

PEMILIHAN SEPARATOR

PERANCANGAN PROSES KIMIA



Pengertian Separator

Separator adalah peralatan yang digunakan untuk **memisahkan dua atau lebih fasa** (gas-cair, cair-cair, atau padat-cair) berdasarkan perbedaan sifat fisik seperti:

- densitas
- ukuran partikel
- kecepatan alir
- gaya gravitasi atau gaya sentrifugal

Separator banyak digunakan pada industri:

- minyak dan gas
- kimia
- pembangkit listrik
- pengolahan air
- industri makanan dan farmasi

Tujuan Pemilihan Separator

1. Mendapatkan **efisiensi pemisahan yang optimal**
2. Menjamin **keamanan operasi**
3. Menyesuaikan dengan **kondisi proses**
4. Mengurangi **biaya operasi dan perawatan**
5. Memenuhi **standar kualitas produk**

Pemilihan Separator

Persoalan “**pemisahan**” muncul setelah pilihan Reaktor ditetapkan.

Proses pemisahan diperlukan untuk aliran Feed masuk / keluar Reaktor yang dapat berupa campuran Homogen/Heterogen.

- **Bila campuran Homogen**, dilakukan dengan menambahkan/menciptakan fasa lain dalam sistem.
- **Bila campuran Heterogen**, dapat langsung dipisahkan.
- Pemisahan campuran heterogen harus dilakukan sebelum homogen.

Macam – macam pemisahan campuran Heterogen :

1. **Vapour – Liquid**
2. **Liquid – Liquid**
3. **Solid – Vapour**
4. **Solid – Liquid**
5. **Solid – Solid**

Pemisahan Campuran Heterogen

Pengertian Campuran heterogen adalah campuran yang **komponen penyusunnya tidak tercampur secara merata** dan masih dapat **dibedakan secara fisik**

Ciri-ciri campuran heterogen:

- Terdiri dari dua atau lebih zat
- Komponen masih terlihat jelas
- Tidak memiliki komposisi yang seragam
- Jika didiamkan, dapat membentuk lapisan atau endapan

Contoh:

- Pasir dan air
- Minyak dan air
- Serbuk besi dan pasir
- Air lumpur

Pemisahan Campuran Heterogen

Pemisahan campuran heterogen adalah proses **memisahkan komponen-komponen campuran** berdasarkan **perbedaan sifat fisik** tanpa mengubah zat penyusunnya.

Sifat fisik yang dimanfaatkan antara lain: ukuran partikel, massa jenis (densitas), kelarutan, sifat magnetic, titik didih, bentuk dan fase zat

Tujuan Pemisahan Campuran Heterogen

1. Memperoleh zat murni
2. Memudahkan pemanfaatan zat tertentu
3. Menghilangkan zat pengotor
4. Mendukung proses industri dan laboratorium
5. Menjaga kualitas produk

Metode Pemisahan Campuran Heterogen

Metode :

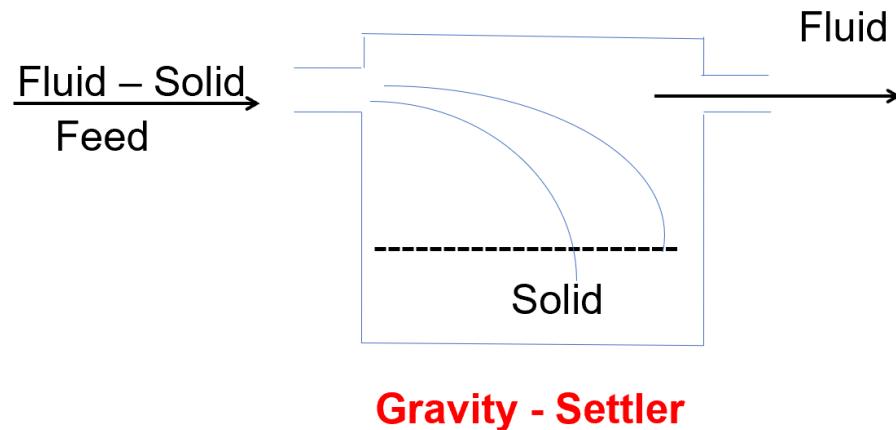
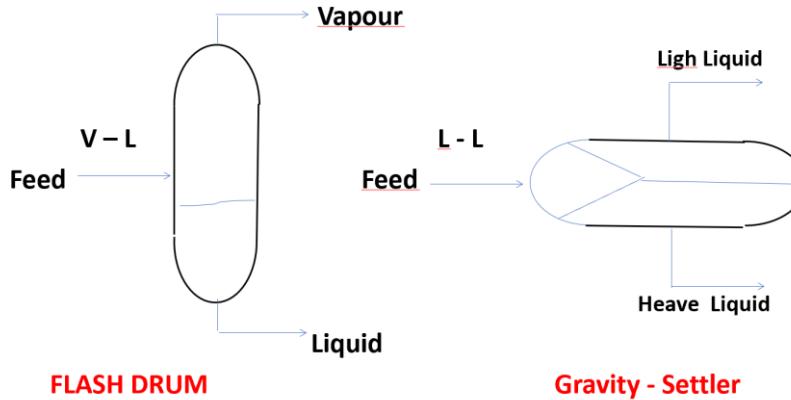
1. Settling, Sedimentasi & Clarifier
2. Flotasi
3. Pemisahan Sentrifugal
4. Filtrasi

Settling, Sedimentasi & Clarifier

Proses Settling: Partikel-partikel dipisahkan dari fluida oleh gaya gravitasi yang bekerja pada partikel (partikel padat/tetesan cairan).

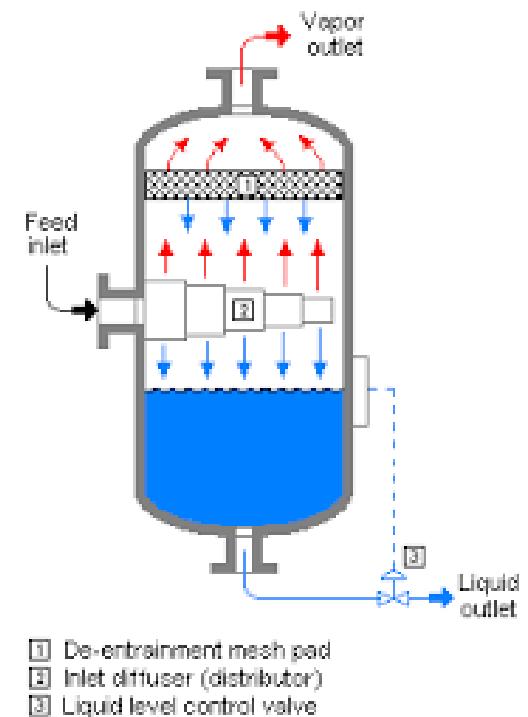
Jenisnya : Flash Drum & Gravity - Settler

Settling, Sedimentasi & Clarifier



Settling, Sedimentasi & Clarifier

- a) Flash drum adalah salah satu peralatan penting dalam teknik kimia yang digunakan untuk memisahkan campuran fluida menjadi fase uap (gas) dan fase cair berdasarkan perbedaan volatilitas komponen
- b) Prinsip kerja berdasarkan kesetimbangan fase (Vapor–Liquid Equilibrium, VLE):
 - Pemanasan & Penurunan Tekanan: Campuran cairan dipanaskan lalu dialirkan melalui katup pelambatan (throttling valve) atau orifice plate ke dalam drum.
 - Penguapan Kilat: Penurunan tekanan tiba-tiba menyebabkan sebagian cairan menguap secara cepat (flash) di dalam drum.
 - Pemisahan Fasa: Uap yang lebih ringan naik ke atas dan keluar sebagai produk atas (vapor), sementara cairan yang lebih berat terkumpul di bawah dan keluar sebagai produk bawah (liquid).
 - Kesetimbangan: Uap dan cairan yang keluar berada dalam kesetimbangan pada suhu dan tekanan baru di dalam drum
- c) Komponen Utama Flash Drum
 - Inlet nozzle: tempat masuknya umpan
 - Drum/bejana tekan: ruang pemisahan
 - Vapor outlet: keluaran fase uap
 - Liquid outlet: keluaran fase cair
 - Demister / mist eliminator: menangkap tetesan cair agar tidak ikut ke uap
 - Level control & pressure control: menjaga operasi stabil



Settling, Sedimentasi & Clarifier

Proses Sedimentasi : Suspensi partikel dalam liquid dipisahkan menjadi liquid bening dan slurry dengan kadar solid yang lebih tinggi.

Macam – macam proses sedimentasi :

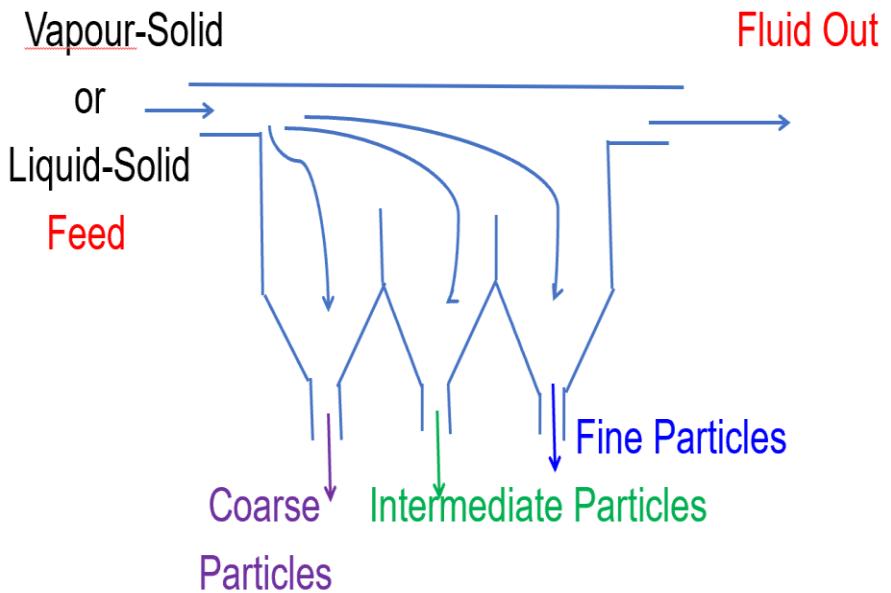
- Menjernihkan liquid (memisahkan solid dan liquid) → Alat : Clarifier & Sedimentation Tank
- Memperbesar kadar solid dalam slurry → Alat : Thickeners

Proses Clarifier : Pemisahan Solid – solid.

Campuran solid – solid dipisahkan menurut ukuran dan densitasnya. Pada alat ini, campuran partikel di suspensi dalam fluida (liquid/gas). Alat ini terdiri dari tangki besar yang dibagi dalam beberapa bagian.

Partikel besar/berat mengendap pada bagian yang dekat dengan lubang pemasukan , sedangkan partikel yang ringan akan mengendap pada bagian yang dekat dengan lubang keluar.

Settling, Sedimentasi & Clarifier



Proses pemisahan campuran heterogen fluida–padatan (uap–padat atau cair–padat) berdasarkan **ukuran dan massa partikel**, yang prinsipnya mirip classifier / multi-stage separator / cyclone classifier.

1. Aliran Umpam (Feed)

Feed berupa campuran:

- Vapour–Solid (uap + padatan) atau
- Liquid–Solid (cairan + padatan)

Campuran masuk dari sisi kiri dan mengalir ke dalam alat pemisah. Ini adalah **campuran heterogen** karena padatan tidak larut dalam fluida

2. Prinsip Kerja Pemisahan

Pemisahan terjadi karena **perbedaan sifat fisik partikel**, yaitu: ukuran partikel, massa jenis, gaya gravitasi, gaya inersia akibat perubahan arah aliran fluida

Ketika aliran fluida berubah arah dan kecepatan: partikel **besar dan berat** cenderung jatuh dan partikel **kecil dan ringan** ikut terbawa aliran fluida

3. Tahapan Pemisahan Partikel

a. **Partikel Kasar (Coarse Particles)**: Ditunjukkan dengan panah ungu, Memiliki ukuran dan massa paling besar, Cepat kehilangan energi alir, **Jatuh lebih awal ke bagian bawah**

Contoh: pasir kasar, partikel besar mineral

b. **Partikel Menengah (Intermediate Particles)**: Ditunjukkan dengan panah hijau, Ukuran dan massa sedang, Terpisah di tahap tengah

Contoh: serbuk sedang, partikel hasil penggilingan

c. **Partikel Halus (Fine Particles)**: Ditunjukkan dengan panah biru, Ukuran kecil dan massa ringan, Mudah terbawa aliran fluida, Terpisah di bagian akhir

Contoh: debu halus, powder ringan

Settling, Sedimentasi & Clarifier

4. Fluida Keluar (Fluid Out)

- Setelah partikel-partikel terpisah,
- **Fluida bersih** (uap atau cairan) keluar dari sisi kanan
- Kandungan padatan di fluida sudah sangat kecil

5. Hubungan dengan Pemisahan Campuran Heterogen

Gambar ini merupakan contoh **pemisahan campuran heterogen fluida–padatan** dengan:

- **metode mekanik**
- **tanpa reaksi kimia**
- berdasarkan **perbedaan ukuran dan berat partikel**

6. Aplikasi dalam Industri; industri semen, pertambangan, pengolahan mineral, industri kimia, pengolahan serbuk (powder processing)

Flotation

Flotasi : metode pemisahan campuran heterogen, dimana proses pemisahan gravitasi yang memanfaatkan perbedaan sifat permukaan partikel.

Metode ini umum digunakan untuk memisahkan **padatan dari cairan** atau **padatan dari padatan** yang tersuspensi dalam cairan.

Prinsip Kerja Flotasi

Prinsip utama flotasi adalah **perbedaan sifat permukaan partikel**, yaitu:

- Hidrofobik** → mudah melekat pada gelembung udara → mengapung
- Hidrofilik** → tidak melekat pada gelembung udara → tenggelam

Partikel yang mengapung akan membentuk **busa (froth)** di permukaan dan kemudian dipisahkan



Flotation

Tahapan Proses Flotasi

1. Pencampuran (Conditioning)

Campuran padatan-cairan dicampur dengan bahan kimia tertentu.

2. Pembentukan Gelembung Udara

Udara dialirkan sehingga terbentuk gelembung-gelembung kecil.

3. Penempelan Partikel

Partikel hidrofobik menempel pada gelembung udara.

4. Pengapungan (Flotation)

Partikel naik ke permukaan bersama gelembung udara.

5. Pengambilan Busa (Froth Removal)

Busa yang mengandung partikel target diambil sebagai produk

Jenis-Jenis Flotasi

1. Froth Flotation; Digunakan di pertambangan dan pengolahan mineral

2. Dissolved Air Flotation (DAF); Banyak digunakan dalam pengolahan air limbah

3. Ion Flotation; Untuk pemisahan ion logam dalam larutan

Flotation

Bahan kimia untuk Flotasi

Senyawa kimia yang ditambahkan pada medium flotasi untuk memenuhi berbagai kebutuhan proses flotasi :

- Modifier : untuk mengendalikan pH (misal : Asam, lime, NaOH)
- Collector : Membuat permukaan partikel menjadi hidrofobik. Contoh: xanthate (dalam pertambangan). Reagen yang tidak bisa tercampur dengan air (water repellent). Penambahan zat ini supaya partikel padat lebih mudah melekat pada gelembung gas dengan melapisi permukaan partikel padat dengan reagent.
- Activator : mengaktifkan permukaan partikel agar mudah terapung. Contoh: CuSO₄
- Depresant : menurunkan daya lekat partikel. Mencegah partikel tertentu ikut mengapung Contoh: kapur, sodium cyanide
- Frother: Menstabilkan gelembung dan busa. Contoh: pine oil

Aplikasi Penerapan Flotasi

- Pemisahan bijih tembaga, emas, dan nikel
- Pengolahan air limbah industri
- Pemisahan minyak dari air
- Pemurnian mineral

Flotation

Aspek	Keterangan	Kelebihan (✓)	Kekurangan (X)
Efektif untuk partikel halus	Memisahkan partikel sangat kecil dengan baik	✓ (nilai 5)	
Efisiensi pemisahan tinggi	Tingkat pemisahan dan kemurnian hasil tinggi	✓ (nilai 4)	
Banyak digunakan di industri	Penerapan luas dan terbukti efektif	✓ (nilai 4)	
Membutuhkan bahan kimia	Perlu penggunaan bahan kimia tambahan		X (nilai 3)
Biaya operasi relatif tinggi	Operasi dan perawatan membutuhkan biaya cukup besar		X (nilai 3)
Sensitif terhadap kondisi proses	Memerlukan pengontrolan kondisi seperti pH, suhu		X (nilai 3)

Pemisahan Sentrifugal

Pemisahan sentrifugal adalah proses pemisahan campuran berdasarkan **gaya sentrifugal** yang dihasilkan dari **perputaran fluida atau campuran partikel** pada suatu sumbu. Proses digunakan bila:

- Partikel atau fasa yang akan dipisahkan dikenai gaya sentrifugal yang **jauh lebih besar dari gaya gravitasi**.
- Karena itu, proses ini sangat efektif untuk memisahkan zat dengan **perbedaan densitas yang kecil**, yang sulit dipisahkan hanya dengan gaya gravitasi biasa.

Prinsip Kerja

Ketika campuran berputar dengan kecepatan tinggi, partikel yang lebih berat atau lebih padat akan ter dorong ke bagian luar sumbu putaran akibat gaya sentrifugal. Sedangkan partikel yang lebih ringan akan tetap berada di bagian dalam atau terpisah ke arah lain.

Gaya sentrifugal yang bekerja jauh lebih kuat dibandingkan dengan gaya gravitasi, sehingga proses ini:

- Mempercepat pengendapan partikel
- Meningkatkan efisiensi pemisahan terutama untuk partikel halus atau fasa dengan perbedaan densitas kecil

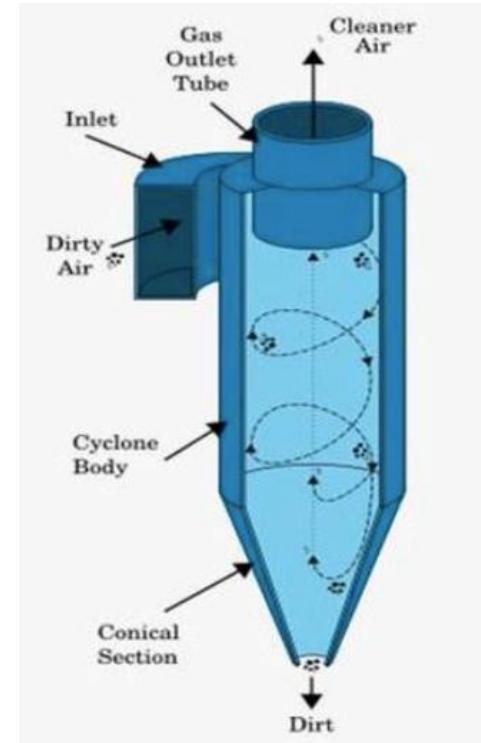
Pemisahan Sentrifugal

Metode ini digunakan dalam berbagai aplikasi, terutama saat:

- Perbedaan densitas antar fasa relatif kecil
- Pemisahan dengan gaya gravitasi lambat atau tidak efisien

Jenis Alat:

Alat	Fungsi Pemisahan	Contoh Pemisahan
Cyclone	Pemisahan padatan dari gas atau cairan	Solid–gas (de bun dari udara), Solid–liquid (partikel padat dari cairan)
Centrifuge	Pemisahan cairan dari padatan atau cairan dari cairan lain	Liquid–solid (misal darah dan plasma), Liquid–liquid (misal minyak dan air)



Filtrasi

Filtrasi adalah proses pemisahan partikel padat yang tersuspensi dalam cairan atau gas dengan melewatkannya campuran tersebut melalui **medium berpori** (filter).

- Partikel padat akan tertahan oleh media filter,
- Sedangkan fluida (cair atau gas) akan lolos melewati pori-pori media

Prinsip Kerja

Campuran yang mengandung padatan dan fluida dipaksa mengalir melalui media filter yang memiliki ukuran pori tertentu sehingga:

- Padatan dengan ukuran lebih besar dari pori tertahan
- Fluida yang bersih keluar dari sisi lain media filter

Macam Filtrasi

Jenis Filtrasi	Deskripsi	Contoh Alat
Cake Filtration	adatan terakumulasi pada permukaan media sehingga membentuk lapisan filter yang lama-kelamaan menghambat aliran dan perlu dibersihkan atau diganti	Bag Filter, Plate & Frame Filter, Rotating Drum Filter, Rotating Belt Filter
Depth Filtration	Padatan tersaring dan tertahan di dalam pori-pori media filter, biasanya media berlapis seperti pasir atau material khusus.	Deep Bed Filter, Sand Filter

Filtrasi

Aplikasi dan contoh:

Alat	Fungsi	Contoh Aplikasi
Bag Filter	Filter kain untuk menangkap padatan di permukaan	Pengolahan udara, gas industri
Plate & Frame Filter	Filter dengan pelat berlapis untuk filtrasi cairan	Industri farmasi dan kimia
Rotating Drum Filter	Drum berputar dengan media filter kain	Pengolahan limbah cair
Rotating Belt Filter	Sabuk filter berputar untuk proses kontinyu	Industri makanan dan farmasi
Deep Bed Filter	Media pasir atau karbon aktif sebagai filter dalam	Pengolahan air bersih
Sand Filter	Filter menggunakan lapisan pasir	Pengolahan air kolam renang

Pemisahan Campuran Homogen

Pengertian Campuran homogen adalah campuran yang **komponennya tercampur secara merata** sehingga tidak dapat dibedakan secara fisik dan memiliki komposisi seragam di seluruh bagian.

Ciri-ciri campuran homogen:

- Tampak seperti zat tunggal (seragam)
- Komposisi sama di seluruh bagian
- Contohnya larutan garam dalam air, udara, minuman kopi gula yang sudah tercampur

Tantangan Pemisahan Campuran Homogen

Karena komponennya menyatu secara fisik dan kimia (biasanya larutan), pemisahan campuran homogen memerlukan **metode yang dapat memisahkan berdasarkan sifat fisika atau kimia yang berbeda**, seperti perbedaan titik didih, kelarutan, atau ukuran molekul.

Metode Pemisahan Campuran Homogen

Proses	Prinsip Pemisahan	Cara Kerja	Contoh Aplikasi
Distilasi	Perbedaan titik didih komponen	Panaskan campuran → komponen dengan titik didih rendah menguap → uap dikondensasikan	Pemisahan alkohol dari air, pemurnian minyak bumi
Absorpsi	Komponen tertentu diserap oleh absorben	Gas/cair dialirkkan ke media yang menyerap zat tertentu	Penghilangan CO ₂ dari gas buang, penyaringan amina
Evaporasi	Menguapkan pelarut untuk meninggalkan zat terlarut	Larutan dipanaskan → pelarut menguap → zat padat tertinggal	Pengolahan garam dari air laut, pengentalan sirup
Dryer (Pengeringan)	Menghilangkan air atau cairan dari padatan	Bahan basah dipanaskan atau ditiup udara panas → air menguap	Pengeringan biji-bijian, serbuk farmasi, bahan kimia

Distilasi

Distilasi adalah metode pemisahan campuran homogen **cairan-cairan** atau **cairan-gas** berdasarkan **perbedaan titik didih** komponen penyusunnya.

- Komponen dengan **titik didih lebih rendah** akan menguap lebih dulu.
- Uap kemudian **didinginkan** sehingga kembali menjadi cairan murni.

Tujuan distilasi:

- Memisahkan komponen campuran
- Memurnikan zat
- Memisahkan campuran cairan dengan perbedaan titik didih

Prinsip Kerja

1. Campuran dipanaskan di dalam **bejana pemanas**.
2. Cairan dengan **titik didih rendah menguap** lebih dulu.
3. Uap dialirkan ke **kondensor** dan didinginkan menjadi cairan.
4. Cairan terpisah (distilat) dikumpulkan.
5. Cairan yang tidak menguap tetap di bejana (residiu).

Prinsip utamanya: Perbedaan titik didih antar komponen.

Distilasi

Keuntungan :

- Kemampuan untuk menangani kapasitas dengan kisaran yang besar.
- Kemampuan untuk menangani konsentrasi umpan dengan kisaran yang besar.
- Kemampuan untuk menghasilkan produk dengan kemurnian yang tinggi

Distilasi tidak cocok untuk kondisi :

- Pemisahan bahan dengan BM yang rendah, dan akan lebih baik memakai proses Absorpsi, Adsorpsi, dan Membran gas separator .
- Pemisahan bahan dengan BM tinggi dan peka terhadap panas.
- Pemisahan bahan dengan konsentrasi rendah. Alternatif pilihan memakai Absorpsi & Adsorpsi.
- Pemisahan antar kelompok komponen (misal : pemisahan antara camp. Aromatik dengan Alifatik). Alternatif memakai Proses Ekstraksi.
- Pemisahan komponen dengan nilai Relative Volatility (α) rendah atau mempunyai titik Azeotrop. Alternatif memakai Distilasi Azeotrop atau Kristalisasi dan Dryer
- Pemisahan camp.volatile dari suatu campuran tak volatile . Alternatif memakai Evaporasi dan Dryer.
- Pemisahan campuran condensable & non condensable. Alternatif memakai kondensasi partial diikuti dengan pemisahan antar fasa.

Distilasi

Pilihan – pilihan yang harus dilakukan pada perancangan kolom distilasi , meliputi :

1. Tekanan Operasi

Pengertian: Tekanan di dalam kolom distilasi selama operasi.

Fungsi dan pertimbangan:

- **Menentukan titik didih:** Tekanan kolom memengaruhi suhu didih komponen campuran.
- **Efisiensi energi:** Tekanan lebih rendah → titik didih lebih rendah → mengurangi kebutuhan panas (hemat energi).
- **Kestabilan proses:** Tekanan terlalu tinggi dapat menyebabkan peralatan mahal dan risiko keselamatan meningkat.

Pilihan desain:

- Kolom **tekanan atmosfer** → umum untuk air dan pelarut biasa.
- Kolom **vakum (tekanan rendah)** → untuk zat sensitif panas atau titik didih tinggi.

Bila P operasi **makin besar** :

- Relative volatily turun, sehingga pemisahan semakin sulit.
- Panas Laten penguapan turun, sehingga beban reboiler dan kondensor turun.
- Densitas uap naik, sehingga diameter kolom distilasi makin kecil.
- Suhu reboiler naik (batas max. suhu reboiler ditentukan pada suhu peruraian bahan).
- Suhu kondensor naik.

Distilasi

2. Reflux Ratio

Pengertian: Perbandingan antara jumlah cairan yang dikembalikan ke kolom (reflux) dengan jumlah distilat yang diambil.

Reflux ratio=cairan dikembalikan distilat/ diambil

Fungsi:

- **Meningkatkan kemurnian:** Reflux yang lebih tinggi meningkatkan kontak uap-cair di tray sehingga komponen murni lebih baik.
- **Menentukan tinggi kolom dan jumlah tray:** Reflux tinggi → kolom lebih pendek → energi lebih tinggi.
- **Keseimbangan biaya:** Reflux terlalu rendah → kolom harus tinggi → investasi besar; Reflux terlalu tinggi → konsumsi energi tinggi.

Pilihan desain:

- Reflux ratio optimum → mencapai kemurnian target dengan biaya operasi minimum.

Distilasi

2. Reflux Ratio

Untuk Reflux Ratio , terdapat Capital Energy Trade Off.

Bila Reflux Ratio dinaikkan dari nilai Minimumnya, maka jumlah Plate makin sedikit, sehingga Capital Cost turun.

Namun, Energy Cost (Utility Cost) naik karena **beban Kondensor dan Reboiler** naik.

Bila meninjau kolom Distilasi sebagai unit tersendiri, maka :

R / R_{min} yang Optimum adalah $< 1,1$. Namun sebagian besar perancang tidak memilih nilai $< 1,1$ dengan pertimbangan faktor keamanan perancangan

Bila kolom Distilasi dipadukan dengan jaringan penukar panas , maka :

R / R_{min} yang optimum tidak sama dengan keadaan bila ditinjau dengan kolom distilasi sebagai unit tersendiri.

Distilasi

3. Kondisi Termal Umpan

Pengertian: Suhu dan fase umpan saat masuk kolom (cair panas, cair dingin, atau uap).

Fungsi:

- **Menentukan titik masuk tray:** Umpan panas (subcooled, saturated, superheated) memengaruhi tray di mana umpan dimasukkan.
- **Efisiensi pemisahan:** Umpan dekat dengan titik didih → lebih mudah dipisahkan; uap → lebih cepat naik ke atas.
- **Kontrol energi:** Menentukan kebutuhan panas tambahan atau pendinginan di reboiler/condensor.

Pilihan desain:

- Umpan **vapor** → cocok untuk fraksi ringan.
- Umpan **liquid** → umum, masuk di tengah kolom.
- Umpan **mixed phase** → butuh tray khusus dan kontrol termal lebih cermat.

Distilasi

3. Kondisi Termal Umpan

Umpan yang makin dingin akan :

- Memperkecil jumlah tray bagian Rectifying, tetapi memperbesar jumlah tray bagian stripping.
- Memerlukan panas yang lebih besar pada Reboiler, namun pendinginan yang lebih sedikit dalam kondensor.

Untuk umpan pemisah tertentu : kondisi termal umpan dapat di optimumkan. Namun hal ini dilakukan karena Heat Integration akan merubah kondisi optimal ini. Bisanya kondisi Termal umpan ditetapkan sebagai “ Liquid Jenuh ”.

Distilasi

DISTILASI CAMPURAN YANG MENUNJUKKAN SIFAT AZEOTROP atau RELATIVE VOLATILITY RENDAH

Bila komponen kunci berat dan ringan membentuk Azeotrop, maka untuk pemisahannya tidak bisa dengan distilasi biasa.

Ada beberapa pilihan cara untuk melakukan pemisahan campuran yang menunjukkan sifat-sifat azeotrop, yaitu :

1. Menggunakan kolom distilasi yang beroperasi pada tekanan yang berbeda. Cara ini dilakukan bila komposisi azeotrop berubah cukup berarti dengan perubahan tekanan.
2. Penambahan bahan dari luar ke dalam kolom distilasi untuk merubah (memperbesar) relative volatility komponen kunci.

Teknik ini berguna tidak hanya bila campuran tak mungkin dipisahkan karena menunjukkan sifat-sifat azeotrop, juga campuran sulit dipisahkan karena relative volatility rendah.

Distilasi

Teknik Distilasi ini dibagi 2 jenis, yaitu :

1. **Distilasi Ekstraktif**, bahan dari luar yang ditambahkan relative tak volatile dan disebut dengan **SOLVEN**. Dalam campuran ini solven dikeluarkan dari kolom bagian bawah dan tak membuat azeotrop dengan komponen manapun.
2. **Distilasi Azeotrop**, bahan dari luar yang ditambahkan relatif volatil dan disebut dengan **ENTRAINER**. Entrainer ini membentuk Low boiling binary azeotrop dengan salah satu komponen kunci atau membentuk ternary azeotrop dengan komponen kunci

Absorpsi

Absorpsi adalah proses pemisahan di mana **satu atau beberapa komponen dari gas atau cairan diserap oleh cairan atau padatan (absorben)**.

- Gas atau uap yang mengandung zat target dialirkan melalui **media absorben**.
- Zat target diserap ke dalam media, sedangkan sisa gas/cairan yang tidak terserap keluar sebagai **aliran bersih**.

Contoh sederhana: Menghilangkan CO₂ dari gas buang dengan larutan amina.

Prinsip Kerja

- Bergantung pada **perbedaan kelarutan** atau **afinitas kimia** antara zat yang ingin diambil dan absorben.
- Absorpsi bisa **fisis** (hanya kelarutan) atau **kimia** (bereaksi dengan absorben).

Langkah kerja secara umum:

1. Gas atau campuran dialirkan ke kolom atau menara absorpsi.
2. Zat target bereaksi atau larut di absorben.
3. Gas yang telah “dibersihkan” keluar dari kolom.
4. Absorben yang telah jenuh biasanya diregenerasi untuk digunakan kembali.

Absorpsi

Jenis Absorpsi

Jenis Absorpsi	Prinsip / Mekanisme	Contoh Aplikasi
Absorpsi Fisis	Berdasarkan kelarutan zat dalam cairan	CO ₂ larut dalam air (tidak bereaksi kimia)
Absorpsi Kimia	Berdasarkan reaksi kimia antara zat target dan absorben	CO ₂ bereaksi dengan larutan amina; SO ₂ bereaksi dengan Ca(OH) ₂

Faktor yang Mempengaruhi Absorpsi

- Perbedaan kelarutan** zat dalam absorben
- Laju aliran gas dan cairan** → mempengaruhi kontak
- Suhu dan tekanan** → biasanya absorpsi lebih efektif pada suhu rendah dan tekanan tinggi
- Desain kolom absorpsi** → tinggi kolom, jumlah tray, packing material

Absorpsi

Sebagai alternatif untuk distilasi bagi pemisahan bahan-bahan dengan BM rendah. Pada operasi Absorpsi, campuran gas dikontakkan dengan pelarut cair yang melarutkan satu atau lebih komponen-komponen dalam campuran gas

Variabel yang penting dalam operasi Absorpsi :

1. **Liquid Rate**, faktor absorpsi komponen-i, $\{L/K_i V\}$ menyatakan seberapa mudah komponen-i dapat terserap ke dalam fase liquid , berarti makin besar faktor absorpsi , jumlah plate makin kecil, namun beaya operasi makin besar. **Faktor Absorpsi optimal antara 1,2 s/d 2,0 (biasanya digunakan nilai 1,4).**
2. **Suhu**, makin rendah suhu kelarutan solute makin besar. Hal ini sangat menguntungkan pada kondisi operasi Absorpsi
3. **Tekanan**, makin besar tekanan kelarutan solute makin besar namun biaya operasional makin besar.

Absorpsi

Contoh Alat / Peralatan

- **Kolom Tray (Plate Column):** Gas dialirkan dari bawah, cairan dari atas, zat target diserap di tray.
- **Kolom Packed (Packing Column):** Gas melewati material padat atau struktur berpori, cairan menyelimuti permukaan padatan.

Kelebihan Absorpsi

- Dapat memisahkan **komponen gas minor** dari aliran gas.
- Bisa digunakan untuk **penyaringan polutan**.
- Fleksibel: fisis atau kimiawi tergantung kebutuhan

Kekurangan Absorpsi

- Absorben bisa jenuh → memerlukan regenerasi.
- Biaya operasional bisa tinggi untuk absorben kimia.
- Efisiensi bergantung pada **desain kolom dan kondisi operasi**.

Evaporator

Evaporasi adalah proses pemisahan di mana **pelarut (biasanya cairan)** dihilangkan dari larutan atau suspensi dengan cara **penguapan**, sehingga **zat terlarut atau padatan tertinggal**.

Tujuan utama: **memekatkan larutan** atau **memisahkan zat terlarut dari pelarut**. Berbeda dengan distilasi, evaporasi **tidak bertujuan untuk memurnikan pelarut**, melainkan menghilangkan pelarut dari zat padat atau cairan yang lebih pekat.

Prinsip Kerja

1. Larutan atau campuran dipanaskan.
2. Cairan (pelarut) **mengalami penguapan**.
3. Uap cairan dilepaskan atau dikondensasikan.
4. Zat terlarut atau padatan tertinggal sebagai produk pekat.

Catatan: Suhu, tekanan, dan luas permukaan mempengaruhi **efisiensi evaporasi**.

Evaporator

Jenis Evaporator

Jenis Evaporator	Prinsip / Kegunaan		Contoh Aplikasi
Evaporator Pelat / Tubular	Panas ditransfer melalui pelat atau pipa, larutan mengalir di atas permukaan panas	Memiliki tabung di mana cairan mengalir dan dipanaskan. Uap dihasilkan ketika cairan menguap dari permukaan tabung	Industri kimia: larutan garam, larutan asam
Evaporator Vakum	Mengurangi tekanan untuk menurunkan titik didih, menghindari degradasi zat sensitif panas	Beroperasi di bawah tekanan rendah untuk menurunkan titik didih cairan, memungkinkan penguapan pada suhu yang lebih rendah	Susu, jus buah, bahan farmasi
Evaporator Film / Falling Film	Larutan membentuk lapisan tipis di dinding tabung → uap cepat hilang	Cairan dibentuk menjadi lapisan tipis di atas permukaan pemanas. Uap dihasilkan dengan cepat karena luas permukaan yang besar	Industri makanan, pengolahan sirup gula

Evaporator

Macam Evaporator Berdasarkan Tahap

- **Single Stage Evaporator** ; Hanya satu tahap pemanasan dan penguapan. Cocok untuk larutan sederhana dan kapasitas kecil
- **Multi-Stage Evaporator** ; Terdiri dari beberapa tahap (stage) untuk memanfaatkan panas secara bertingkat. Efisiensi energi lebih tinggi, cocok untuk skala industri besar.

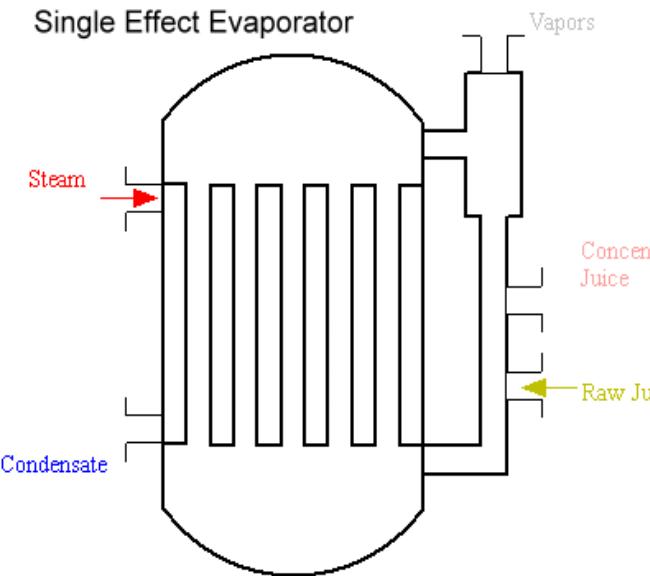
Operasi pada Multi-Stage Evaporator

Tujuan Multi-Stage: Memanfaatkan panas uap dari satu stage ke stage berikutnya, sehingga lebih hemat energi dan lebih efektif untuk larutan pekat atau sensitif panas.

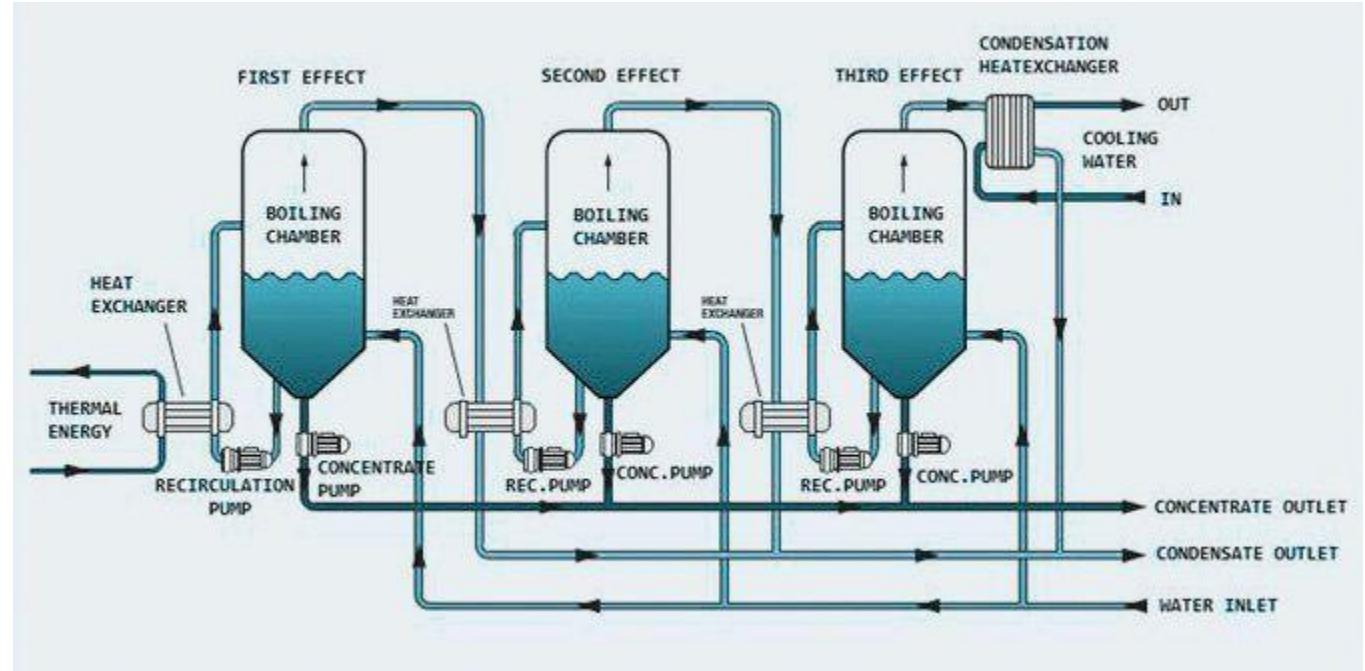
Ada 3 macam operasi untuk Multi Stage Evaporator

1. Operasi Forward – Feed
2. Operasi Backward – Feed
3. Operasi Paralel – Feed

Evaporator



Single Stage Evaporator



Multi-Stage Evaporator

Evaporator

Forward-Feed

Forward-Feed: Metode pemberian umpan **dari stage pertama menuju stage terakhir** secara berurutan, tanpa bantuan pompa antar stage.

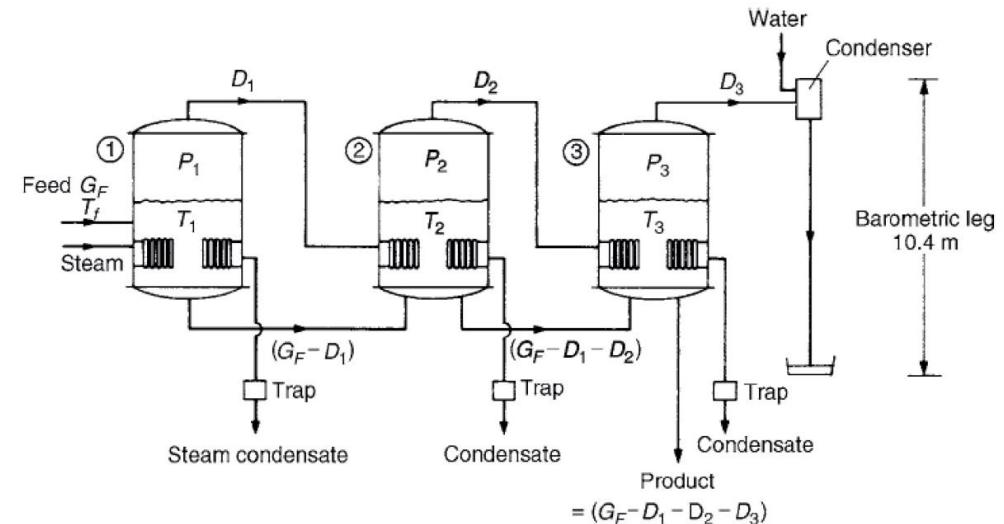
- Umpan masuk di stage atas (awal) → bergerak melalui stage berikutnya → keluar sebagai produk pekat di stage terakhir.
- Biasanya menggunakan **gravitasi atau aliran alami** larutan antar stage.

Cara Kerja

- Larutan (umpan) dimasukkan ke stage paling atas dari evaporator multi-stage.
- Panas diberikan pada setiap stage, menyebabkan sebagian pelarut menguap.
- Larutan yang sudah pekat mengalir ke stage berikutnya.
- Produk pekat terkumpul di stage terakhir.

Tujuan dan Kegunaan

- Digunakan untuk **produk pekat yang mudah terurai** pada suhu tinggi.
- Cocok untuk larutan yang **tidak terlalu kental (viscous)** sehingga bisa mengalir sendiri dari stage ke stage berikutnya.
- Mengurangi kebutuhan peralatan tambahan seperti pompa.



Evaporator

Backward-Feed

Backward-Feed adalah metode pemberian umpan dari stage terakhir menuju stage pertama (stage awal) dengan bantuan pompa antar stage.

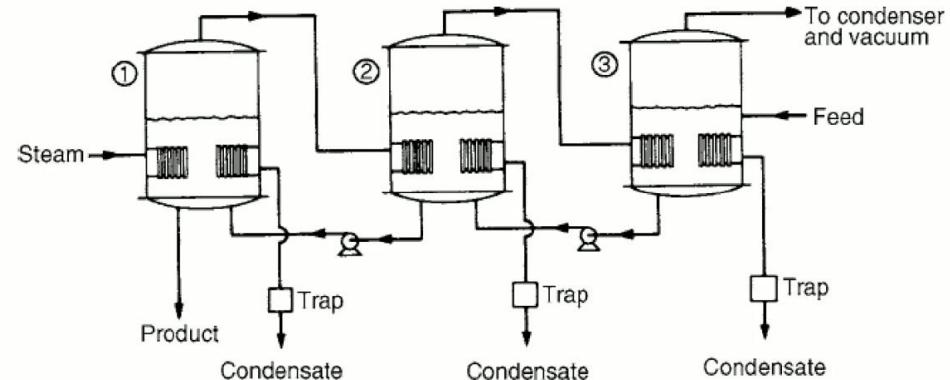
- Larutan dialirkan dari stage bawah ke stage atas secara berurutan.
- Biasanya digunakan untuk **larutan pekat dan sangat viscous** yang sulit mengalir secara alami.

Tujuan dan Kegunaan

- Cocok untuk **produk pekat dan sangat kental**.
- Membantu mencegah **penyumbatan atau aliran tidak merata**.
- Memungkinkan **kontrol aliran dan suhu** lebih baik pada setiap stage

Cara Kerja

- Larutan umpan dimasukkan ke stage paling bawah (stage akhir).
- Pompa digunakan untuk memindahkan larutan ke stage sebelumnya (stage atas).
- Di setiap stage, sebagian pelarut diuapkan menggunakan panas internal.
- Produk pekat akhirnya dikumpulkan di stage paling atas atau sesuai desain



Evaporator

Paralel – Feed

Paralel–Feed adalah metode pemberian larutan (umpan) ke **beberapa stage sekaligus** dalam evaporator multi-stage.

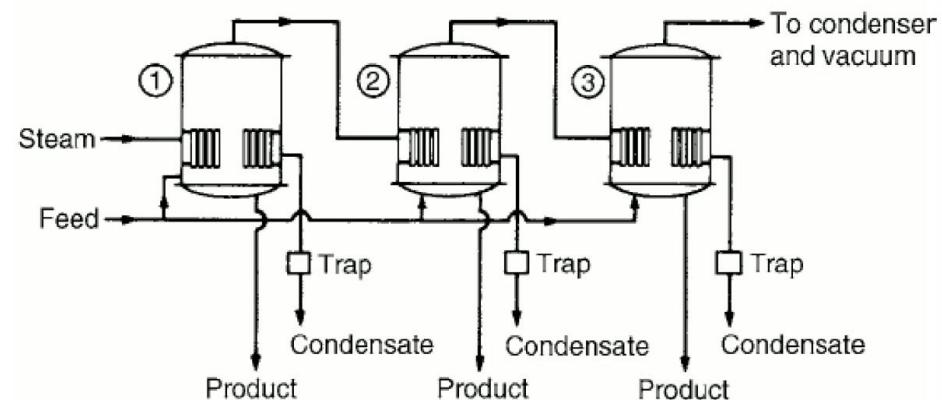
- Tidak mengalir dari stage pertama ke terakhir seperti forward-feed, atau dari stage terakhir ke pertama seperti backward-feed.
- Umpan dibagi sehingga setiap stage menerima larutan sesuai kapasitas dan kondisi

Tujuan dan Kegunaan

- Digunakan bila **umpan hampir jenuh** atau mendekati titik pengkristalan.
- Cocok untuk larutan yang **mengandung kristal padat** sehingga risiko penyumbatan dapat dikurangi.
- Menjaga **aliran stabil** dan **kontrol suhu** di setiap stage

Cara Kerja

- Larutan dibagi menjadi beberapa aliran.
- Setiap aliran dimasukkan ke stage tertentu sesuai desain.
- Di setiap stage, sebagian pelarut diuapkan menggunakan panas internal.
- Produk pekat dari semua stage dikumpulkan secara terkontrol.



Evaporator

Ada 3 derajat kebebasan dalam perancangan Evaporator

1. Level SUHU, dapat diubah dengan memanipulasi P operasi : P operasi rendah, suhu rendah ; P vacuum , stage 1 suhunya rendah dan stage 2 & 3 suhunya makin rendah.
Batasan : P relatif kecil, tetapi hasil/produk masih bisa di embunkan dengan air biasa.
2. Beda suhu antar stage : dimanipulasi dengan luas perpindahan panas.
3. Aliran panas melalui system, dapat dimanipulasi dengan merubah jumlah stage.

Evaporator

1. Level Suhu (Temperature Level)

Pengertian: Suhu di setiap stage evaporator.

Bagaimana dikontrol: Memanipulasi tekanan operasi (P operasi):

- Tekanan rendah → suhu rendah.
- Tekanan vakum → titik didih menurun, sehingga stage 1 suhunya rendah, stage 2 & 3 lebih rendah lagi.

Batasan: Tekanan relatif kecil, tetapi uap produk masih **dapat dikondensasikan dengan air biasa** (tidak memerlukan pendinginan khusus).

Tujuan:

- Menjaga agar **produk sensitif panas** tidak terurai.
- Menghemat energi dengan menggunakan **uap pada suhu rendah**.

2. Beda Suhu Antar Stage (ΔT Stage)

Pengertian: Perbedaan suhu antara satu stage dengan stage berikutnya.

Bagaimana dikontrol: Dimanipulasi melalui **luas perpindahan panas** pada tiap stage:

- Luas permukaan panas besar → ΔT bisa kecil, uap terserap lebih efisien.
- Luas permukaan panas kecil → ΔT lebih besar.

Tujuan:

- Menentukan **laju penguapan di tiap stage**.
- Menjaga efisiensi energi dan stabilitas proses.

Evaporator

3. Aliran Panas Melalui Sistem (Heat Duty)

Pengertian: Jumlah panas yang diteruskan melalui evaporator untuk menguapkan pelarut.

Bagaimana dikontrol: Dimanipulasi dengan **jumlah stage**:

- Lebih banyak stage → panas didistribusikan lebih merata → efisiensi energi tinggi.
- Sedikit stage → aliran panas per stage besar → cepat, tapi risiko overheating meningkat.

Tujuan:

- Mengatur **kapasitas evaporasi** sesuai kebutuhan.
- Menyeimbangkan antara efisiensi energi dan kualitas produk

Catatan :

1. Penurunan tekanan operasi akan menurunkan level suhu.
2. Penurunan luas perpindahan panas , akan menaikkan beda suhu antar stage.
3. Kenaikan jumlah stage akan menurunkan aliran panas melalui system.
4. Derajat kebebasan yang paling penting adalah pemilihan jumlah stage.
5. Bila jumlah stage makin banyak, capital cost makin besar, namun energy cost menurun.
6. Tekanan operasi dipilih sehingga suhu uap pada stage terakhir lebih besar dari pada suhu air / udara ; dan suhu cairan pada stage dengan tekanan tertinggi adalah dibawah suhu steam (hal ini bila tak ada masalah pada peruraian produk).
7. Bila terdapat masalah peruraian produk dan masalah fouling factor maka beda suhu harus disebar secara serba sama antara batas atas suhu dan batas bawah suhu.

Dryer

Dryer (pengering) adalah alat yang digunakan untuk **menghilangkan kandungan air atau pelarut cair dari bahan padat atau semi-padat** dengan menggunakan panas atau udara kering.

Tujuannya: mengurangi kadar air atau pelarut sehingga bahan menjadi **lebih stabil, mudah disimpan, dan lebih ringan.**

Digunakan luas di industri makanan, farmasi, kimia, dan pertanian.

Prinsip Kerja

- Bahan basah dimasukkan ke dalam dryer.
- Panas diberikan melalui **udara panas, uap, atau kontak langsung dengan permukaan panas.**
- Cairan dalam bahan menguap → uap dibuang atau dikondensasikan.
- Bahan kering keluar dengan kadar air rendah sesuai spesifikasi.

Catatan: Tergantung jenis dryer, panas bisa diberikan secara **konduksi, konveksi, atau radiasi.**

Dryer

Jenis-Jenis Dryer

Tunnel Dryer

Tunnel Dryer adalah jenis pengering di mana bahan basah dikeringkan dengan **melewati terowongan panjang (tunnel)**, biasanya menggunakan konveyor, sementara udara panas dialirkan melalui tunnel untuk menguapkan air dari bahan.

- Digunakan untuk **bahan padat tipis atau potongan kecil**.
- Banyak dipakai di industri makanan, farmasi, dan herbal.

Prinsip Kerja

- Bahan basah ditempatkan di atas **konveyor** atau tray.
- Bahan bergerak secara **kontinu melalui terowongan panjang**.
- Udara panas dialirkan melalui atau di atas bahan → menyebabkan penguapan air.
- Bahan kering keluar di ujung tunnel.

Catatan: Aliran udara bisa **searah dengan bahan (co-current)** atau **lawan arah (counter-current)** tergantung desain.

Ciri Khas

- Cocok untuk bahan **tipis, iris, atau potongan kecil**.
- Waktu tinggal (residence time) dapat diatur dengan **kecepatan konveyor**.
- Suhu dan kelembapan udara di tunnel dapat dikontrol untuk menjaga kualitas bahan

Dryer

Kelebihan Tunnel Dryer

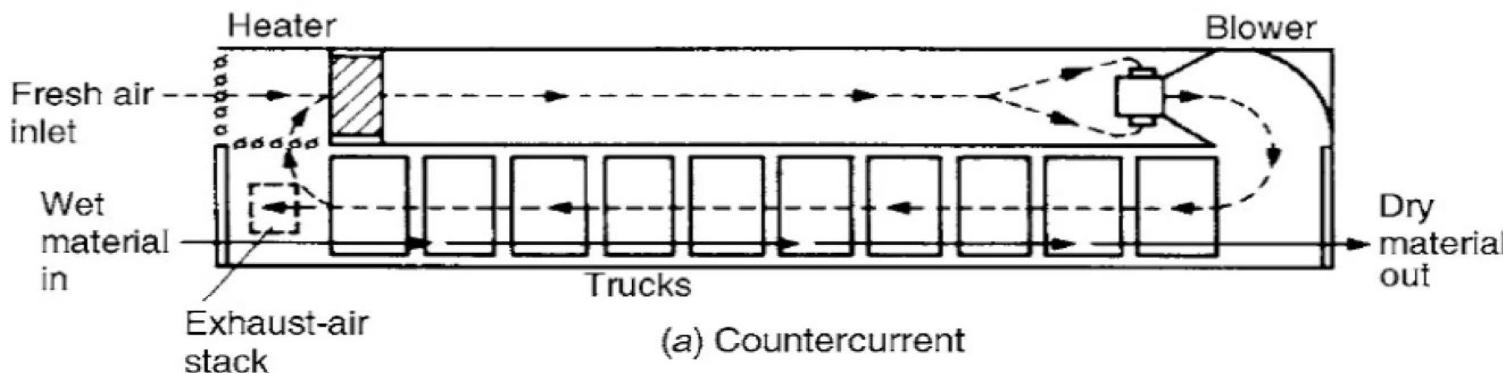
- Pengeringan **merata**.
- Aliran bahan bisa **kontinu**, cocok untuk produksi massal.
- Mudah dikontrol suhu dan kelembapan.

Kekurangan Tunnel Dryer

- Membutuhkan **ruang panjang**.
- Konsumsi energi cukup tinggi.
- Kurang cocok untuk bahan yang **sangat sensitif panas**, karena kontak dengan udara panas cukup lama

Contoh Penggunaan

- **Industri makanan:** sayuran iris kering, pasta, buah iris.
- **Industri herbal/farmasi:** daun, potongan tanaman obat.
- **Bahan kimia padat:** granul tipis yang bisa dikeringkan secara batch atau kontinyu.



Dryer

Rotary Dryer

Rotary Dryer adalah jenis pengering di mana bahan basah dikeringkan dalam **drum silinder yang berputar**, sambil terkena **udara panas** atau **permukaan drum yang dipanaskan**.

- Banyak digunakan untuk **bahan granular, butiran, atau bubuk kasar**.
- Cocok untuk skala industri besar karena dapat memproses volume besar secara kontinu.

Prinsip Kerja

- Bahan basah dimasukkan ke dalam **drum berputar**.
- Drum dipanaskan dari luar atau melalui **aliran udara panas** di dalam drum.
- Saat drum berputar, bahan basah **teraduk dan terguling**, sehingga panas merata dan air menguap.
- Uap air dibuang, dan bahan kering keluar di ujung drum.

Catatan: Bahan bisa digerakkan secara **kontinyu** dari inlet ke outlet.

Ciri Khas

- Cocok untuk **bahan bersifat granular atau padat**.
- Proses **kontinu**, efisien untuk produksi massal.
- Suhu dan waktu tinggal bahan dapat diatur dengan **kecepatan putaran drum dan aliran udara panas**.

Dryer

Kelebihan Rotary Dryer

- Bisa menangani **Jumlah bahan besar**.
- Proses kontinu → cocok untuk industri skala besar.
- Bahan tercampur dan tersebar → pengeringan merata

Kekurangan Rotary Dryer

- Konsumsi energi cukup tinggi.
- Peralatan membutuhkan **perawatan rutin** (drum, bearing, segel).
- Kurang cocok untuk bahan **sangat sensitif panas**, karena kontak dengan panas cukup lama

Contoh Penggunaan

- **Industri makanan:** biji-bijian, kacang, jagung, kopi.
- **Industri kimia:** pupuk, mineral, bahan kimia granular.
- **Industri farmasi:** granul obat tertentu.

Dryer

Drum Dryer

Drum dryer adalah jenis pengering di mana **larutan atau pasta bahan diaplikasikan di permukaan drum berputar yang dipanaskan**, sehingga bahan mengering membentuk **lapisan tipis**. Setelah kering, bahan dapat digiling menjadi serbuk jika diperlukan.

Cocok untuk **larutan kental atau pasta**, seperti sirup, puree, atau bahan kimia kental

Prinsip Kerja

- Larutan atau pasta dimasukkan ke **permukaan drum yang berputar**.
- Drum dipanaskan dari dalam (steam atau listrik).
- Saat drum berputar, larutan menempel pada permukaan drum dan **mengering membentuk lapisan tipis**.
- Lapisan kering **digosok atau dikikis** dari drum → bisa diproses lebih lanjut menjadi serbuk.

Catatan:

Proses ini sering disebut **contact drying** karena pengeringan melalui kontak langsung dengan permukaan panas.

Ciri Khas

- Cocok untuk **larutan atau pasta kental** yang sulit dikeringkan dengan udara panas biasa.
- Produksi cepat dan efisien → bahan kental dapat dikeringkan dalam bentuk lembaran tipis.
- Setelah kering, bahan bisa digiling menjadi serbuk halus.

Dryer

Kelebihan Drum Dryer

- Cepat, efisien untuk **larutan atau pasta kental**.
- Produk kering dapat diolah menjadi serbuk atau flakes.
- Proses **kontinu** dan mudah dikontrol.

Kekurangan Drum Dryer

- Produk biasanya **perlu digiling** setelah kering → biaya tambahan.
- Kurang cocok untuk bahan yang **sangat sensitif panas**, karena permukaan drum panas tinggi.
- Tidak cocok untuk partikel besar atau granular.

Contoh Penggunaan

- **Industri makanan:** sirup jagung, puree buah, susu kental manis.
- **Industri kimia:** larutan bahan kimia kental.
- **Industri farmasi:** larutan obat tertentu yang bisa dikeringkan menjadi flakes.

Dryer

Spray Dryer

Spray Dryer adalah jenis pengering di mana **larutan atau suspensi disemprotkan menjadi tetesan sangat kecil** ke dalam aliran udara panas sehingga **mengering hampir seketika** menjadi serbuk halus.

Cocok untuk **produk yang memerlukan pengeringan cepat dan sensitif panas**, misalnya susu bubuk, kopi instan, atau obat-obatan.

Prinsip Kerja

- Larutan atau suspensi bahan **disemprotkan melalui nozzle** menjadi tetesan halus.
- Tetesan masuk ke dalam **chamber pengering** dengan udara panas yang mengalir (co-current atau counter-current).
- Air atau pelarut dalam tetesan **mengering instan**, menjadi **serbuk halus**.
- Serbuk kering dikumpulkan di bawah chamber atau melalui cyclone separator.
- Udara lembap dibuang atau dikondensasikan.

Ciri Khas

- Cocok untuk **larutan, suspensi, atau emulsi**.
- Hasil produk biasanya **serbuk halus, homogen, dan bebas gumpalan**.
- Waktu pengeringan sangat singkat → cocok untuk bahan **sensitif panas**.

Dryer

Kelebihan Spray Dryer

- Produksi **serbuk halus dan seragam**.
- Proses **cepat**, waktu pengeringan detik sampai menit.
- Cocok untuk bahan **sensitif panas**.
- Proses **kontinu**, efisien untuk produksi industri besar.

Kekurangan Spray Dryer

- Biaya alat **tinggi**.
- Konsumsi energi cukup besar.
- Tidak cocok untuk larutan sangat kental atau yang mengandung padatan besar.

Contoh Penggunaan

- **Industri makanan:** susu bubuk, kopi instan, bumbu, sirup disemprotkan.
- **Industri farmasi:** antibiotik, vaksin, obat-obatan berbentuk serbuk.
- **Industri kimia:** bahan kimia halus atau larutan sensitif.

TERIMA KASIH

FOR YOUR ATTENTION

