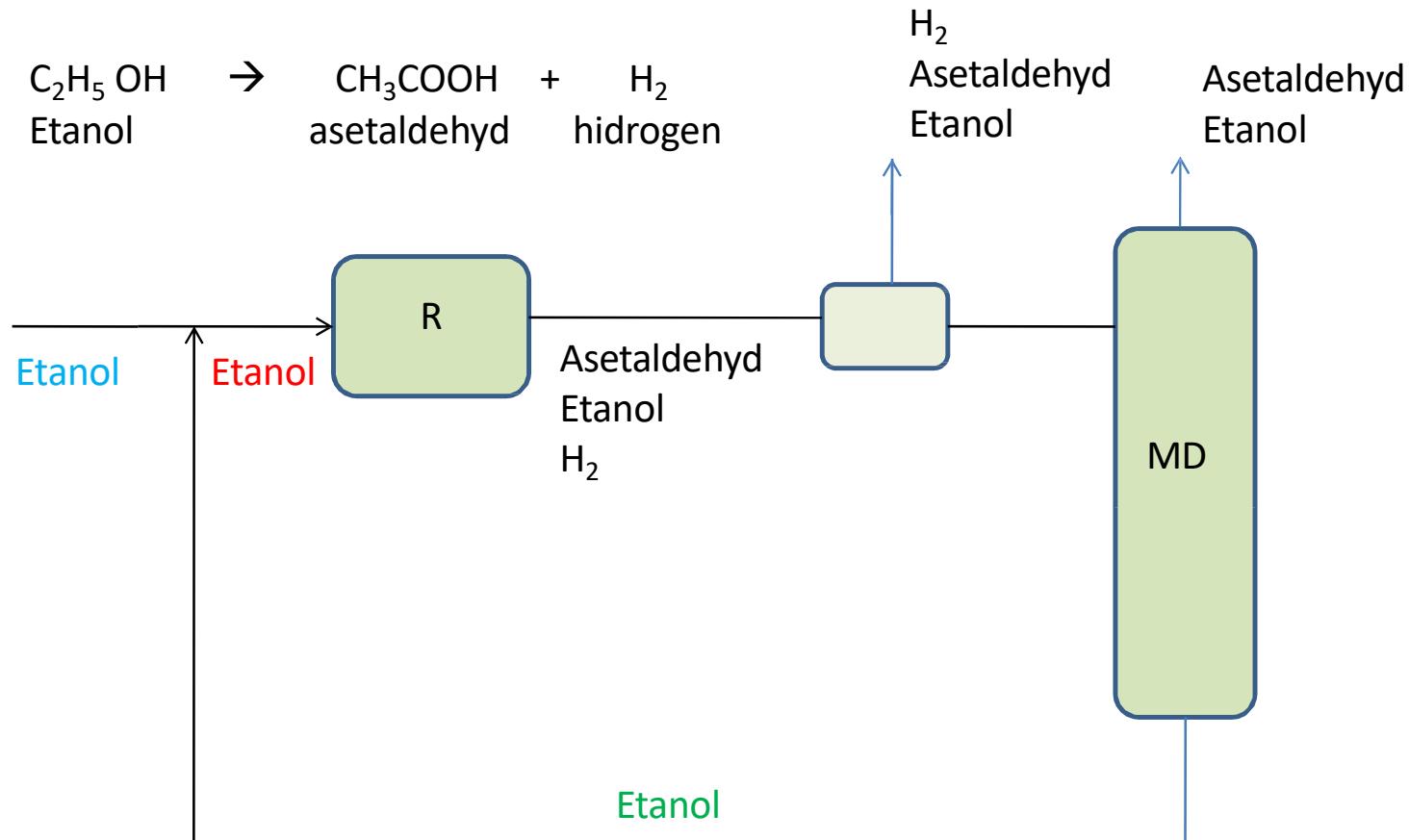
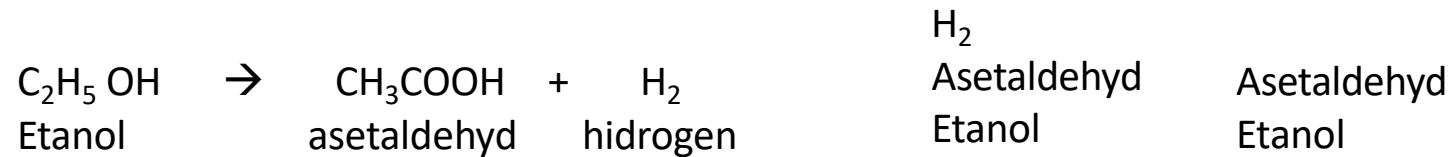
FF	=Fresh Feed	=Umpan Segar
MF	=Mixed Feed	=Umpan Campuran
RP	=Reactor Product	=Hasil Keluar Reaktor
P	= Product	= Produk / Hasil
RC	= Recycle	= Daur Ulangulang

Recycle dengan adanya inert



FF	=Fresh Feed	=Umpam Segar
MF	=Mixed Feed	=Umpam Campuran
RP	=Reactor Product	=Hasil Keluar Reaktor
P	= Product	= Produk / Hasil
SP	= Separator Product	= Hasil Keluar Pemisah
RC	= Recycle	= Daur Ulang
W	= Waste	= Bahan Buangan

Recycle dengan pemisahan tak sempurna tanpa inert



Perhitungan Neraca Massa

Neraca massa dalam pabrik dengan recycle dapat dilakukan dengan berbagai langkah:

- Basis perhitungan fresh feed
- Basis perhitungan bahan masuk reaktor (Mixed Feed)
- Berdasarkan kapasitas pabrik (produk)
- Memisalkan bahan bahan yang belum diketahui
- Menyusun persamaan persamaan yang dapat digunakan antara lain:
 - Persamaan neraca massa overall
 - Persamaan neraca masa setiap alat
 - Persamaan neraca massa inert

