

KONTRAK KULIAH

- Tugas : 30%
- Ujian Tengah Semester : 30%
- Ujian Akhir : 40%

REFERENSI

- Powell, S.T., 1979, "Water Conditioning for Industry", McGrawHill, New York.
- Metcalf and Eddy, 2003, "Wastewater Engineering, Treatmentand Reuse", 4 ed., McGraw-Hill Book Co., New York.
- Kemmer, F.N.; 1988, The NALCO Water Handbook, 2nd edition, McGraw-Hill Book Company, New York.

TOPIK PEMBELAJARAN

- Unit Utilitas dalam Pabrik Kimia
- Proses Pengolahan Air Industri
- *Cooling Tower*
- Udara Tekan
- *Steam* dan *Boiler*

APA YANG DIPELAJARI DI UTILITAS?



APA ITU UTILITAS?

Pabrik Kimia



1. Unit utama

Proses

Alat proses

2. Unit Penunjang

Air

Steam

Bahan Bakar

Listrik

Pengolahan Limbah

Utilitas merupakan bagian yang menyediakan bahan pembantu proses atau biasa disebut sebagai sarana penunjang proses. Unit ini memegang peranan yang sangat penting dalam produksi, karena tanpa adanya unit ini maka proses produksi tidak dapat berjalan secara optimal.

Unit Utilitas dalam Pabrik Kimia

Unit utilitas merupakan bagian dari pabrik yang berfungsi untuk menyediakan bahan-bahan penunjang pendukung kelancaran sistem produksi pabrik dan untuk menyediakan tenaga atau sumber penggerak peralatan yang ada dalam proses produksi pabrik.

Unit utilitas terdiri dari:

- Unit penyediaan dan pengolahan **air** (*Water System*)
- Unit pembangkit **steam** (*Steam Generation System*)----> Boiler Feed Water
- Unit penyedia **udara instrument** (*Instrument Air System*)
- Unit pembangkit dan pendistribusian **listrik** (*Power Plant and Power Distribution System*)

Siklus Air

Sumber Air di Alam

1. Air laut
2. Air tawar
 - a. Air hujan
 - b. Air permukaan : Impurities (Pengotor) air permukaan akan sangat tergantung kepada lingkungannya, seperti peptisida, dan limbah industri
Kerugian : Komposisi impurities air permukaan cenderung tidak konstan
Keuntungan : tersedia dalam jumlah yang besar
 - c. Air tanah
Sumur dangkal (5 – 20 m) ; Sumur dalam (> 200 m)
Keuntungan : Impurities air tanah lebih sedikit dan lebih konstan.
Kerugian : ketersediaan jumlah air yang terbatas

- **Air Laut**, mempunyai rasa asin karena banyak mengandung garam NaCl serta garam-garam mineral oleh karenanya air laut tidak memenuhi syarat sebagai air minum.
- **Air Hujan**, dalam keadaan murni sangat bersih, tetapi karena adanya pengotoran udara, maka sampai kebumi sudah tidak bersih lagi.
- **Air Payau**, terjadi karena bercampurnya air laut dengan air sungai atau air tanah, sehingga rasanya sedikit asin, tidak nyaman untuk air minum, dan kotor garam-garam mineral yg larut dari tanah.
- **Air Lahan Gambut**, umumnya air jenis ini terkontaminasi kotoran yang membentuk koloidal, sehingga sulit untuk dijernihkan, ada yang berwarna hitam, merah serta mempunyai pH rendah.
- **Air Permukaan**, umumnya mendapat pengotoran pada pengaliran, seperti lumpur, kotoran industri, yang termasuk air permukaan adalah air sungai, air danau dan air rawa.
- **Air Tanah**, umumnya air yang berasal dari dalam tanah dan mengandung sedikit zat-zat yang tersuspensi serta keruh. Air tanah tergolong dari air tanah dalam, dan air tanah dangkal serta mata air.

Sumber Air untuk Industri

Air Sungai



Air Laut



Kebutuhan Air dalam Industri

- Air untuk keperluan umum - Air sanitasi (*General Uses*)

Kebutuhan air sanitasi meliputi kebutuhan laboratorium, kantor, karyawan, taman, dll.

- Air untuk pemadam kebakaran (*Hydrant Water*)

Air pemadam kebakaran ini bersifat tidak kontinyu.

- Air untuk pembangkit *steam* (*Boiler Feed Water*)

Steam digunakan sebagai pemanas pada proses maupun unit utilitas.

- Air pendingin Air pendingin digunakan pada unit proses dan unit utilitas

- Air proses

Air Proses

- Pada umumnya air untuk proses dari kegiatan industry diperuntukan sebagai pelarut, pencampur, pengencer, media pembawa pencuci dan lainnya.
- Dengan kualitas air proses yang berbeda tergantung fungsinya dan sangat ditentukan oleh jenis industri lainnya.
- Parameter - parameter yang dianggap penting sangat berbeda pada kegiatan industri yang berbeda, demikian pula jumlah air yang diperlukan untuk setiap produk yang dihasilkan sangat berbeda.
- Industri kertas dan tekstil memerlukan air proses sekitar 70-90% dari total kebutuhan air untuk kegiatan industrinya. Sedangkan pada industri sabun kebutuhan air prosesnya tidak sebesar industri kertas dan tekstil yaitu sekitar 30-50% dari total kebutuhan airnya.

Air Umpam Boiler

- tidak mengandung unsur yang dapat menyebabkan terjadinya endapan yang dapat membentuk kerak pada boiler ; tidak mengandung unsur yang dapat menyebabkan korosi terhadap boiler dan sistem penunjangnya.
- harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu yang bertujuan untuk menghilangkan unsur-unsur atau padatan yang terkandung didalam air baik dalam bentuk tersuspensi, terlarut, ataupun koloid yang dapat menyebabkan terjadinya kerak, dan korosi dalam boiler.

Standard Boiler Feed Water (ASME American Society of Mechanical Engineers)

Drum pressure (psi)	Iron (ppm Fe)	Copper (ppm Cu)	Total hardness (ppm CaCO ₃)
0-300	0.100	0.050	0.300
301-450	0.050	0.025	0.300
451-600	0.030	0.020	0.200
601-750	0.025	0.020	0.200
751-900	0.020	0.015	0.100
901-1000	0.020	0.015	0.050
1001-1500	0.010	0.010	0.0
1501-2000	0.010	0.010	0.0

Air Sanitasi

- Air bersih (Sanitasi) adalah salah satu jenis air bermutu baik dan biasa dimanfaatkan oleh manusia untuk dikonsumsi atau dalam melakukan aktivitas mereka sehari-hari dan memenuhi persyaratan.
- Persyaratan disini ditinjau dari persyaratan kandungan kimia, fisika dan biologis.
- Pengertian Air Bersih:
 1. Secara Umum: Air yang aman dan sehat yang bisa dikonsumsi manusia.
 2. Secara Fisik : Tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa
 3. Secara Kimia:
 - a.PH netral (bukan asam/basa)
 - b.Tidak mengandung racun dan logam berat berbahaya

Air Pendingin

Pada umumnya air digunakan sebagai media pendingin karena faktor-faktor sebagai berikut:

1. Air merupakan materi yang dapat diperoleh dalam jumlah besar.
2. Mudah dalam pengaturan dan pengolahan.
3. Menyerap panas yang relatif tinggi persatuan volume
4. Tidak mudah menyusut secara berarti dalam batasan dengan adanya perubahan temperatur pendingin.
5. Tidak terdekomposisi.

Kualitas Air

- Di samping dipengaruhi oleh lingkungan dan kondisi geologis, kualitas air juga dipengaruhi oleh musim.
- Kualitas air pada musim hujan akan berbeda dengan kualitas air pada musim kemarau.
- Kualitas sumber air yang berfluktuasi sepanjang tahun ini akan mempengaruhi kinerja unit pengolahan air suatu pabrik. Oleh karena itu, aspek ini harus diperhitungkan pada waktu melakukan perancangan unit pengolahan airnya.
- Misal pada puncak musim hujan, kenaikan kandungan suspended material pada air sungai yang cukup ekstrem harus sudah diantisipasi pada waktu melakukan perancangan unit sedimentasi.

Kontaminan dalam Air

- Suspended solids :
lumpur, sampah
- Dissolved ions :
Ca, Mg, Fe, Mn, SO₄, Cl, dll
- Dissolved gas :
O₂, CO₂, dll

Suspended Solids (Undissolved Materials)

- Zat heterogen yang terkandung dalam air secara umum yang terdiri atas: lumpur, humus, limbah dan bahan buangan industri.
- Bila digunakan sebagai air umpan, dapat menyebabkan terbentuknya deposit, kerak dan busa. Sedang dalam air pendingin akan menimbulkan endapan dan korosi dibawah endapan tersebut. Kekeruhan yang berlebihan dalam air minum sangat tidak diinginkan karena dapat menimbulkan rasa tidak enak.
- Suspended solids dengan ukuran yang tidak terlalu kecil, relative mudah dihilangkan, dan biasanya hanya perlu pemisahan secara fisis saja.

Suspended Solids (Undissolved Materials)

Impurity	Resulting in	Got Rid of by	Comment
Sediment and Turbidity	Sludge and Scale Carryover	Clarification and Filtration	Tolerance of approx. 5 ppm max for most application, 10 ppm for potable water
Organic matter	Carryover, foaming, deposits can clog piping, and cause corrosion	Clarification, filtration, and chemical	Found mostly in surface waters, caused by rotting vegetation, farm runoffs. Organics break down to form organic acids. Result in low of boiler feed-water pH, which then attacks boiler tubes. Includes mold and bacterial.

Air + Kontaminan

- Sistem dispers
Medium (pendispers) : air
Zat perdispers : kontaminan
- Berdasarkan ukuran zat terdispers, system dispers dapat dibedakan menjadi 3 yaitu :
Dispers renik (r partikel : $< 1 \text{ nm}$)
Dispers koloid (r partikel : $1 \text{ nm} < r < 100 \text{ nm}$)
Dispers kasar (r partikel : $> 100 \text{ nm}$)
- Untuk suspended solids dalam ukuran koloid, perlu bahan kimia untuk penggumpalan agar mudah dilakukan pengendapan.

Problem dalam Cooling Water

- Fouling
- Scaling
- Korosi
- Microbial Contamination

Fouling

- Fouling akan terjadi jika material padat (suspended solids) dalam air membentuk endapan pada permukaan alat.
- Biasanya masuk ke cooling system melalui air make-up.
- Kemungkinan menhambat transfer panas dan aliran air.
- Biasa juga terjadi pada alat penukar panas, misalnya heat exchanger.

Scaling (Pengerakan)

- Mineral yang ada di air akan terendapkan dan membentuk kerak.
- Kerak yang paling umum dijumpai adalah kalsium karbonat, kalsium sulfat, dan silika (silikat).
- Kerak yang terbentuk atau menempel pada permukaan dapat menjadi sangat keras dan sukar untuk dihilangkan.
- Kerak ini dapat menurunkan kapasitas transfer panas dan mengurangi efisiensi energi system.
- Secara umum, adanya penggerakan dapat mengakibatkan : reduce the boiler efficiency, metal overheating, under deposit corrosion



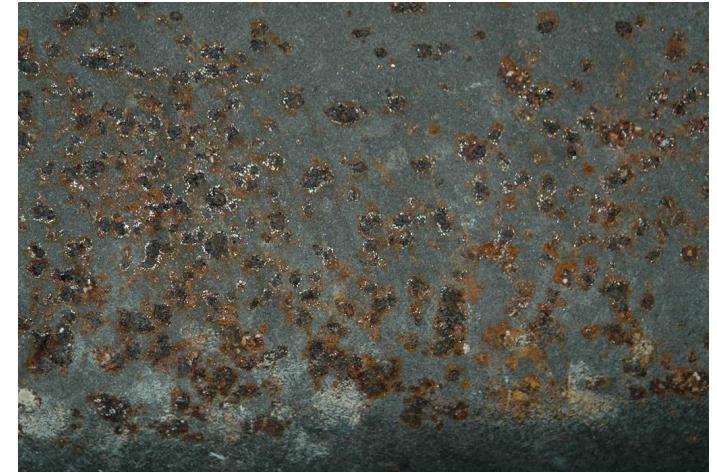
Calcium Carbonate Scale

Korosi

- Pada sistem pendinginan dapat terjadi berbagai macam korosi, dari tipe korosi elektrokimia yang umum hingga pitting.
- Korosi elektrokimia terjadi jika terdapat 4 komponen = anoda/+/oxidation ; katoda/-/reduction ; electrolyte (water) ; current path (metal surface)
- Pitting : localized form of corrosion dimana terdapat cavities or "holes" pada permukaan. Pitting dianggap lebih berbahaya dari uniform corrosion damage karena lebih sulit untuk dideteksi. Corrosion products seringkali menutupi pits.

Korosi

- Korosi dapat menyebabkan berkurangnya umur alat secara drastis sehingga diperlukan perbaikan atau penggantian alat.
- Korosi yang disebabkan oleh adanya endapan dapat menyebabkan berkurangnya kapasitas dan pemborosan energi akibat kehilangan efisiensi transfer panas.
- Paling mudah dilakukan : operate the tower at higher pH and alkalinity



Localized Corrosion (Pitting)

Microbial Contamination

- Mikrobia seperti ganggang, jamur, dan bahkan bakteri dapat menimbulkan masalah dalam cooling water system.
- The byproducts of some organisms, such as hydrogen sulfide are corrosive to many metals.
- Kontaminasi mikroba dalam system air pendingin dapat menyebabkan plugging (penyumbatan), fouling, korosi, dan kerusakan pada komponen cooling tower yang terbuat dari kayu.



Microbial contamination on a tube sheet

Problem dalam Air Umpan Boiler

- Scaling
- Corrosion
- carryover

Scaling

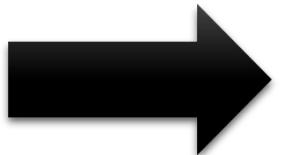
- Ketika air dipanaskan untuk diubah menjadi steam, kontaminan yang terbawa dalam air make-up yang diumpulkan ke boiler akan tertinggal pada permukaan alat penukar panas tersebut.
- Karena apa yang terjadi di sini, fungsi boiler seperti pada alat distilasi dimana air murni terambil sebagai steam, sementara konsentrat mineral dan kontaminan yang lain tertinggal dalam boiler.
- Kerak terbentuk karena pengendapan padatan kontaminan yang tadinya soluble menjadi insoluble karena naiknya temperature.
- Sebagai contoh misalnya : calcium carbonate, calcium sulfate, dan calcium silicate.

- Scale (hard deposit) / kerak

Ca

Mg

SiO₂



Reduce the boiler efficiency

Metal overheating

Under deposit corrosion

Corrosion

- Korosi adalah istilah umum yang menunjukkan perubahan logam menjadi senyawa yang dapat larut.
- Pada kasus logam boiler, korosi adalah perubahan baja menjadi karat.
- Dalam boiler ada 2 korosi yang dominan yaitu :
- 1. korosi oksigen pitting yang banyak dijumpai pada tube dan pada bagian pre-boiler
- 2. korosi pH rendah yang banyak dijumpai system pengembalian kondensat. Korosi ini dapat menyebabkan kegagalan pada bagian-bagian kritis system boiler, serta kehilangan efisiensi secara keseluruhan.

Carryover

- Carryover dapat disebabkan oleh **priming** atau **foaming**
- Priming
- Priming adalah erupsi keras dan mendadak dari air boiler yang terbawa bersama steam keluar.
- Penyebab priming dapat terjadi karena persoalan mekanis dan sebagian lagi persoalan kimia, seperti:
 1. Ketinggian air di dalam boiler terlalu tinggi.
 2. Konsentrasi tinggi dari bahan kimia dalam air.
 3. Kotoran-kotoran yang menyebabkan naiknya tegangan permukaan.
 4. Pembukaan katup uap terlalu cepat.

- Foaming
- Foaming dapat menyebabkan carryover dengan terbentuknya buih yang stabil pada air boiler yang kemudian terbawa keluar bersama steam.
- Yang menyebabkan busa adalah:
 1. Solid matter
 2. Suspended matter
 3. Suatu kebasaan yang tinggi sekali
- Setelah jangka waktu tertentu, endapan yang diakibatkan oleh foaming dapat menyumbat aliran steam atau kondensat.

Figure 3.12

PRIMING

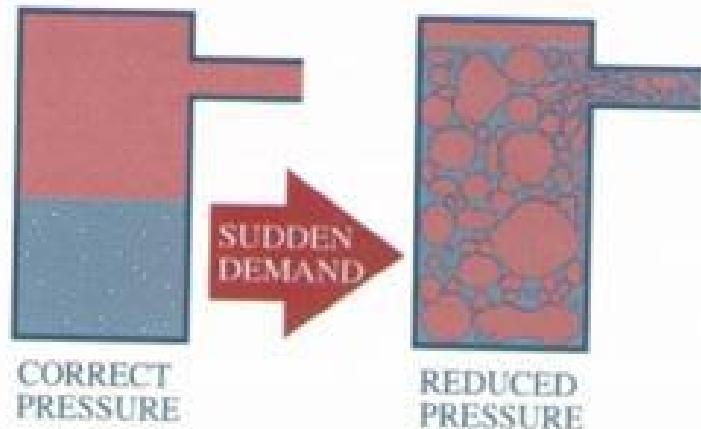
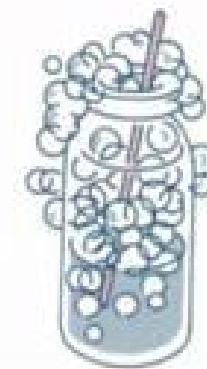
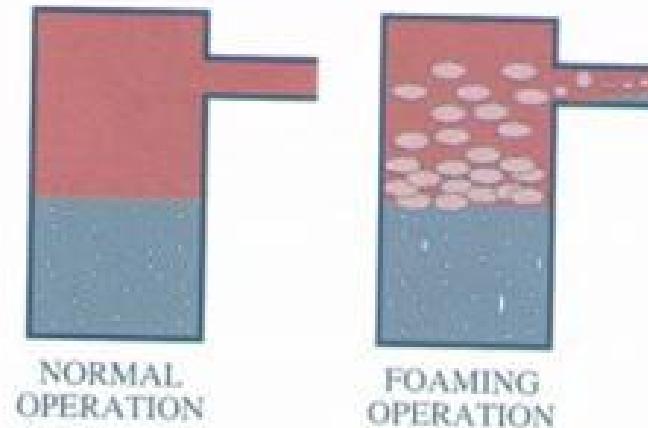


Figure 3.13

FOAMING



- Jadi, air umpan boiler (Boiler Feed Water) harus mempunyai spesifikasi sebagai berikut :
 - (1). Tidak membentuk endapan
 - (2). Tidak korosif
 - (3). Tidak berbuih

HARD WATER

- Di dalam air biasanya terkandung ion-ion Ca^{2+} , Mg^{2+} dll dalam bentuk garam terlarut yang terdissosiasi. Ion-ion ini konsentrasinya relative rendah tetapi sangat mempengaruhi kualitas air yang akan dipakai sebagai air pendingin maupun air umpan boiler.
- Ion-ion logam ini biasanya terlarut dalam air sebagai garam karbonat, sulfat, bikarbonat, dan klorida. Adanya ion-ion logam calcium dan magnesium akan menyebabkan air bersifat sadah (hard)
- Istilah ‘hard’ berkaitan dengan kekuatan konsumsi sabun. Sifat ini menunjukkan kualitas yang berkaitan dengan karakter pencuciannya. Sabun adalah suatu surfaktan yang fungsinya adalah menurunkan tegangan muka air sehingga akan meningkatkan sifat wetting air. Dengan adanya garam Ca dan Mg, sabun akan rusak dan kehilangan sifat wettingnya.

Hardness (Kesadahan)

- Total Hardness menunjukkan ukuran banyaknya Ca, Mg, dan komponen perusak sabun yang lain (Fe, Al, beberapa adam orbanik dan mineral) yang ada di dalam air.
- Konsentrasi mineral-mineral tersebut dalam air biasanya dinyatakan dalam mg/L atau part per million (ppm).

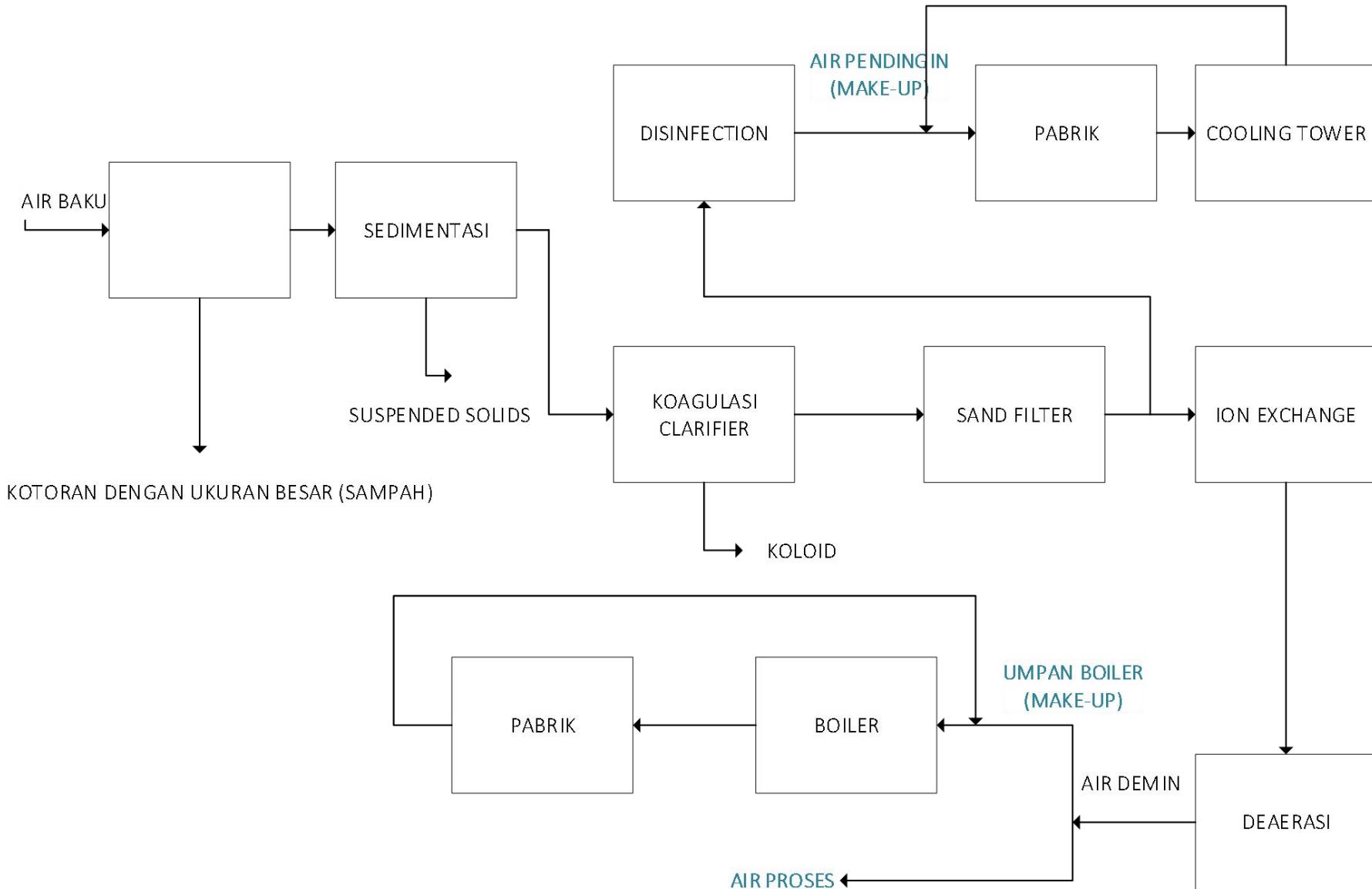
Klasifikasi Tingkat Kesadahan

(versi the American Society of Agricultural Engineers)

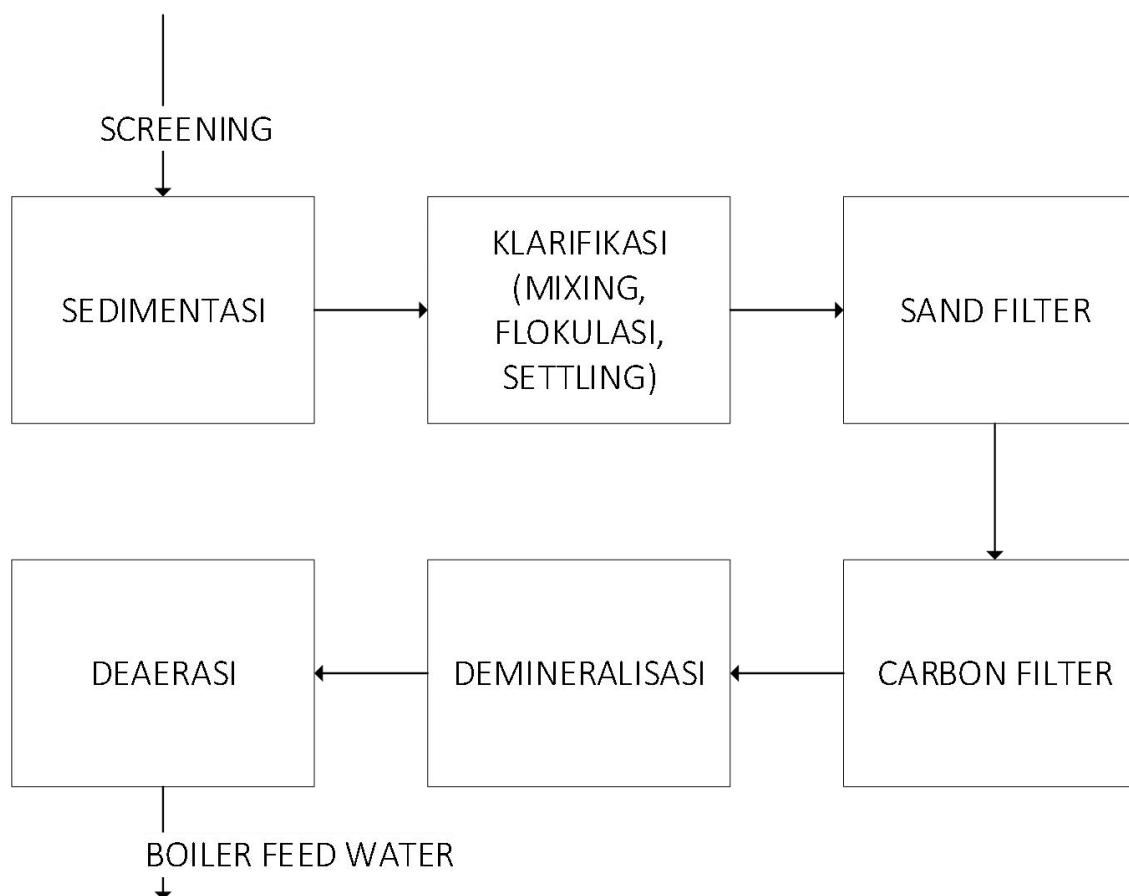
Klasifikasi	Konsentrasi (ppm)
Soft	0 - 60
Moderate	60 - 120
Hard	121 - 180
Very Hard	> 180

Water Treatment Plant

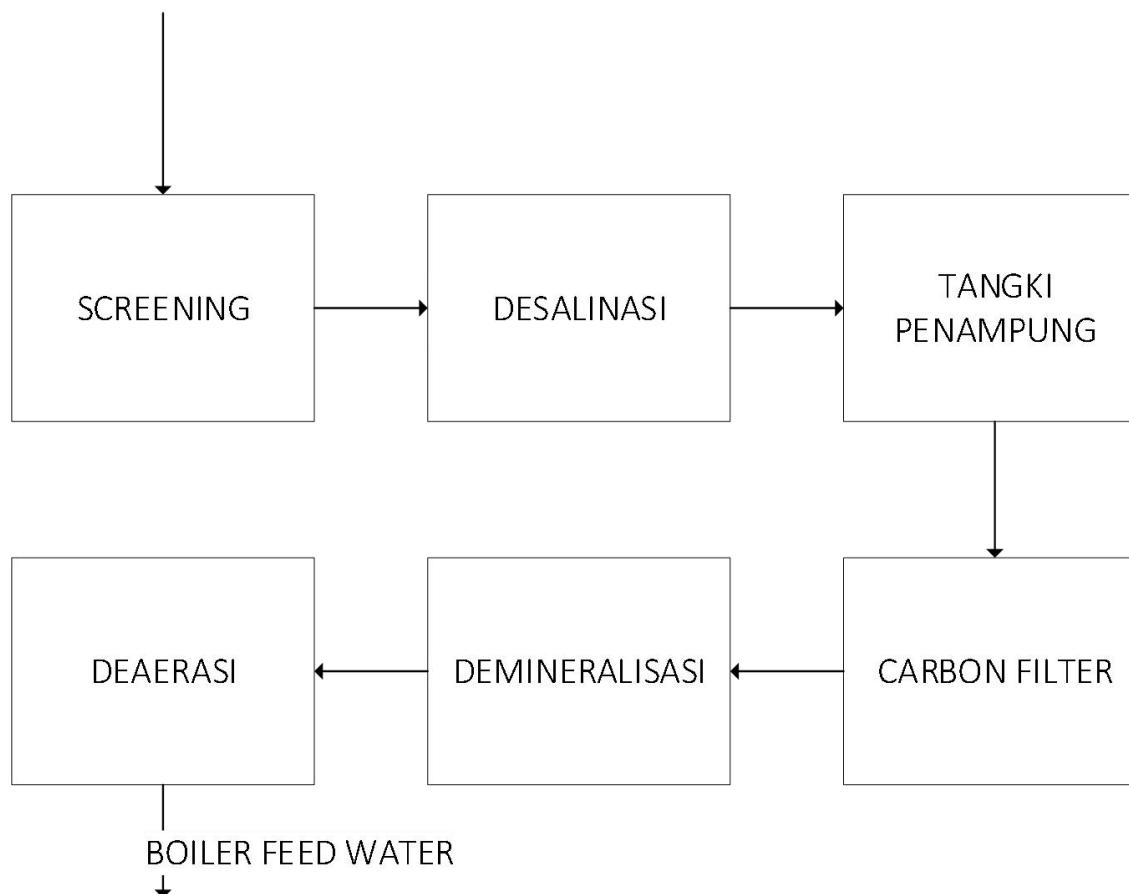
- Padaprinsipnya, pengolahan air bertujuan untuk menghilangkan atau mengurangi zat yang terkandung dalam air yang berada dalam bentuk terlarut (ion), bentuk tersuspensi ataupun bentuk koloid hingga dicapai kualitas air yang memenuhi dengan persyaratan sesuai dengan maksud penggunaannya.



TAHAPAN PENGOLAHAN AIR SUNGAI



TAHAPAN PENGOLAHAN AIR LAUT



Spesifikasi Air Sungai

Tabel 2. Kandungan senyawa kimia utama dalam air sungai

No	Ion	Value (%) berat air sungai
1	Cl ⁻	5.68
2	Na ⁺	5.79
3	SO ₄ ²⁻	12.14
4	Mg ²⁺	3.41
5	Ca ²⁺	20.29
6	K ⁺	2.12
7	Silica	11.67
8	Oksida	2.75
9	Nitrat	0.9
10	CO ₃ ²⁻	35.15
11	Fe ²⁺	< 0.03

Spesifikasi Air Laut

Tabel 1. Kandungan senyawa kimia utama dalam air laut (*salt water salinity = 35 %*)

No	Ion in salt water	Concentration (gr/kg salt water)	Value (%) weight of salt water
1	Cl ⁻	18.68	55.04
2	Na ⁺	10.56	30,61
3	SO ₄ ²⁻	2.65	7,68
4	Mg ²⁺	1.27	3,69
5	Ca ²⁺	0.4	1,16
6	K ⁺	0.38	1,10
7	HCO ₃ ⁻	0.16	0,41
8	Br ⁻	0.065	0,19
9	H ₃ BO ₃	0.026	0,07
10	Sr ²⁺	0.013	0,04
11	F ⁻	< 0.01	< 0.04
12	CO ₃ ²⁻		

Boiler Feed Water (ASME)

Boiler feed water			
Drum pressure (psi)	Iron (ppm Fe)	Copper (ppm Cu)	Total hardness (ppm CaCO ₃)
0-300	0.100	0.050	0.300
301-450	0.050	0.025	0.300
451-600	0.030	0.020	0.200
601-750	0.025	0.020	0.200
751-900	0.020	0.015	0.100
901-1000	0.020	0.015	0.050
1001-1500	0.010	0.010	0.0
1501-2000	0.010	0.010	0.0

SCREENING

- Raw water yang berasal dari air sungai atau air laut biasanya perlu dipisahkan dari kotoran-kotoran yang berukuran besar (seperti sampah) dengan cara dilewatkan screen atau penyaring.
- Penyaring ini diletakkan pada intake point (titik pengambilan) pasokan surface water, untuk menghindari masuknya kotoran-kotoran yang dapat mengakibatkan penyumbatan dan kerusakan pada alat.
- Untuk memperoleh hasil pemisahan yang lebih baik, seringkali dipasang 3 buah screen dengan ukuran lubang dibuat bertingkat mulai dari besar, sedang, dan kecil.

Sedimentation & Clarifier

Pengendapan Suspended Solids

- Jika sumber air yang akan diolah adalah air sungai, maka langkah berikutnya setelah screening adalah sedimentasi untuk mengendapkan suspended solid yang berukuran besar.
- Agar supaya kondisi umpan air yang masuk unit sedimentasi tidak berfluktuasi, maka biasanya sebelum unit sedimentasi dipasang **kolam ekualisasi** yang tujuannya adalah untuk meredam atau mengontrol apabila pasokan dari air sungai tidak stabil (baik kandungan kontaminan maupun debitnya), sehingga kinerja unit sedimentasi bisa optimum.

Klasifikasi Ukuran Sedimen

Sedimen	Tingkat	Ukuran (mm)
Sand (pasir)	kasar	1.5
	medium	0.375
	halus	0.094
Slit (lumpur)	Kasar	0.047
	medium	0.0117 (no longer visible to human eye)
Clay (lempung)		< 0.00195

Conventional Water Treatment vs Direct Filtration

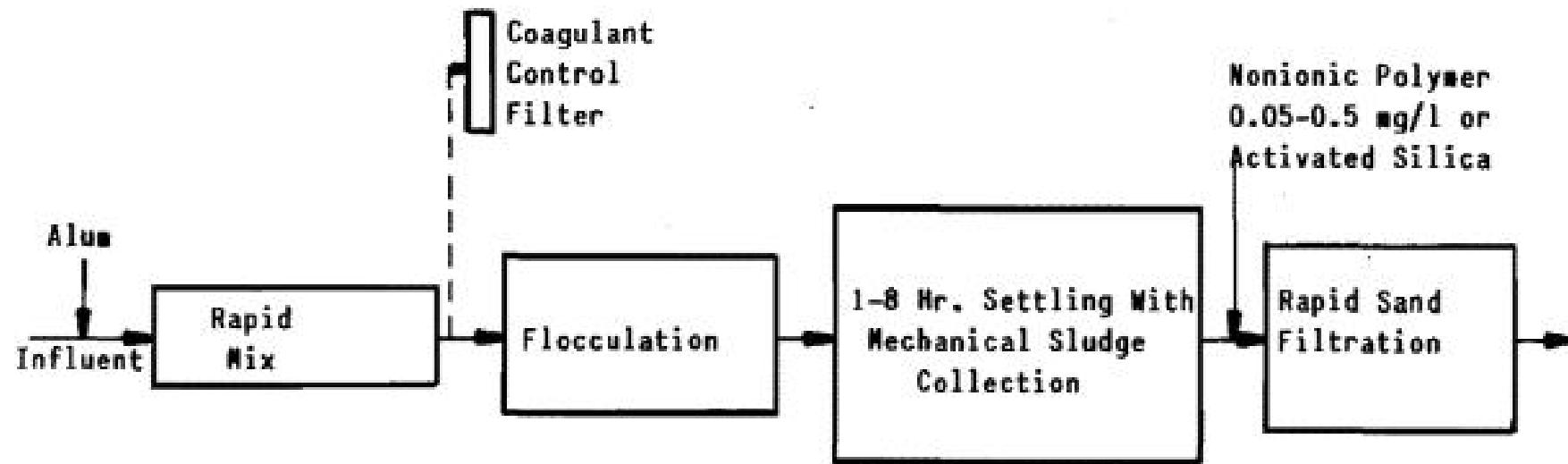


Figure 2. Flow sheet for typical recent design trends for conventional filter plant (Culp, 1977).

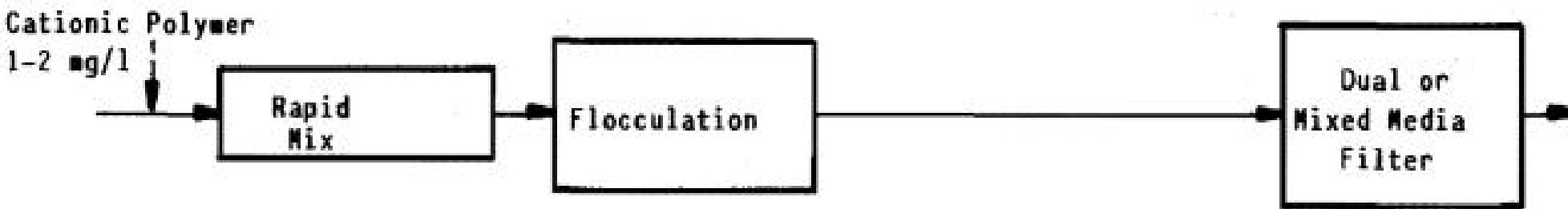


Figure 4. Flow sheet for typical direct filtration using a flocculation basin (Culp, 1977).

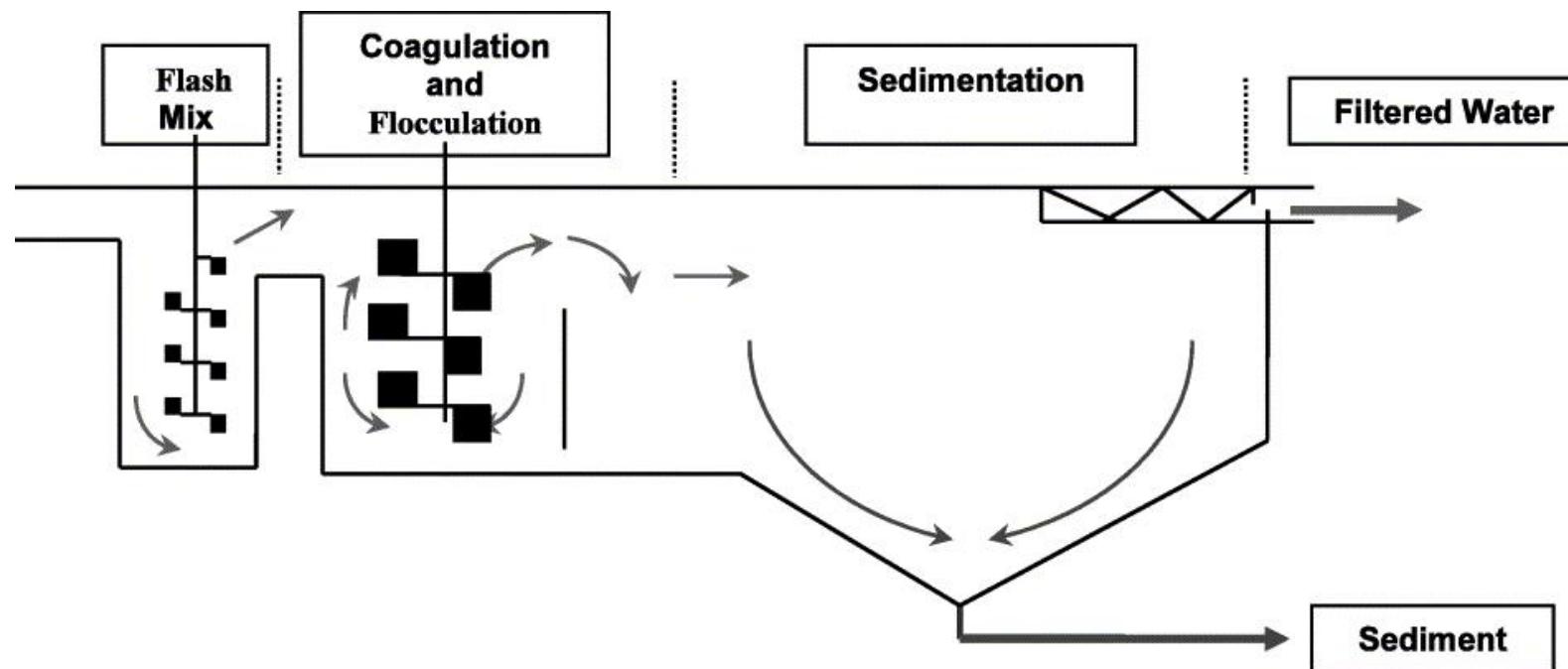
Direct filtration is generally used to treat raw water with low levels of suspended matter—average turbidities below 25 ntu.

Klarifikasi

- Kotoran-kotoran yang kecil akan membutuhkan waktu yang lama untuk mengendap.
- Maka untuk mempercepat proses pengendapan, kotan-kotoran yang kecil digumpalkan agar menjadi butiran-butiran yang besar dengan ditambah zat penggumpal (coagulant).
- Caranya adalah dengan memasukkan ke pre-mix tank dengan pengadukan (diaduk dengan cepat) dan ditambah dengan coagulant dan kaporit.
- Gumpalan kotoran yang terbentuk diendapkan dalam clarifier (penjernih).
- Air yang bersih (di bagian atas) diambil dan dialirkan ke penampung. Air yang kotor yang ada di bagian bawah di-blown down.

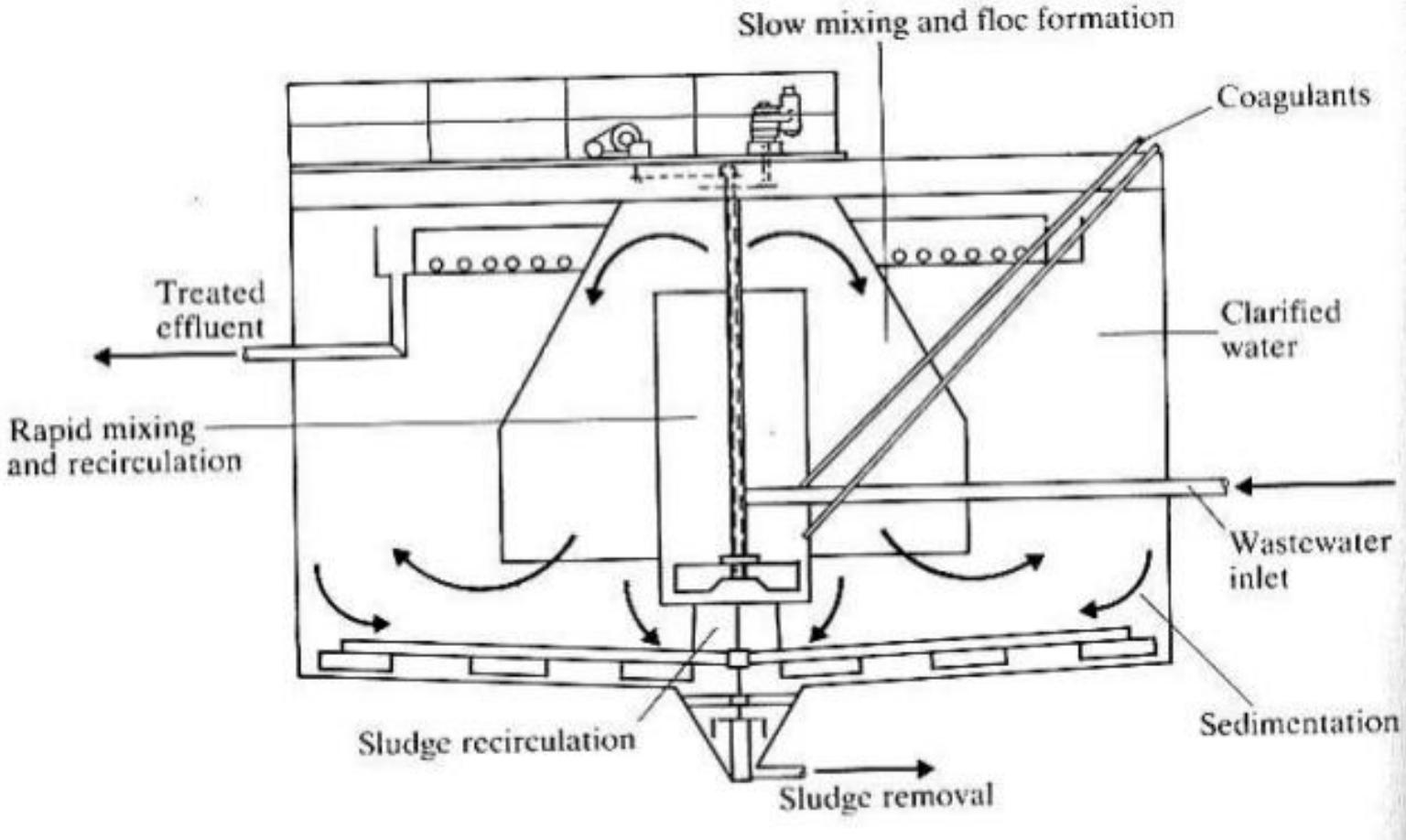
Alat Klarifikasi

- Proses klarifikasi ini pada dasarnya adalah proses mixing, flocculation, dan settling yang tujuannya adalah untuk mengurangi kekeruhan (turbiditas) dan material tersuspensi.
- Langkah pada proses klarifikasi adalah penambahan bahan coagulant atau bahan kimia penyesuai pH yang bereaksi membentuk gumpalan. Kemudian gumpalan-gumpalan yang terbentuk diendapkan dalam tangki.



Clarifier

Mixing,
flocculation, dan
settling juga dapat
dilakukan dalam
satu unit alat.



Coagulation & Flocculation

- Karena ukurannya yang sangat kecil, partikel dengan ukuran koloid tidak bias diendapkan langsung secara fisis. Untuk menjernihkan air dari partikel koloid, digunakan cara koagulasi, dengan menambahkan bahan kimia sehingga partikel-partikel kecil ini akan diperbesar dengan cara digumpalkan terlebih dahulu.
- Almost all particles in raw water have net negative surface charge. Since particles have like charges they repel each other (will not stick together). To get the particles to stick together we have to neutralize the negative charges. A coagulant is added to do this.

Coagulation & Flocculation

- Pada sistem koloid, fase terdispers bias berbentuk gas, cair, atau padat, sedangkan fase pendispers bias dalam bentuk fase gas atau cair.
- Sistem koloid padat-cair disebut sol, misal air sungai
- Sistem koloid cair-cair disebut emulsi, misal susu dan santan
- Sistem koloid gas-cair disebut buih, misal busa sabun
- Sistem koloid padat-gas disebut aerosol, misal asap dan debu
- Sistem koloid bisa juga dikategorikan berdasarkan muatannya : positif dan negative
- Bisa juga terhadap sifat kesukaannya terhadap air : hydrophyil dan hydrophob

Proses Koagulasi

- Koloid yang hydrophobic (misal lempung) tidak mempunyai affinitas atau ketertarikan terhadap medium cair dimana dia berada, dan stabilitasnya kurang jika di dalam medium tersebut ada elektrolit. Koloid yang seperti ini mudah dilakukan koagulasi.
- Koloid yang hyrophylic (misal protein) mempunyai affinitas yang tinggi terhadap air. Oleh karena itu, air yang ter-absorp oleh koloid ini akan menghambat terjadinya penggumpalan sehingga perlu treatment khusus untuk terjadinya koagulasi yang efektif.

Coagulant

- Pada waktu partikel lempung yang bermuatan negative mengadsorp ion Al yang bermuatan positif, maka partikel tersebut akan menjadi netral (pada kondisi ini, sol dikatakan sebagai dalam kondisi isoelektrik).
- Akibatnya partikel lempung yang sudah netral, tidak akan tolak menolak tetapi cenderung akan bergabung satu dengan yang lain (gaya van der waals) membentuk massa yang lebih besar (floc) dan akhirnya mengendap.
- Bergabungnya dua partikel koloid disebut koagulasi dan proses terbentuknya floc-floc atau kumpulan massa yang lebih besar atau gumpalan disebut flokulasi.

Aluminium ions : Al^{3+}

Alum $Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$

Ferric ions : Fe^{3+}

Ferric Sulfate $Fe_2(SO_4)_3$

Ferric Chloride $FeCl_3$

Calcium ions Ca^{2+}

Lime $Ca(OH)_2$

Coagulant Aids

- Selama proses pengendapan, kumpulan massa atau floc-floc yang terbentuk pada proses koagulasi mudah terpecah kembali karena adanya gesekan hidrolisis atau olakan. Untuk mengatasi hal ini, seringkali perlu ditambahkan coagulant aid.
- Bahan yang biasa dipakai sebagai coagulant aid misalnya activated silica dan lempung bentonite. Dengan ditambahkan coagulant aid akan terbentuk floc yang lebih kuat dan padat sehingga lebih cepat mengendap

- Contoh :

Air baku yang berasal dari sungai dengan flowrate 51840 m³/hari mengandung suspended solid sebesar 0.5 g/L. Ke dalam air sungai ditambahkan alum sejumlah 0.1 g/L untuk mengendapkan padatan. Jika diinginkan semua (100%) padatan dapat terendapkan, berapakah total endapan yang dihasilkan (g/detik) ?

BM alum = 594 g/mol ; BM Al(OH)₃ = 78 g/mol

$$\text{suspended solid} = \left(0.5 \frac{g}{L} \right) \left(51840 \frac{m^3}{\text{hari}} \right) \left(\frac{1000 L}{m^3} \right) \left(\frac{\text{hari}}{(24)(3600) s} \right) = 300 g / s$$



$$\text{jumlah alum} = \left(0.1 \frac{g}{L} \right) \left(51840 \frac{m^3}{\text{hari}} \right) \left(\frac{1000 L}{m^3} \right) \left(\frac{\text{hari}}{(24)(3600) s} \right) = 60 g / s$$

$$mol_{alum} = \frac{\text{jumlah alum}}{BM_{alum}}$$

$$mol_{Al(OH)_3} = 2 mol_{alum} = 2 \frac{\text{jumlah alum}}{BM_{alum}}$$

$$massa_{Al(OH)_3} = mol_{Al(OH)_3} BM_{Al(OH)_3} = 2 \frac{\text{jumlah alum}}{BM_{alum}} BM_{Al(OH)_3} = 2 \frac{BM_{Al(OH)_3}}{BM_{alum}} \text{jumlah alum}$$

$$massa_{Al(OH)_3} = 2 \frac{78}{594} (60 g / s) = 15.76 g / s$$

$$\text{total endapan} = \text{suspended solid} + massa_{Al(OH)_3} = (300 + 15.76) g / s = 315.76 g / s$$

Turbiditas (kekeruhan)

- Turbiditas suatu air menunjukkan tingkat kandungan material tersuspensi di dalam air. Satuan dari turbiditas adalah TU (Turbidity Unit) yaitu kekeruhan yang ekivalen dengan kekeruhan yang disebabkan oleh 1 mg/L silica (SiO₂). Dalam hal ini silica dipakai sebagai standart.
- Air dalam gelas dengan turbiditas >5 TU dapat terlihat dengan cukup jelas. Turbiditas sebesar 5 TU ini tidak mengganggu kesehatan tetapi dari segi estetika tidak diinginkan.

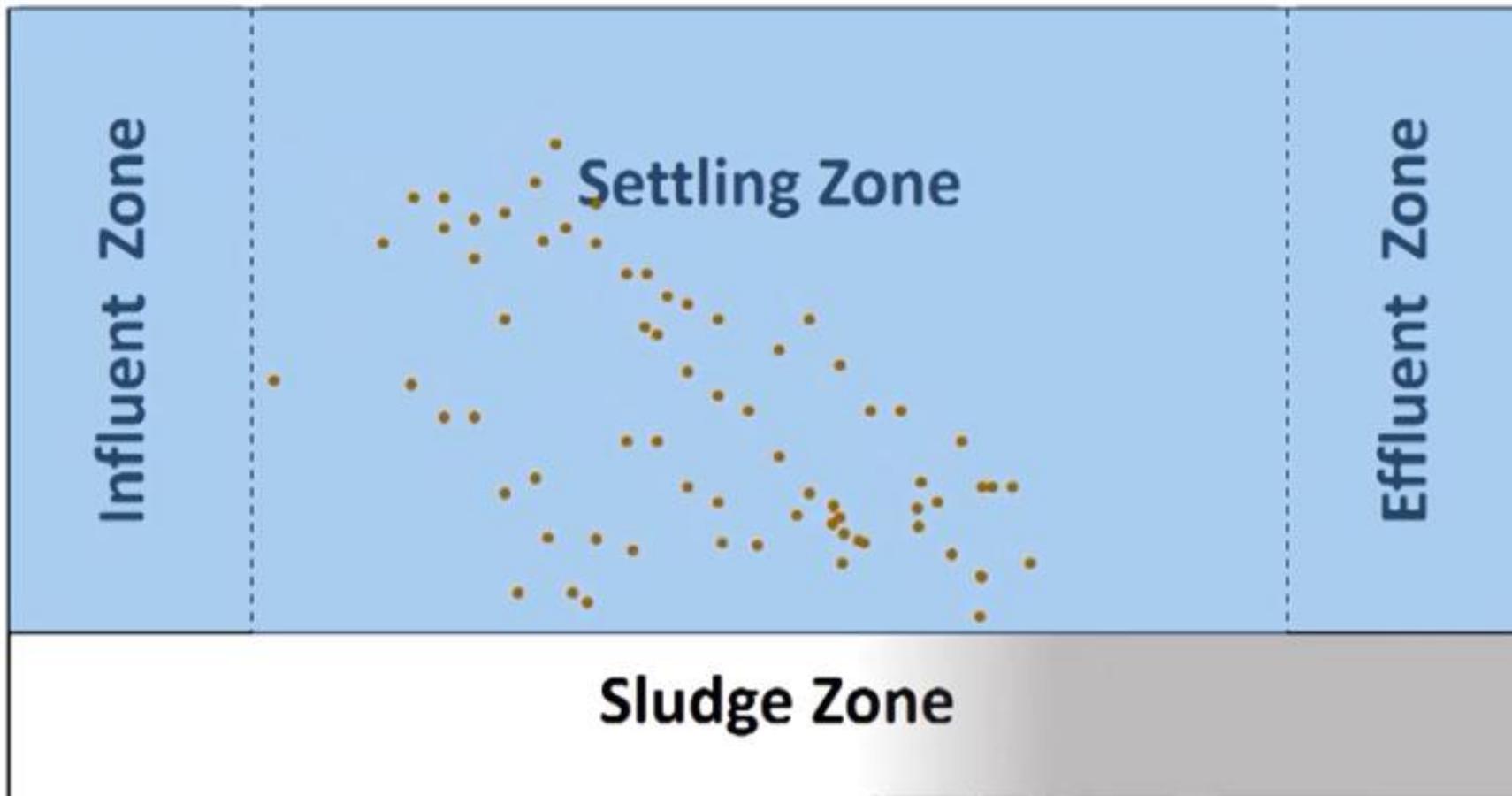
Pengukuran Turbiditas

- Pengukuran turbiditas dapat dilakukan dengan menggunakan photometer yaitu dengan cara melewatkkan gelombang cahaya yang dihasilkan dari lampu standar melalui tabung yang berisi sampel. Cahaya yang memancar dari sampel kemudian diarahkan ke photometer yang akan mengukur banyaknya cahaya yang terserap.
- Dari sini, apa yang terbaca dikalibrasi sebagai turbiditas dan sebagai standart dipakai bahan kimia yang disebut formazin. Sebagai larutan standart, formazin ini memberikan hasil yang lebih bagus dibandingkan dengan silica dan satuan turbiditas dengan cara ini dinyatakan sebagai FTU (Formazin Turbidity Units).

NTU (Nephelometric Turbidity Units)

- Pengukuran pancaran cahaya melalui sampel dengan spectrophotometer cukup presisi, namun tidak mengukur turbiditas sebenarnya.
- Karena pada turbiditas rendah (konsentrasi partikel kecil), cara ini tidak sensitive. Sementara pada turbiditas tinggi, terjadi pemendaran berganda dan akan mengganggu pengukuran cahaya yang terpancar melalui sampel.
- Untuk itu dilakukan pengukuran cahaya yang terpendar dengan nephelometer yang mendekksi cahaya yang terpendar dengan sudut 90° dari datangnya cahaya. Metode ini cukup presisi dan sensitive.
- Turbiditas yang diperoleh dari pengukuran ini disebut Nephelometric Turbidity Units (NTU).

Settling

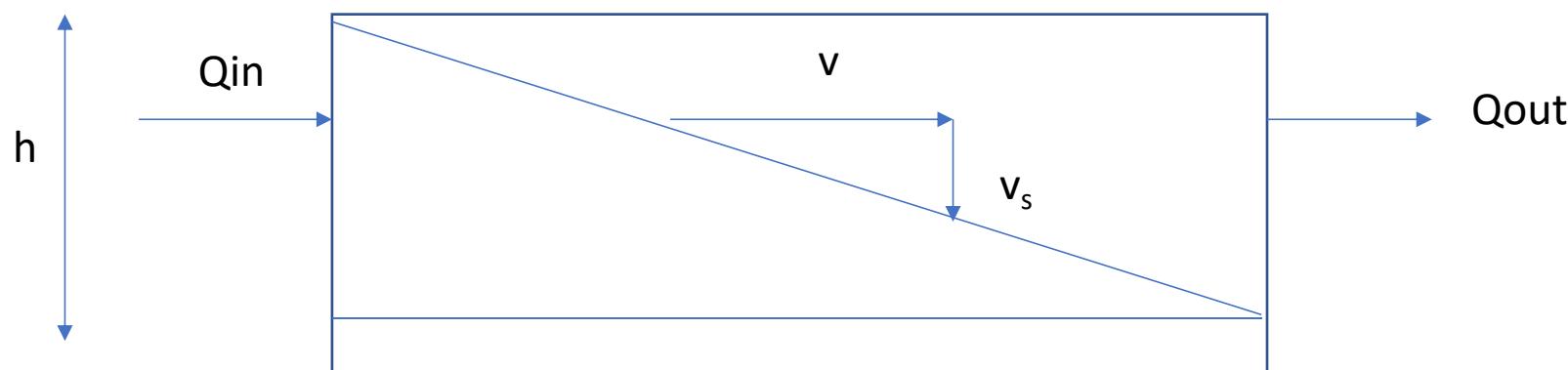


Settling

- Surface overflow rate = $Q/(LW)$
- Weir overflow rate = $Q/(WH)$
- Surface overflow rate = 20-35 m³/day/m²
- Weir overflow rate = 150-300 m³/day/m²
- Detention time = 2-8 hour

Settling Model

- Dalam tangki sedimentasi yang ideal, partikel yang masuk ke dalam tangki dianggap terdistribusi secara merata sepanjang penampang pemasukan air dan begitu partikel menyentuh dasar tangki langsung dikeluarkan.



- v_s = settling velocity of the particle
- v = horizontal velocity of the liquid flow
- h = kedalaman efektif tangki (setelah dikurangi tebal lapisan sludge)

Critical Settling Velocity dan Overflow Rate

- Settling velocity dari partikel yang mengendap sepanjang jarak yang sama dengan kedalaman efektif tangka selama periode penahanan teoritis (waktu tinggal teoritis) dapat dianggap sebagai laju overflow.
- $v_s = h/t = Q/A$
- Critical settling velocity adalah settling velocity partikel yang (nyaris) 100% terambil dalam bak pengendap.
- v_s yang dinyatakan dalam satuan kecepatan adalah critical settling velocity.
- v_s yang dinyatakan dalam satuan debit per satuan luas, misal gal/detik/ft² adalah overflow rate.
- Semua partikel yang mempunyai settling velocity $v > v_s$ akan terambil (terendapkan) semua
- Sedangkan partikel dengan settling velocity $v < v_s$ akan terambil dalam ratio v / v_s

Contoh :

A small water treatment plant with
 $Q = 0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ inflow of the plant

$v_s = 0,004 \text{ m/s}$

settling zone : $L = 20\text{m}$ $H=3\text{m}$ $W=6\text{m}$

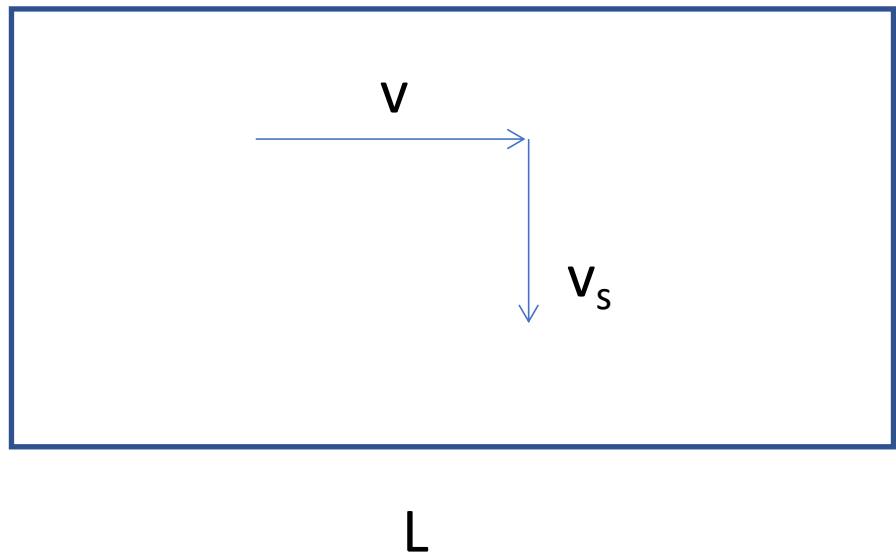
can 100% removal be expected ?

surface overflow rate = critical settling velocity

$$v_s = \frac{Q}{LW} = \frac{0,6 \frac{m^3}{s}}{(20m)(6m)} = 0,005 \frac{m}{s}$$

$v_s < 0,005 \frac{m}{s}$, removal not expected

$$\text{percent removed} = \frac{0,004 \frac{m}{s}}{0,005 \frac{m}{s}} \times 100\% = 80\%$$



v = horizontal velocity = weir overflow rate

$$H = \frac{Q}{WH} = \frac{0,6 \frac{m^3}{s}}{(6m)(3m)} = 0,033 \frac{m}{s}$$

$$\frac{v}{v_s} = \frac{L}{H}$$

$$L = \frac{v}{v_s} H = \frac{0,033 \frac{m}{s}}{0,004 \frac{m}{s}} (3m) = 24,75m$$

need $\approx 24,75m$ to be totally removed

$$L = 20m$$

SETTLING (SEDIMENTASI)

- Tujuan dari sedimentasi adalah untuk memisahkan suspended solids dari air dengan cara pengendapan.
- Berdasarkan sifat padatan yang ada di dalam air, proses pengendapan dapat diklasifikasikan menjadi :

1. **Discrete settling**

Pada pengendapan ini, partikel selalu dalam posisi individu (antara partikel satu dengan yang lain tidak bergabung) dan selama proses pengendapan, bentuk, ukuran, dan densitasnya tidak berubah.

2. **Flocculent settling**

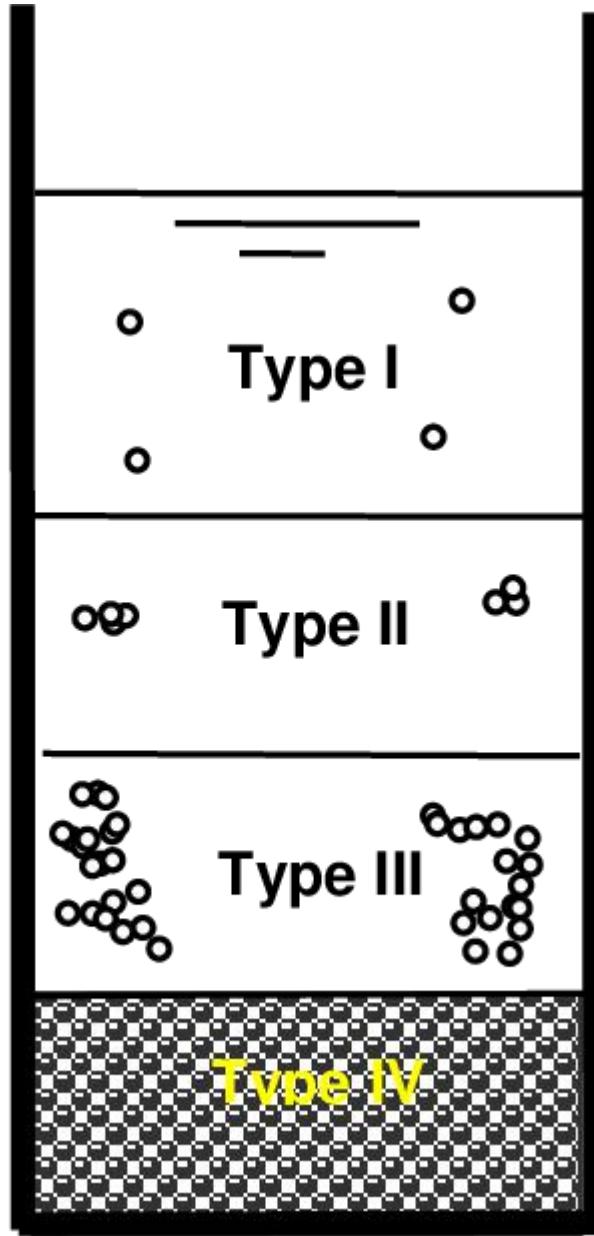
Pada pengendapan ini, partikel menempel atau bergabung satu dengan yang lain sehingga selama periode pengendapan terjadi perubahan ukuran dan kecepatan pengendapan

3. **Zone settling**

partikel yang tersuspensi membentuk kelompok-kelompok massa dan selama proses pengendapan terbentuk zon-zona konsentrasi pada level pengendapan.

4. **Compression settling**

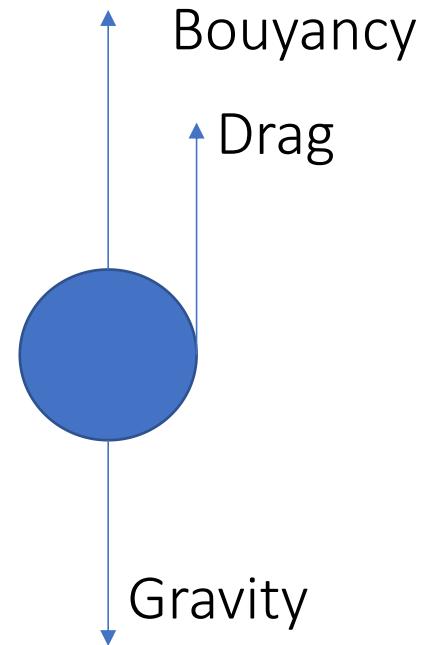
pada pengendapan ini, konsentrasi padatan yang sangat tinggi akan memberikan tekanan yang besar.



REV

Discrete Settling

- Particles fall independently
- Jika sebuah padatan berbentuk bola dicelupkan ke dalam air maka gaya-gaya yang bekerja adalah
 1. Gaya berat (gravity force) = F_g
 2. Gaya apung (buoyant force) = F_b
 3. Gaya seret (drag force) = F_d
- Suatu partikel akan mengendap jika gaya beratnya melebihi gaya apung dan gaya seretnya
- $F_g - F_b - F_d = m.a$



Terminal Settling Velocity

- Gaya berat (gravity force) $F_g = m_p g = \rho_p V_p g$
- Gaya apung (buoyant force) $F_b = \rho_w V_p g$
- Gaya seret (drag force) $F_d = C_D A_p \rho_w \frac{v^2}{2}$
 C_D = drag coefficient
 $\rho_w \frac{v^2}{2}$ = tekanan dinamis
 A_p = luas proyeksi partikel

- Bila gaya netto = 0, berarti benda bergerak tanpa percepatan atau dengan kata lain kecepatan geraknya tetap (terminal velocity), sehingga

$$F_g - F_b - F_d = 0$$

$$\rho_p V_p g - \rho_w V_p g - C_D A_p \rho_w \frac{v^2}{2} = 0$$

$$(\rho_p - \rho_w) V_p g - C_D \frac{\pi d^2}{4} \rho_w \frac{v^2}{2} = 0$$

$$(\rho_p - \rho_w) \frac{\pi d^3}{6} g - C_D \frac{\pi d^2}{4} \rho_w \frac{v^2}{2} = 0$$

$$v = \sqrt{\frac{4(\rho_p - \rho_w)gd}{3C_D\rho_w}}$$

Terminal Settling Velocity

$$v = \sqrt{\frac{4(\rho_p - \rho_w)gd}{3C_D\rho_w}}$$

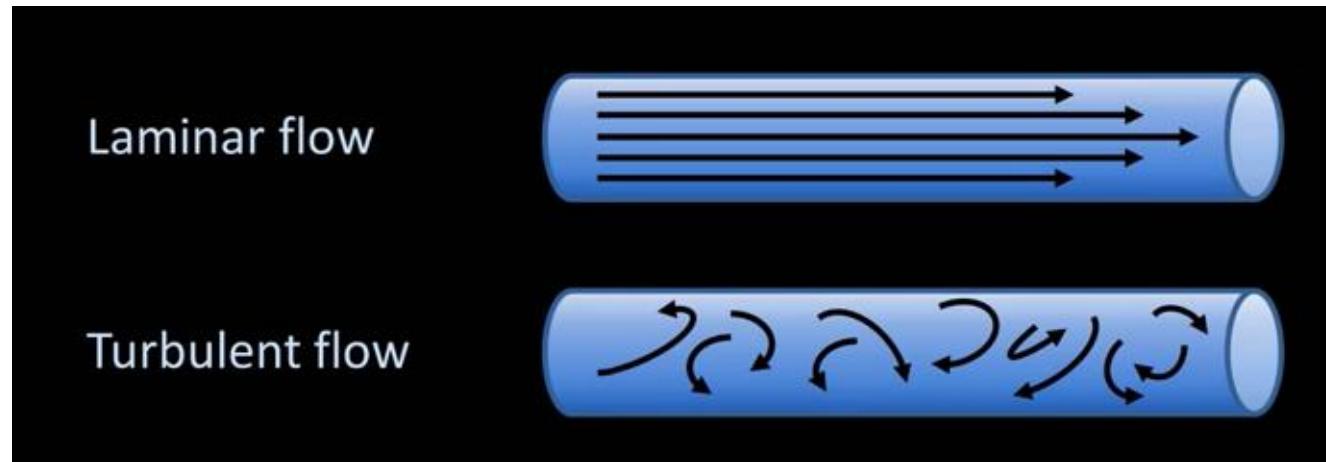
$$C_D =$$

$\frac{24}{Re} \Rightarrow$ aliran laminer (Stokes flow)

$\frac{24}{Re} + \frac{3}{Re^{0.5}} + 0.34 \Rightarrow$ aliran transisi

$0.4 \Rightarrow$ aliran turbulen

- Laminar versus turbulent flow through a kitchen faucet.mp4



- Laminer : $Re < 1$
- Transisi : $1 < Re < 10000$
- Turbulent : $Re > 10000$

$$Re = \frac{\rho_w v d}{\mu}$$

Aliran Laminer (Stokes Flow)

$$v = \sqrt{\frac{4(\rho_p - \rho_w)gd}{3\left(\frac{24}{Re}\right)\rho_w}}$$

$$v = \sqrt{\frac{(\rho_p - \rho_w)gd^2\nu}{18\mu}}$$

$$v = \frac{(\rho_p - \rho_w)gd^2}{18\mu}$$

Aliran Turbulent

$$v = \sqrt{\frac{4(\rho_p - \rho_w)gd}{3(0.4)\rho_w}}$$

$$v = \sqrt{\frac{10(\rho_p - \rho_w)gd}{3\rho_w}}$$

Aliran Transisi

$$v = \sqrt{\frac{4(\rho_p - \rho_w)gd}{3C_D\rho_w}}$$

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{Re^{0.5}} + 0.34$$

1. Hitung kecepatan dengan menggunakan stokes law atau aliran turbulent
2. Hitung dan check bilangan Reynolds
3. Hitung C_D
4. Gunakan rumus umum $v = \sqrt{\frac{4(\rho_p - \rho_w)gd}{3C_D\rho_w}}$
5. Ulangi dari langkah 2 hingga convergence

- Contoh :

Hitung terminal settling velocity partikel bola di dalam air jika diameternya 6 mm

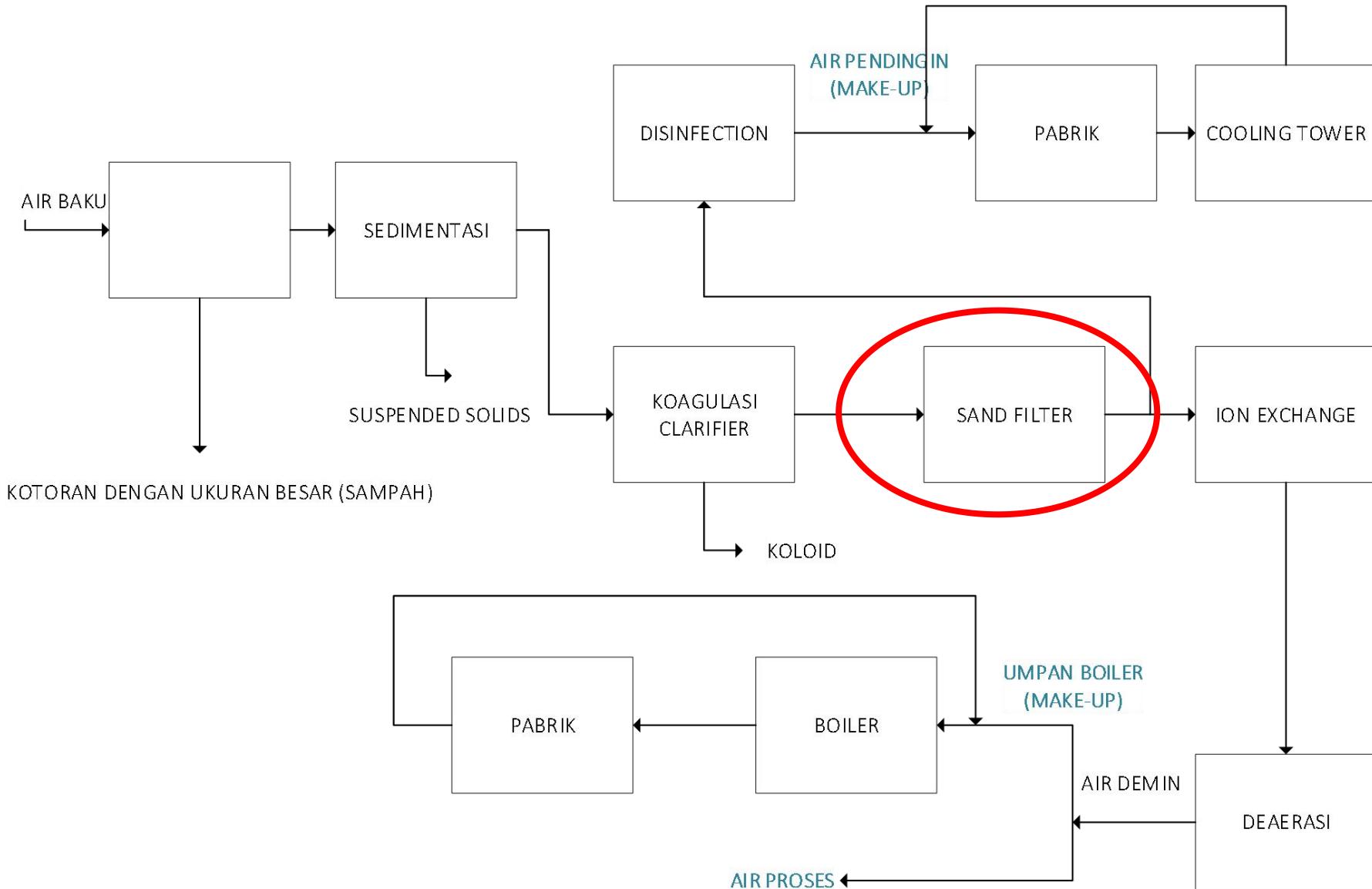
$$\mu = 1 \text{ cp} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ p} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ g/cm/s}$$

$$\rho = 1 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_p = 2.65 \text{ g/cm}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

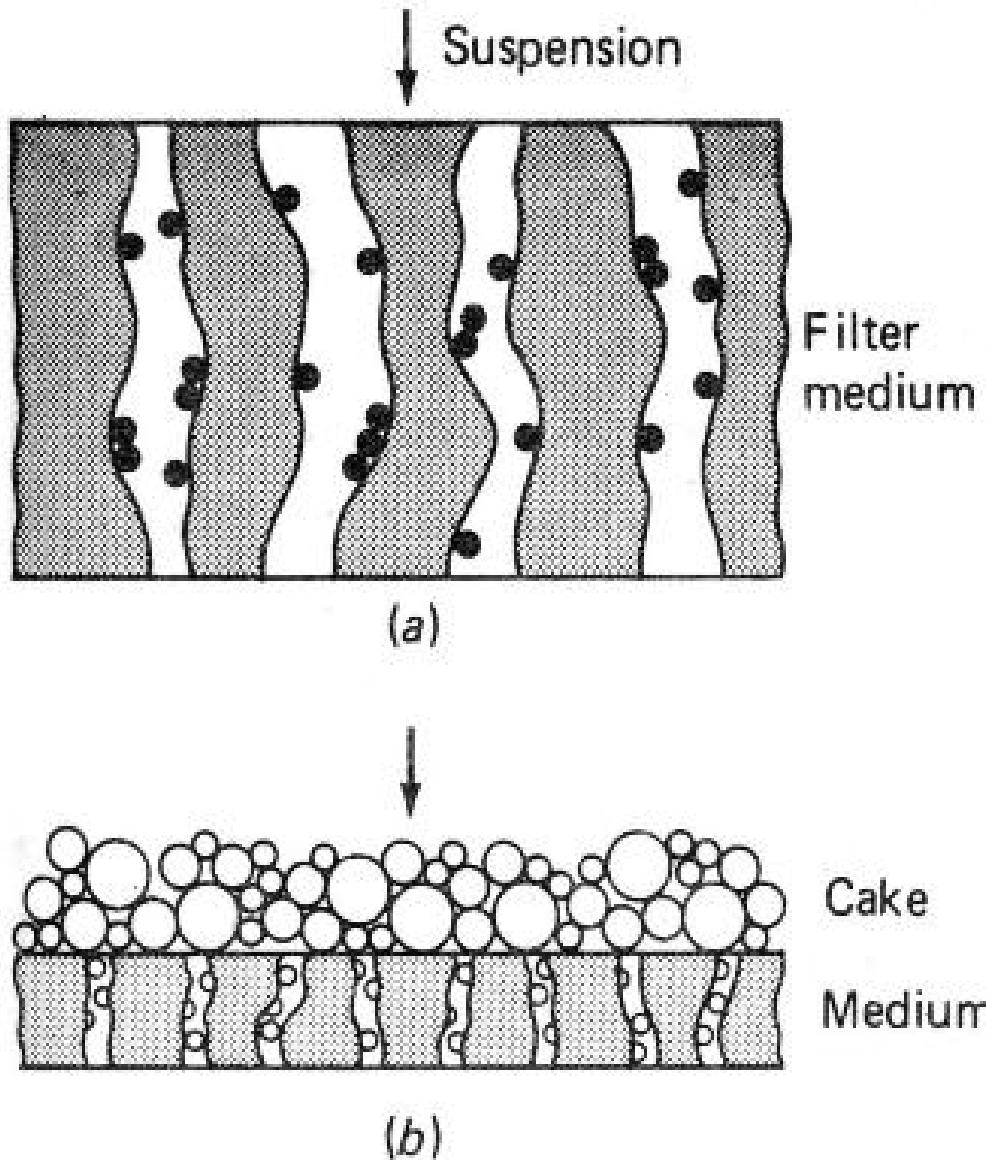
Filtration



FILTRASI

PRINSIP DAN ALAT-ALATNYA

- Pemisahan bahan secara mekanis (biasanya pemisahan antara fluida (cairan/gas) dengan padatan) dengan menggunakan media filter dan beda tekanan
- Produk filtrasi: Dapat berupa **filtrat (cairan bebas padatan)** atau **cake (kue padatan)**; tergantung fasa apa yang berharga/yang akan dipungut.
- Secara umum, 2 mekanisme utama pada filtrasi dapat digambarkan sebagai berikut:
 - Mekanisme (a) disebut sebagai klarifikasi, dimana partikel-partikel padatan dalam slurry akan tertahan oleh media filter (dapat berupa kain penyaring, tumpukan serat/sabut, tumpukan partikel penyaring misalnya pasir dan batu)
 - Mekanisme (b) disebut sebagai mekanisme pembentukan kue filter. Peristiwa ini terjadi pada saat pori-pori pada media filter sudah penuh oleh partikel padatan. Partikel-partikel dalam slurry akan tertumpuk diluar media membentuk kue padatan, yang sekaligus berfungsi sebagai media penyaring baru.

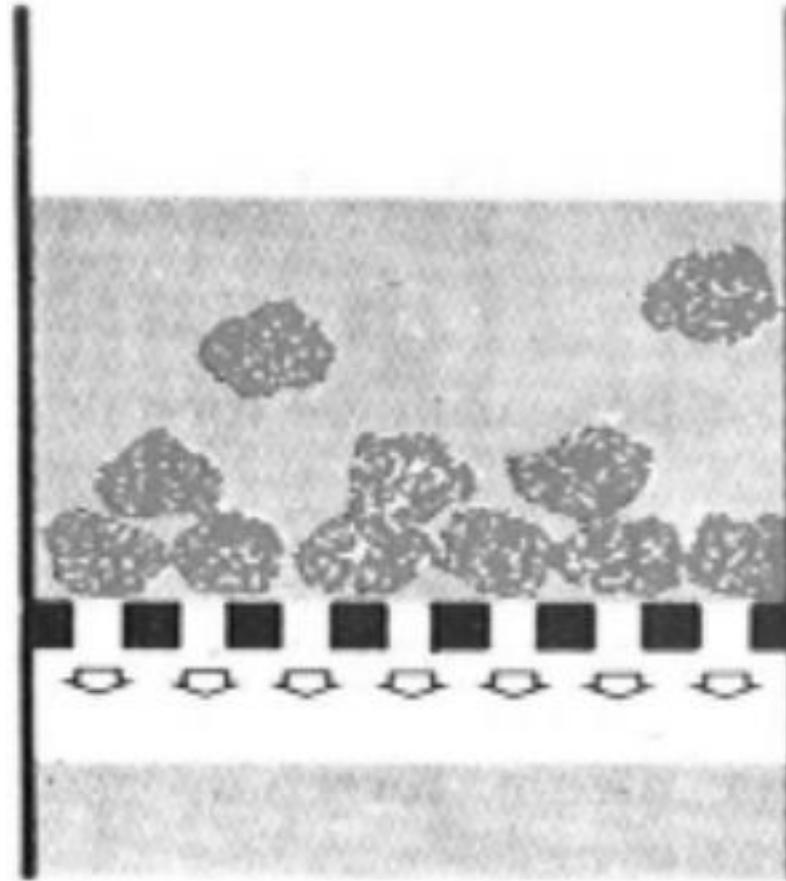


Mechanisms of filtration: (a) clarifier;
 (b) cake filter.

- Pada beberapa filter (misalnya pada filter pelat), mekanisme (a) terjadi sangat cepat, sehingga peristiwa filtrasi didominasi oleh mekanisme (b).
- Pada filter yang lain (misalnya pada saringan pasir), mekanisme (a) mendominasi, sedangkan mekanisme (b) tidak sempat terjadi.

- Berdasarkan mekanisme pemisahannya, peristiwa filtrasi dapat digategorikan kedalam 3 jenis, yaitu:

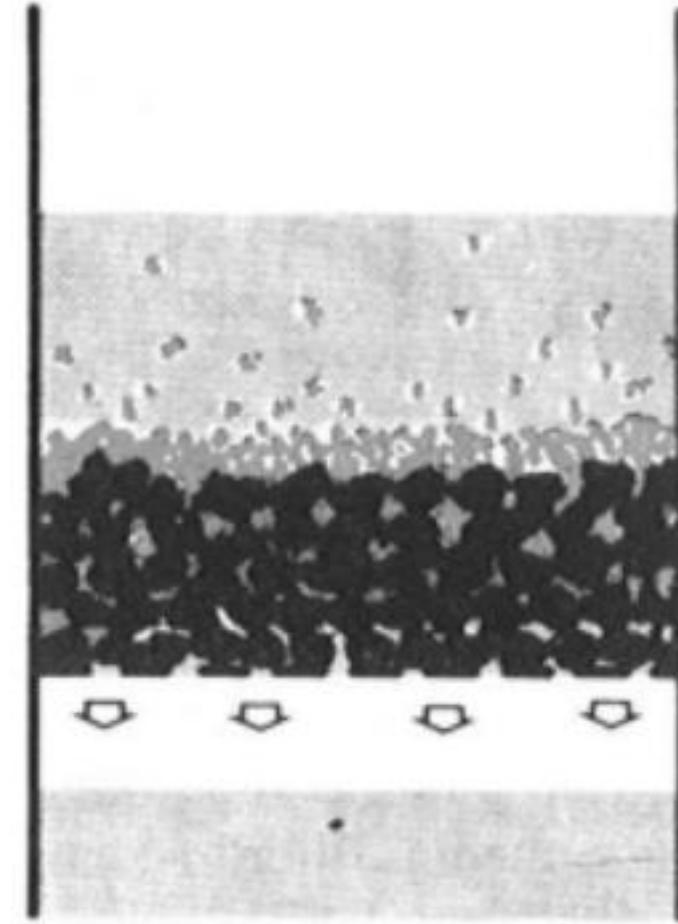
- **Filtrasi Ayak (Sieve Filtration):** Media filter menahan semua partikel padatan yang ukurannya lebih besar daripada lubang-lubang media. Mekanisme (b) mendominasi. Contoh: Filter cartridge



- **Deep Bed Filtration:**

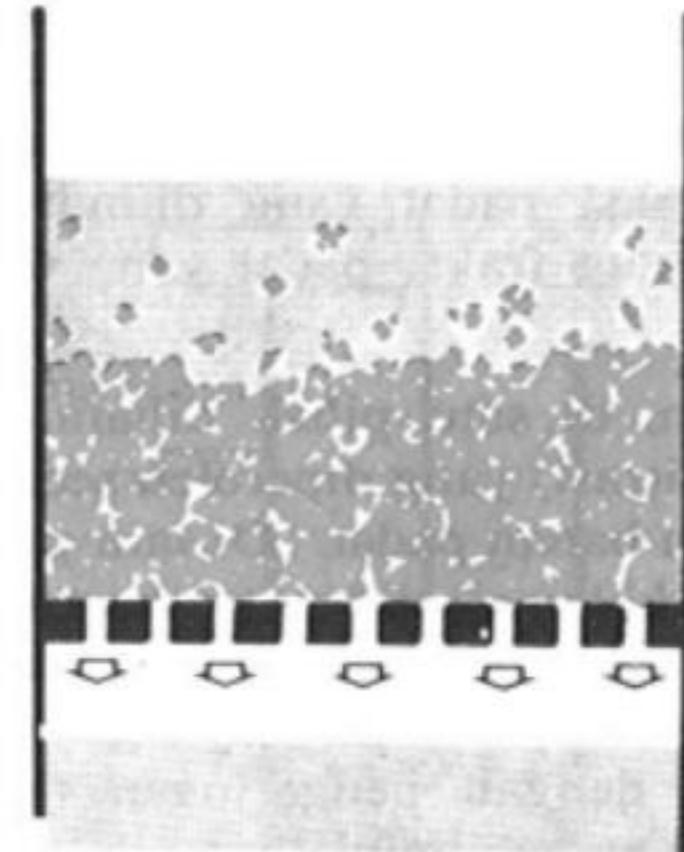
Partikel-partikel padat masuk ke pori-pori media filter dan tertumpuk didalamnya. Mekanisme (a) mendominasi. Selama proses, pori-pori media filter akan mengecil dan setelah beberapa waktu akan lubang pori akan tersumbat. Pada kondisi ini, media filter harus dibersihkan dengan cara pencucian balik (back-wash). Dengan cara ini, partikel-partikel yang sangat halus dapat dipisahkan dari cairannya, hanya dengan menggunakan filter yang relatif kasar.

Contoh: Saringan pasir (sand filter)



- **Filtrasi Kue** (cake filtration):

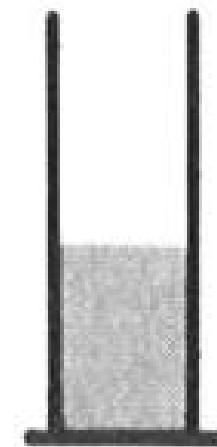
Pemisahan awal dilakukan oleh kain penyaring (woven cloth) yang ada pada filter (mekanisme (a)). Proses ini berlangsung singkat. Pemisahan selanjutnya terjadi oleh kue berpori (porous cake) yang terbentuk selama proses filtrasi berlangsung (mekanisme(b)). Oleh karena itu, cairan yang dihasilkan saat awal filtrasi biasanya keruh. Contoh: Filter hisap (suction filter/vacuum filter), filter press (press filter).



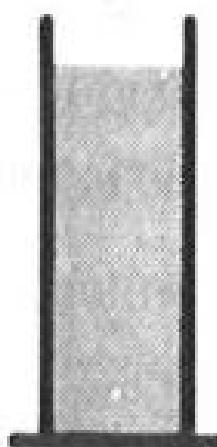
Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kapasitas Filtrasi

- Luas permukaan filter
- Beda tekanan (antara kedua sisi filter)
- Tahanan filter: tahanan media filter dan tahanan kue filter
- Viskositas cairan

Luas permukaan filter:



Jumlah filtrat
berlipat dua



Luas permukaan filter

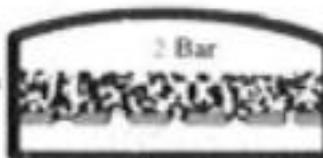
Beda tekanan:



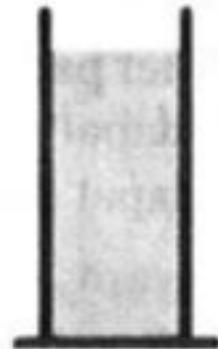
Luas permukaan
yang sama



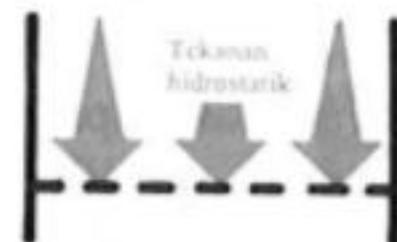
Beda tekanan



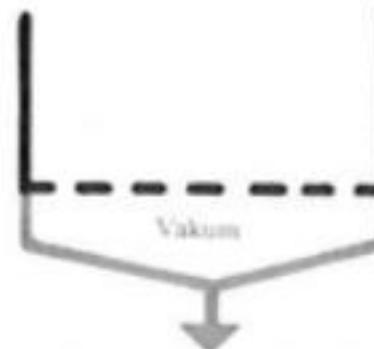
Luas permukaan
yang sama



Jumlah filtrat
berlipat dua

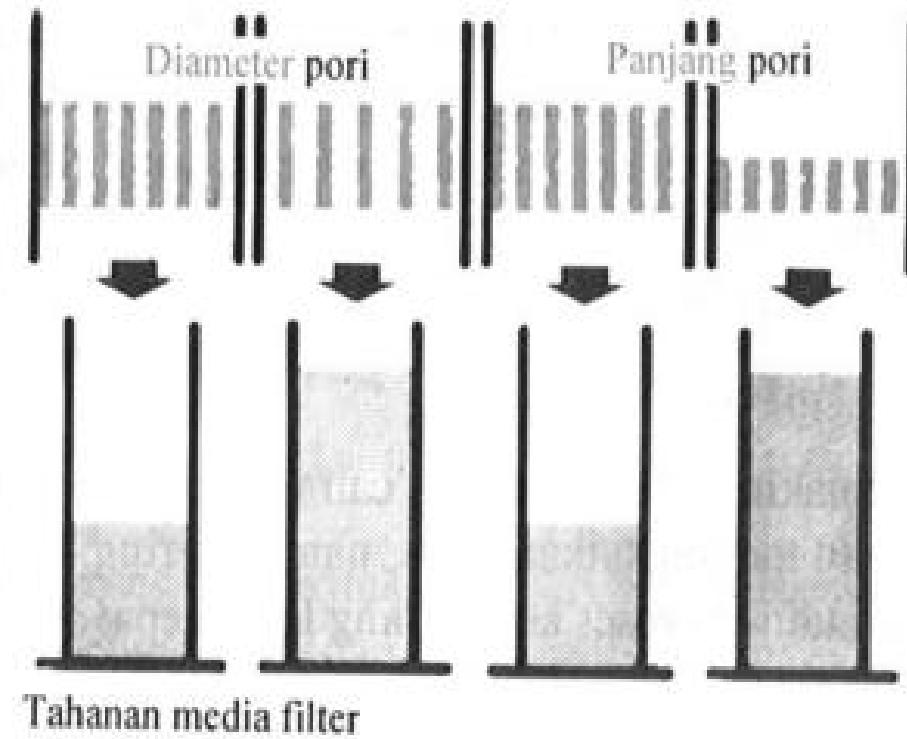


Tekanan
hidrostatis

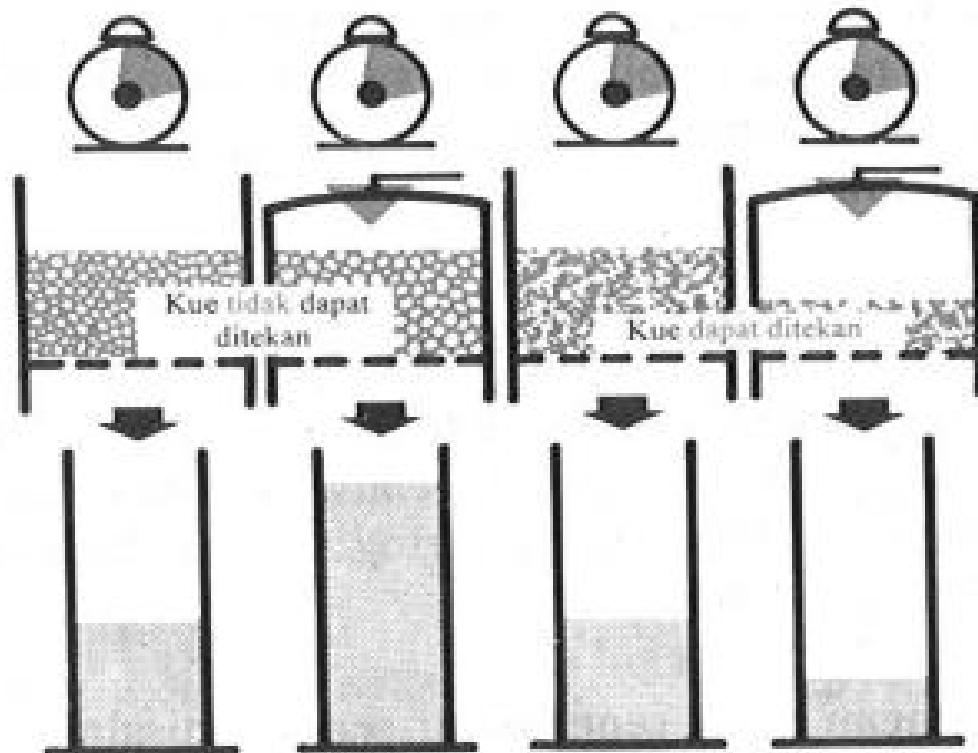


Vakum

Tahanan filter:
Tahanan media filter



Tahanan kue filter



Viskositas cairan

Viskositas cairan **kecil** \Rightarrow daya filtrasi (jumlah cairan yang lolos melalui media filter) semakin **besar**. Viskositas dapat diperkecil dengan cara menaikkan suhu.

Akibat sampingan dengan adanya peningkatan suhu:

- Swelling pada media filter
- Korosi lebih cepat terjadi
- Kelarutan kristal (yang akan difilter) meningkat

Daya filtrasi sebesar-besarnya dapat diperoleh jika:

- Luas permukaan filter besar
- Ketebalan kue kecil
- Beda tekanan besar

ALAT FILTRASI (berdasarkan siklus operasinya)

- Filtrasi Batch
 - Sand Filter
 - Plate and Frame Filter Press
 - Leaf Filter
- Filtrasi kontinyu
 - Rotary Drum Vacuum Filter
 - Rotary Disk Filter
 - Vacuum Table Filter
 - Belt Filter

Sand Filter

- Saringan pasir umum digunakan untuk pemisahan air dari padatan tersuspensinya.
- Prinsip kerja: Air disemburkan di atas tumpukan pasir, partikel-partikel padatan yang terdapat dalam slurry tertahan oleh media penyaring. Air akan menembus pori-pori pasir.
- Filter beroperasi selama beberapa waktu, sampai lubang pori-pori filter penuh karena tersumbat oleh kotoran (partikel-partikel dalam slurry). Biasanya ini dapat diindikasikan dengan melambatnya aliran air. Pada saat ini, operasi filtrasi dihentikan dan filter harus dicuci-balik (back-wash) untuk mengeluarkan kotoran yang berada diantara ruangkosong bed filter. Air dialirkkan dari bawah tumpukan Dengan kecepatan sangat tinggi sehingga tumpukan pasir terfluidisasi. Kotoran akan terbawa oleh air pencuci.

Plate and Frame Filter Press

- Alat ini terdiri atas pelat (plate) dan bingkai (frame) yang disusun berselang-seling.
- Media filter (kain kanvas, kain sintetis, kertas filter atau anyaman kawat halus) dipasang pada kedua sisi plate.
- Permukaan plate tidak rata, tetapi mempunyai alur-alur untuk saluran cairan (corrugated).
- Kue padatan terbentuk pada frame.

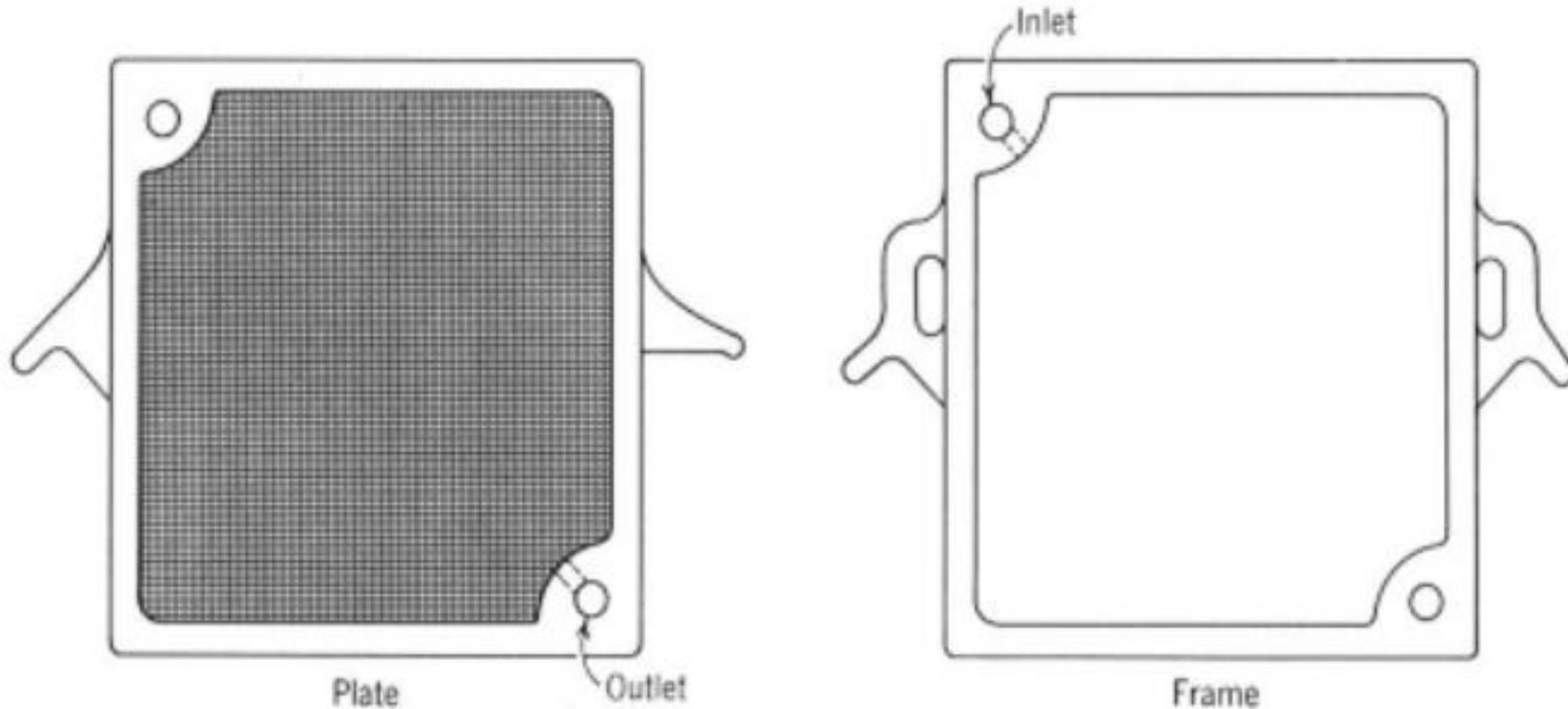
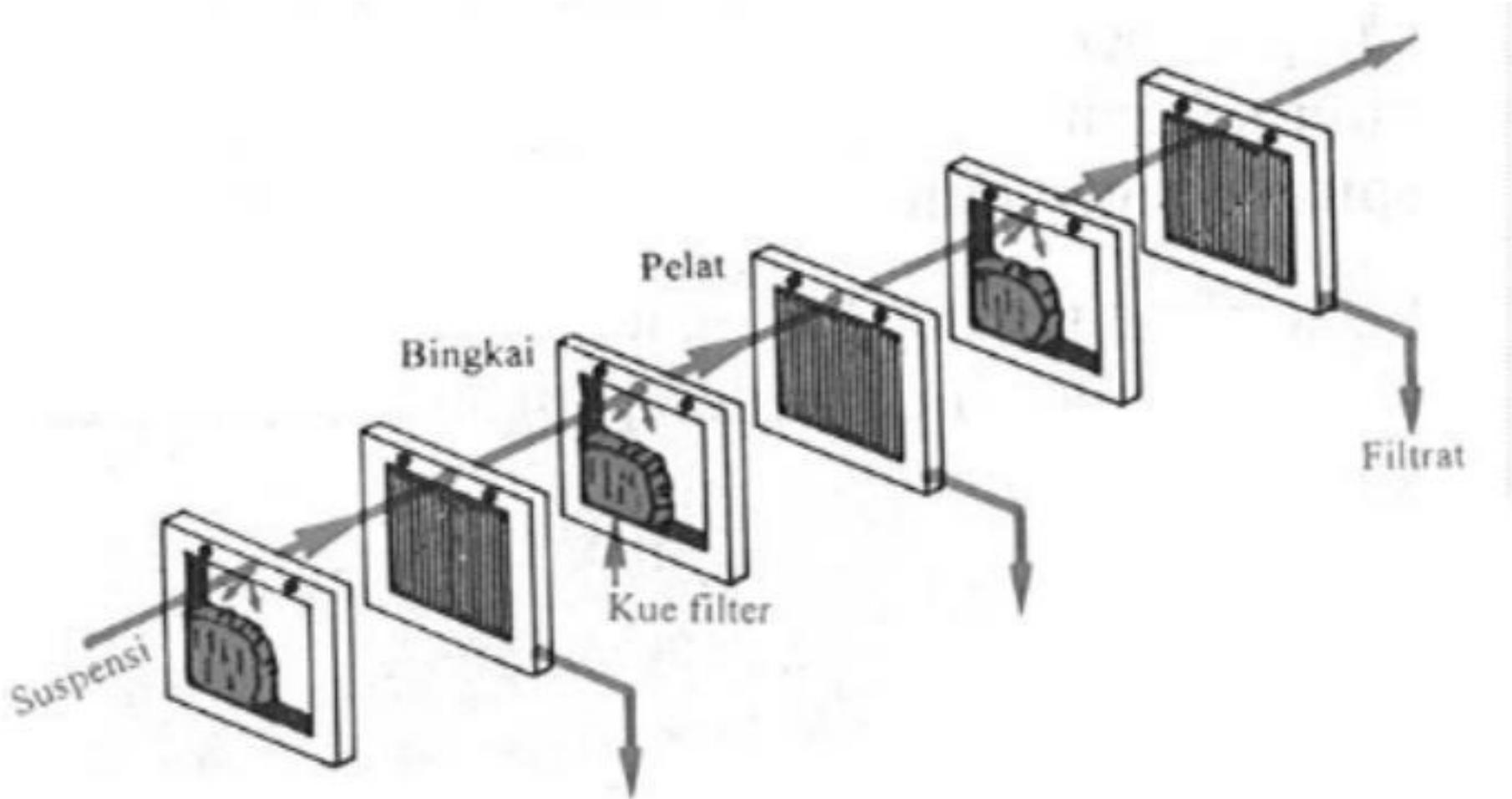


Plate-and-frame pair of simple corner-hole nonwashing design with closed discharge and waffle-grid surface. (Courtesy T. Shriver and Company.)

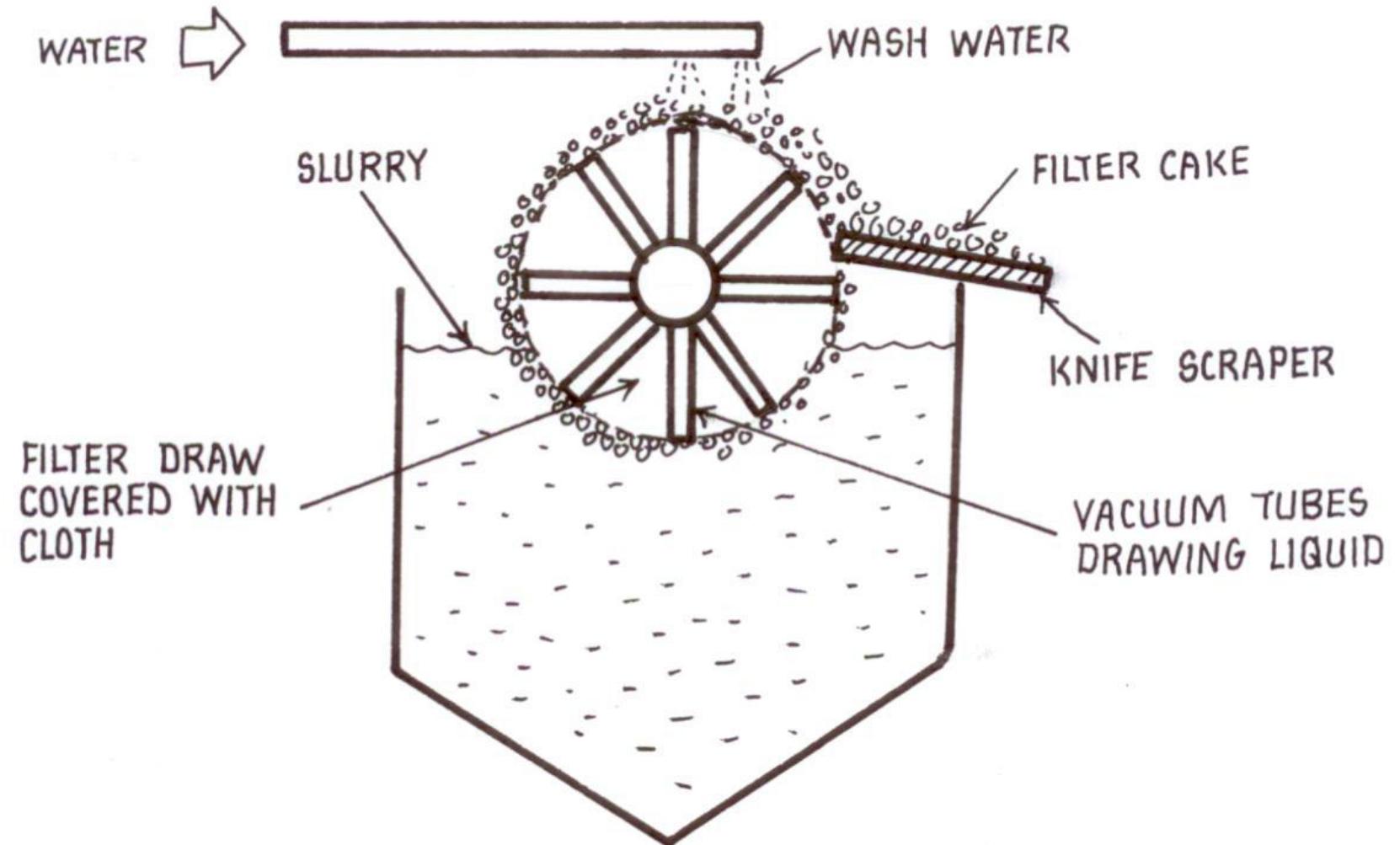


Proses filtrasi pada alat pres bingkai

REV

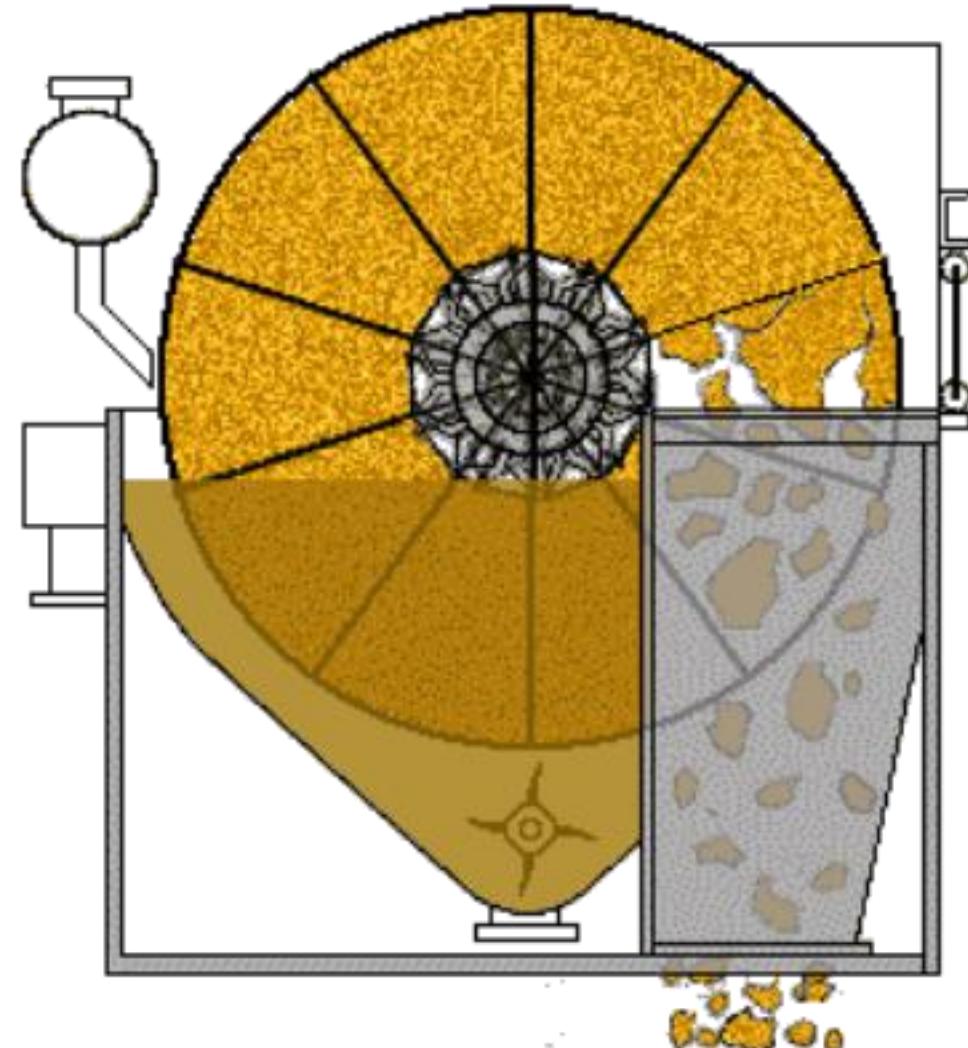
Rotary Drum Vacuum Filter

Kebanyakan filter kontinyu dioperasikan pada tekanan vakum, sehingga seringkali disebut sebagai vacuum filters.



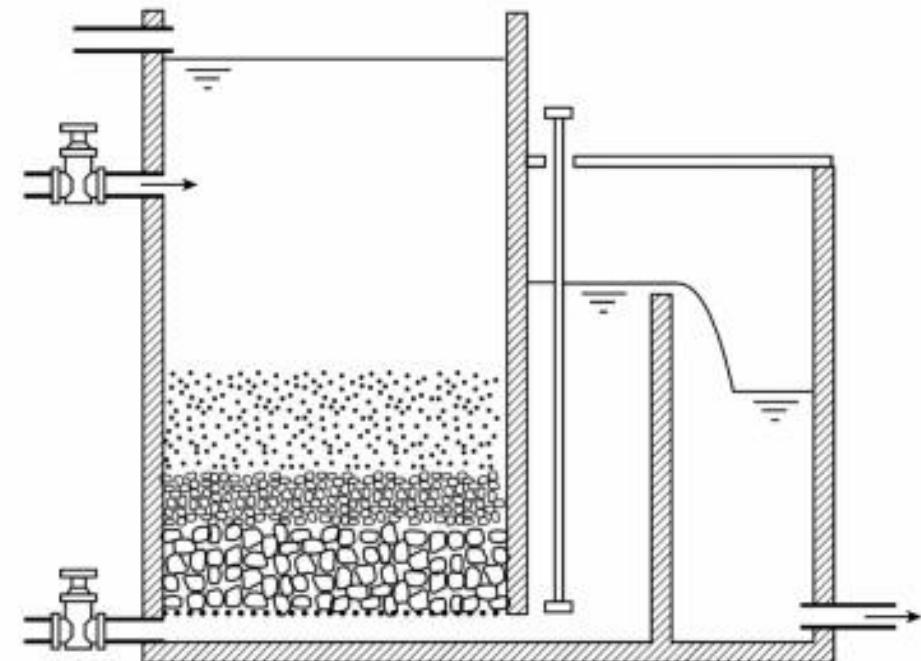
Rotary Disk Filter

- Rotary Disk Filter tersusun atas cakram-cakram filter yang dipasang vertikal dalam sebuah casing. Sebagian permukaan cakram tercelup dalam slurry. Cakram-cakram berputar, dan slurry terhisap ke dalam cakram
- Fraksi cakram yang tercelup dalam slurry sekitar 30-50%.
- Filter cakram ini disukai karena efisien dalam penggunaan tempat (tempat minimum untuk luas filter yang besar). Luas permukaan filter dapat mencapai 300 m² (3300 ft²).
- Kerugiannya adalah: pencucian kue tidak efektif.



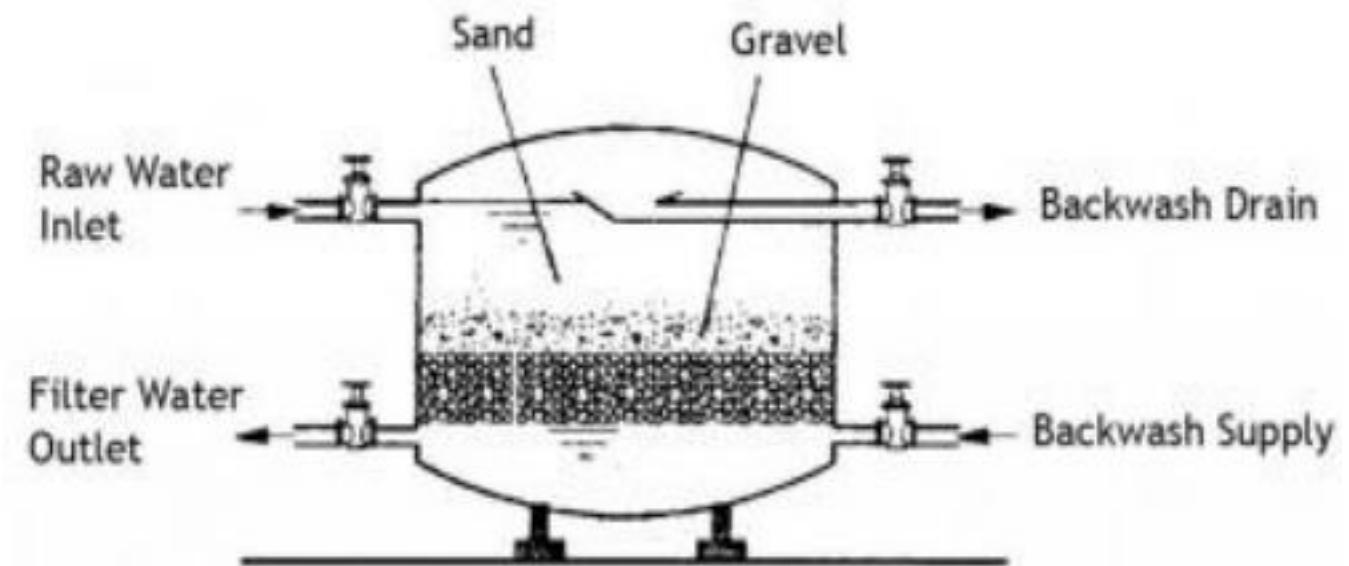
Slow Sand Filter

- physically filtered and biologically treated
- Terbentuk 'schmutzdecke' pada bagian atas lapisan pasir, setelah beberapa hari operasi.
- The contaminants are metabolised by the bacteria, fungi and protozoa.
- Slow sand filters slowly lose their performance as the biofilm thickens and thereby reduces the rate of flow through the filter → scraped off or stirring the sand
- Top of the filter doing most of the work

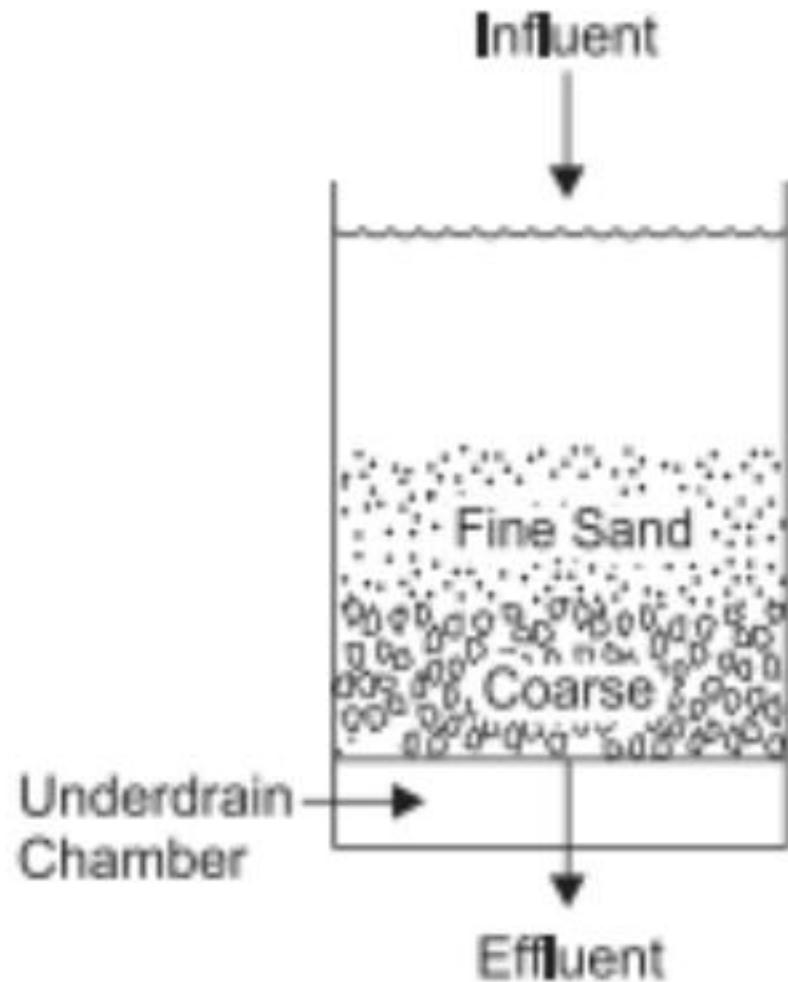


Rapid Sand Filter

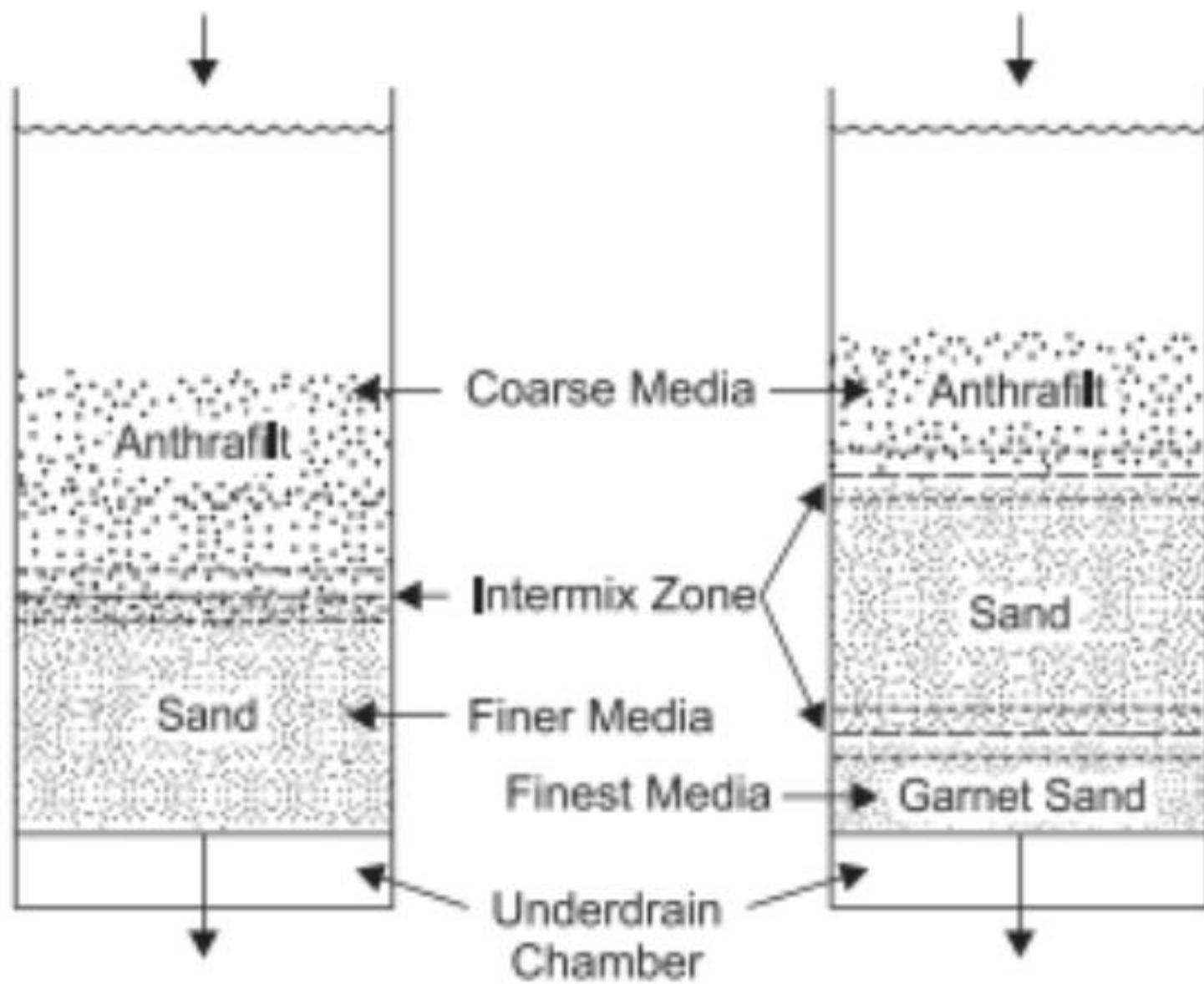
- Operates at higher rate, via pumping
- The entire filter is removing
- Multi-media (activated carbon, sand)
- Backwashing



Item	Slow Sand Filter	Rapid Sand Filter
Pre treatment	Not required, except plain sedimentation	Coagulation, flocculation, and sedimentation
Filter sand		
<ul style="list-style-type: none"> • Effective size • Thickness of sand bed 	<ul style="list-style-type: none"> • 0.25 – 0.35 mm • 80 – 100 cm 	<ul style="list-style-type: none"> • 0.45 – 0.70 mm • 60 – 75 cm
Rate of filtration	100 – 200 L/h/m ²	4800 – 7200 L/h/m ²
Efficiency		
<ul style="list-style-type: none"> • Turbidity of feed water • Removal of bacteria 	<ul style="list-style-type: none"> • Low, <30 NTU • 98 – 99 % 	<ul style="list-style-type: none"> • Any level of turbidity (with pre-treatment) • 80 – 90 %
Post treatment	-	Complete disinfection is a must
Method of cleaning	Scraping and removing schmutzdecke	backwashing
Cleaning interval	3 – 4 months	1 – 2 days



(a) Conventional Filter



(b) Dual Media Filter

(c) Mixed Media Filters
(Triple Media)

- Lignite
C < 73% ; sangat lunak dan berwarna coklat ; Kandungan air dan volatile matter pada batubara lignite tinggi ; heating value 4.000 - 8.300 BTU per pound.
- Sub-Bituminous
berwarna coklat tua sampai hitam ; kadar karbon antara 73-78% ; kandungan air yang cukup tinggi, lunak serta rapuh ; heating value antara 8.300 - 13.000 BTU/lb.
- Bituminous
padat dan hitam mengkilat ; kadar karbon sekitar 77-91% ; kadar volatile matter yang cukup tinggi ; warna kuning jika dibakar ; heating value 10.500 -15.500 BTU per lb.
- Anthracite
sangat keras dan padat; kandungan karbon yang tinggi (91%-98%) ; paling sedikit impurities daripada jenis batubara yang lain ; kadar volatile components yang paling rendah ; nyala biru jika dibakar ; heating value sekitar 15.000 BTU/lb.

DISINFECTION

Commonly used disinfectants :

- Chlorine
- Chlorine dioxide
- Chloramines
- Ozone
- UV light

Table 12-3Comparison of ideal and actual characteristics of commonly used disinfectants^{a,b}

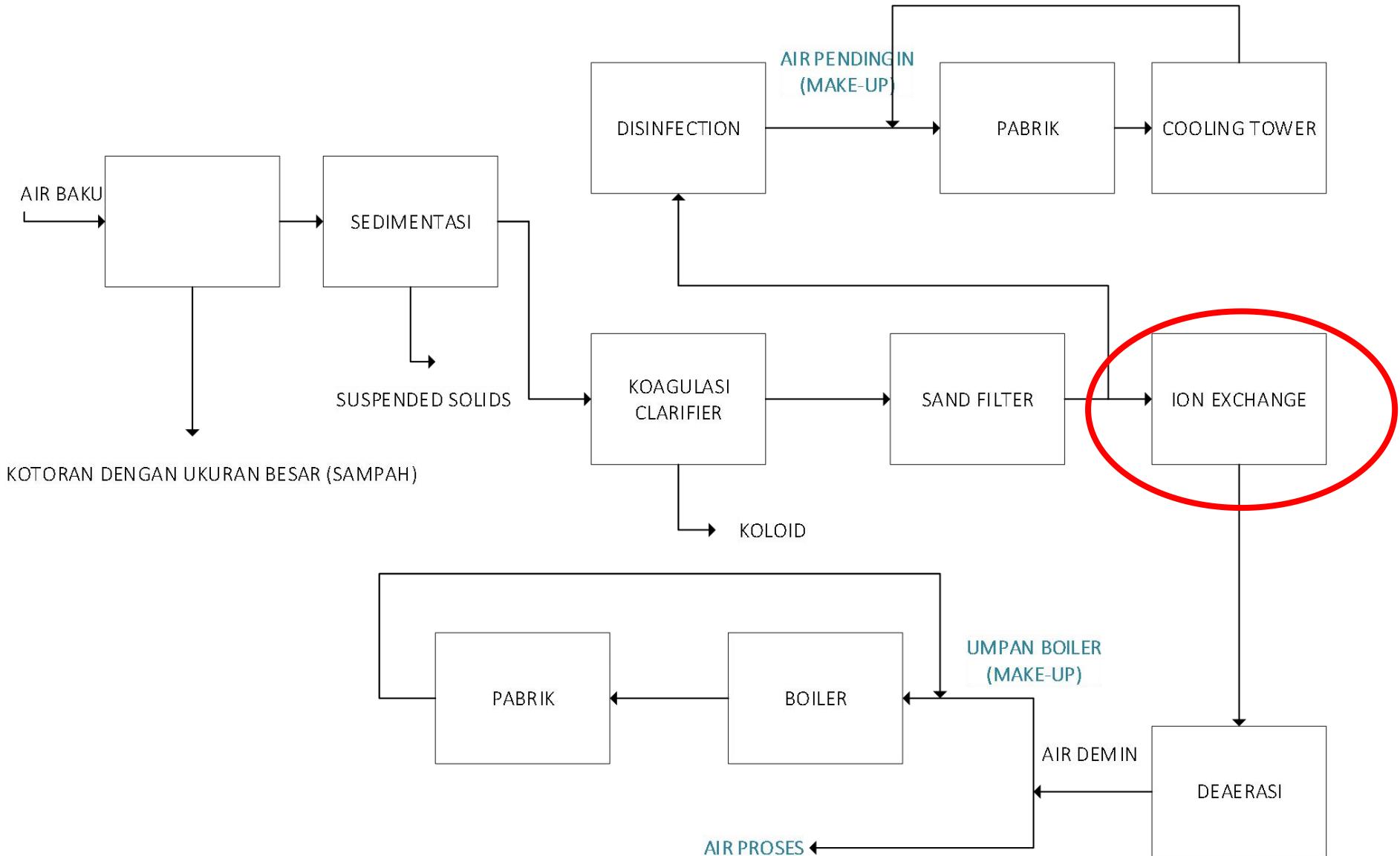
Characteristic^a	Chlorine	Sodium hypochlorite	Calcium hypochlorite	Chlorine dioxide	Ozone	UV radiation
Availability/cost	Low cost	Moderately low cost	Moderately low cost	Moderately low cost	Moderately high cost	Moderately high cost
Deodorizing ability	High	Moderate	Moderate	High	High	na
Homogeneity	Homogeneous	Homogeneous	Homogeneous	Homogeneous	Homogeneous	na
Interaction with extraneous material	Oxidizes organic matter	Active oxidizer	Active oxidizer	High	Oxidizes organic matter	Absorbance of UV radiation
Noncorrosive and nonstaining	Highly corrosive	Corrosive	Corrosive	Highly corrosive	Highly corrosive	na
Nontoxic to higher forms of life	Highly toxic to higher life forms	Toxic	Toxic	Toxic	Toxic	Toxic
Penetration	High	High	High	High	High	Moderate
Safety concern	High	Moderate	Moderate	High	Moderate	Low
Solubility	Moderately	High	High	High	High	na
Stability	Stable	Slightly unstable	Relatively stable	Unstable, must be generated as used	Unstable, must be generated as used	na
Toxicity to microorganisms	High	High	High	High	High	High
Toxicity at ambient temperatures	High	High	High	High	High	High

^aSee Table 12-1 for a description of each characteristic.^bna = not applicable.

Table 12-1
Characteristics of an ideal disinfectant

Characteristic	Properties/response
Availability	Should be available in large quantities and reasonably priced
Deodorizing ability	Should deodorize while disinfecting
Homogeneity	Solution must be uniform in composition
Interaction with extraneous material	Should not be absorbed by organic matter other than bacterial cells
Noncorrosive and nonstaining	Should not disfigure metals or stain clothing
Nontoxic to higher forms of life	Should be toxic to microorganisms and nontoxic to humans and other animals
Penetration	Should have the capacity to penetrate through surfaces
Safety	Should be safe to transport, store, handle, and use
Solubility	Must be soluble in water or cell tissue
Stability	Should have low loss of germicidal action with time on standing
Toxicity to microorganisms	Should be effective at high dilutions
Toxicity at ambient temperatures	Should be effective in ambient temperature range

Demineralisasi



DEMINERALISASI

- Air yang telah mengalami filtrasi masih mengandung garam terlarut yang terdissosiasi membentuk partikel yang bermuatan : ion (positif/negative)
- Ion-ion ini konsentrasiannya relative rendah tetapi sangat mempengaruhi kualitas air yang akan dipakai sebagai air umpan boiler.
- Air umpan boiler adalah air yang akan digunakan untuk memproduksi steam. Tekanan steam dapat bervariasi dari atmosferis hingga lebih dari 100 atm. Semakin tinggi tekanan steam yang akan diproduksi, semakin ketat kualitas dari BFW yang diizinkan.
- Proses pelunakan air dapat dilakukan dengan :
 1. Pengendapan kimiawi
 2. Reaksi pertukaran ion (ion exchange)

Pelunakan Air dengan Pengendapan Kimia

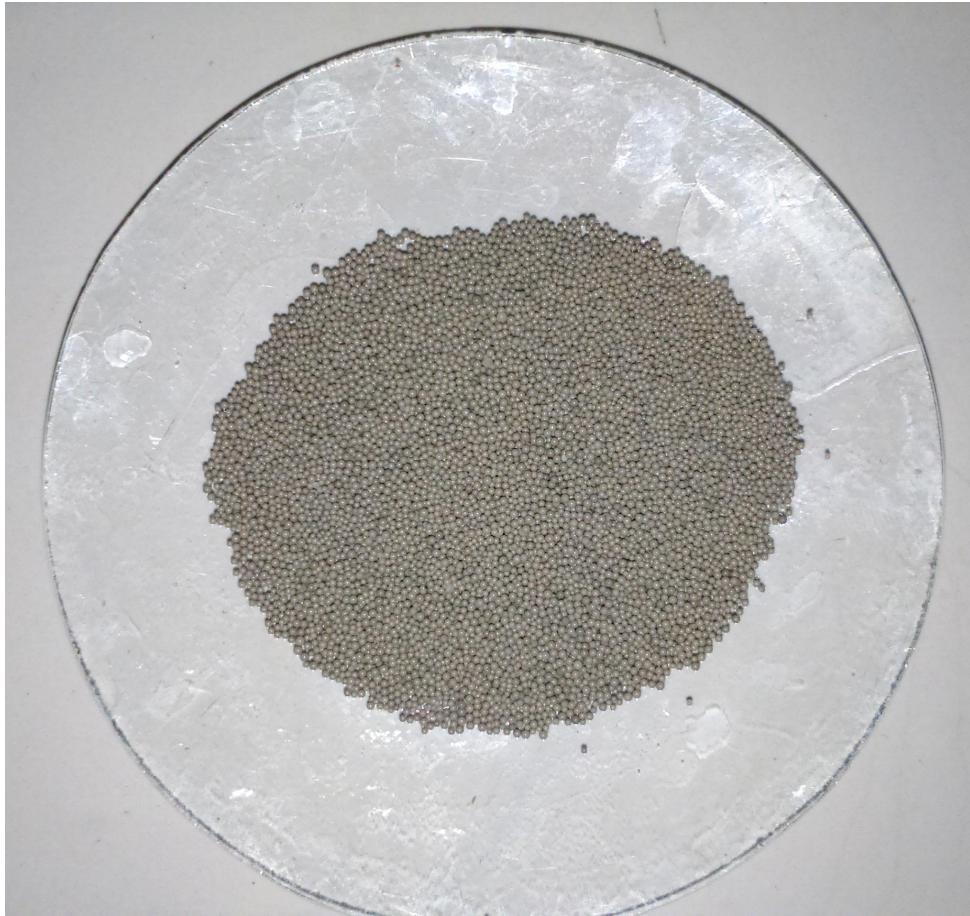
- Target dari pelunakan air dengan pengendapan kimia adalah mengendapkan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dengan membentuk senyawa yang tidak larut, misal CaCO_3 dan Mg(OH)_2 .
- Dapat dilakukan dengan menggunakan Ca(OH)_2 atau soda abu Na_2CO_3
- Dengan Ca(OH)_2



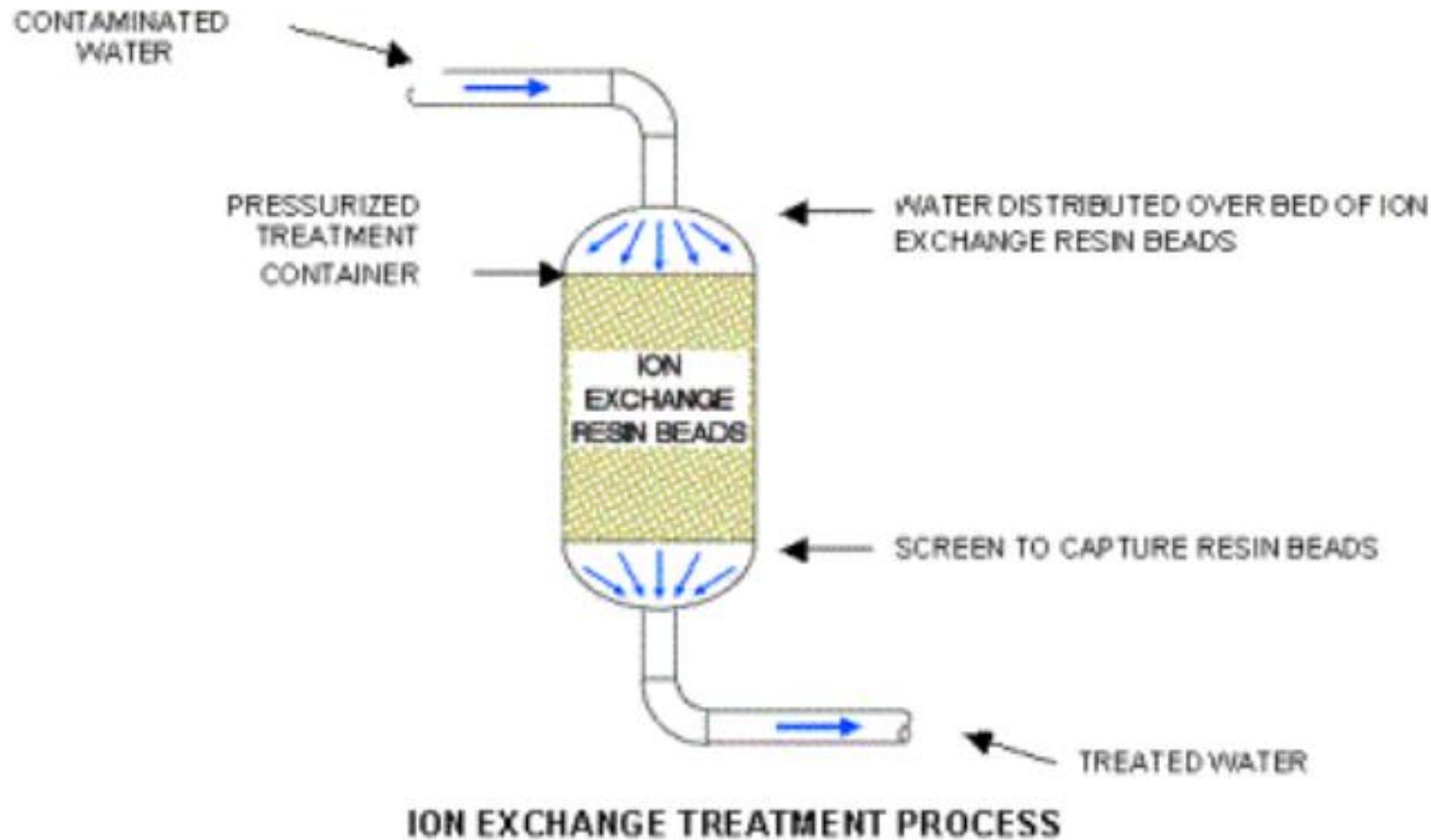
- Dengan Na_2CO_3



Pelunakan Air dengan Resin



Pelunakan Air dengan Resin



- Ion exchange resin adalah senyawa polimer yang mengandung radikal asam atau basa
- Jenis radikal atau gugus fungsional yang terkandung dalam resin inilah yang merupakan dasar pembagian jenis ion exchange resin.

Ion Exchanger Resin

- Strongly Acidic Cation
- Weakly Acidic Cation
- Strongly Basic Anion
- Weakly Basic Anion

Strongly Acidic Cation (SAC)

- $\text{RSO}_3\text{-H}$
- Urutan affinitas penyerapannya : $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{H}$
- Mekanisme penukarannya :



- Regenerasi : untuk memecah garam kuat, diperlukan asam kuat sebagai regenerant dalam jumlah berlebih yaitu 200-300% dari kebutuhan stoikiometri

Weakly Acidic Cation (WAC)

- Mempunyai gugus fungsional karboksilat (COOH)
- Mekanisme penukarannya :
- $\text{CaHCO}_3 + \text{RCOO-H} \rightarrow \text{RCOO-Ca} + \text{H}_2\text{CO}_3$
- Regenerasi : sebagai regenerant adalah asam kuat encer, atau bias juga digunakan asam bekas regenerasi resin jenis 1 dan jumlah kebutuhan regenerantnya 110% ekses dari kebutuhan stoikhiometri.

Strongly Basic Anion (SBA)

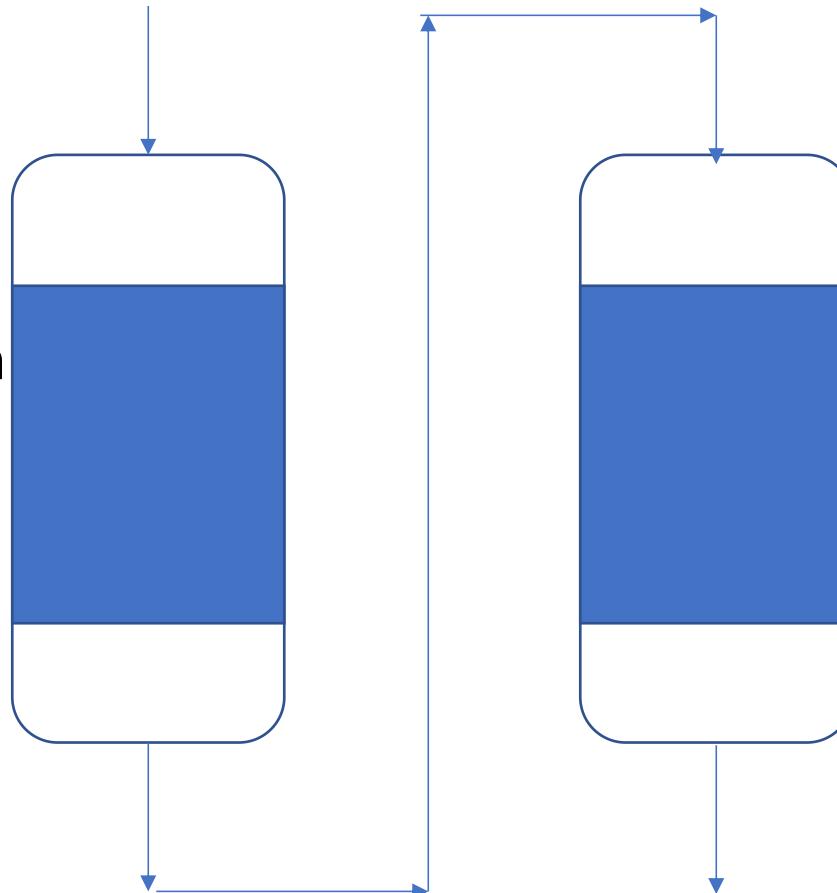
- Resin jenis ini situs aktifnya berasal dari gugus fungsional ammonium
- Tugas : menyerap asam lemah silika, asam karbonat
- Ada 2 tipe resin SBA :
 1. Tipe I : lebih stabil terhadap pengaruh bahan kimia
 2. Tipe II : efisiensi regenerasinya lebih tinggi dan kapasitasnya lebih besar.
- Mekanisme penukaran ionnya :
$$\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{Z OH} \rightarrow \text{ZHCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$$
$$\text{H}_2\text{SiO}_2 + \text{Z OH} \rightarrow \text{ZSiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
- Regenerasi : dengan menggunakan NaOH berlebihan

Weakly Basic Anion (WBA)

- Situs aktif berasal dari gugus amine
- R-NH_2 $\text{R-NH-R}'$
- Tugas : menyerap ion asam mineral dan melindungi SBA dari pengendapan kotoran
- $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{ZOH} \rightarrow \text{ZSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- Regenerasi : NaOH , Na_2CO_3 , NH_4OH (hampir stoikiometri), bisa memakai sisa dari SBA

Konfigurasi Ion Exchanger

Cation exchanger mengandung gugus tipe HSO_3^- atau HCO^- yang dapat mengikat ion positif dan menukarnya dengan ion H^+



1. Operasi
2. Backwash
3. Regenerasi

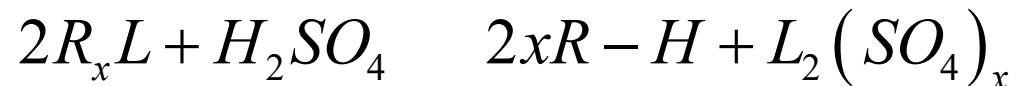
Anion resin

Anion exchanger mengandung gugus/radikal basa misal gugus tipe NH_2^- yang dapat mengikat ion negatif dan menukarnya dengan ion OH^-

Reaksi yang terjadi pada kation exchanger :



Regenerasi pada kation exchanger :



Reaksi yang terjadi pada anion exchanger :

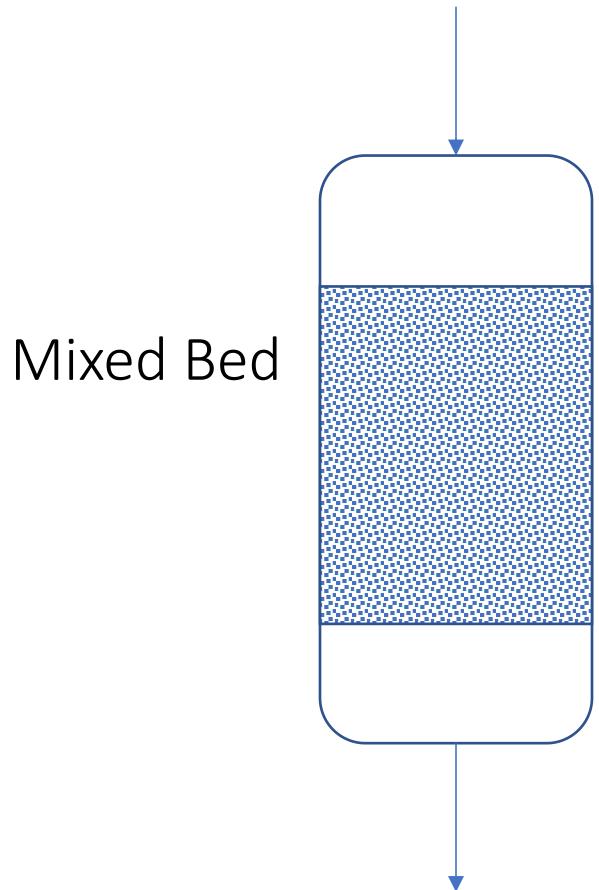


Regenerasi pada anion exchanger :



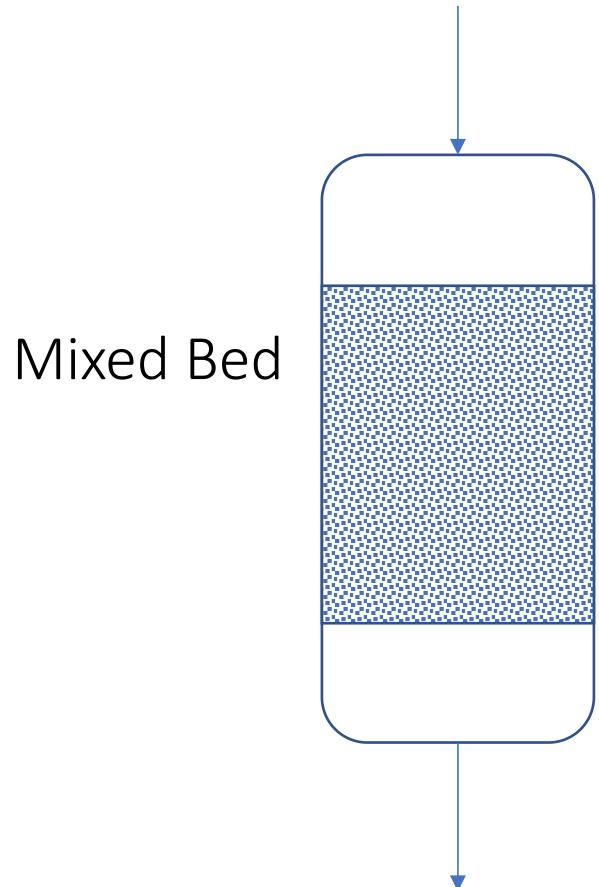
- Setelah pemakaian dalam jangka waktu tertentu, resin tidak mampu lagi menjaga konsentrasi dissolved ion seperti yang dipersyaratkan.
- Untuk itu perlu dilakukan regenerasi.
- Sebelum regenerasi, perlu dilakukan pencucian dengan cara backwash untuk menghilangkan kotoran sehingga regenerasi akan lebih efektif.
- Setelah resin bersih dari kotoran, baru dilakukan regenerasi asam/basa.
- Sebelum dioperasikan kembali, dilakukan pembilasan (rinse) untuk menghilangkan residu regenerant.

Konfigurasi Ion Exchanger



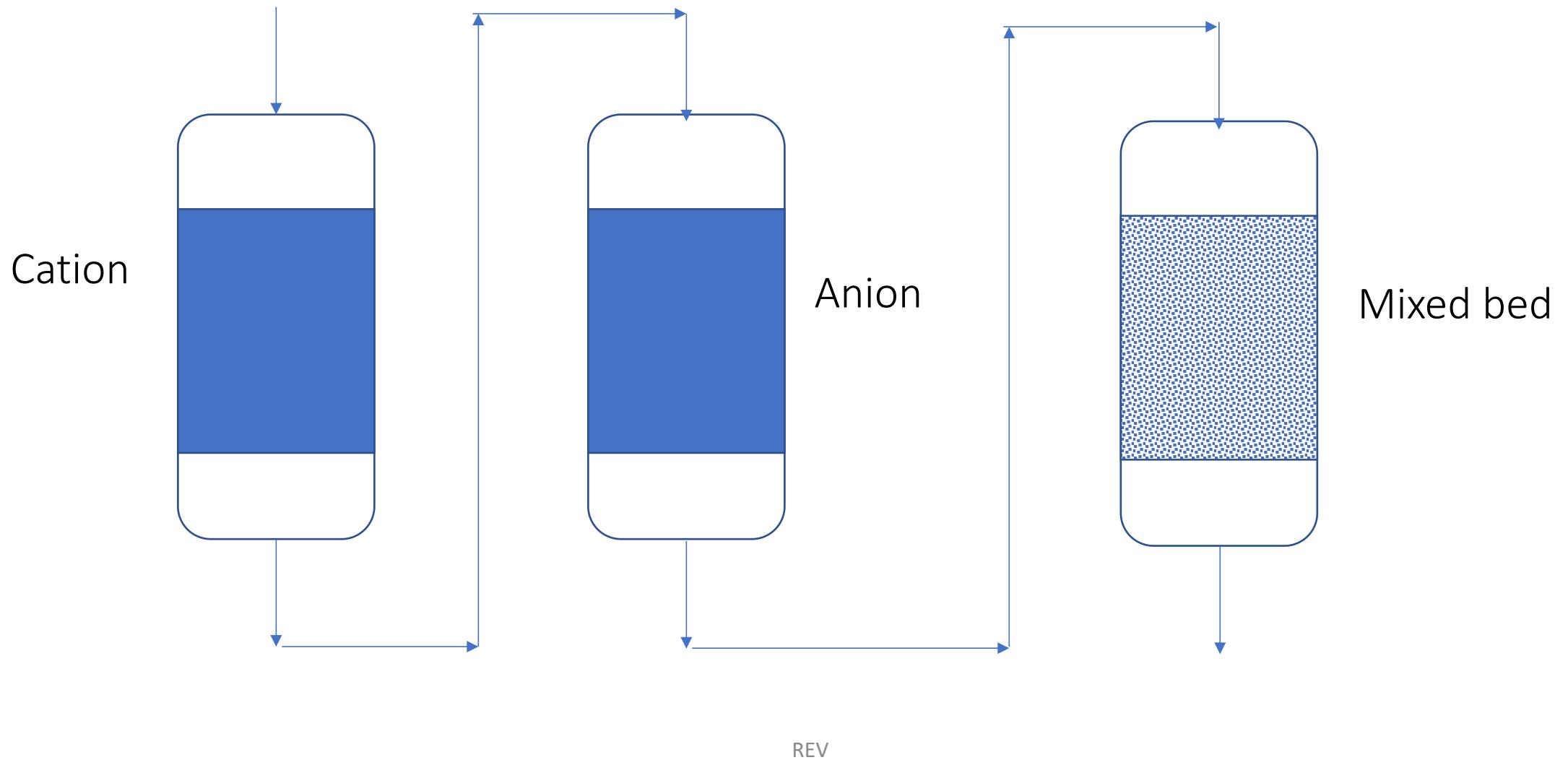
1. Operasi
2. Backwash
3. Regenerasi
4. Pencampuran kembali

Konfigurasi Ion Exchanger



- Pada mixed bed, kedua resin dicampur merata dalam satu kolom.
- Cara mixed bed ini, akan memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan unmixed bed karena dengan dicampur secara merata, akan memberikan efek yang mirip dengan kolom demineralizer yang jumlahnya banyak yang dipasang seri.
- Mixed bed akan efektif jika kandungan mineralnya relative kecil.

Konfigurasi Ion Exchanger



- Exchange capacity (kapasitas penukar) dinyatakan dalam :
- Per berat resin
gram CaCO₃ per berat resin (g/kg)
gram ekivalen/berat resin (g ek/kg)
- Per volum resin
gram CaCO₃ per volum resin (g/m³)
gram ekivalen/volum resin (g ek/m³)

$$1 \frac{ek}{m^3} = \frac{(1ek)(50gCaCO_3 / ek)}{m^3} = 50 \frac{gCaCO_3}{m^3}$$

Wastewater A

Cation	Conc., mg/L	Conc., mg/meq	meq/L	Anion	Conc., mg/L	Conc., mg/meq	meq/L
Ca ²⁺	82.2	20.04	4.10	HCO ₃ ⁻	305.1	61.02	5.00
Mg ²⁺	17.9	12.15	1.47	SO ₄ ²⁻	0.00	48.03	0.00
Na ⁺	46.4	23.00	2.02	Cl ⁻	78.0	35.45	2.20
K ⁺	15.5	39.10	0.40	NO ₃ ⁻	50.0	62.01	0.91
Σ cations		7.99		Σ anions		8.11	

The water has following composition in meq/L :

Ca ²⁺	1.4	Cl ⁻	3
Mg ²⁺	0.8	SO ₄ ²⁻	0
Na ⁺	2.6	NO ₃ ⁻	1.8
Total	4.8	Total	4.8

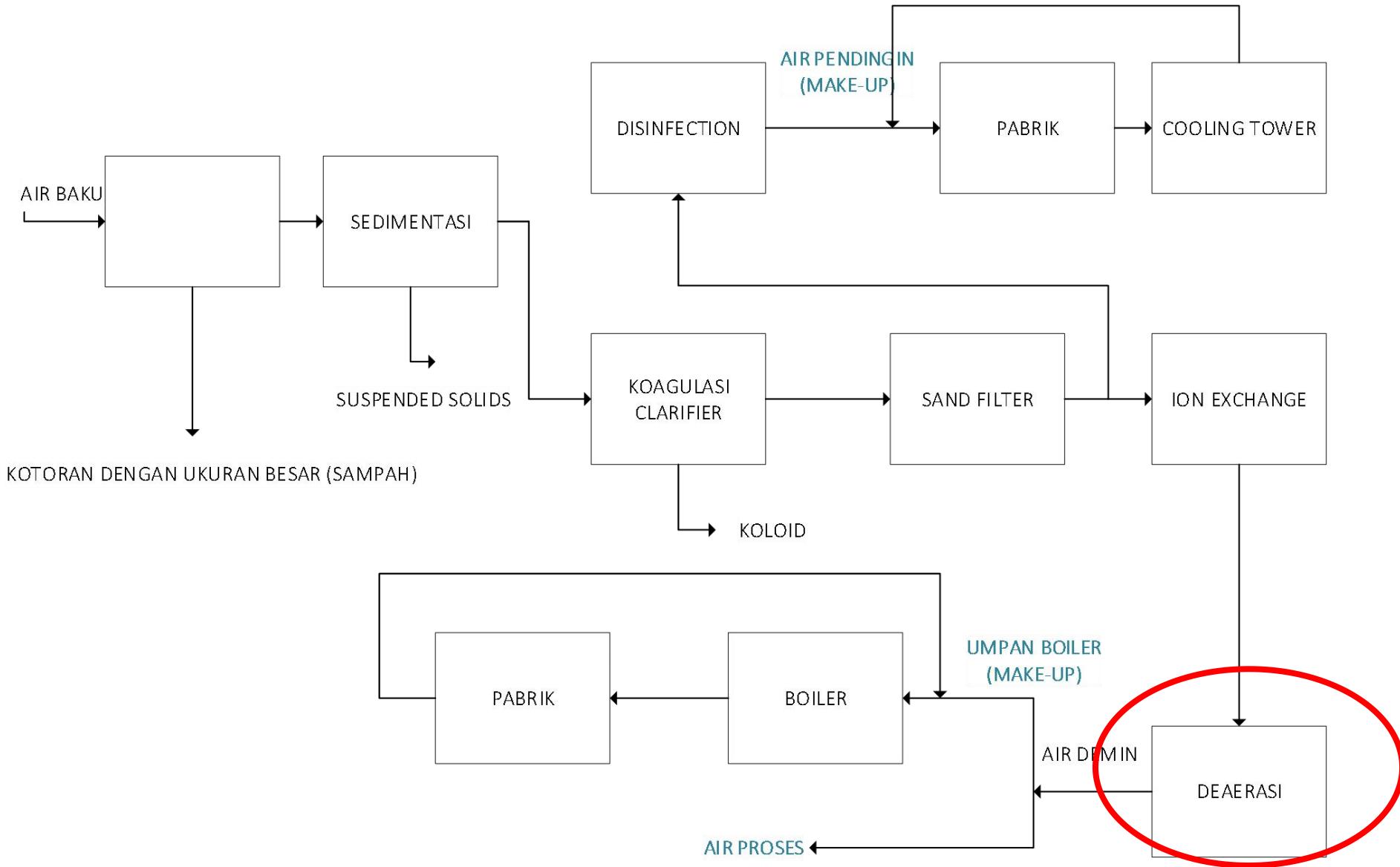
Remove nitrate ions from water

Selective coefficient K = 4.

The total resin capacity is 1.5 eq/L

Jika massa resin = 5 kg dan densitas resin 1.7 g/mL ; H/D kolom = 2 dengan overdesign 10%, hitung dimensi kolom !

Deaerasi



DEAERASI

- Tujuannya : mengambil dissolved gas atau gas terlarut (O_2 dan CO_2) dalam air umpan boiler agar tidak terjadi korosi.
- Cara :
 1. Deaerasi mekanis
 2. Deaerasi kimia (dengan senyawa ‘pemangsa’ oksigen / oxygen scavenger)

Deaerasi Mekanis

- Pengurangan kandungan oksigen terlarut secara fisis
- Pada proses ini, amoniak dan karbondioksida juga bias berkurang
- Prinsip kerja deaerator seperti stripping
- **Oksigen terlarut dalam air dilucuti dengan steam atau nitrogen**
- Prinsip dasarnya adalah pemanasan, karena kelarutan gas akan semakin kecil dengan naiknya suhu. Sebaliknya kelarutan oksigen akan bertambah besar dengan naiknya tekanan.

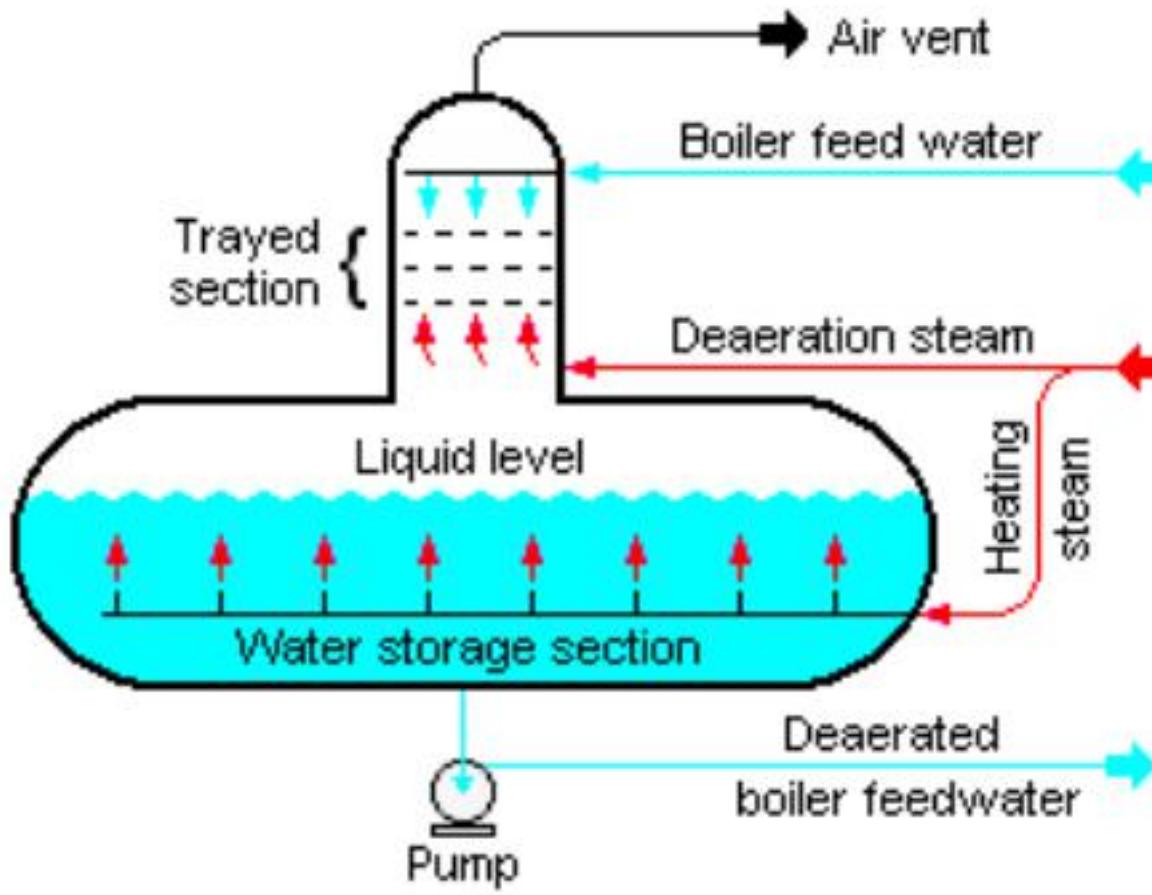
Deaerasi Kimia

- Proses intinya : terjadi reaksi kimia antara oxygen scavenger dengan oksigen terlarut (dalam konsentrasi rendah)
- Misal dengan penambahan hydrazine, akan terjadi reaksi
- $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- Senyawa lain selain hydrazine :
 - Carbohydrazin (CH_2NHNH_2)
 - Hydroquinone (HQ)
 - Diethyldroxylamine (DEHA)
 - Methylethylketoxime (MEKOR)

Hydrazine

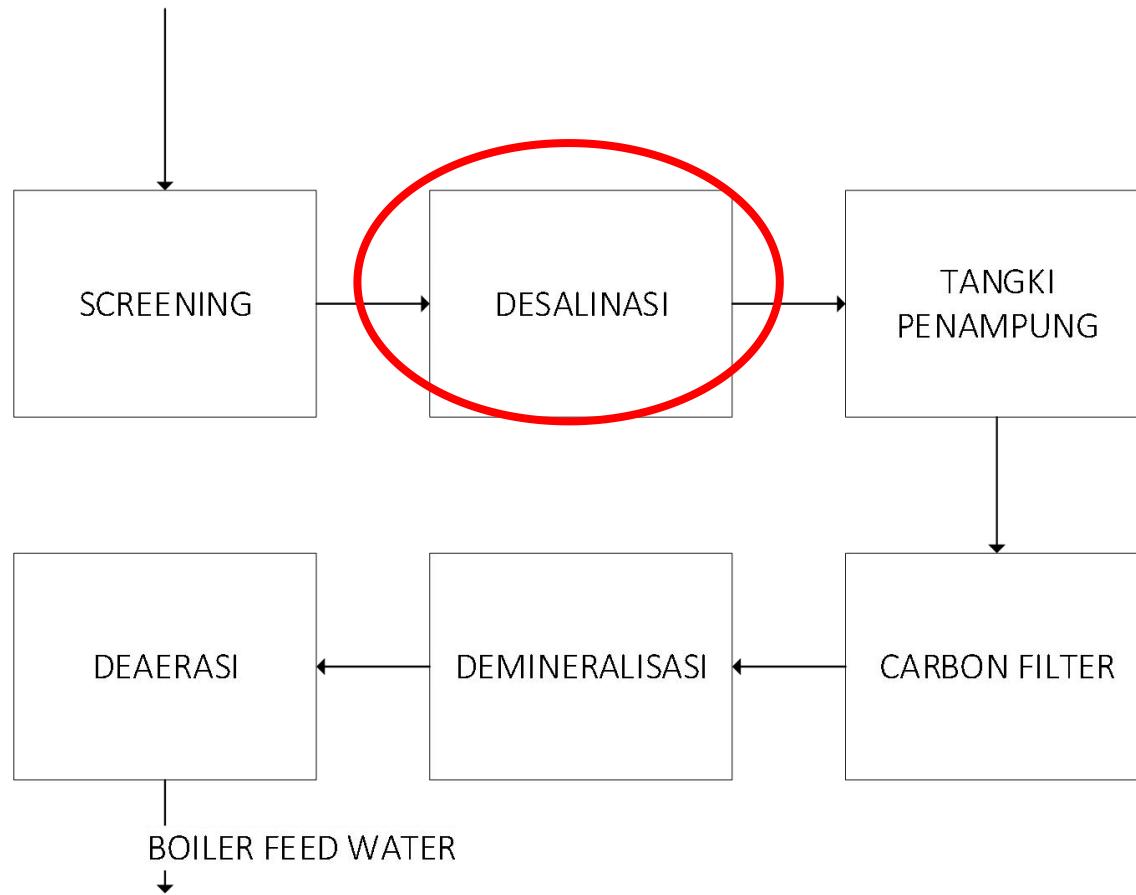
- Konsentrasi maksimum yang diijinkan dalam cairan 0.1%
- Konsentrasi maksimum yang diijinkan dalam uap 0.01 ppm
- Kekurangan :
 - Bersifat carcinogenic
 - Sensitif terhadap kulit
 - Menyebabkan iritasi pada mata, hidung, dan tenggorokan
 - Mudah terbakar
- Kelebihan :
 - Tidak terlalu mahal
 - Mudah diperoleh

Deaerator



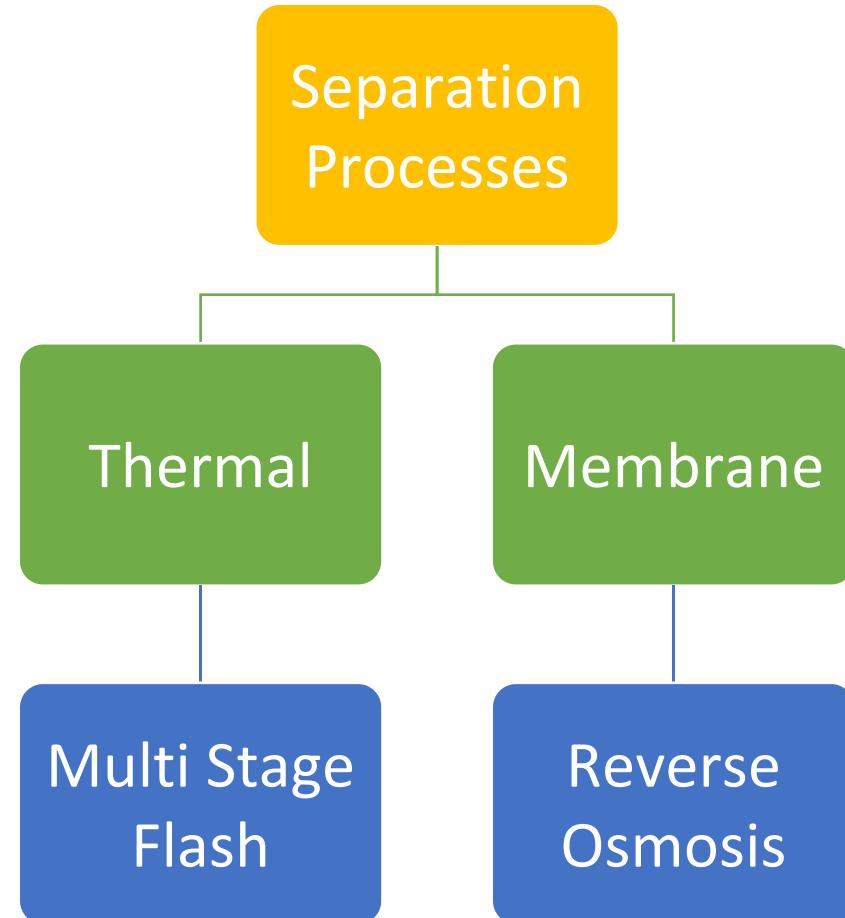
- Internal steam distributor piping
- Internal perforated pipe (water distributor)
- - - Perforated trays
- Low pressure steam
- Boiler feedwater

TAHAPAN PENGOLAHAN AIR LAUT



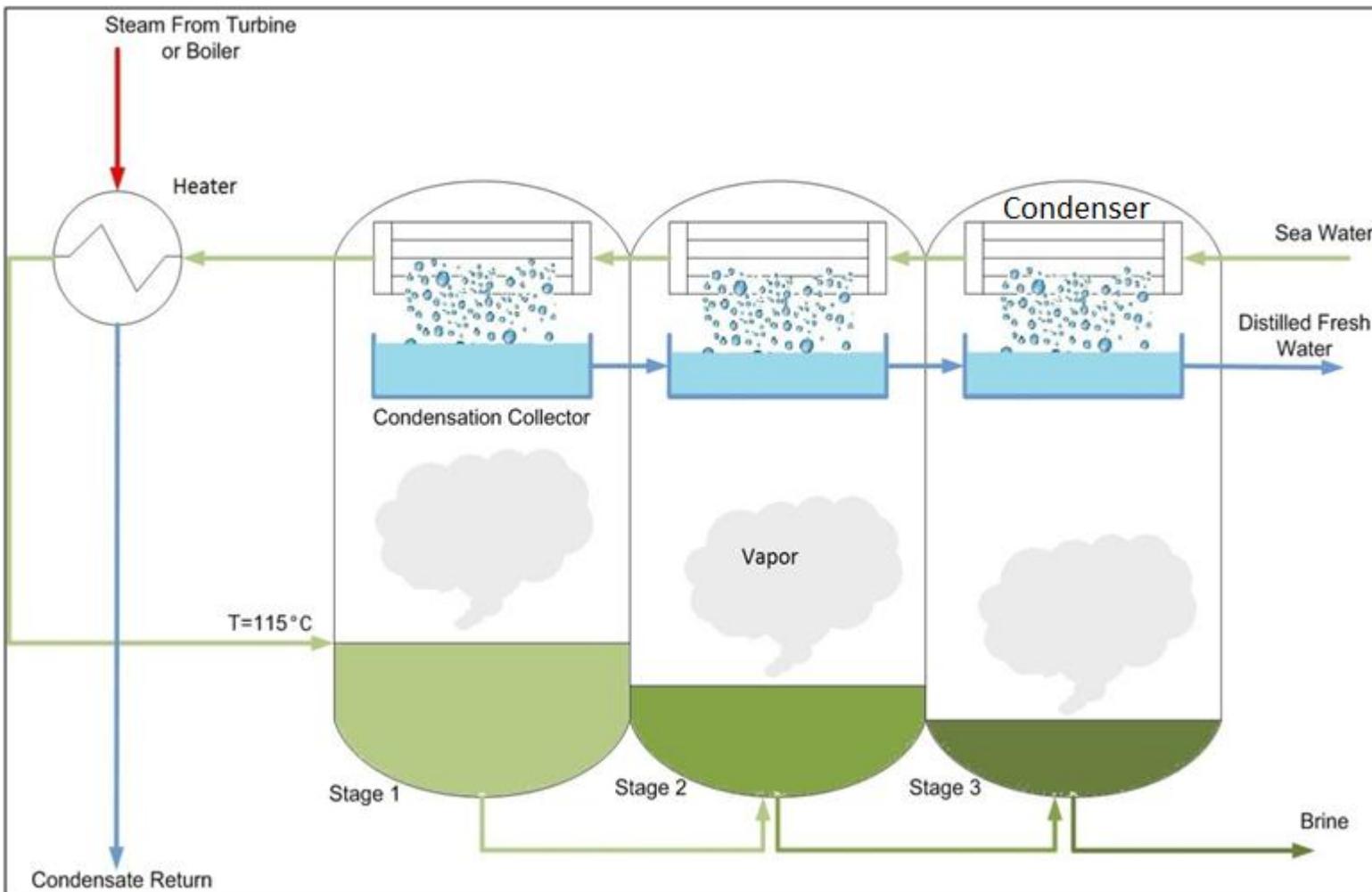
DESALINASI

- Desalination atau desalinasi adalah proses untuk menghilangkan kadar garam berlebih dalam air laut



MULTI STAGE FLASH

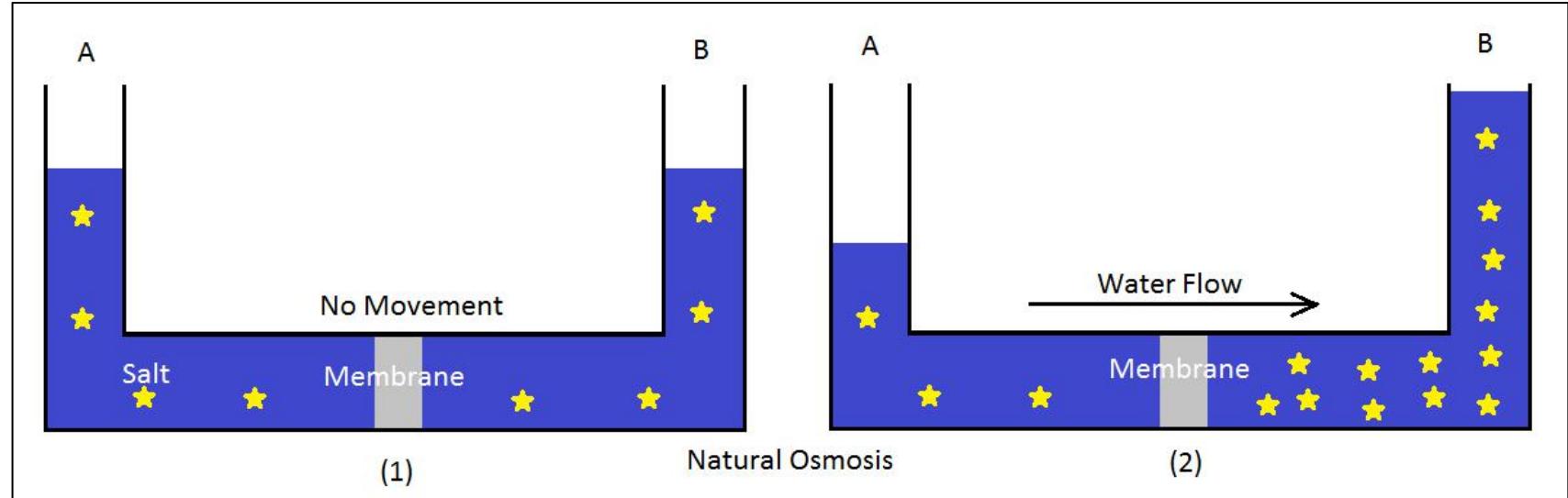
- Sistem desalinasi MSF telah banyak diaplikasikan di beberapa negara.
- Walaupun biaya investasinya tinggi tetapi biaya perawatannya relatif rendah.
- Prinsip dasar desalinasi MSF adalah pemanasan air laut dengan menggunakan steam untuk mencapai temperatur maksimum operasi 90-130°C, kemudian di flashing dalam beberapa tingkat operasi pada tekanan yang lebih rendah secara progresif. Perubahan tekanan akan menyebabkan air laut yang masuk menjadi mendidih secara mendadak (flashing) dan menyebabkan terbentuknya uap air (water vapour). Uap yang dihasilkan dari setiap tingkatnya di kondensasikan dengan metoda penukar panas oleh air umpan.



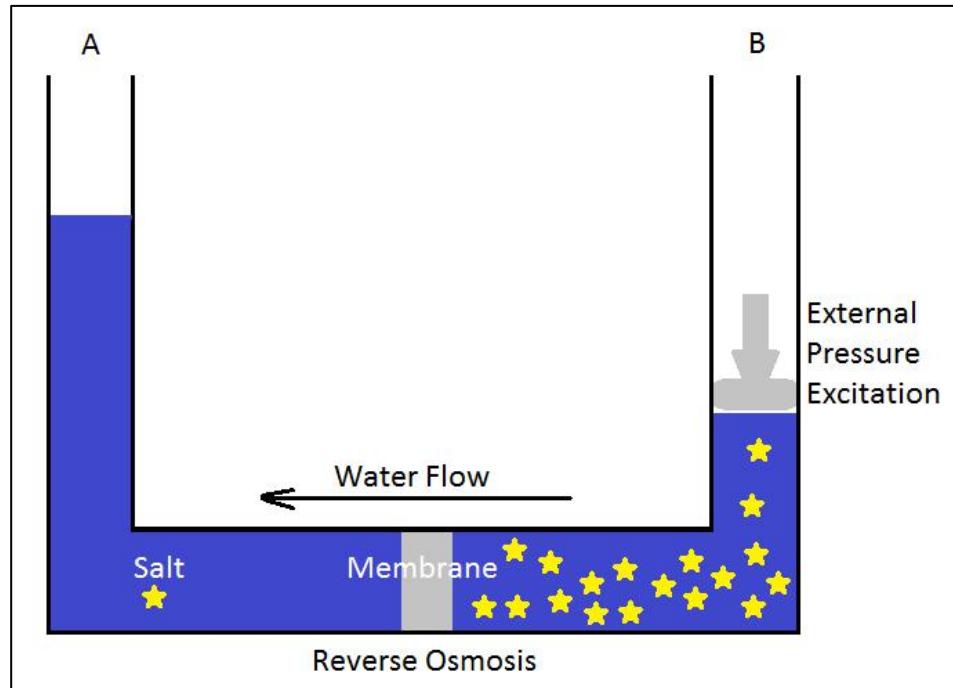
REVERSE OSMOSIS

- Bila air tawar dan air laut dipisahkan oleh suatu dinding semi permeable membrane maka air tawar akan meresap menembus dinding pemisah itu ke bagian air laut. peristiwa ini disebut 'peristiwa osmosis'. Air tawar akan terus menembus dinding pemisah itu ke bagian air laut walau tidak diberi tekanan.
- Kekuatan efektif pendorong penembusan itu dinamakan osmotic pressure. Penembusan akan berhenti dengan sendirinya pada kondisi setimbang (equilibrium) di osmotic pressure tertentu. Besar osmotic pressure tergantung dari karakteristik membran,suhu dan kepekatan air laut.
- Pada sistem RO, air laut diberi tekanan agar terjadi hal kebalikannya, yaitu air tawar yang terkandung di dalam air laut keluar menembus dinding pemisah (membrane) maka peristiwa itu dinamakan peristiwa reverse osmosis.

- Natural Osmosis



- Reverse Osmosis



Perbandingan RO dan MSF

	RO	MSF
Kelebihan	<ul style="list-style-type: none">• Energi yang dibutuhkan lebih rendah• Water recovery lebih tinggi	<ul style="list-style-type: none">• Operasinya relative mudah• Dapat digunakan untuk memproduksi air dengan kemurnian tinggi
Kekurangan	<ul style="list-style-type: none">• Membran mudah mengalami fouling• Membutuhkan pre-treatment yang menyeluruh	<ul style="list-style-type: none">• Energi yang dibutuhkan lebih tinggi• Water recovery lebih rendah

Hambatan Proses Desalinasi

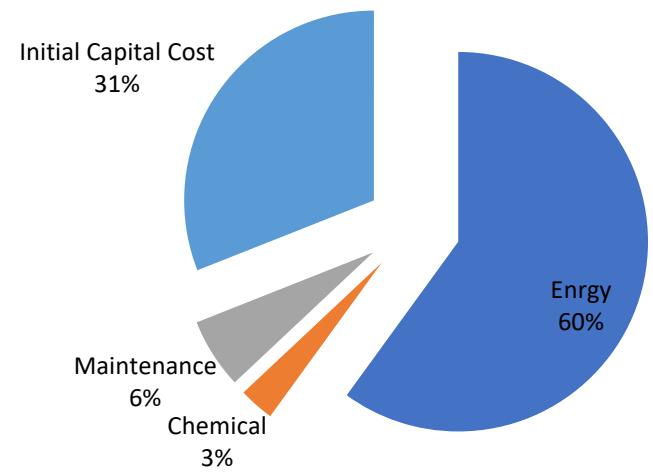
- Energy consumption
- Cost
- Scaling
- Environmental impact

Energy Consumption

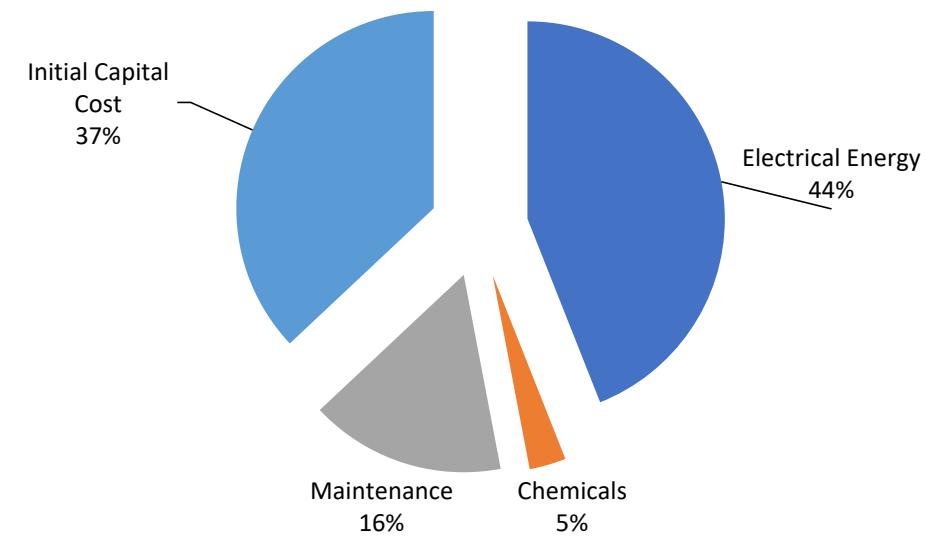
Multi Stage Flash (Thermal)	Reverse Osmosis (Membrane)
10 – 200 kWh/m ³	1 – 10 kWh/m ³

Cost

Cost Analysis for MSF Thermal Desalination Process



Cost Analysis of RO Membrane Desalination Process



Scaling

- Scaling adalah akumulasi garam pada permukaan alat desalinasi.
- Scaling dapat diminimasi dengan penambahan bahan kimia seperti Polyphosphate.

Environmental Impact

- Konsumsi energi dan emisi karbon dari proses pemanasan
- Pembuangan brine (air dengan kandungan garam yang tinggi)

Brine Disposal Methods

- Surface Water Discharge

Dalam beberapa kasus, air garam dapat dibuang ke air permukaan seperti sungai, danau, atau waduk. Metode ini adalah solusi biaya rendah namun harus dilakukan sesuai dengan izin.

- Land Application

Air garam terkadang bisa digunakan sebagai air irigasi.

- Deep Well Injection

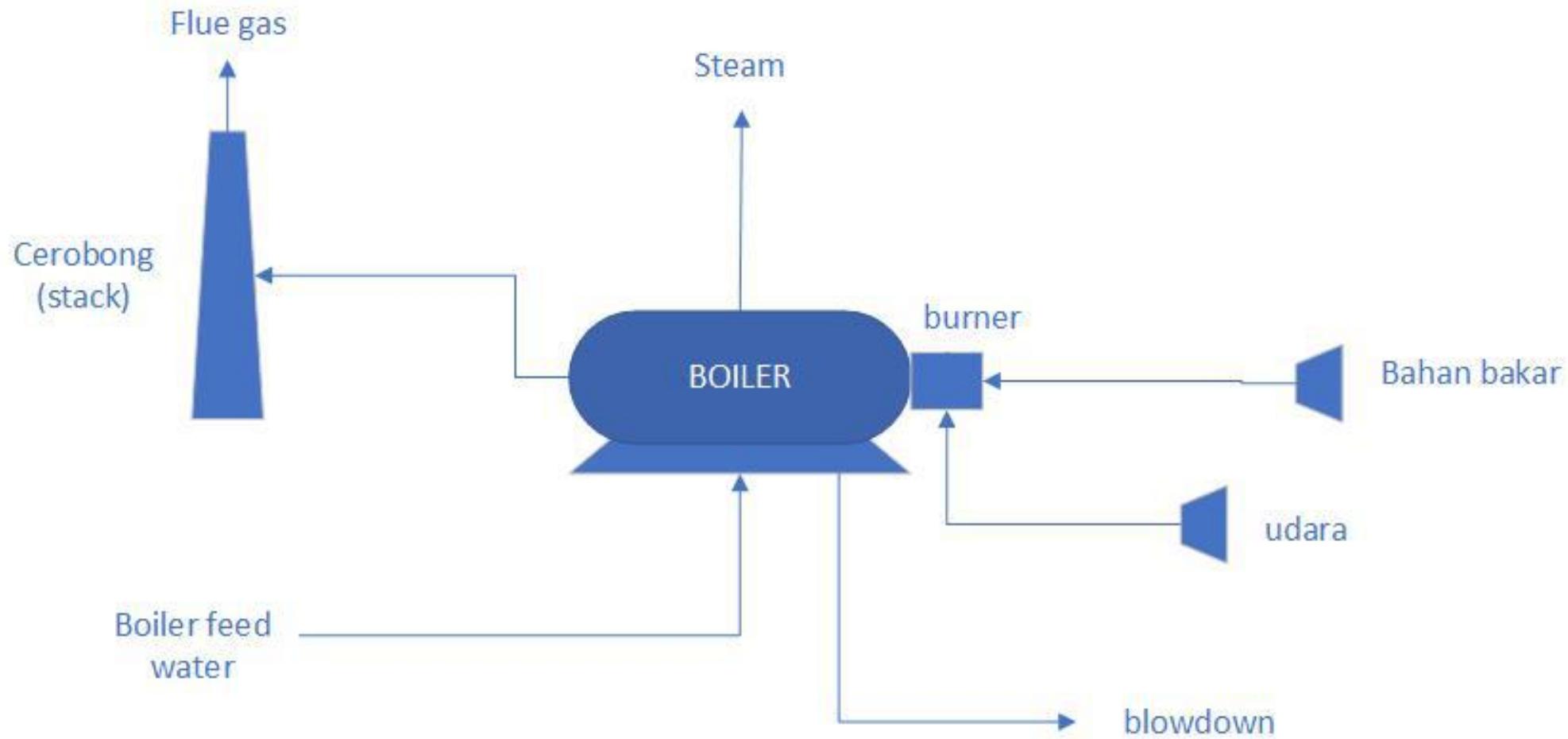
Air garam bisa disuntikkan ke formasi batuan bawah permukaan yang berpori. Metode ini cukup mahal karena biaya pengeboran dan pemeliharaan sumur.

- De-icing Agent

Secara tradisional, garam digunakan selama musim dingin untuk mencairkan es di jalan. Air garam bisa digunakan untuk tujuan ini.

BOILER

BOILER



Bahan Bakar Boiler

- Bahan bakar gas alam (BBG), bahan bakar minyak (BBM), batu bara, kayu, dll
- Beberapa boiler dirancang untuk dapat menggunakan lebih dari satu bahan bakar
- Burner mengalirkan bahan bakar yang telah tercampur dengan udara secara proporsional ke dalam ruang bakar sehingga dihasilkan pembakaran yang efisien

Optimasi Laju Blowdown

- Blowdown adalah pelepasan air bersama padatan yang ada pada air boiler untuk mencegah pengendapan
- Meskipun sudah melalui treatment, terkadang masih ada TDS yang terkandung dalam BFW. Ketika BFW dipanaskan, akan terjadi akumulasi padatan dalam boiler.
- Perlu dilakukan pembuangan sebagian air melalui bagian bawah boiler
- Blowdown hanya dilakukan sewaktu-waktu
- Jika boiler tidak di-blowdown secara cukup akan menyebabkan terjadinya pengendapan dan carryover padatan
- Jika terlalu sering di-blowdown akan menyebabkan pemborosan air dan panas
- Dengan memantau secara regular kandungan TDS, kandungan silika, dan konduktivitas air dapat memberikan indikasi kapan boiler tersebut harus di-blowdown

Alat Tambahan pada Boiler

Ada beberapa alat tambahan yang dapat dipasangkan pada boiler untuk penghematan energi :

1. Economizer : pada alat ini sebagian panas dari stack gas dimanfaatkan untuk memanaskan air yang akan diumpulkan ke boiler
2. Air preheater : pada alat ini sebagian panas dari stack gas dimanfaatkan untuk memanaskan udara yang akan dicampur dengan bahan bakar
3. Turbulator : alat ini berupa potongan logam yang digunakan untuk meningkatkan turbulensi aliran dan memperlama waktu tinggal fluida sehingga transfer panas akan menjadi baik
4. Oxygen trim control : alat ini berfungsi untuk mengukur konsentrasi oksigen pada cerobong dan secara otomatis mengatur oksigen dalam udara yang masuk burner sehingga dihasilkan pembakaran dengan efisiensi yang optimum

Operasi Boiler

- Temperatur cerobong
 - secara umum, semakin rendah temperature gas pada cerobong, semakin baik.
 - Tetapi tidak boleh terlalu rendah sehingga akan menyebabkan uap air dari gas hasil pembakaran menempel pada dinding cerobong.
 - Suhu gas stack $>300^{\circ}\text{C}$ mengindikasikan potensi untuk penghematan energi
- Konsentrasi stack gas
 - agar panas hasil pembakaran dapat dimanfaatkan secara efisien, maka selalu diusahakan untuk mengoptimalkan rasio antara oksigen dengan bahan bakar.
 - Pada pembakaran bahan bakar selalu digunakan oksigen berlebihan (lebih besar dari kebutuhan stoikiometrisnya).
 - Oksigen yang terlalu rendah akan menyebabkan pembakaran tidak sempurna, sementara oksigen yang terlalu tinggi akan menyebabkan hilangnya panas yang terbawa gas keluar stack menjadi lebih tinggi

Operasi Boiler

- Alat tambahan pada boiler
 - Pemasangan peralatan untuk penghematan energi seperti economizer, pre heater dll dapat mengurangi kebutuhan bahan bakar boiler tanpa penambahan capital investment yang besar.
 - Misal penambahan economizer sederhana dapat meningkatkan efisiensi boiler sebesar 1% untuk setiap kenaikan 10°F temperature umpan air. Tentu saja tergantung umur (kondisi) boiler dan harga bahan bakar.

Pemeliharaan Boiler

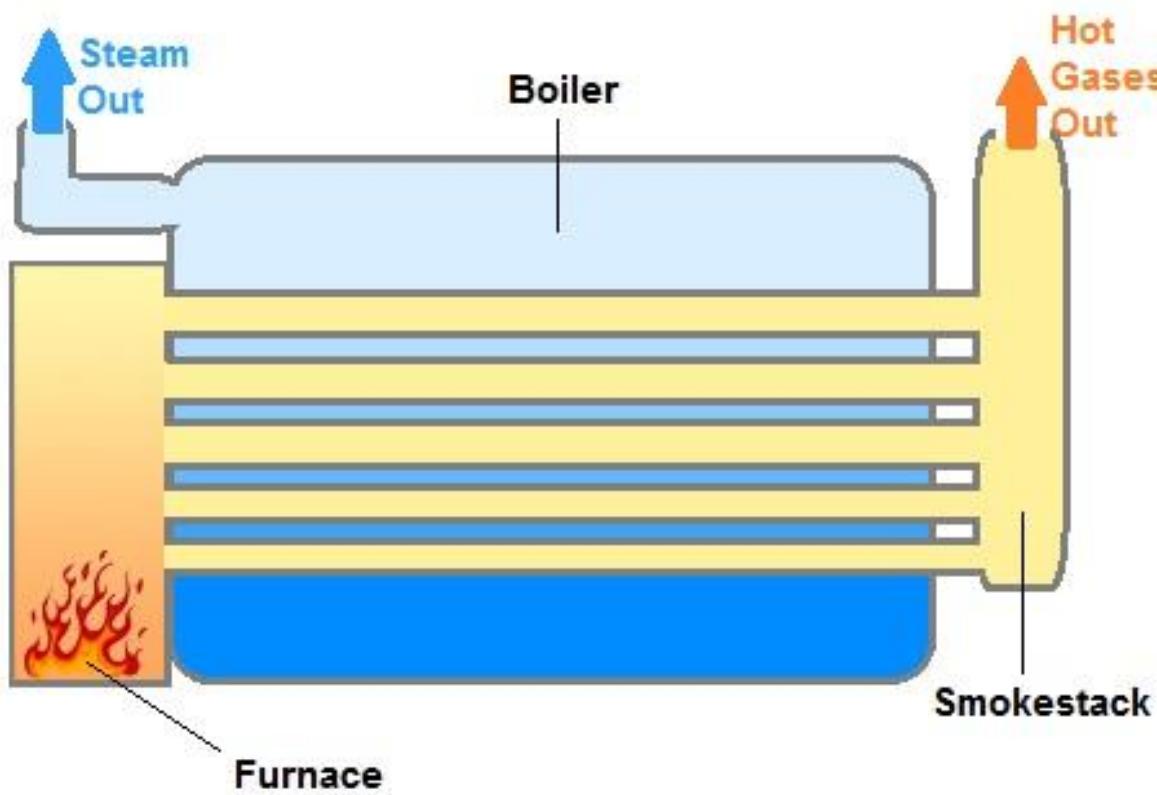
- Minimalkan pemakaian udara pembakar dengan pemantauan gas cerobong secara teratur, akan dapat diketahui berapa banyak oksigen yang digunakan dalam pembakaran
- Jaga agar permukaan transfer panas bersih kenaikan suhu stack kemungkinan mengindikasikan terbentuknya kerak pada boiler. Kerak akan menghambat transfer panas sehingga harus dibersihkan secara teratur
- Tes kandungan TDS (total dissolved solids) pada air boiler pemantauan kandungan TDS secara teratur akan mengindikasikan apakah blowdown sudah efektif
- Kurangi tekanan steam boiler pengurangan tekanan steam boiler akan mengurangi konsumsi bahan bakar
- Isolasi boiler beserta pipanya mengurangi kehilangan panas dengan menambah isolasi

Tipe Boiler

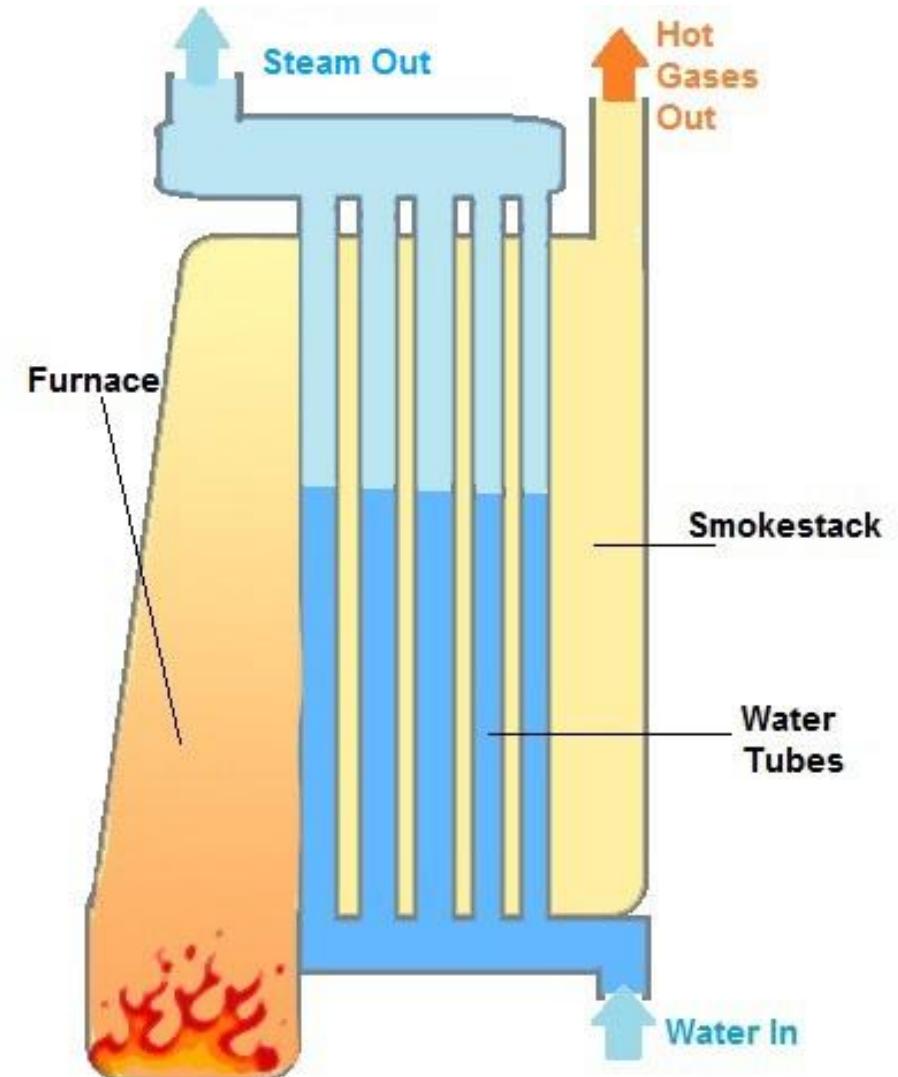
Berdasarkan letak aliran airnya, boiler dibagi menjadi :

1. Water tube Boiler
air yang akan berubah menjadi steam berada dalam pipa
2. Fire tube boiler
gas hasil pembakaran mengalir dalam pipa yang tercelup dalam air yang akan diubah menjadi steam

Fire tube boiler



Water tube boiler



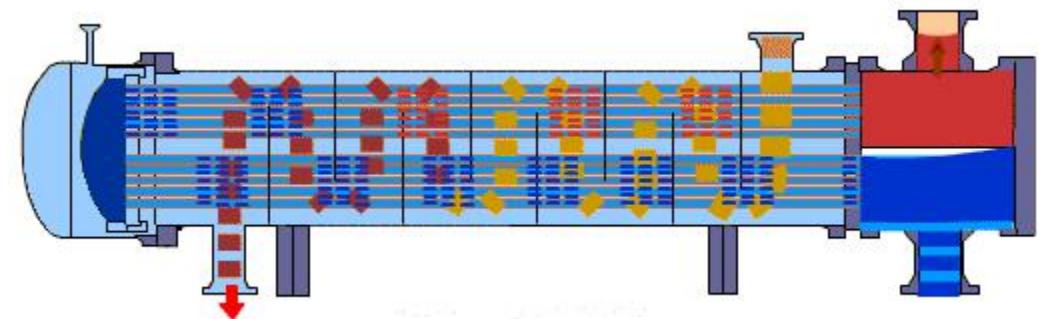
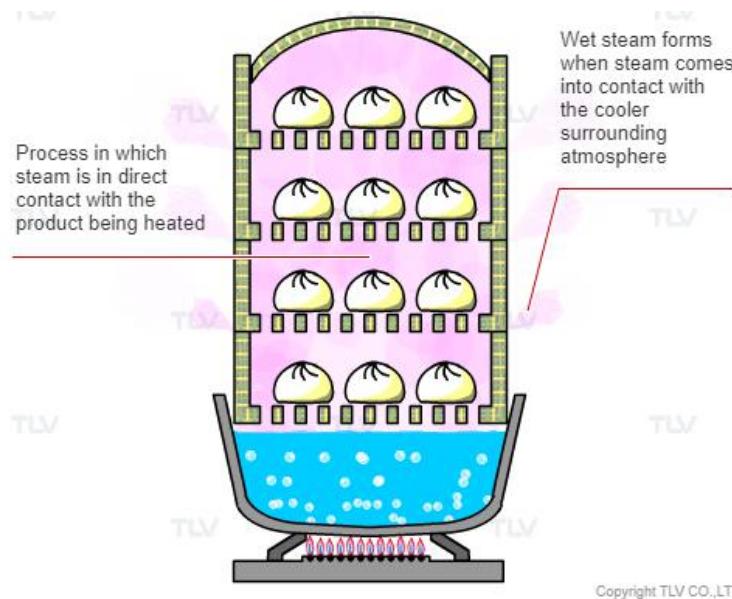
Contoh perhitungan pada boiler

STEAM

- Steam adalah invisible gas yang dihasilkan dengan penambahan panas ke dalam air.
- Saturated steam terjadi ketika steam dan air berada dalam kesetimbangan.
- Superheated steam adalah steam dengan suhu yang lebih tinggi daripada suhu didih air. Jika saturated steam dipanaskan pada tekanan konstan, maka suhunya akan naik dan menghasilkan superheated steam
- Kelebihan steam :
 - Range suhu operasinya luas
 - Tidak membutuhkan bahan dan konstruksi yang mahal

Kegunaan Steam

- Direct and Indirect heating
 - Direct heating : steam berkontak langsung dengan produk yang ingin dipanaskan
 - Indirect heating : contoh pada heat exchanger
- Drying
- Power generation pada steam turbine

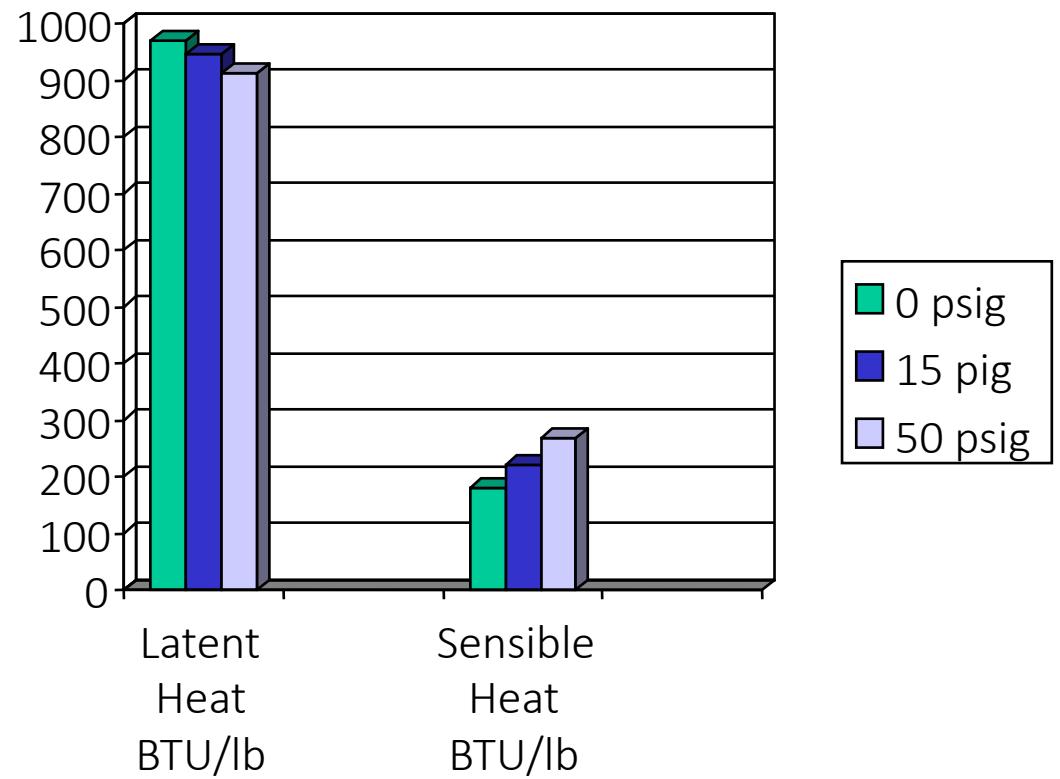


Bagaimana untuk menghasilkan steam

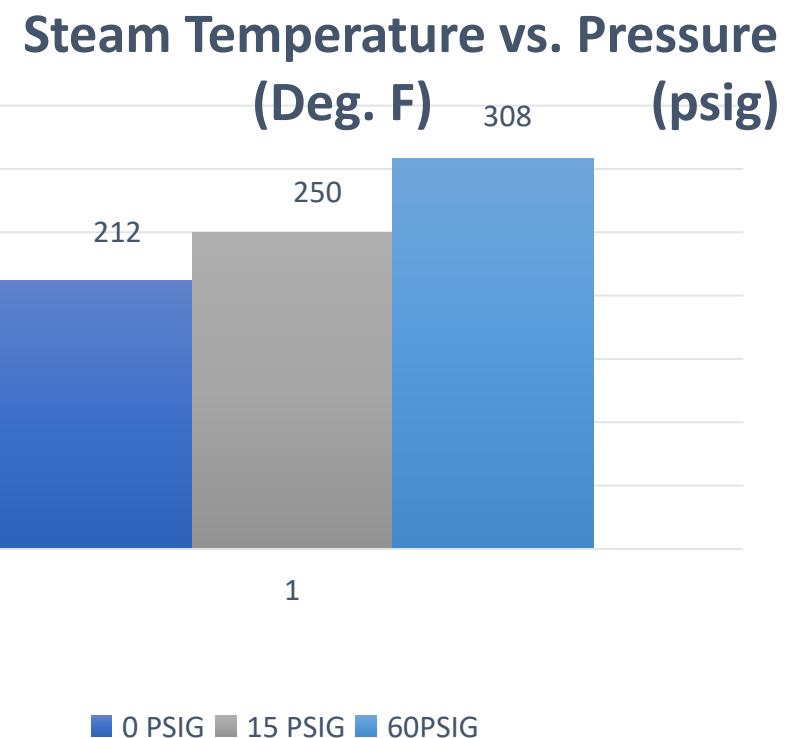
- Dengan menambah panas ke dalam air (dalam Btu)
- 1 Btu adalah panas yang diperlukan untuk menaikan suhu 1 lb air sebesar 1°F
- Panas untuk membuat steam ada 2 macam :
 - Panas sensible
panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu air dari 32°F ke suhu didihnya
 - Panas latent
panas yang dibutuhkan untuk mengubah air pada suhu didihnya menjadi steam pada suhu yang sama

Efek Tekanan

Menurunkan panas laten dan menaikkan panas sensible



Menaikkan suhu



The Pressure / Temperature Relationship

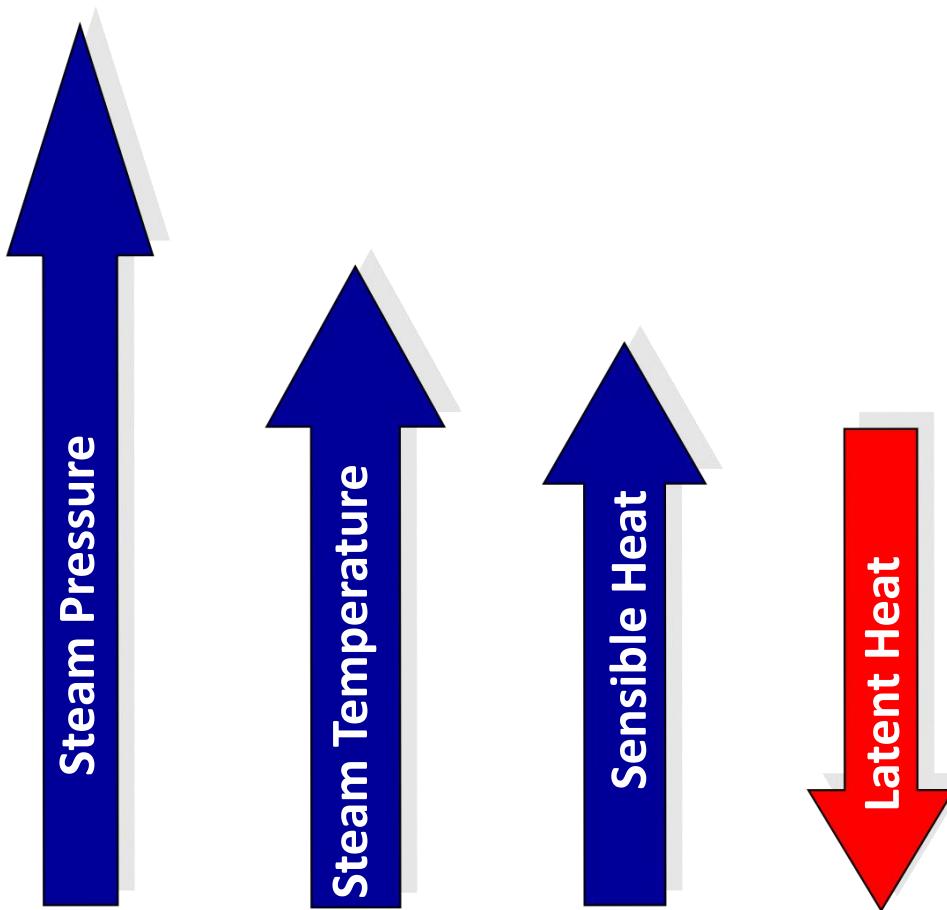


Table F.1 Saturated Steam, SI Units

$V = \text{SPECIFIC VOLUME } \text{cm}^3 \text{g}^{-1}$
 $U = \text{SPECIFIC INTERNAL ENERGY } \text{kJ kg}^{-1}$
 $H = \text{SPECIFIC ENTHALPY } \text{kJ kg}^{-1}$
 $S = \text{SPECIFIC ENTROPY } \text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$

T K	P kPa	SPECIFIC VOLUME V				INTERNAL ENERGY U				ENTHALPY H				ENTROPY S			
		sat. liq.	sat. evap.	sat. vap.	sat. liq.	sat. evap.	sat. vap.	sat. liq.	sat. evap.	sat. vap.	sat. liq.	sat. evap.	sat. vap.	sat. liq.	sat. evap.	sat. vap.	
0	273.15	0.611	1.000	206300	206300	-0.04	2375.7	2375.8	-0.04	2501.7	2501.8	0.0000	9.1578	9.1578			
0.01	273.16	0.611	1.000	206290	206290	0.00	2375.8	2375.8	0.00	2501.6	2501.6	0.0000	9.1575	9.1575			
1	274.15	0.657	1.000	192800	192800	4.17	2372.7	2376.9	4.17	2499.2	2503.4	0.0153	9.1158	9.1311			
2	275.15	0.705	1.000	179900	179900	8.39	2369.9	2378.3	8.39	2496.8	2505.2	0.0306	9.0741	9.1047			
3	276.15	0.757	1.000	168200	168200	12.60	2367.1	2379.7	12.60	2494.5	2507.1	0.0459	9.0326	9.0785			
4	277.15	0.813	1.000	157300	157300	16.80	2364.3	2381.1	16.80	2492.1	2508.9	0.0611	8.9915	9.0526			
5	278.15	0.872	1.000	147200	147200	21.01	2361.4	2382.4	21.01	2489.7	2510.7	0.0762	8.9507	9.0269			
6	279.15	0.935	1.000	137800	137800	25.21	2358.6	2383.8	25.21	2487.4	2512.6	0.0913	8.9102	9.0014			
7	280.15	1.001	1.000	129100	129100	29.41	2355.8	2385.2	29.41	2485.0	2514.4	0.1063	8.8689	8.9762			
8	281.15	1.072	1.000	121000	121000	33.60	2353.0	2386.8	33.60	2482.6	2516.2	0.1213	8.8300	8.9513			
9	282.15	1.147	1.000	113400	113400	37.80	2350.1	2387.9	37.80	2480.3	2518.1	0.1362	8.7903	8.9285			
10	283.15	1.227	1.000	106400	106400	41.99	2347.3	2389.3	41.99	2477.9	2519.9	0.1510	8.7510	8.9020			
11	284.15	1.312	1.000	99910	99910	46.18	2344.5	2390.7	46.19	2475.5	2521.7	0.1658	8.7119	8.8776			
12	285.15	1.401	1.000	93830	93840	50.38	2341.7	2392.1	50.38	2473.2	2523.6	0.1805	8.6731	8.8636			
13	286.15	1.497	1.001	88180	88180	54.55	2338.9	2393.4	54.57	2470.8	2525.4	0.1952	8.6345	8.8297			
14	287.15	1.597	1.001	82900	82900	58.75	2336.1	2394.8	58.75	2468.5	2527.2	0.2098	8.5963	8.8060			
15	288.15	1.704	1.001	77980	77980	62.94	2333.2	2396.2	62.94	2466.1	2529.1	0.2243	8.5582	8.7826			
16	289.15	1.817	1.001	73380	73380	67.12	2330.4	2397.8	67.13	2463.8	2530.9	0.2388	8.5205	8.7503			
17	290.15	1.935	1.001	69090	69090	71.31	2327.6	2398.9	71.31	2461.4	2532.7	0.2533	8.4830	8.7363			
18	291.15	2.062	1.001	65090	65090	75.49	2324.8	2400.3	75.50	2459.0	2534.5	0.2677	8.4458	8.7135			
19	292.15	2.195	1.002	61340	61340	79.68	2322.0	2401.7	79.68	2456.7	2536.4	0.2820	8.4088	8.6908			
20	293.15	2.337	1.002	57840	57840	83.86	2319.2	2403.0	83.86	2454.3	2538.2	0.2963	8.3721	8.6684			
21	294.15	2.485	1.002	54560	54560	88.04	2316.4	2404.4	88.04	2452.0	2540.0	0.3105	8.3356	8.6462			
22	295.15	2.642	1.002	51490	51490	92.22	2313.6	2405.8	92.23	2449.6	2541.8	0.3247	8.2994	8.6241			
23	296.15	2.808	1.002	48620	48620	96.40	2310.7	2407.1	96.41	2447.2	2543.6	0.3389	8.2634	8.6023			
24	297.15	2.982	1.003	45920	45920	100.6	2307.9	2406.5	100.6	2444.9	2545.5	0.3530	8.2277	8.5806			
25	298.15	3.166	1.003	43400	43400	104.8	2306.1	2409.9	104.8	2442.5	2547.3	0.3670	8.1922	8.5592			
26	299.15	3.360	1.003	41030	41030	106.9	2302.3	2411.2	106.9	2440.2	2549.1	0.3810	8.1569	8.5379			
27	300.15	3.564	1.003	38810	38810	115.1	2299.5	2412.6	113.1	2437.8	2550.9	0.3949	8.1218	8.5168			
28	301.15	3.778	1.004	36730	36730	117.3	2296.7	2414.0	117.3	2435.4	2552.7	0.4088	8.0870	8.4959			
29	302.15	4.004	1.004	34770	34770	121.5	2293.8	2415.3	121.5	2433.1	2554.5	0.4227	8.0524	8.4751			

Table F.2 Superheated Steam, SI Units

		TEMPERATURE: T Kelvin (TEMPERATURE: t°C)									
P/kPa	T/K(t°C)	sat. liq.	sat. vap.	346.15 (75)	373.15 (100)	398.15 (125)	423.15 (150)	448.15 (175)	473.15 (200)	498.15 (225)	523.15 (250)
1 280.13(6.96)	V	1.000	129200.	160640.	172180.	183720.	195270.	206810.	218350.	229890.	241430.
	U	29.334	2386.2	2480.6	2516.4	2552.3	2588.5	2624.9	2661.7	2698.8	2736.3
	H	29.335	2514.4	2641.5	2688.5	2735.0	2783.7	2831.7	2880.1	2928.7	2977.7
	S	0.1060	8.9767	9.3828	9.5136	9.6365	9.7527	9.8629	9.9679	10.0581	10.1641
10 318.96(45.83)	V	1.010	14670.	16030.	17190.	18350.	19510.	20660.	21820.	22980.	24130.
	U	191.822	2438.0	2479.7	2515.8	2551.6	2588.0	2624.5	2661.4	2698.8	2736.1
	H	191.832	2564.8	2640.0	2687.5	2735.2	2783.1	2831.2	2879.8	2928.4	2977.4
	S	0.6493	8.1511	8.3168	8.4486	8.5722	8.6888	8.7964	8.9045	9.0049	9.1010
20 333.24(60.09)	V	1.017	7649.8	8000.0	8384.7	8167.1	9748.0	10320.	10900.	11480.	12060.
	U	251.432	2456.9	2478.4	2514.6	2550.9	2587.4	2624.1	2661.0	2698.3	2736.8
	H	251.453	2609.9	2638.4	2686.3	2734.2	2782.3	2830.6	2879.2	2928.0	2977.1
	S	0.8321	7.9094	7.9933	8.1261	8.2504	8.3675	8.4785	8.5839	8.6844	8.7806
30 342.27(69.12)	V	1.022	5229.3	5322.0	5714.4	6104.6	6493.2	6880.8	7257.5	7653.8	8039.7
	U	269.271	2468.6	2477.1	2513.6	2550.2	2586.8	2623.6	2660.7	2698.0	2735.6
	H	269.302	2625.4	2638.6	2685.1	2733.3	2781.6	2830.0	2878.7	2927.6	2976.8
	S	0.9441	7.7695	7.8024	7.8363	8.0614	8.1791	8.2903	8.3960	8.4967	8.5930
40 349.04(75.89)	V	1.027	3993.4	.....	4279.2	4573.3	4865.8	5157.2	5447.8	5738.0	6027.7
	U	317.809	2477.1	.....	2512.6	2549.4	2586.2	2623.2	2660.3	2697.7	2735.4
	H	317.850	2638.9	.....	2683.8	2732.3	2780.9	2829.5	2878.2	2927.2	2976.5
	S	1.0261	7.6709	.....	7.8009	7.9268	8.0450	8.1566	8.2624	8.3633	8.4598
50 354.50(81.35)	V	1.030	3240.2	.....	3418.1	3654.5	3889.3	4123.0	4356.0	4588.5	4820.5
	U	340.513	2484.0	.....	2511.7	2548.8	2585.6	2622.7	2659.9	2697.4	2735.1
	H	340.564	2646.0	.....	2682.6	2731.4	2780.1	2828.9	2877.7	2926.8	2976.1
	S	1.0912	7.5947	.....	7.6853	7.8219	7.9406	8.0526	8.1587	8.2596	8.3564
75 364.94(81.79)	V	1.037	2216.9	.....	2269.8	2429.4	2587.3	2744.2	2900.2	3055.8	3210.9
	U	384.374	2498.7	.....	2509.2	2546.7	2584.2	2621.6	2659.0	2696.7	2734.5
	H	384.451	2683.0	.....	2679.4	2728.9	2778.2	2827.4	2876.6	2925.8	2975.3
	S	1.2131	7.4570	.....	7.5014	7.6300	7.7500	7.8829	7.9697	8.0712	8.1681
100 372.78(99.63)	V	1.043	1693.7	.....	1895.5	1816.7	1936.3	2064.7	2172.3	2289.4	2406.1
	U	417.406	2506.1	.....	2508.6	2544.8	2582.7	2620.4	2658.1	2695.9	2733.9
	H	417.511	2675.4	.....	2678.2	2726.5	2776.3	2825.9	2875.4	2924.9	2974.5
	S	1.3027	7.3598	.....	7.3618	7.4923	7.6137	7.7275	7.8349	7.9369	8.0342

COOLING TOWER

- Cooling tower mengurangi suhu air sehingga air bisa digunakan kembali di peralatan pertukaran panas lainnya.
- Cooling tower mendinginkan air dengan kombinasi transfer panas dan transfer massa.
- Menara pendingin menghilangkan panas dari air dengan kontak langsung dengan udara.
- Pendinginan dilakukan dengan kombinasi perpindahan panas sensible dan penguapan air.

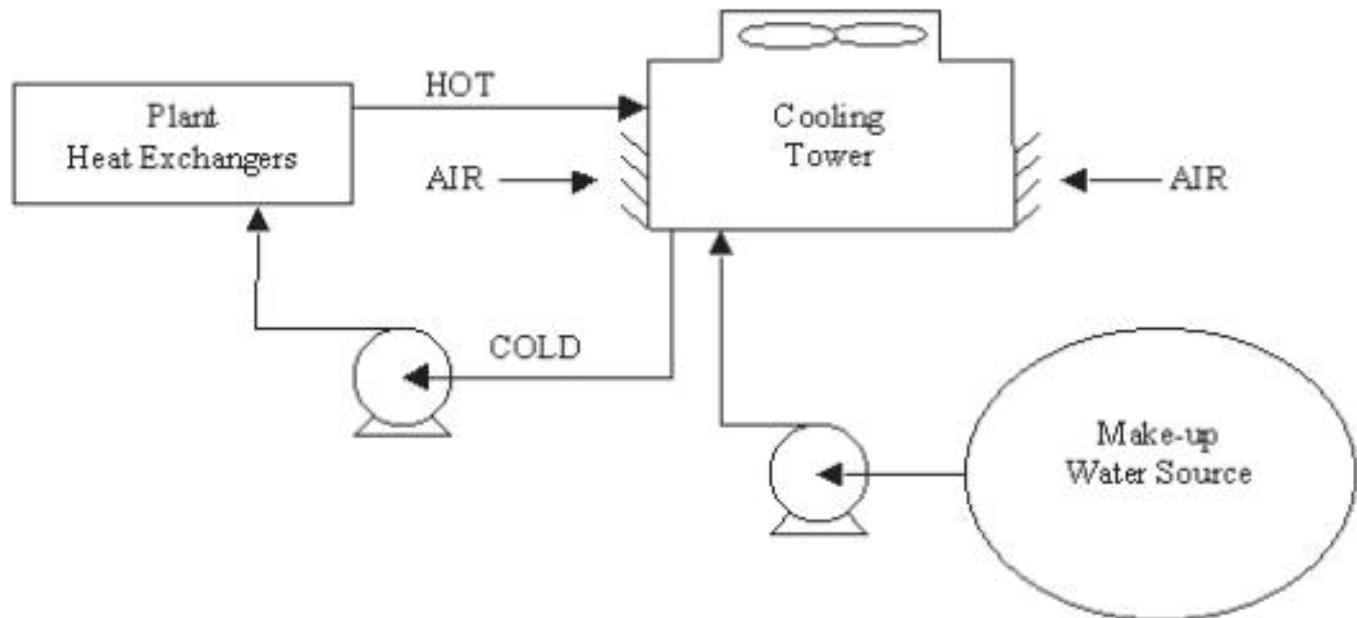
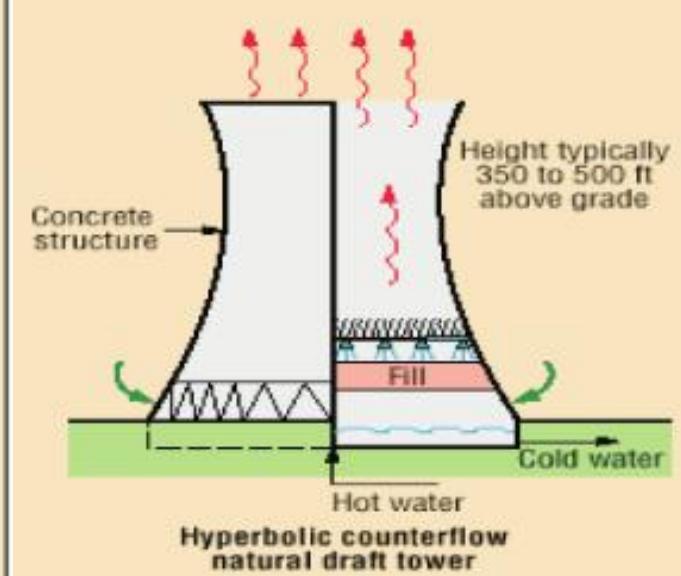
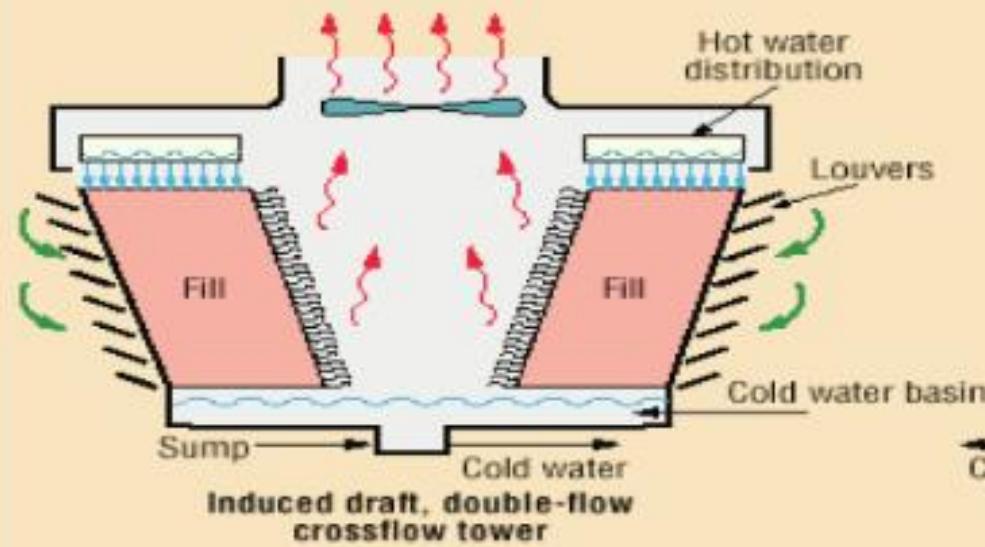
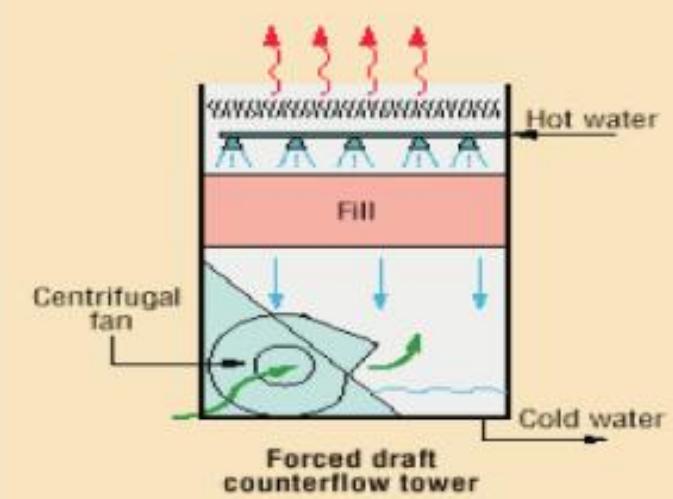
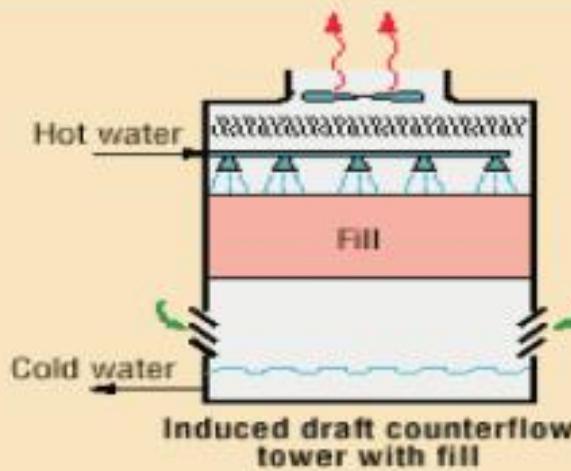
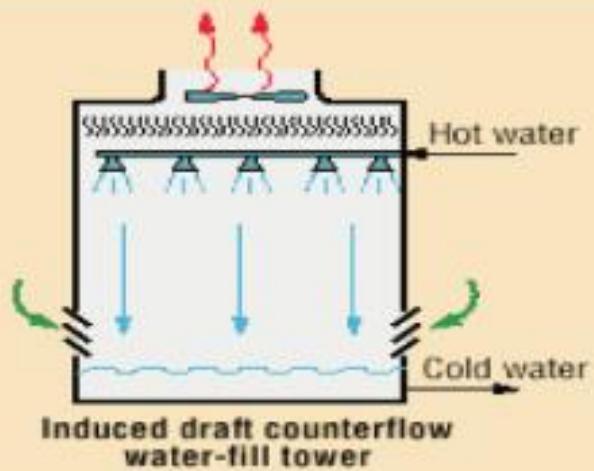
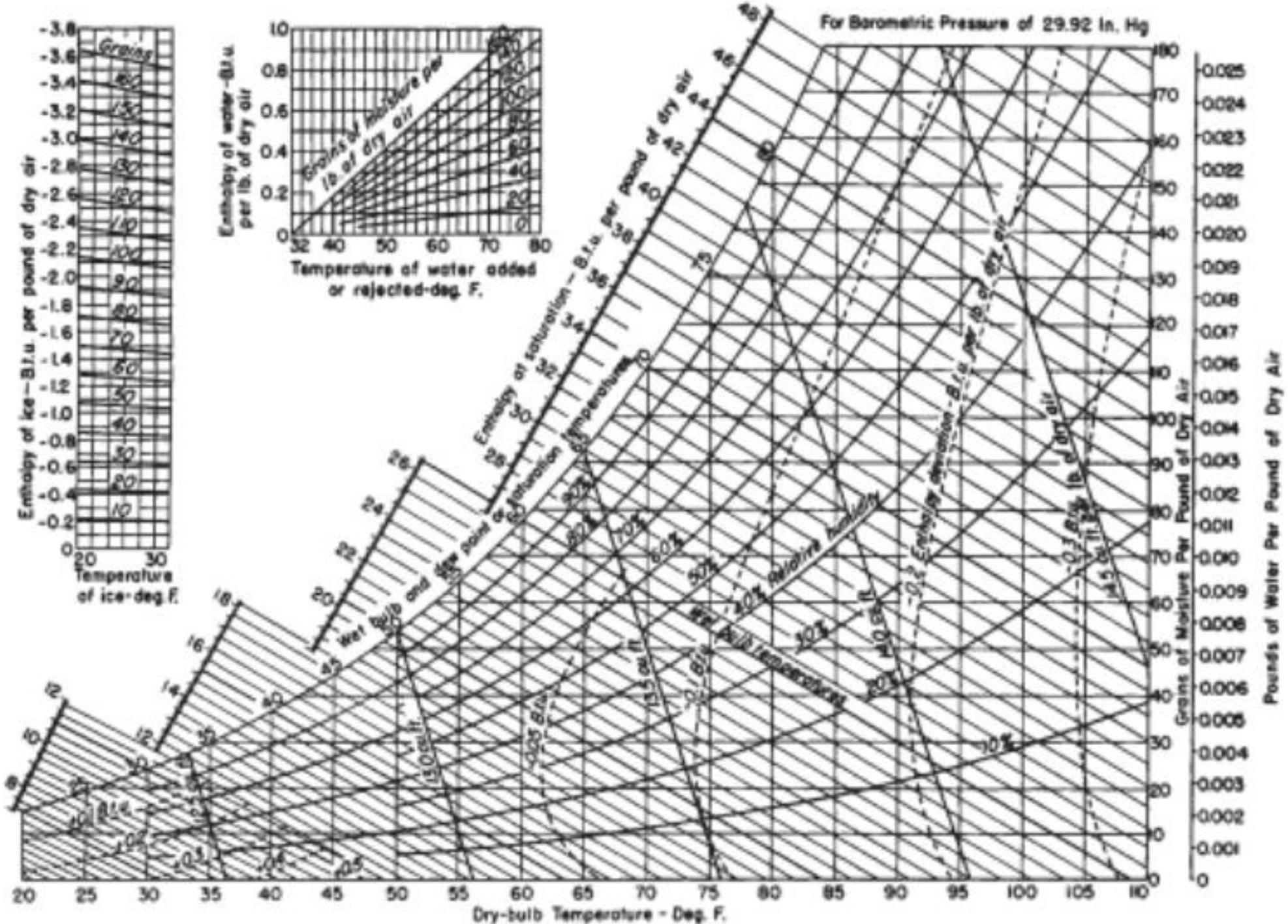


Figure 7.1 Cooling Water System



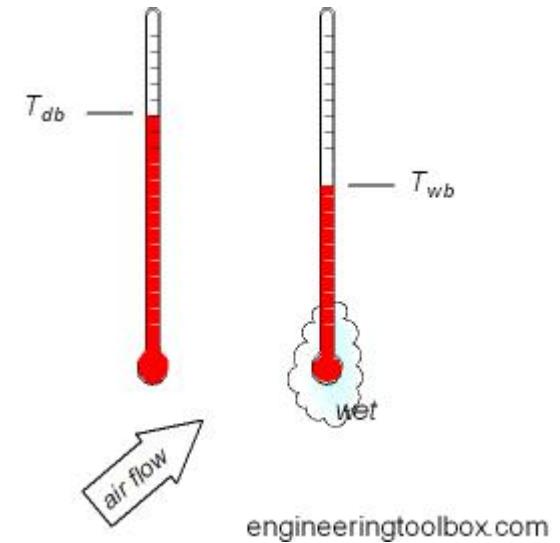
Hal-Hal yang Berkaitan dengan Kinerja Cooling Tower

- Temperature dry bulb
- Temperature wet bulb
- Range
- Approach



Temperature Dry dan Wet Bulb

- Temperatur udara sebagaimana umumnya diukur dengan menggunakan termometer biasa yang sering dikenal sebagai temperatur bola kering (dry bulb temperature)
- Disebut "Bulb Kering" karena suhu udara ditunjukkan dengan termometer yang tidak terpengaruh oleh kelembaban udara.
- Temperatur bola basah (wet bulb temperature) adalah temperatur yang terbaca jika bolanya diberi kasa basah, sehingga jika air menguap dari kasa dan bacaan suhu pada termometer menjadi lebih rendah daripada temperatur bola kering.
- Pada kelembaban tinggi, penguapan akan berlangsung lamban dan temperatur bola basah (T_{wb}) identik dengan temperatur bola kering (T_{db}).



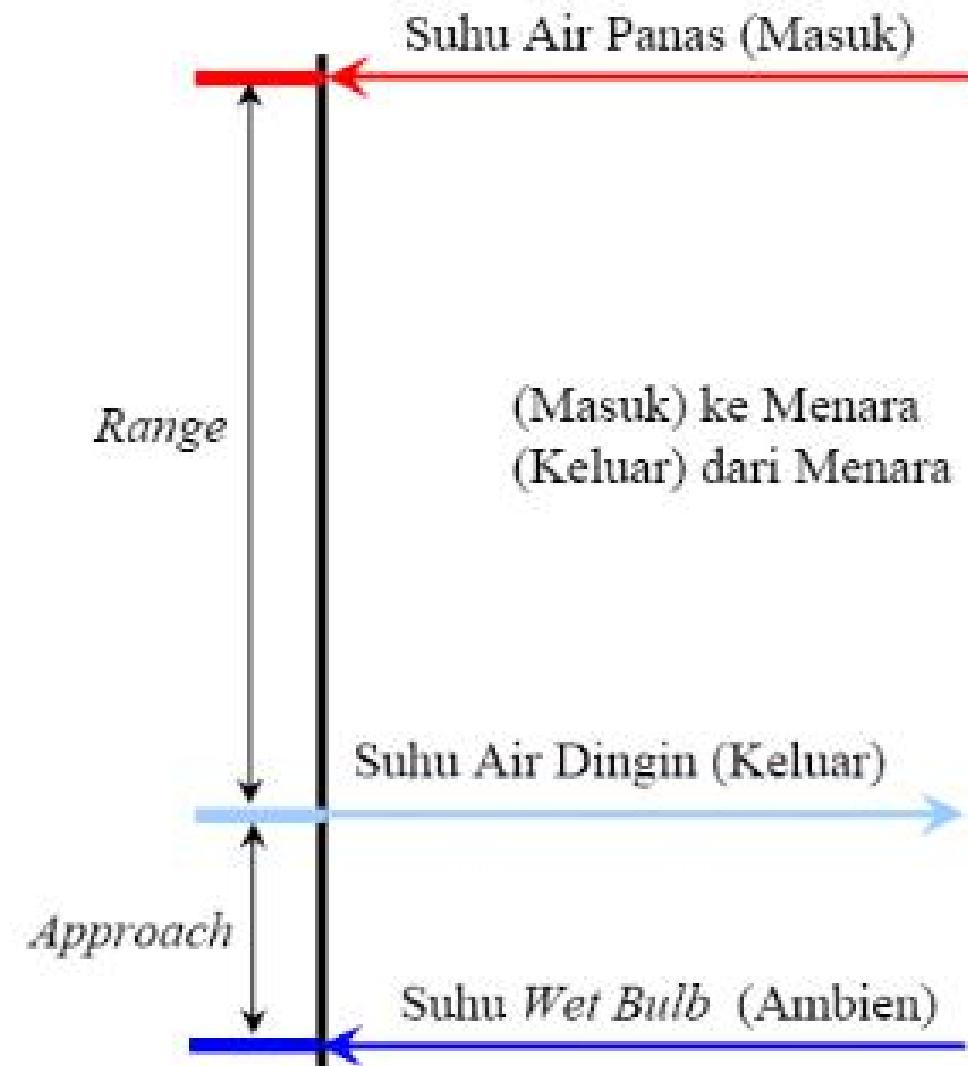
engineeringtoolbox.com

Range

- Range merupakan perbedaan antara temperatur air masuk dan keluar menara pendingin.
- Range yang tinggi berarti bahwa menara pendingin telah mampu menurunkan temperatur air secara efektif dan kinerjanya baik.
- Range pada suatu alat penukar kalor ditentukan seluruhnya oleh beban panas dan laju sirkulasi air yang melalui penukar panas dan menuju ke air pendingin.
- Menara pendingin biasanya dikhkususkan untuk mendinginkan laju aliran tertentu dari satu temperatur ke temperatur lainnya pada temperatur wet bulb tertentu.

Approach

- Approach adalah perbedaan antara temperatur air dingin keluar menara pendingin dan temperatur wet bulb.
- Semakin rendah approach semakin baik kinerja menara pendingin. Walaupun range dan approach harus dipantau, akan tetapi, approach merupakan indikator yang lebih baik untuk kinerja Menara pendingin.
- Semakin dekat approach terhadap wet bulb, akan semakin mahal menara pendinginnya karena meningkatnya ukuran.



Perhitungan untuk Menentukan Luas Area Cooling Tower

- Suhu air masuk (T_1) = 50°C = 122°F
- Suhu air keluar (T_2) = 30°C = 86°F
- Suhu wet bulb = 24°C = 75.2°F

Dari figure 12-14 Perry diperoleh
Water concentration = 2 gpm/ft^2

Flowrate air = 1000 gpm

Luas = 500 ft^2

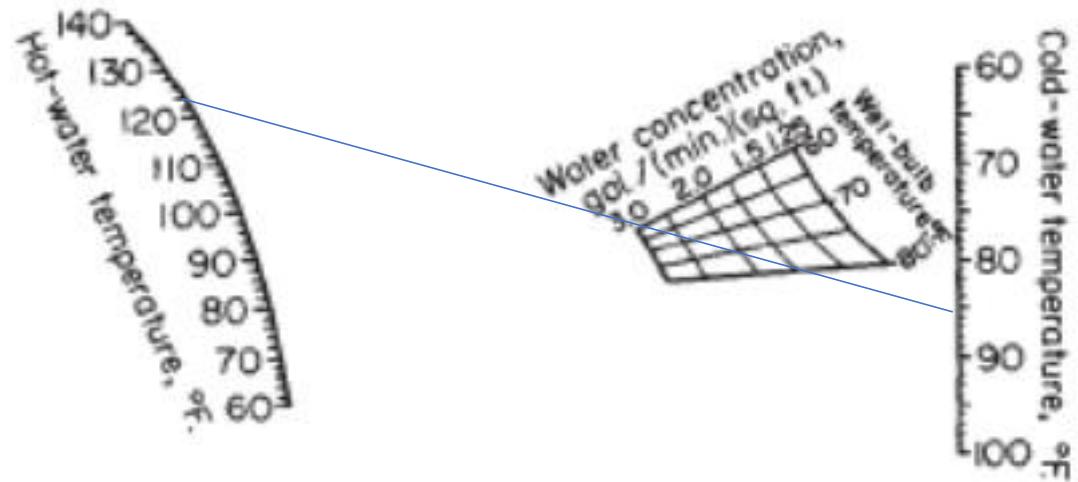


FIG. 12-14 Sizing chart for a counterflow induced-draft cooling tower, for induced-draft towers with (1) an up spray distributing system with 24 ft of fill or (2) a flume-type distributing system and 32 ft of fill. The chart will give approximations for towers of any height. (Ecdyne Corp.)

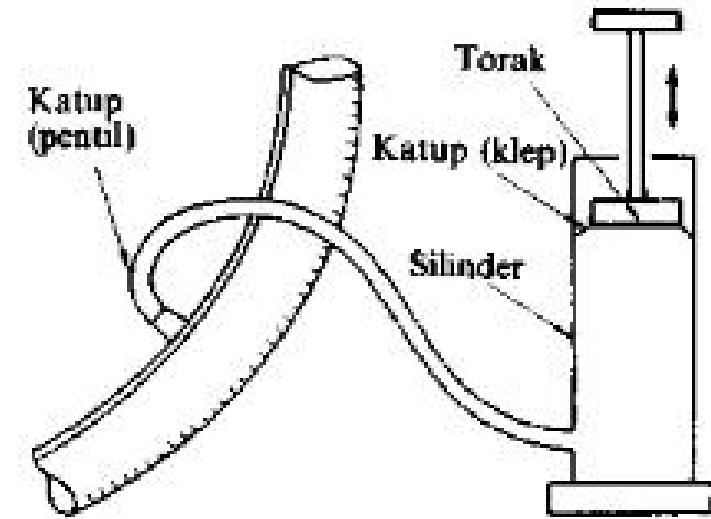
KOMPRESOR DAN POMPA

KOMPRESOR

- Alat yang berfungsi untuk memampatkan udara atau gas sehingga menghasilkan udara atau gas yang bertekanan.
- Menghisap udara / gas pada 1 atm atau lebih.
- Jika menghisap gas pada $< 1 \text{ atm}$ = kompresor vakum (pompa vakum).
- Kompresor udara umumnya digunakan untuk kebutuhan udara tekan
- Kompresor untuk berbagai jenis gas yang bukan udara sebagai fluida kerja, banyak digunakan sebagai peralatan utama dalam kegiatan industri proses.

Prinsip Kerja Kompresor

- Tekanan dalam silinder dikecilkan (dibawah 1 atm), sehingga udara dapat masuk terisap.
- Volume udara dikecilkan sehingga tekanannya akan meningkat.
- Volume terus dikecilkan dan tekanan udara akan semakin besar hingga akan terdorong ke tempat yang dikehendaki.



Gb. 1.5 Prinsip kompresor adalah mirip dengan pompa ban.

Jenis Kompresor

Klasifikasi kompresor menurut tekanan yang dihasilkan :

- Kompresor tekanan tinggi
- Blower untuk tekanan yang agak rendah
- Kipas (fan) = tekanan rendah

POMPA

- Alat untuk memindahkan fluida (cairan ataupun pasta) melalui sistem pemipaan tertentu.
- Mengapa pompa dapat memindahkan fluida?
- Pompa berperan meningkatkan energi mekanik fluida.
- Energi tersebut digunakan untuk meningkatkan kecepatan, tekanan dan ketinggian fluida.
- Pada umumnya untuk meningkatkan energi mekanik fluida ada dua teknik:
 1. Positive displacement, memberikan tekanan langsung pada fluida
 2. Sentrifugal, untuk membangkitkan rotasi.

Jenis-Jenis Pompa

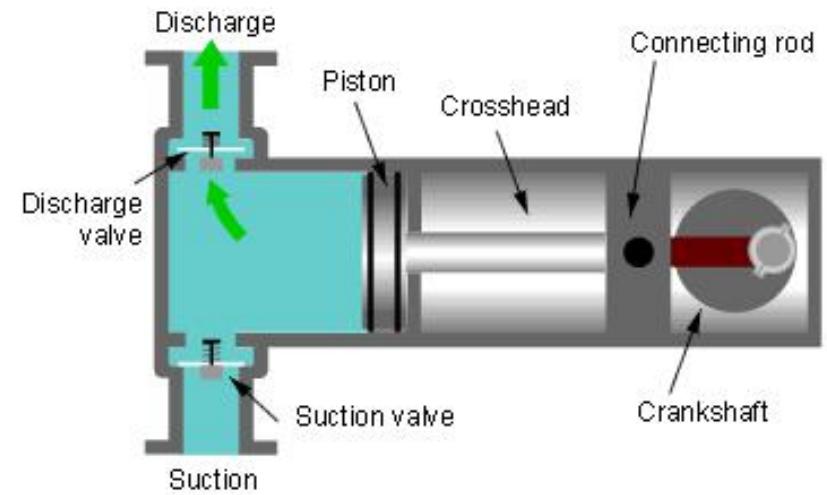
- Positive Displacement Pump
 - Reciprocating Pump
 - Rotary Pump
- Centrifugal Pump

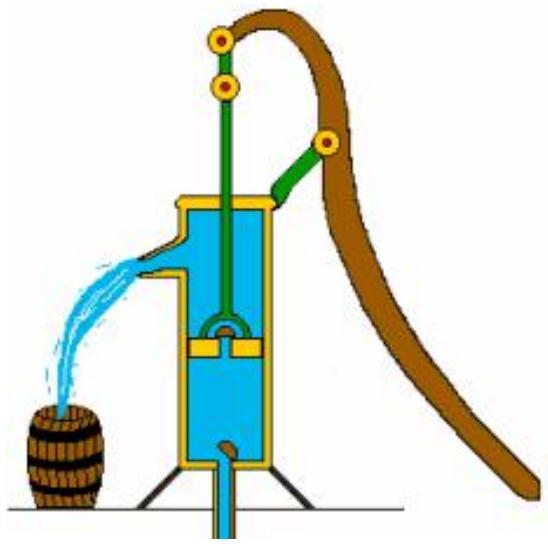
Positive Displacement Pump

- perpindahan fluida akibat adanya dorongan dari komponen (rotor,piston) pompa yang bergerak.
- Kapasitas yang dihasilkan oleh pompa tekan adalah sebanding dengan kecepatan pergerakan atau kecepatan putaran, sedangkan total head (tekanan) yang dihasilkan oleh pompa ini tidak tergantung dari kecepatan pergerakan atau putaran.
- Reciprocating Pump
- Rotary Pump

Reciprocating Pump

- Meliputi: pompa piston, pompa plunyer, pompa diafragma.
- Fluida cair ditarik melalui katup-searah pemasuk ke dalam silinder dengan menarik piston, dan didorong keluar
- Piston digerakkan oleh motor.
- Kapasitas kecil tapi dapat beroperasi pada head yang tinggi.
- Sesuai untuk fluida yang viscous dan tekanan tinggi (50 – 1500 atm).
- Perawatan rumit.

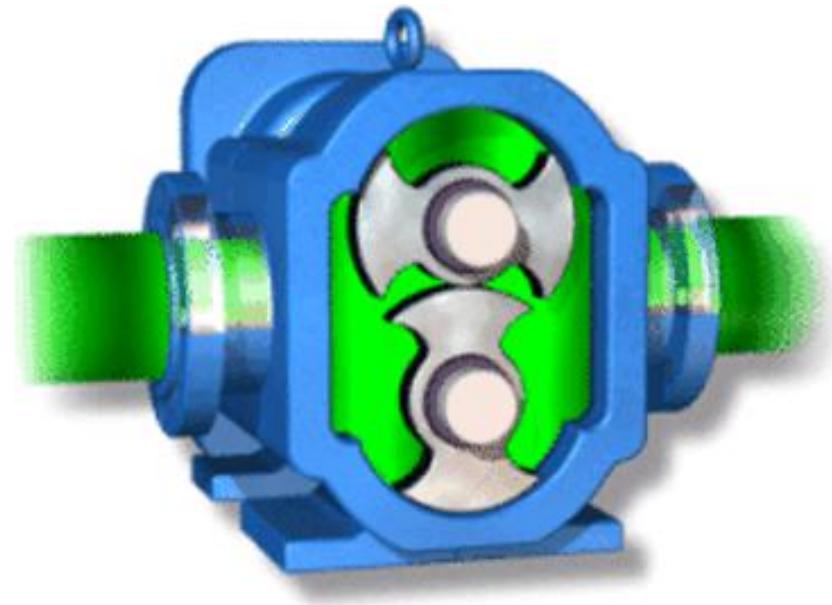


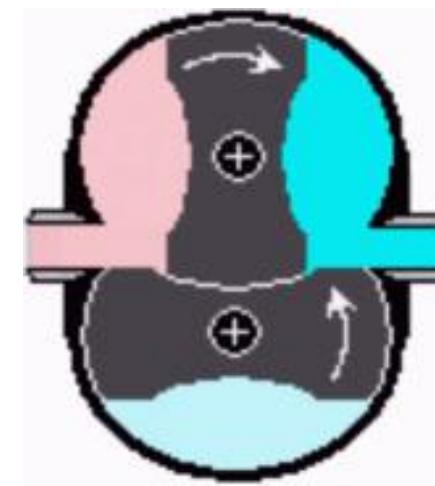
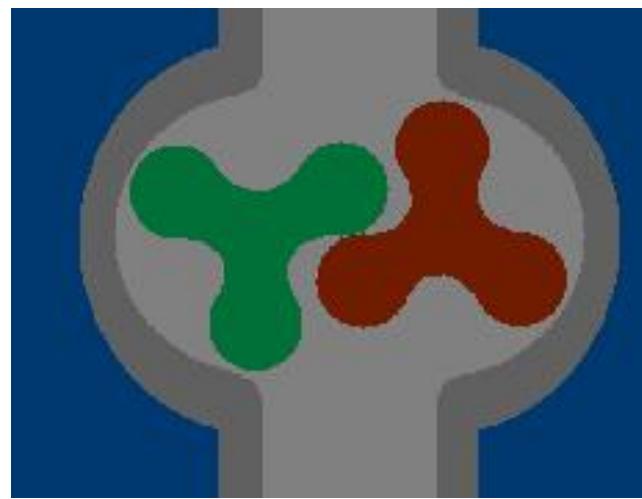


REV

Rotary Pump

- Meliputi: pompa roda gigi, pompa ulir
- Pompa jenis ini memiliki prinsip kerja yang tidak jauh berbeda dengan pompa reciprocating, tetapi elemen pemindahnya tidak bergerak secara translasi melainkan bergerak secara rotasi di dalam casing (hoursing).
- Perpindahan dilakukan oleh gaya putaran sebuah gear, cam dan baling-baling didalam sebuah ruang bersekat pada casing yang tetap.
- Tekanan dapat mencapai 200 atm.

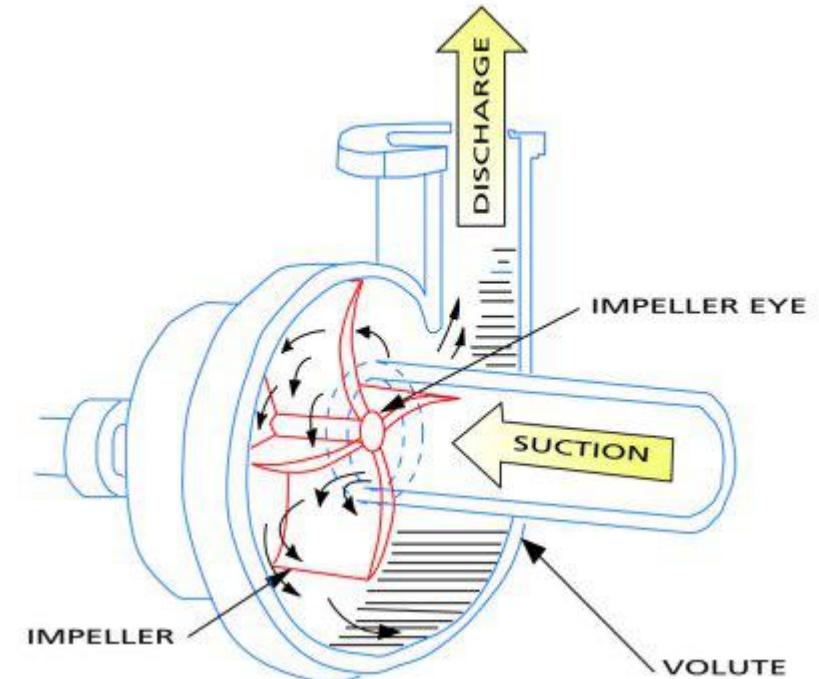




REV

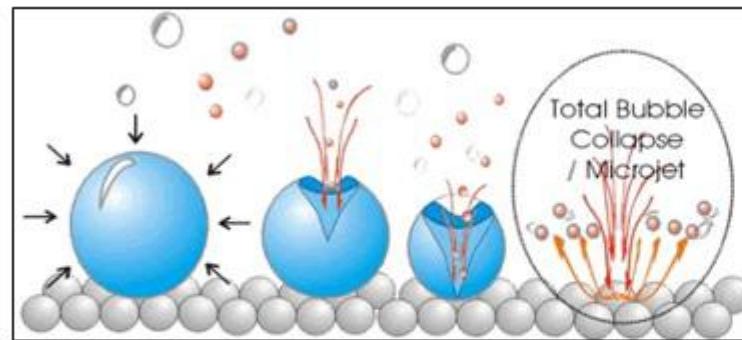
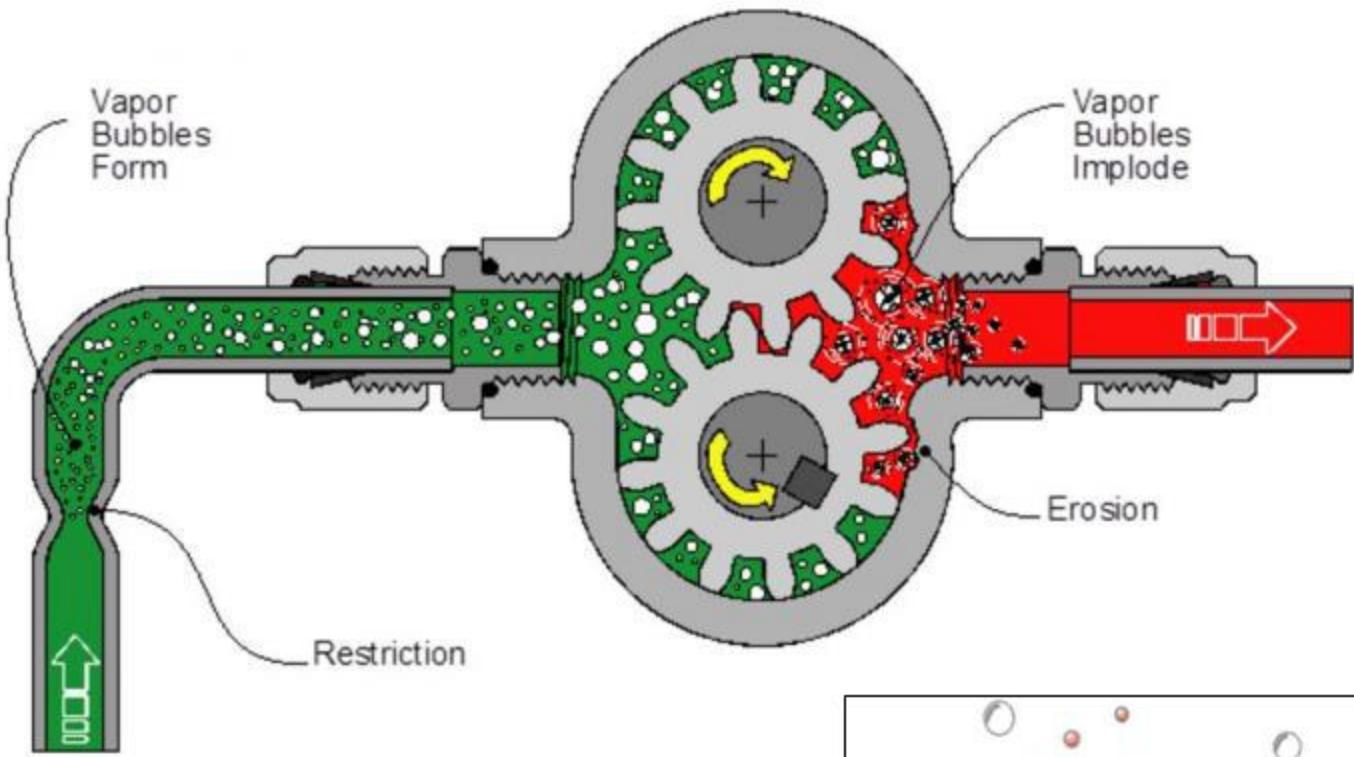
Centrifugal Pump

- perpindahan fluida yang bersentuhan dengan impeler yang sedang berputar menimbulkan gaya sentrifugal menyebabkan fluida terlempar keluar.
- Kapasitas yang di hasilkan oleh pompa sentrifugal adalah sebanding dengan putaran, sedangkan total head (tekanan) sebanding dengan kuadrat dari kecepatan putaran.
- Kapasitas besar, tapi head lebih rendah.
- Sesuai untuk fluida yang encer.
- Konstruksi lebih sederhana, perawatan lebih mudah.



Kavitası

- Dalam transportasi fluida cair, pastikan fluida tetap cair dan tidak berubah fase.
- Kavitası adalah gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya berkurang sampai di bawah tekanan uap jenuhnya
- Apabila zat cair mendidih, maka akan timbul gelembung-gelembung uap zat cair.
- Pada pompa, bagian suction mudah mengalami kavitası. Kavitası akan timbul jika tekanan suction terlalu rendah.
- Jika pompa dijalankan dalam keadaan kavitası secara terus menerus, maka permukaan dinding saluran di sekitar aliran yang mengalami kavitası akan mengalami kerusakan (berlubang-lubang, akibat dari tumbukan gelembung-gelembung uap yang pecah pada dinding secara terus menerus).
- Tekanan isap (suction) harus lebih besar dari tekanan uap fluida.



Formation of a micro-jet.

Source: The Compton Group



Pitted erosion caused by cavitation.

Source: hollandaptblog

NPSH

- Net Positive Suction Head (beda tekanan suction pompa dengan tekanan uap jenuh cairan)
 - $NPSH_A$ available
 - $NPSH_R$ required
- $NPSH_A$ adalah fungsi dari system yang nilainya dapat dihitung. Sedangkan $NPSH_R$ adalah fungsi dari pompa yang disediakan oleh manufacturer.
- $NPSH_A > NPSH_R$ agar tidak terjadi kavitasii

$$NPSH_A = \left(\frac{p_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} \right) - \frac{p_v}{\rho g}$$

- p_i = tekanan pada inlet
- V_i = kecepatan zat cair masuk
- p_v = tekanan uap zat cair

PERHITUNGAN PADA POMPA

TABLE 23. DIMENSIONS OF THREADED PIPE

Nominal Pipe Size, in.	Out-side Diameter, in.	Low-Carbon Steel Pipe (ASA B36.10)						Underground Water Pipe (AWWA 7A.4), Thickness, in.	Cast-Iron Pipe (ASA A40.5), Thickness, in.	Brass and Copper Pipe (ASTM B42 and B43), Thickness, in.			
		Thickness, in.		Inside Diameter, in.		Transverse Internal Area, sq in.				Standard	Extra Strong		
		Sched-ule 40	Sched-ule 80	Sched-ule 40	Sched-ule 80	Schedule 40	Schedule 80						
1/8	0.405	0.068	0.095	0.269	0.215	0.0569	0.0363	0.068		0.062	0.100		
1/4	0.540	0.088	0.119	0.364	0.302	0.1041	0.0716	0.088		0.082	0.123		
3/8	0.675	0.091	0.126	0.493	0.423	0.1909	0.1405	0.091		0.090	0.127		
1/2	0.840	0.109	0.147	0.622	0.546	0.3039	0.2341	0.109		0.107	0.149		
5/8	1.050	0.113	0.154	0.824	0.742	0.5333	0.4324	0.113		0.114	0.157		
1	1.315	0.133	0.179	1.049	0.957	0.8639	0.7193	0.133		0.126	0.882		
1 1/4	1.660	0.140	0.191	1.380	1.278	1.495	1.282	0.140	0.187	0.146	0.194		
1 1/2	1.900	0.145	0.200	1.610	1.500	2.036	1.767	0.145	0.195	0.150	0.203		
2	2.375	0.154	0.218	2.067	1.939	3.356	2.953	0.154	0.211	0.156	0.221		
2 1/2	2.875	0.203	0.276	2.469	2.323	4.788	4.238	0.203	0.241	0.187	0.280		
								Min	Max				
3	3.500	0.216	0.300	3.068	2.900	7.393	6.605	0.125	0.300	0.263	0.219	0.304	
3 1/2	4.000	0.226	0.318	3.548	3.364	9.888	8.891	0.125	0.318	0.250	0.321		
4	4.500	0.237	0.337	4.026	3.826	12.73	11.50	0.125	0.337	0.294	0.250	0.341	
5	5.563	0.258	0.375	5.047	4.813	20.01	18.19	0.156	0.375	0.328	0.250	0.375	
6	6.625	0.280	0.432	6.065	5.761	28.89	26.07	0.188	0.432	0.378	0.250	0.437	
8	8.625	0.322	0.500	7.981	7.625	50.03	45.66	0.188	0.500	0.438	0.312	0.500	
10	10.750	0.365	0.593	10.020	9.564	78.85	71.84	0.188	0.500	0.438	0.365	0.500	
12	12.750	0.406	0.687	11.938	11.376	111.93	101.64	0.188	0.500	0.438	0.375		

TRANSPORTATION OF FLUIDS—ENERGY RELATIONS

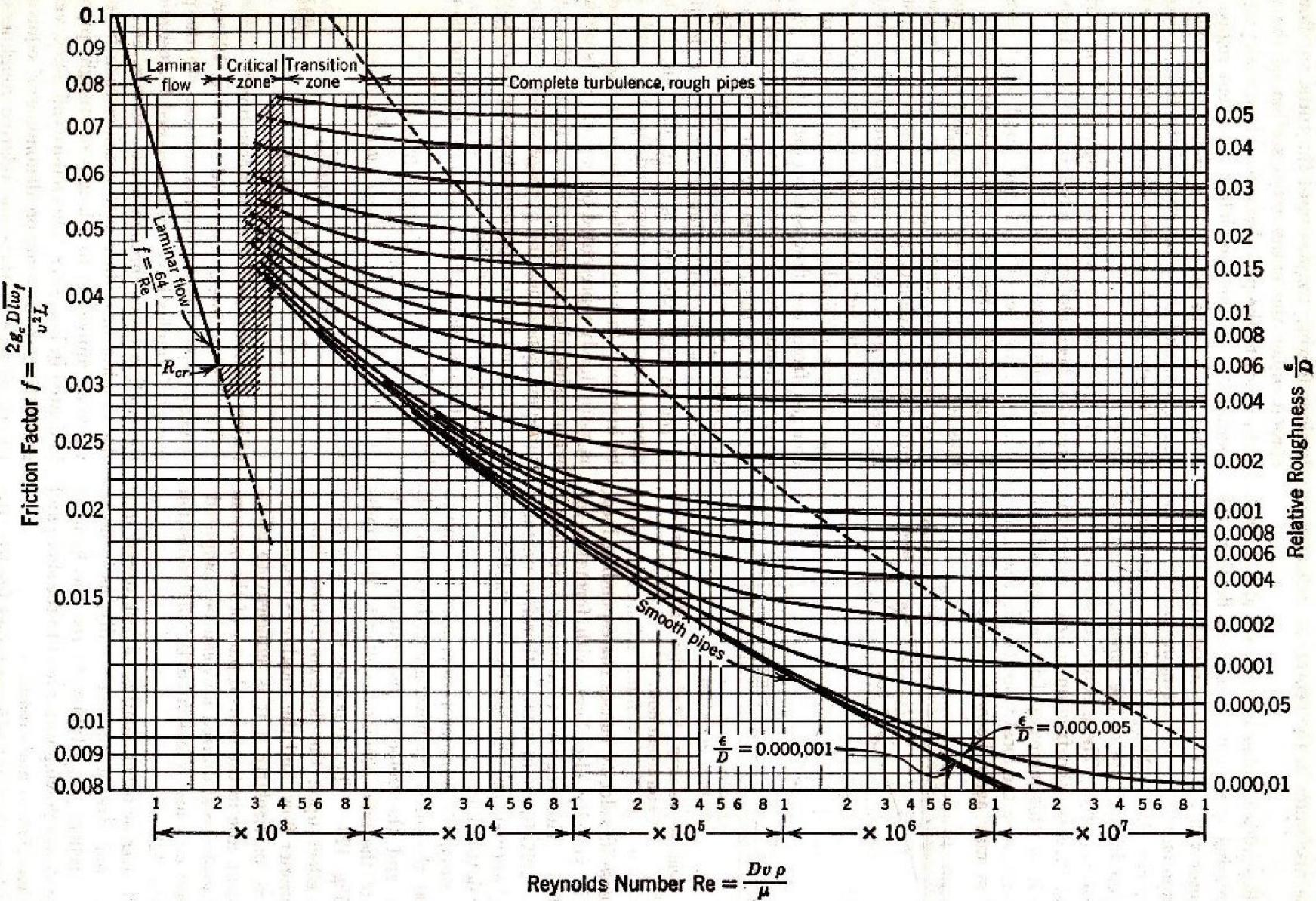


FIG. 125. Friction factor as a function of Reynolds number with relative roughness as a parameter.*

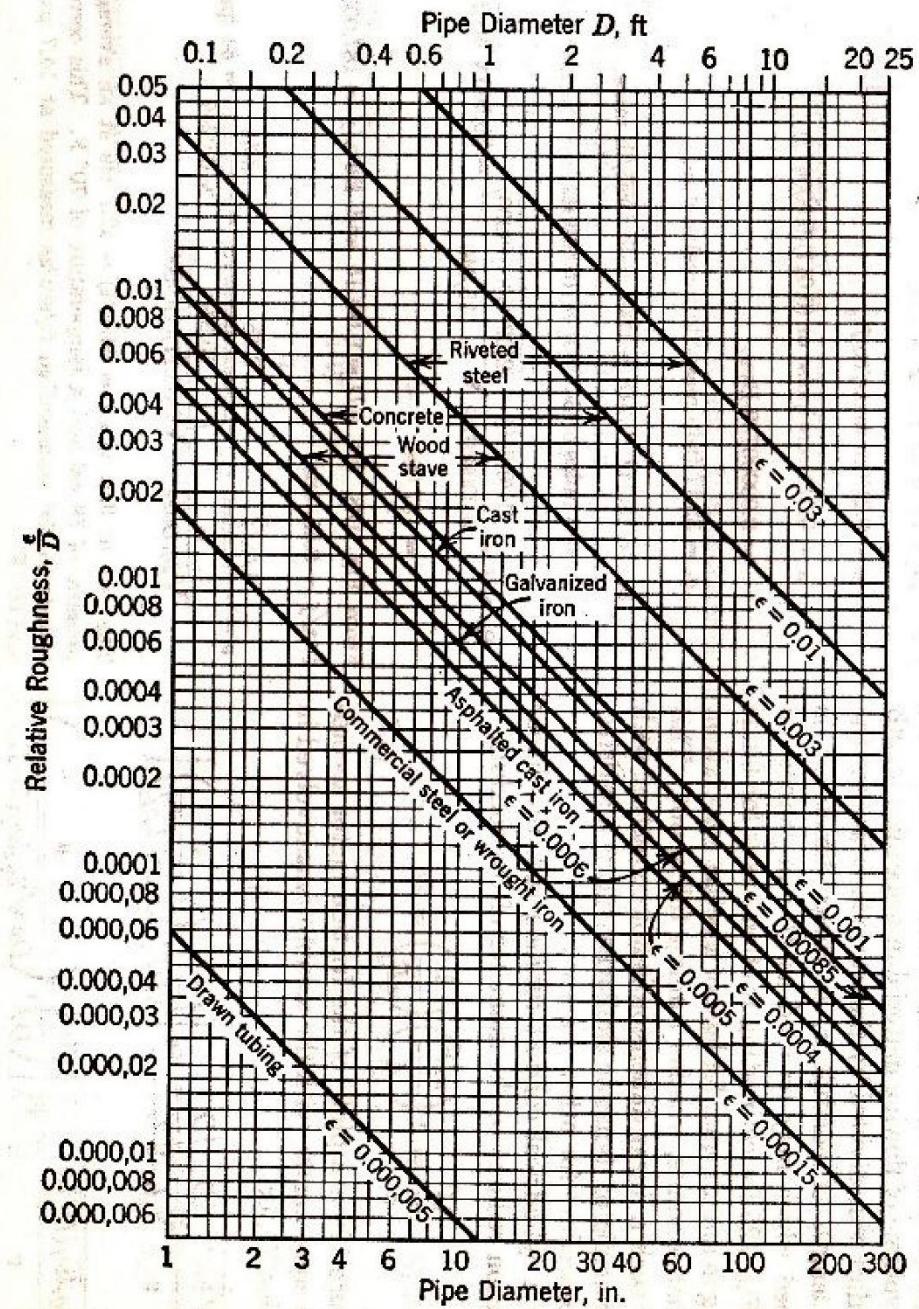


FIG. 126. Relative roughness as a function of diameter for pipe of various materials.⁴

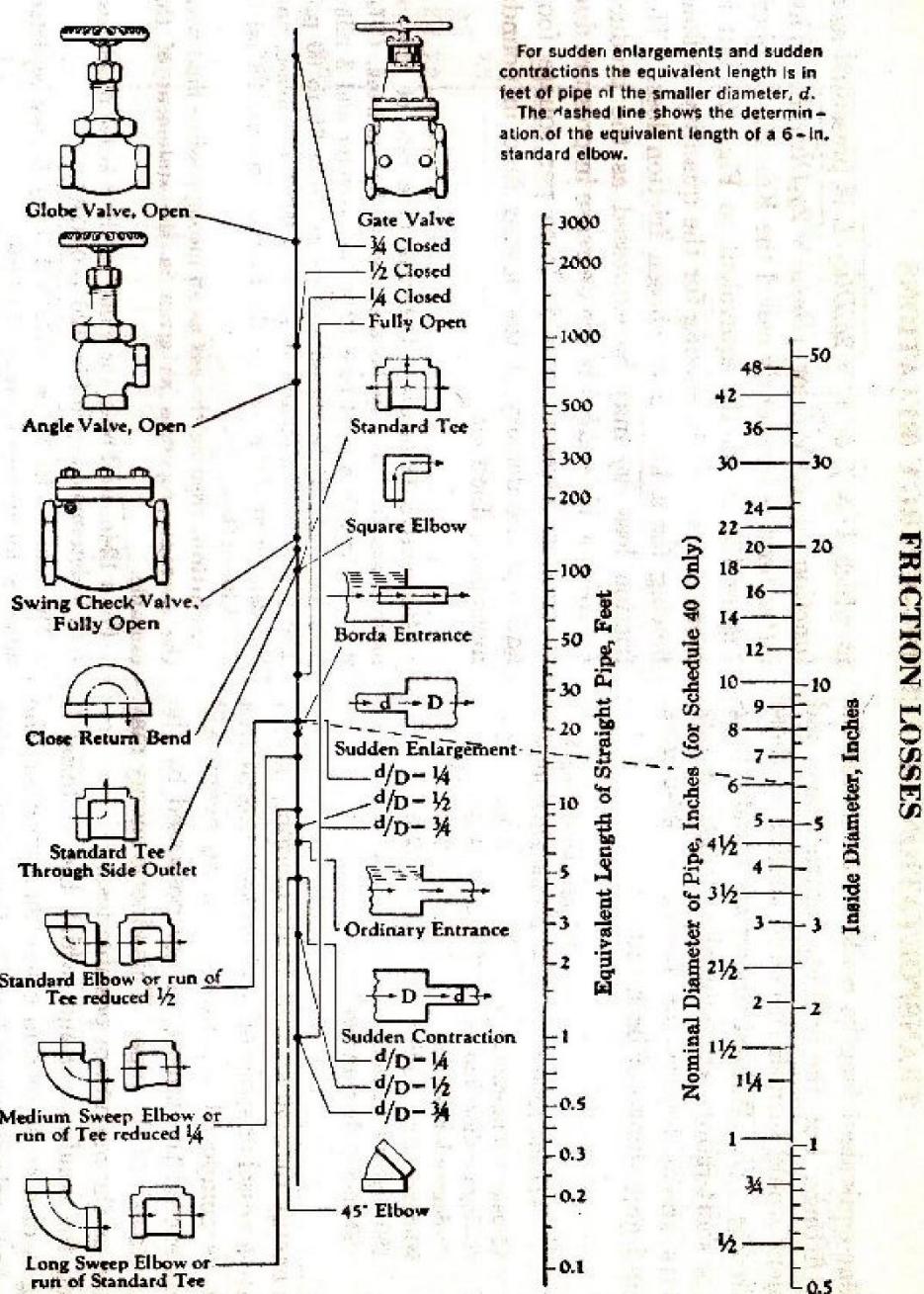
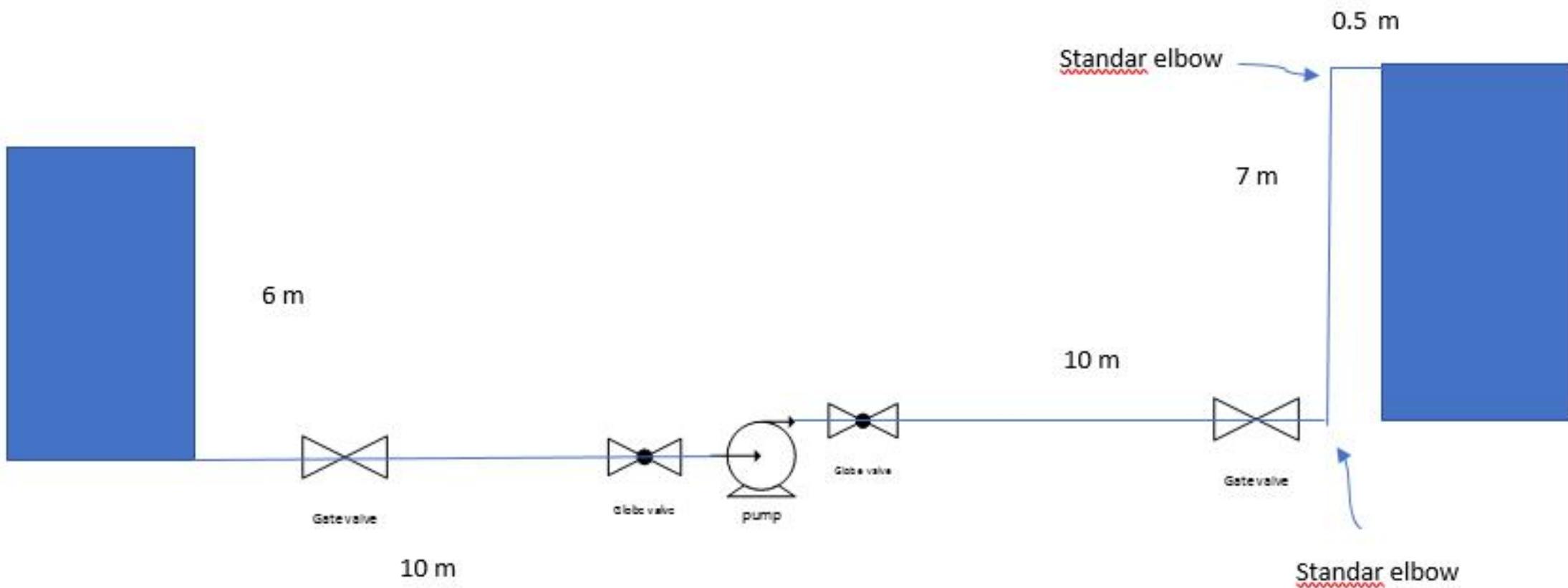


Fig. 127. Equivalent lengths of valves and various fittings. (Crane Co.)

TABLE 2.5. Roughness Factor ϵ for Clean Pipes^a

Pipe material	ϵ , mm
Riveted steel	1-10
Concrete	0.3-3
Cast iron	0.26
Galvanized iron	0.15
Commercial steel	0.046
Wrought iron	0.046
Drawn tubing	0.0015
Glass	0.0
Plastic	0.0

*Selected from Levenspiel(1984, p. 22).



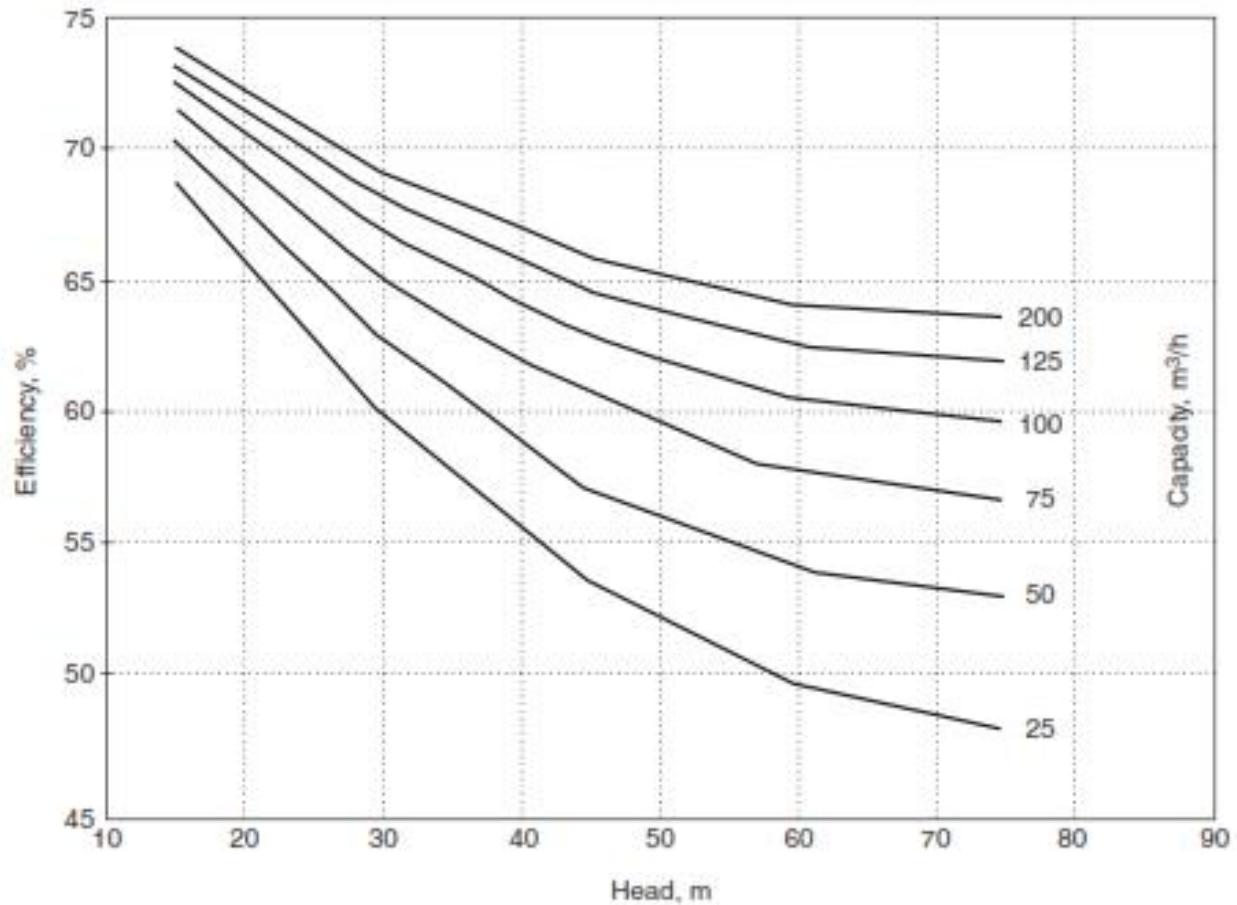
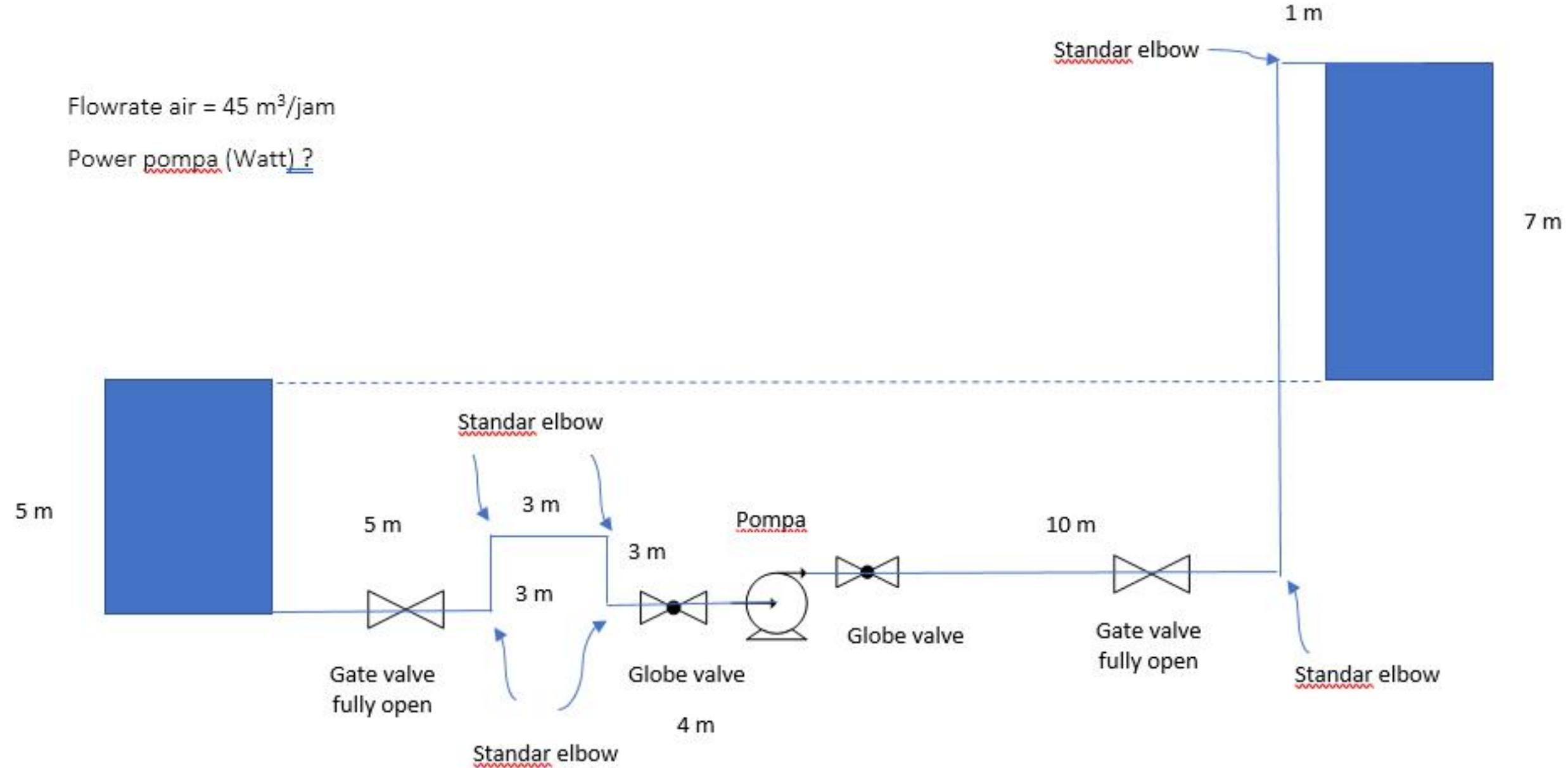


Figure 5.9. Centrifugal pump efficiency

Flowrate air = $45 \text{ m}^3/\text{jam}$

Power pompa (Watt) ?

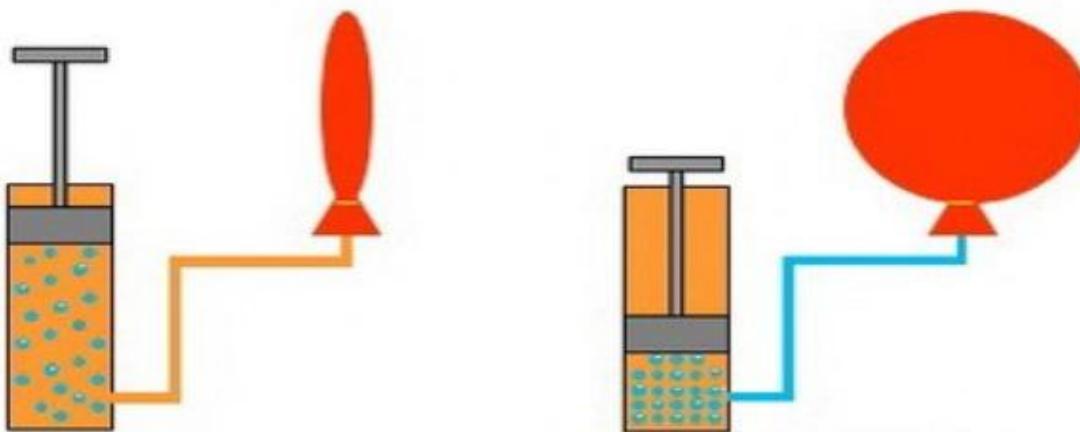


REV

UDARA TEKAN

(Compressed Air)

- Udara tekan / udara bertekanan / compressed air
- Contoh paling sederhana dan mudah ditemui dalam kehidupan sehari-hari adalah udara untuk mengisi ban kendaraan.
- Contoh lain adalah pada balon. Balon akan mengembang karena berisi udara tekan. Pada saat ujung balon dibuka, maka balon akan bergerak melawan arah keluarnya udara tekan ke udara bebas.
- 90% industri menggunakan udara tekan untuk berbagai keperluan.



- Pada industri rokok , dari industri sigaret kretek tangan (SKT) menjadi industri sigaret kretek mesin (SKM), pekerja penggulung rokok digantikan mesin penggulung rokok yang menggunakan kompresor.
- Udara tekan juga digunakan untuk memindahkan partikel padat dari satu tempat ke tempat yang lain. Dengan cara ini, partikel yang dipindahkan bisa dalam jumlah besar dan waktu singkat, tetapi memerlukan saluran tersendiri agar partikel padat tersebut tidak kemana-mana.
- Sebagai udara instrumentasi, udara tekan juga digunakan untuk membuka katup pada daerah yang berbahaya jika dioperasikan langsung oleh manusia, misalkan karena berdekatan dengan panas, berkaitan dengan bahan kimia berbahaya dan tegangan listrik tinggi.

Udara Instrumen

- Udara instrumen adalah udara bertekanan yang telah dihilangkan kandungan airnya yang digunakan untuk menggerakkan peralatan instrumentasi (pneumatic) seperti control valve, transmitter, dan lain-lain.
- Tipe udara instrumen untuk industri biasanya terdiri dari beberapa hal berikut:
 - Instrumen kompresor udara (bebas minyak)
 - Pengering dan penyaring udara
 - Pipa distribusi dengan pressure safety valve
 - Stasiun penurun tekanan

Standard Udara Instrument

- Particle Size
Maximum 40 micrometer particle size
- Hydrocarbon content
as close to zero as possible (< 1 ppm)
- Dew point
 $<4^{\circ}\text{C}$

Dew Point

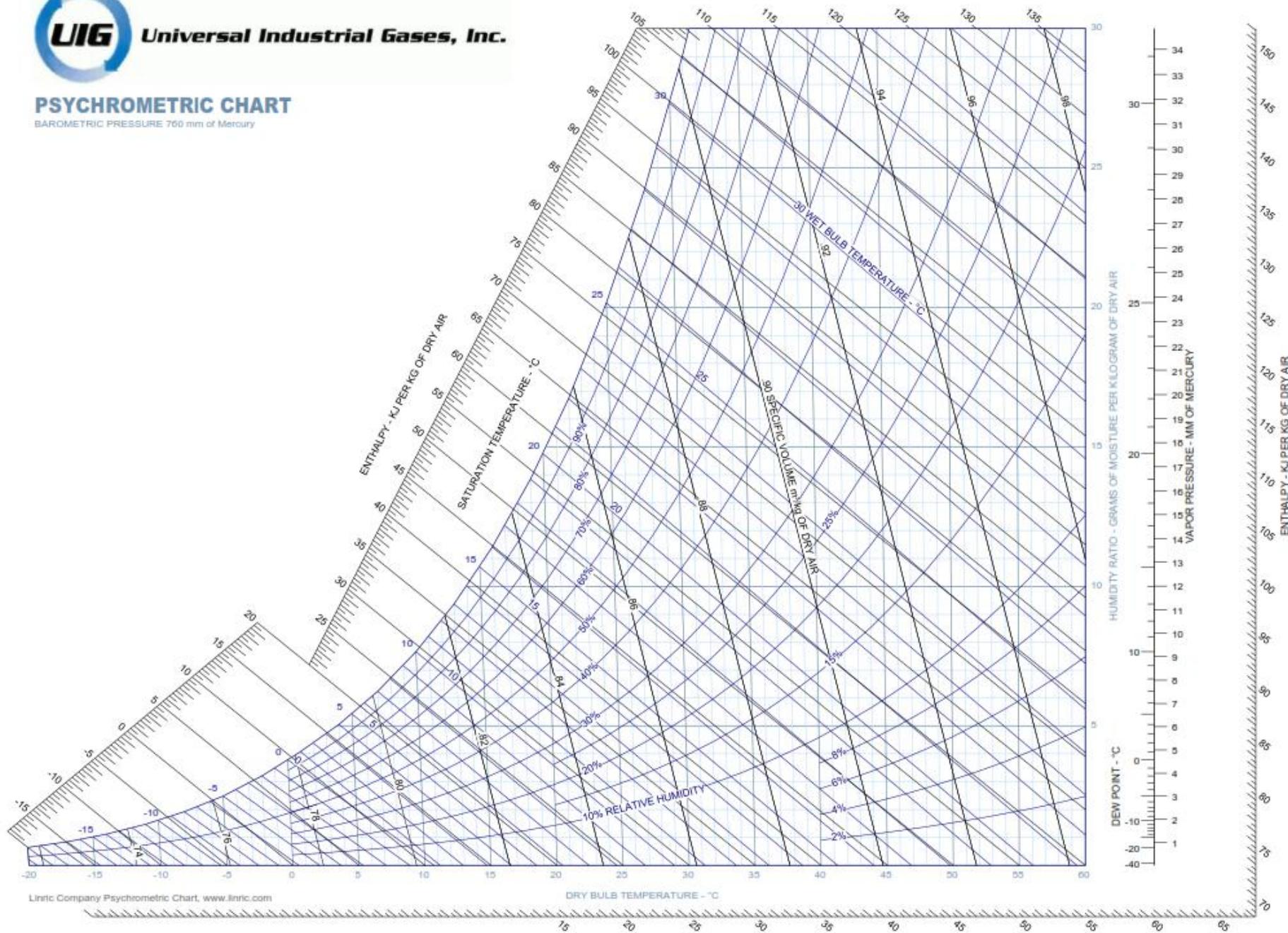
- Dew Point Temperature adalah titik embun udara artinya suhu di mana udara mulai mengembun dan menimbulkan titik-titik air.
- Dew Point -20°C artinya udara hanya akan mengembun menjadi air ketika suhu turun menjadi -20°C . Titik-titik air tidak akan timbul jika suhunya masih di atas -20°C .
- Jadi udara instrument harus dikeringkan sampai dew point $<4^{\circ}\text{C}$ agar tidak terjadi pengembunan karena pengembunan (terbentuknya air) dapat menyebabkan korosi di dalam pipa.
- Psychrometric chart



Universal Industrial Gases, Inc.

PSYCHROMETRIC CHART

BAROMETRIC PRESSURE 760 mm of Mercury



- Udara tekan adalah bentuk energi tersimpan yang biasa digunakan mengoperasikan mesin, peralatan, atau proses.
- Panas yang dilepaskan dari proses kompresi berpotensi digunakan untuk proses lainnya.
- Tergantung pada aplikasinya, kelembaban udara tekan perlu diatur karena bisa menimbulkan korosi pada pipa.

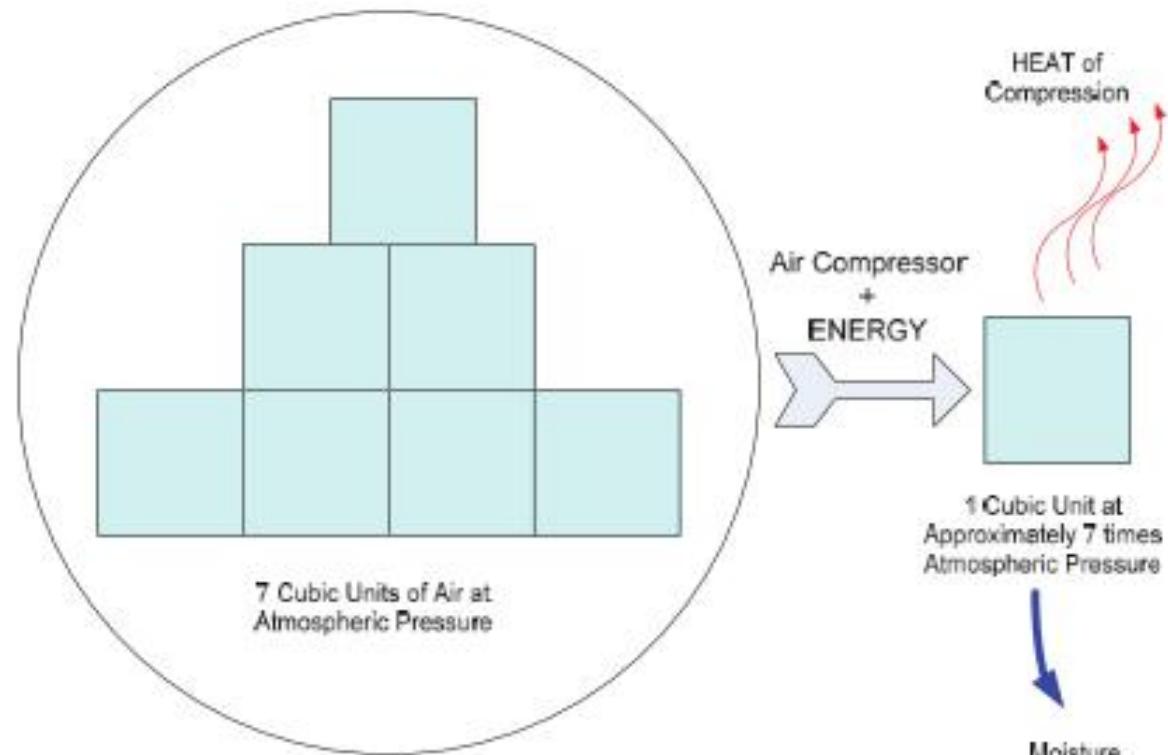
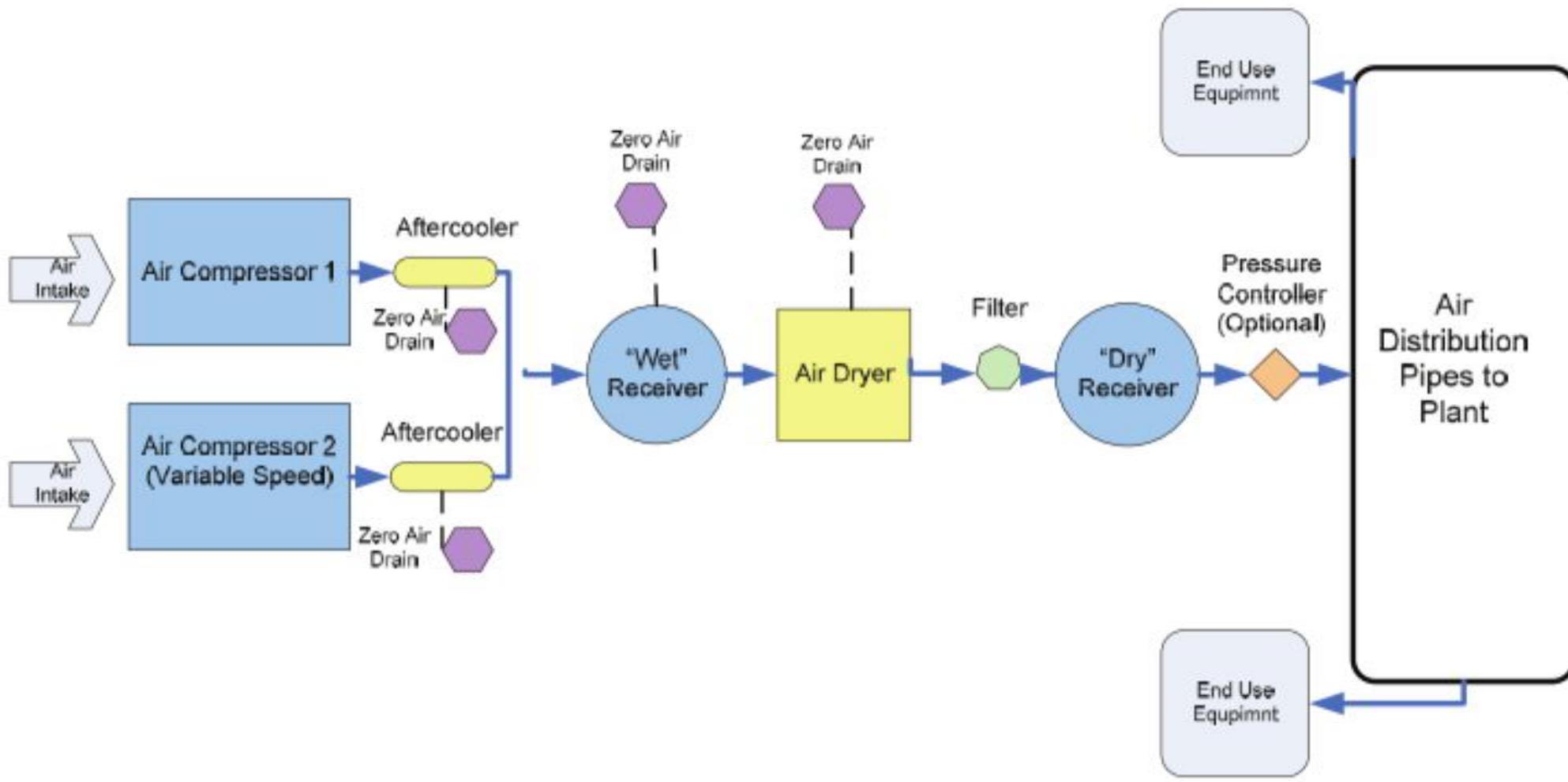


Figure 1 - Conversion of Atmospheric Air into Compressed Air

Compressed Air Systems

- Sistem udara tekan bisa dibagi menjadi Supply dan Demand Side
- Supply side meliputi compressors, air treatment dan primary storage.
- Supply side yang baik akan menghasilkan udara bersih, kering, dan stabil dapat dikirim pada tekanan yang tepat dengan hemat biaya.
- Demand side meliputi distribution piping, secondary storage dan penggunaan akhir.
- Demand side yang baik akan meminimasi perbedaan tekanan, mengurangi udara terbuang akibat kebocoran dan memanfaatkan udara tekan sesuai dengan aplikasi.

Figure 5 - Common Air Compressor System Components



- After-Coolers: Tujuannya adalah membuang kadar air dalam udara dengan penurunan suhu dalam alat penukar panas berpendingin air.
- Air Dryer : menghilangkan sisa-sisa kadar air setelah after-coolers

Kelebihan Udara Tekan

Udara tekan yang dihasilkan dengan kompresor mempunyai kelebihan dibandingkan dengan listrik dan tenaga hidrolik dalam hal-hal berikut.

- Konstruksi dan operasi mesin serta fasilitasnya adalah sangat sederhana
- Pemeliharaan dan pemeriksaan mesin dan peralatan dapat dilakukan dengan mudah
- Energi dapat disimpan
- Kerja dapat dilakukan dengan cepat
- Harga mesin dan peralatan relative murah
- Kebocoran udara yang dapat terjadi tidak membahayakan dan tidak menimbulkan pencemaran

Penggunaan Udara Tekan

- Pemakaian-pemakaian udara tekan menurut gaya dan akibat yang ditimbulkannya:
 1. Gaya Injeksi
 - a. Untuk meniupkan
 - i. Penyemprot zat cair
 - ii. Penyemprotan bubuk dan butiran
 - b. Untuk menggerakan
 - i. Turbin udara (sebagai penggerak)
 - ii. Tiupan (contohnya pembersih debu)
 2. Gaya ekspansi
 - a. Untuk memberi gaya dorong (contoh : penggerak alat pneumatic)
 - b. Untuk memberi tekanan (contoh : lift mobil pada bengkel)
 - c. Transportasi zat cair

REV