

Sistem Pendingin Reaktor Kartini

Direktorat Pengelolaan Fasilitas Ketenaganukliran (DPFK)

Disusun oleh: Tri Nugroho Hadi Susanto

Dipresentasikan oleh: Wahyu Nur Hidayat

Pelatihan Penyegaran Operator dan Supervisor Reaktor

Latar Belakang

Reaksi fisi yang menghasilkan panas

Energi dalam bentuk panas perlu dibuang

Perlunya perhitungan kapasitas pembuangan

Manfaat

Mengetahui prinsip kerja sistem pendingin reaktor Kartini

Indikator Keberhasilan

Menjelaskan sistem pendingin primer reaktor

Menjelaskan sistem pendingin sekunder reaktor

Menjelaskan prinsip kerja komponen sistem pendingin

Menjelaskan sistem demineralizer dan penambah air pendingin

Pokok Bahasan

Sistem Pendingin primer

Sistem pendingin sekunder

Komponen sistem pendingin

Sistem demineralizer dan penambah air pendingin

Sistem Pendingin Primer

Sistem pendingin primer berfungsi memindahkan panas yang dibangkitkan di dalam teras reaktor ke sistem pendingin sekunder

Media pendingin (ATR)

Perpipaan (primer)

Reservoir (tangki reaktor)

Pemindah panas (HE)

Pompa (Primer)

Sistem kelistrikan



Gambar 1. Elemen bahan bakar standar TRIGA

Type 104 di teras 69 buah

Type 204 di teras 2 buah

Type 108 (di KMP A)

Komponen	Parameter Desain
Elemen Bahan bakar 104	
Diameter luar	3,81
Panjang elemen	72,14
Bahan Bakar 104	
Komposisi bahan	U-ZrH _{1,65}
Densitas	6,0
Kandungan uranium	8,5
Pengkayaan (%)	20
Kandungan U ²³⁵ rerata (g)	38
Diameter luar U-ZrH _{1,65}	3,56
Diameter dalam	0,64
Tinggi aktif	38,1

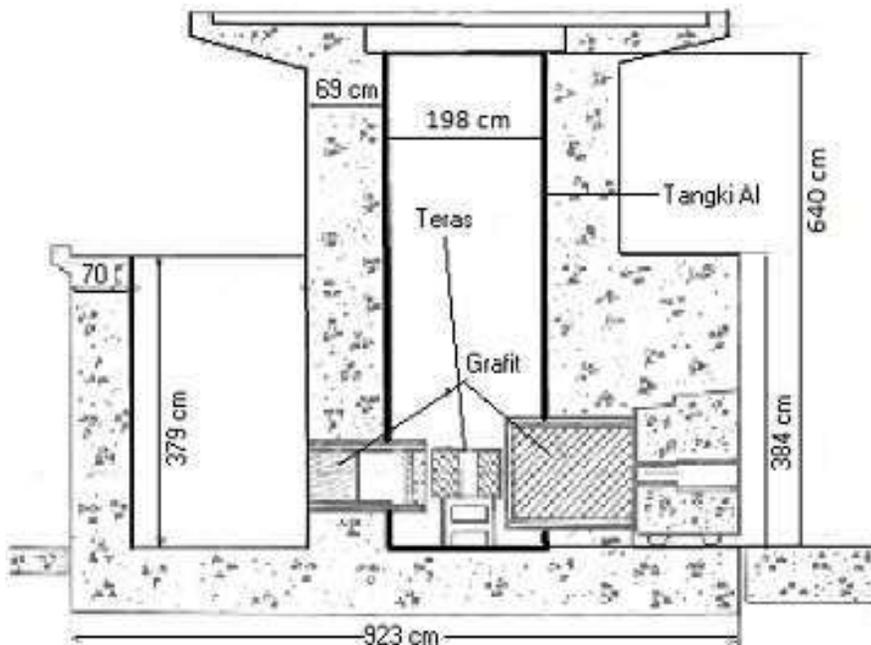
media pendingin

- **PERTIMBANGAN EKONOMI**
murah dan mudah diperoleh
- **SIFAT FISIK**
sifat hantaran panas yg besar, tidak merusak bahan-bahan yg ada dalam sistem reaktor
- **SIFAT NUKLIR**
tampang lintang serapan neutron rendah, daya moderasi tinggi, tidak mudah teraktivasi, tidak mudah terurai karena radiasi

AIR ➡ **AIR TREATMENT (ATR)**

tangki reaktor

bahan aluminium tipe 1.100
diameter 1,98 meter
tinggi 6,4 meter
Kira kira ada 18m³ ATR



Pompa



Pompa berfungsi memindahkan cairan/fluida

Terdapat 2 pompa primer

Head instalasi

Tekanan diperlukan untuk memompa cairan melewati sistem saluran pada debit tertentu. Tekanan ini harus cukup tinggi untuk mengatasi tahanan/resistensi sistem saluran yang juga disebut head. Head total merupakan jumlah dari head statik dan head gesekan/friksi.

Head Statik

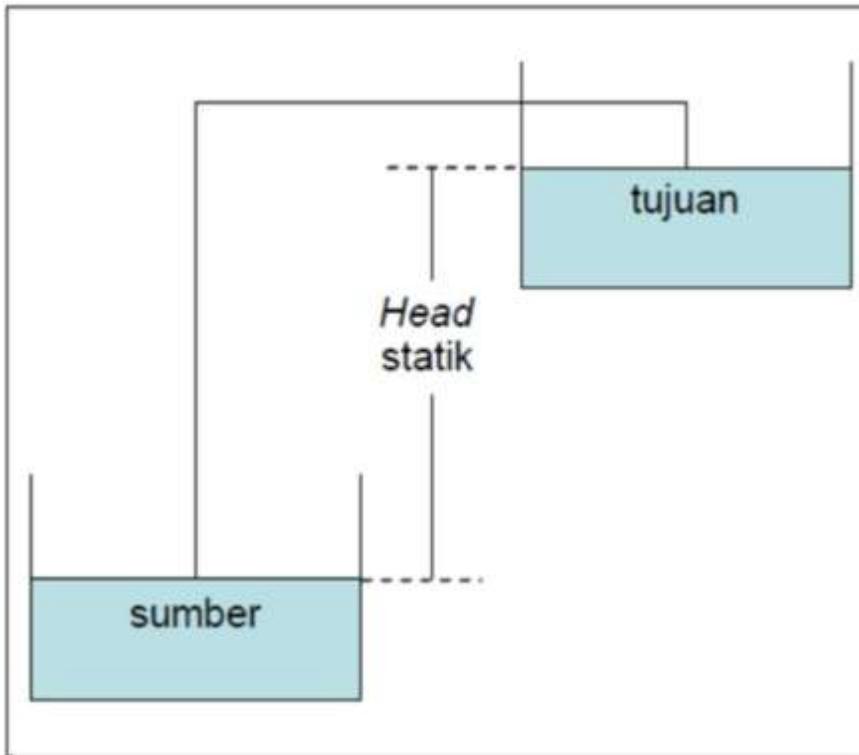
- Perbedaan tinggi permukaan cairan antara sumber dan tujuan dari cairan yang dipompakan, terdiri dari:
- *Head* hisap (*hs*): *head* ini ditentukan berdasarkan tinggi hisap cairan relatif terhadap garis pusat pompa;
- *Head* tekan (*hd*): *head* ini ditentukan berdasarkan tinggi tekan cairan relatif terhadap garis pusat pompa dan permukaan cairan dalam tangki tujuan.

Head Gesekan/friksi

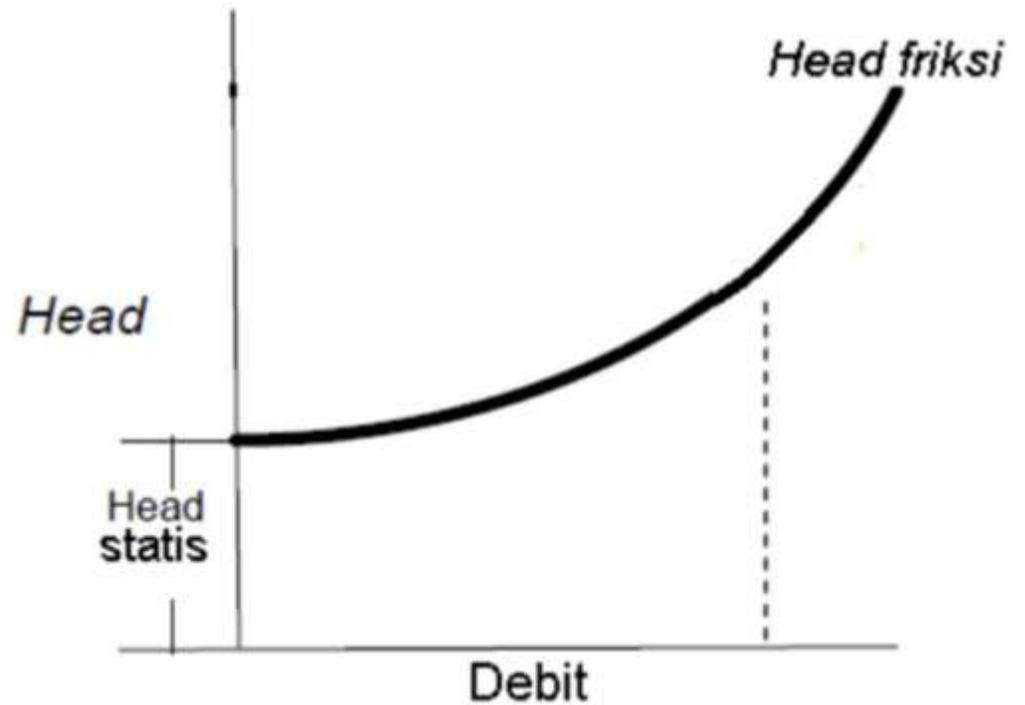
- *Head* gesekan/friksi merupakan kehilangan yang diperlukan untuk mengatasi tahanan dalam mengalir cairan didalam saluran (pipa dan sambungan-sambungan).
- *Head* ini tergantung pada ukuran, kondisi dan jenis pipa, jumlah dan jenis sambungan, debit aliran, dan sifat dari cairan.
- *Head* gesekan/friksi sebanding dengan kwadrat debit aliran.

Untuk loop tertutup di dalam sistem sirkulasi hanya terjadi head gesekan/friksi dan head statis tidak terjadi.

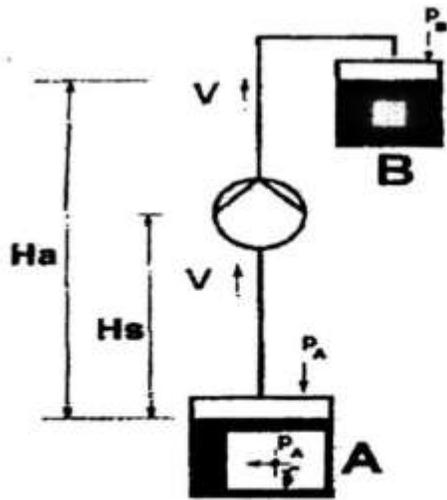
head



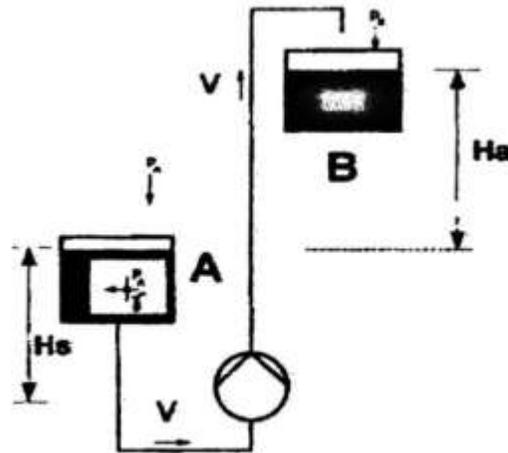
Head Statis



Head Total



a. Instalasi untuk reservoir di bawah pompa (siklus terbuka)



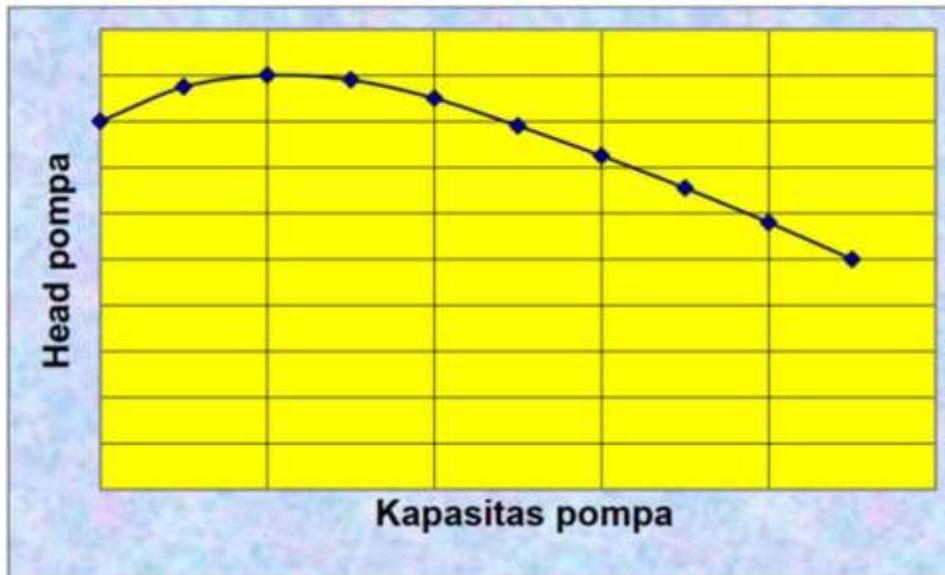
b. Instalasi untuk reservoir di atas pompa (siklus terbuka)

$$H_{statis} = H_a + \left(\frac{p_a - p_b}{\gamma} \right)$$

H_a adalah beda ketinggian zat cair saat masuk ke saluran isap dan keluar dari saluran ~~ditu~~

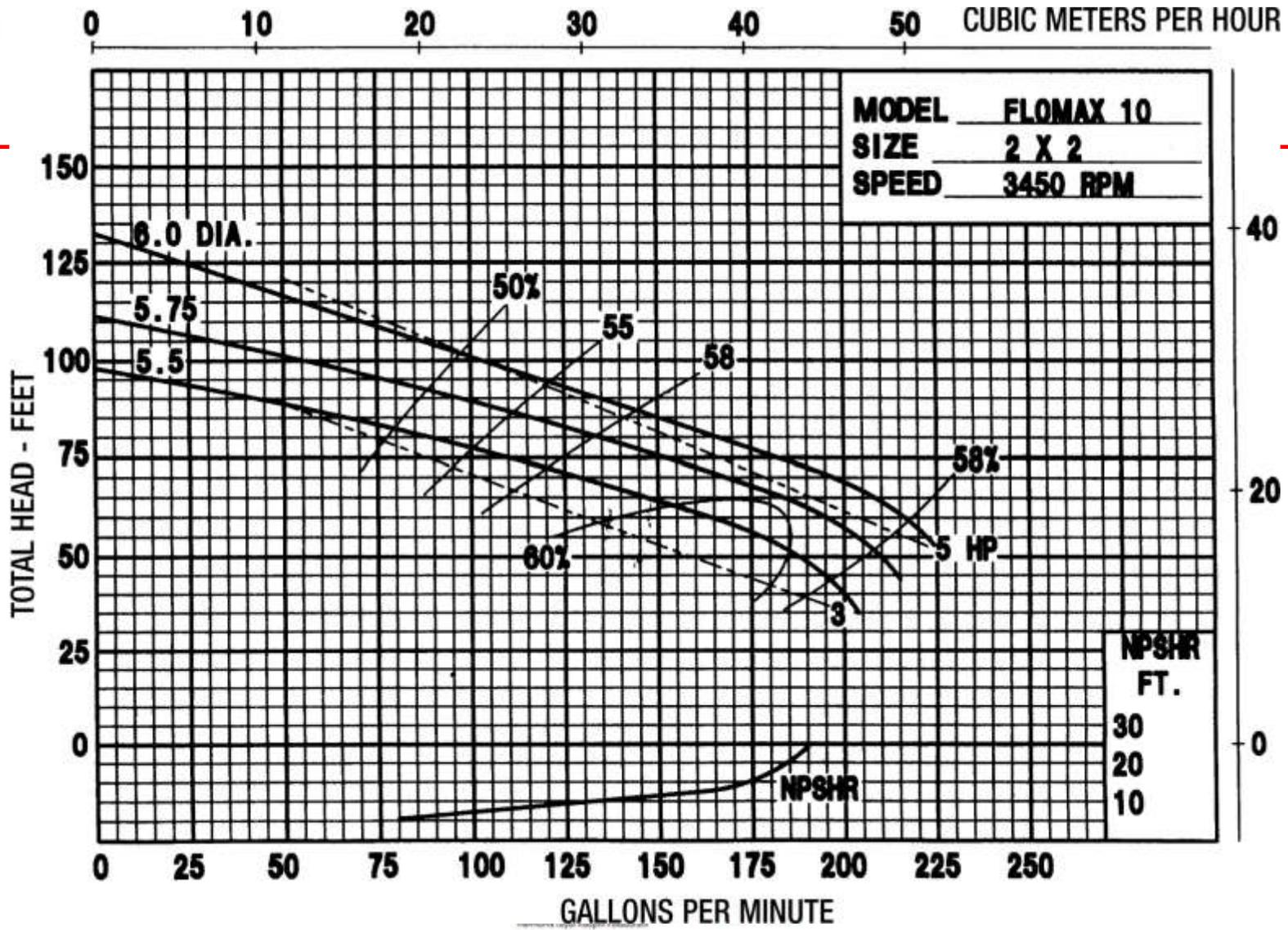
p_a tekanan zat cair masuk saluran isap, p_b tekanan zat cair saat keluar dari saluran ~~ditu~~

Head Pompa



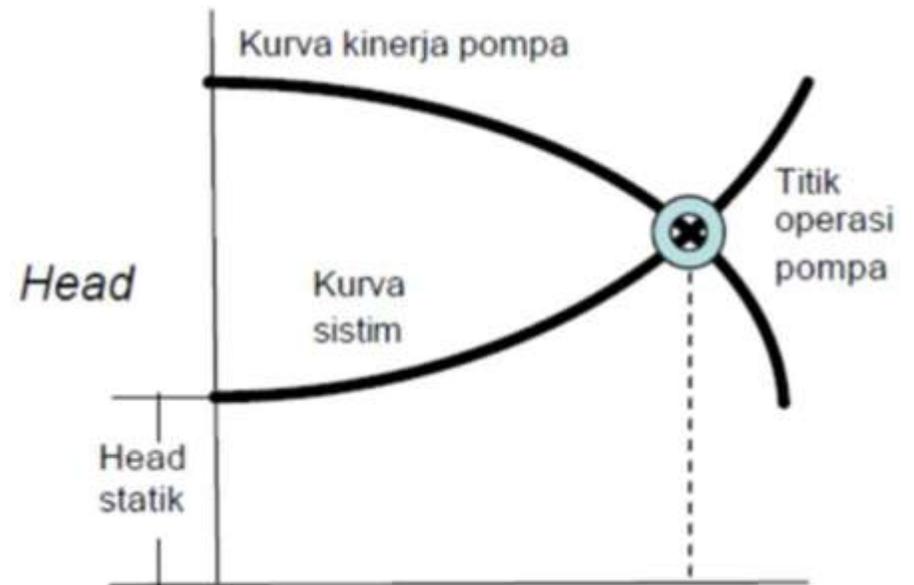
Performance pompa sentrifugal

Head pompa sangat tergantung dari jenis dan konstruksi pompa. *Head* ini biasanya diberikan oleh pabrik yang membuat pompa dalam bentuk hubungan antara *head* dan kapasitas dari pompa atau juga disebut *performance* pompa.



Titik Operasi Pompa

Titik kerja pompa ditentukan oleh perpotongan kurva karakteristik sistem dengan kurva karakteristik pompa



Titik Operasi Pompa Sentrifugal

Pompa dan Instalasinya

Daya Pompa

- Daya pompa (P) dapat ditentukan berdasarkan kapasitas dan *head* dari pompa tersebut yang dapat dihitung dengan

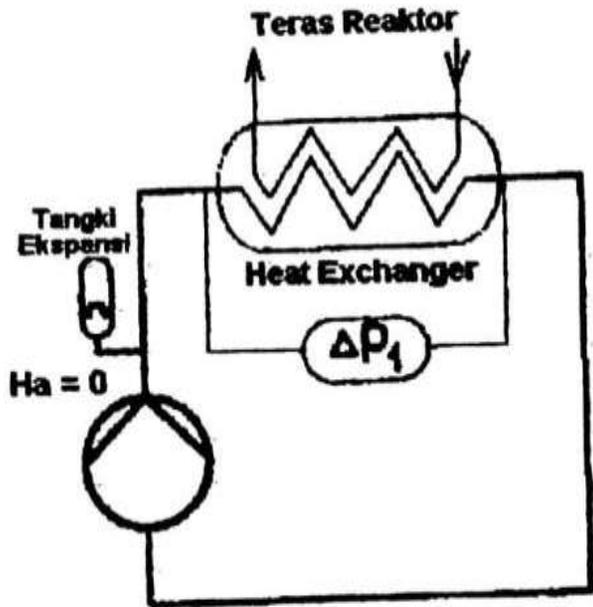
$$P = \frac{\rho g Q H}{\eta_p}$$

Daya Motor Penggerak

- Daya motor listrik penggerak (P_N) yang diperlukan dapat ditentukan dengan persamaan

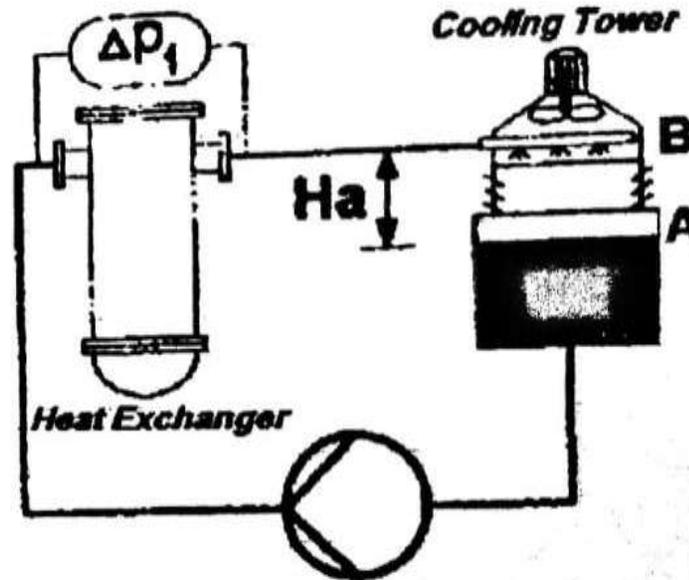
$$P_N = \frac{P}{\eta_m}$$

P adalah daya pompa (watt), ρ massa jenis zat cair yang dipompa (kg/m^3), g gravitasi (m/detik^2), Q kapasitas (debit) zat cair yang dipompa (m^3/detik), H head pompa (m)
 η_p efisiensi pompa. P_N adalah daya motor penggerak (watt) dan η_m efisiensi mekanik pompa



a. Instalasi dengan siklus tertutup.

$$H_a = 0$$



b. Instalasi dengan siklus terbuka.

$$H_a = B - A$$

Sistem pendingin primer ????

Sistem pendingin sekunder ????

Net Positive Suction Head (NPSH)

Tinggi tekan isap yang tersedia (*NPSH*) merupakan sisa tekanan absolut dari zat cair yang dipompa saat memasuki pompa.

Sisa tekanan ini berhubungan dengan pemompaan yaitu agar pada sisi masuk pompa tidak terjadi kekosongan (kehampaan).

Besar *NPSH* pada suatu instalasi pompa siklus terbuka sangat dipengaruhi oleh tekanan di sekitar sisi masuk perpipaan (p_A) dan biasanya tekanan atmosfer. Persyaratan dalam instalasi pompa adalah ***NPSHtersedia > NPSHdiperlukan***

Secara empiris *NPSHdiperlukan* (m) dapat ditentukan dengan persamaan $NPSHdiperlukan = (0,3 - 0,5) n (Q)^{1/2}$ dengan n adalah putaran pompa tiap detik (rps) dan Q laju alir zat cair yang dipompa (m³/detik)

Kavitasi

Kavitasi adalah gejala menguapnya zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya menurun sampai dibawah tekanan uap jenuhnya.

Zat cair tersebut akan mendidih sehingga terbentuk gelembung-gelembung uap dan akan pecah pada daerah yang mempunyai tekanan lebih tinggi atau tempat tempat dimana gelembung-gelembung uap tersebut tiba-tiba mengempis

Jika pada instalasi pompa sering mengalami kavitasi, maka akan terjadi kelelahan (*fatigue*) dan akan dilanjutkan dengan kerusakan.

Agar instalasi pompa dapat bekerja tanpa mengalami kavitasi, maka harus dipenuhi persyaratan ***NPSHtersedia > NPSHdiperlukan*** dari suatu instalasi tersebut.

Akibat buruk yang dapat ditimbulkan dari kavitasi :

- Lubang-lubang kecil (pitting) pada impeller dan casing
- Umur bearing yang pendek
- Poros patah
- Umur mechanical seal yang pendek
- Head pompa turun drastis
- Kapasitas pompa turun drastis
- Efisiensi pompa turun drastis
- Suhu cairan yang dipompa meningkat
- Suara pompa yang bising
- Getaran/vibrasi yang berlebihan

Cara mengatasi kavitasi:

- Menurunkan NPSHr
- Meningkatkan NPSHa
- Menurunkan NPSHr dan meningkatkan NPSHa



NPSH_{available}

$$NPSH_a = H_a + H_s - H_{vp} - H_f - H_i$$

H_a = ~~H_a~~ (dalam ~~m~~),
yaitu tekanan atmosferik pada ketinggian terhadap permukaan laut.

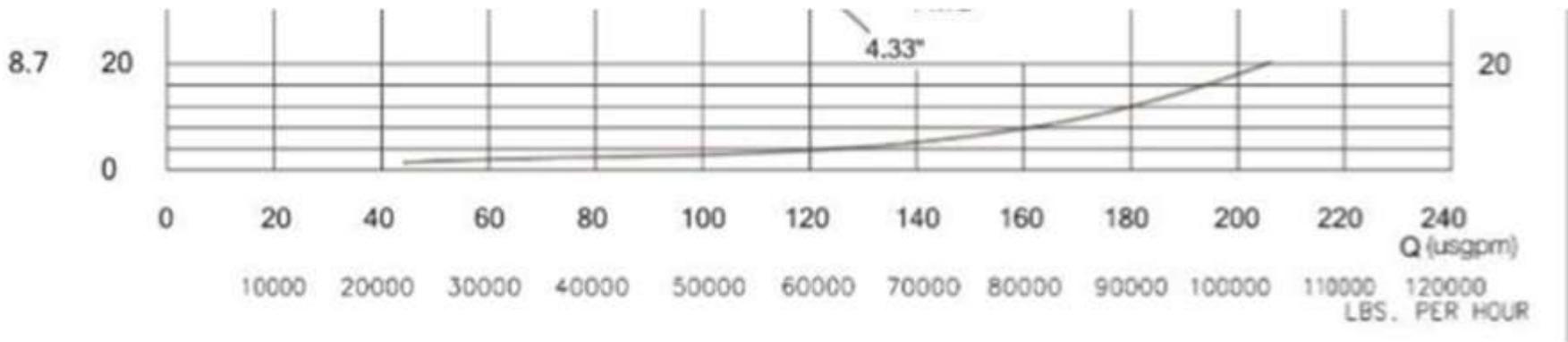
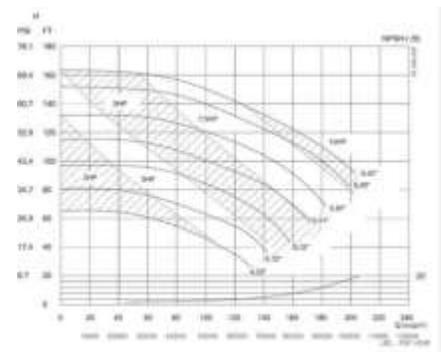
H_s = ~~H_s~~ level fluida, positif atau negatif (dalam ~~m~~)
Yaitu tinggi dari ~~0~~ pompa ke level fluida dalam tangki yang akan disedot.

H_{vp} = ~~H_{vp}~~ fluida (dalam ~~m~~)
Vapor Head dikalkulasi dengan memantau temperatur fluida

H_f = ~~H_f~~ atau ~~H_s~~ dalam ~~m~~ dan konektor-konektornya
Friction Head dapat dikalkulasi, dtaksir atau diukur

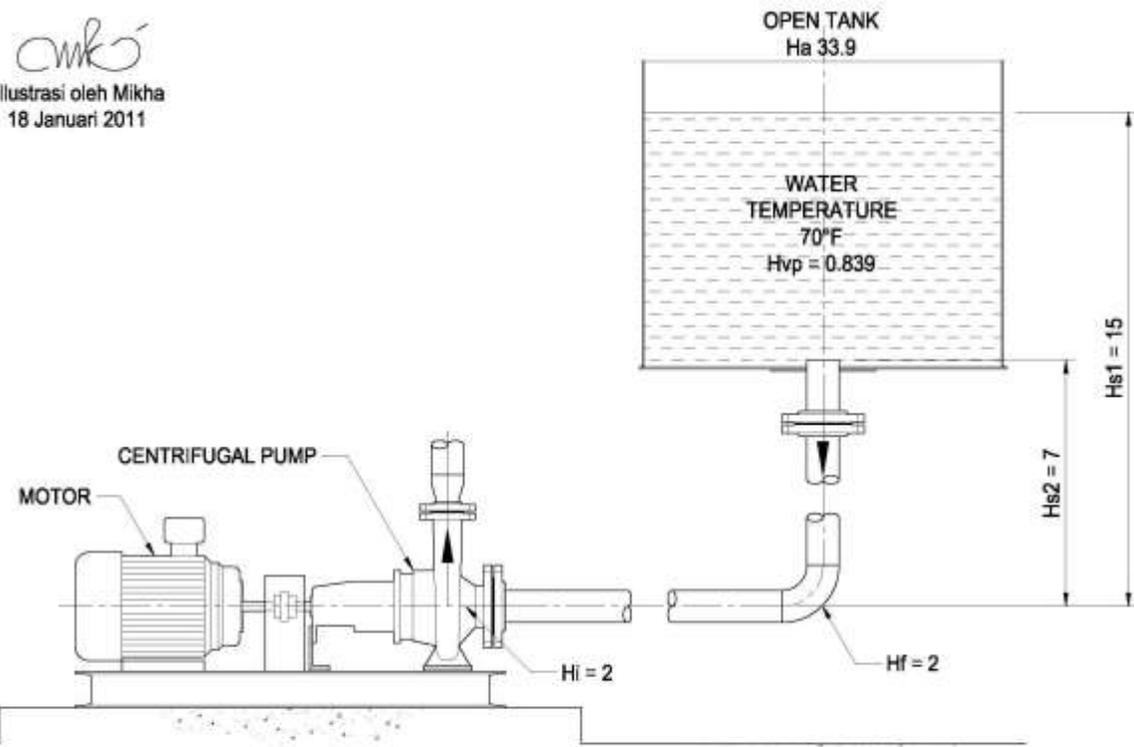
H_i = ~~H_i~~ atau kehilangan energi yang terjadi pada leher ~~0~~ pompa (dari ~~0~~ sampai permukaan baling-baling) dinyatakan dalam ~~m~~ Dapat juga disebut ~~H_i~~

NPSH_{required}



contoh

amko
ilustrasi oleh Mikha
18 Januari 2011



GAMBAR 1

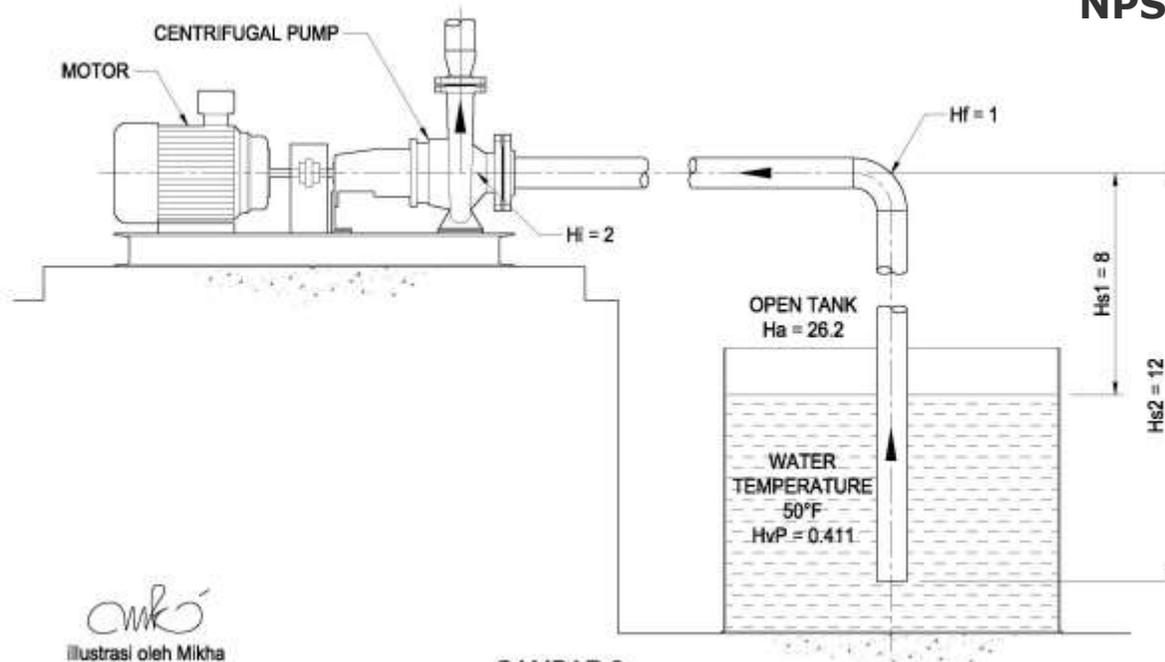
$$\begin{aligned} \text{NPSHa} &= H_a + H_{s1} - H_{vp} - H_f - H_i \\ &= 33.9 + 15 - 0.839 - 2 - 2 \\ &= 44.061 \text{ feet} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 33.9 + 7 - 0.839 - 2 - 2 \\ &= 36.061 \text{ feet} \end{aligned}$$

NPSHr = 18 feet

NPSHtersedia > NPSHdiperlukan

Contoh kasus



GAMBAR 2

$$\begin{aligned} \text{NPSHa} &= H_a + H_{s1} - H_{vp} - H_f - H_i \\ &= 28.2 + (- 8) - 0.411 - 1 - 2 \\ &= 16.789 \text{ feet} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 28.2 + (- 14) - 0.411 - 1 - 2 \\ &= 10.789 \text{ feet} \end{aligned}$$

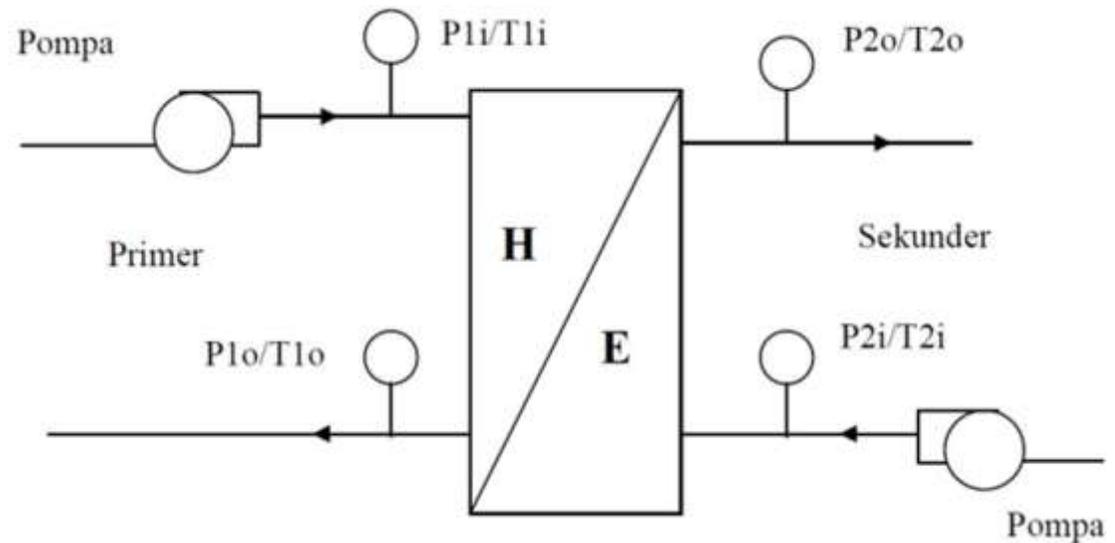
Catatan :
Kasus tekanan atmosfer rendah (di dataran tinggi)
Reservoir di bawah pompa

mk

Ilustrasi oleh Mikha
18 Januari 2011

Heat Exchanger

- Berfungsi untuk memindahkan panas yang timbul akibat dari terjadinya reaksi inti di dalam reaktor;
- Proses penukaran panas antara pendingin primer (sisi panas) dan pendingin sekunder (sisi dingin)



Skema sistem aliran pada HE dan Pompa

Heat Exchanger

Shell and Tube

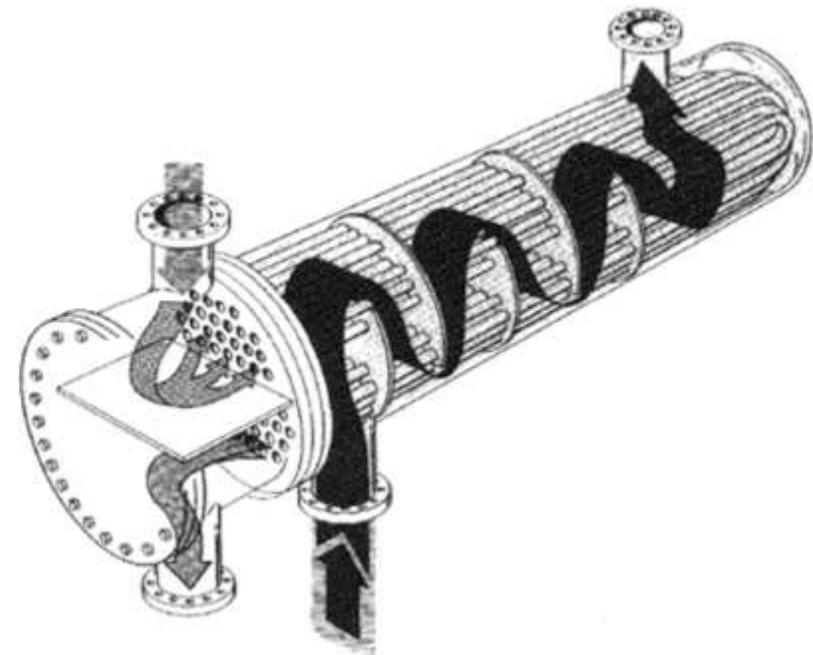
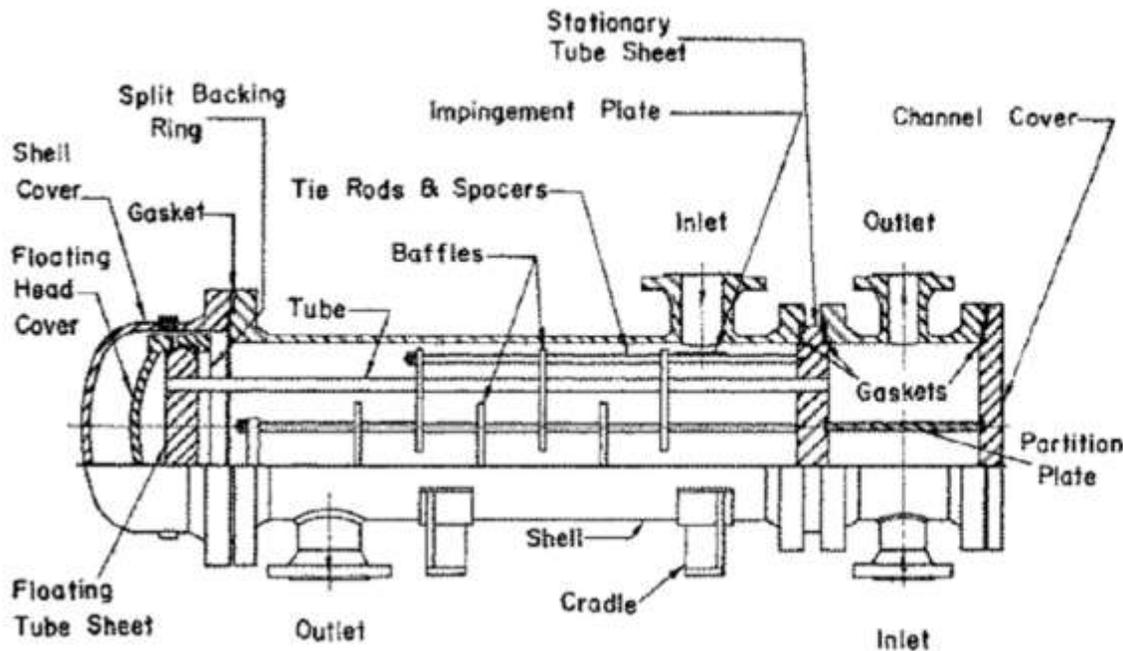
- Terdiri dari 144 buah pipa terbuat dari bahan stainless steel 304 dan 16 buah ~~le~~ang terbuat dari baja karbon;
- Dimensi cukup besar
- Performa ?

Plat

- Model EC4-075-1M dengan jumlah plat dan gasket sebanyak 75 buah;
- Dengan dimesi yang kecil mampu memindahkan (men-transfer) panas (beban) yang cukup besar
- Performa ?

No	Nama	Karakteristik	Keterangan
1	Alat Penukar Panas Shell and Tube	Bahan Shell : besi Diameter shell D_S : 39,2 cm Bahan Tube : SS Jumlah tube : 144 Diameter luar D_{OT} : 19,09 mm Diameter dalam D_{IT} : 16,74 mm Jumlah baffle : 16 Kapasitas : 250 kW	Jumlah : 1
2	Alat Penukar Panas Plate	Bahan : SS Jumlah plate : 75 Pass : 1 Luas permukaan : 6,17 m ² Kapasitas : 250 kW	Jumlah : 1

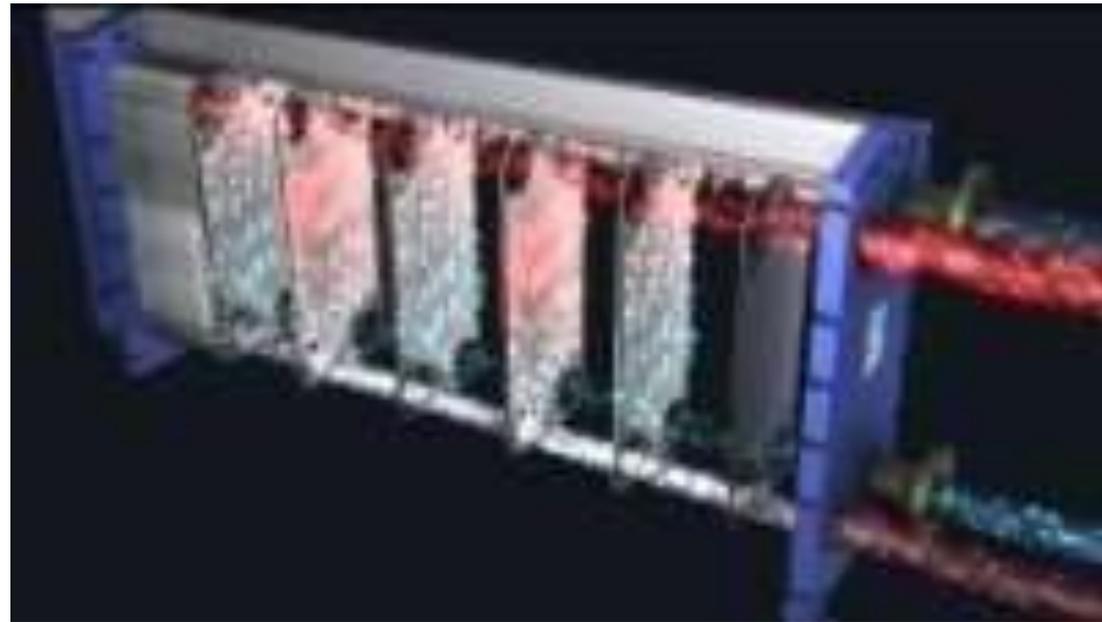
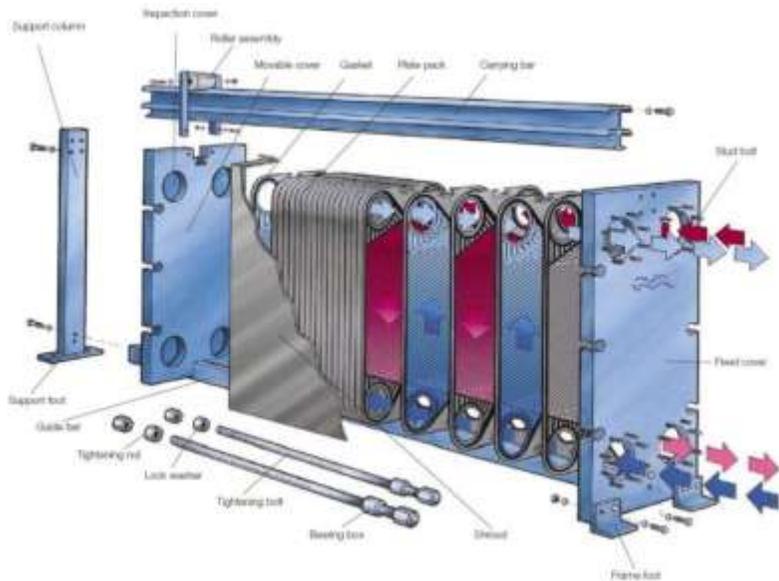
Shell and Tube Heat Exchanger



Bagian-bagian heat exchanger tipe shell and tube

Aliran fluida di dalam heat exchanger

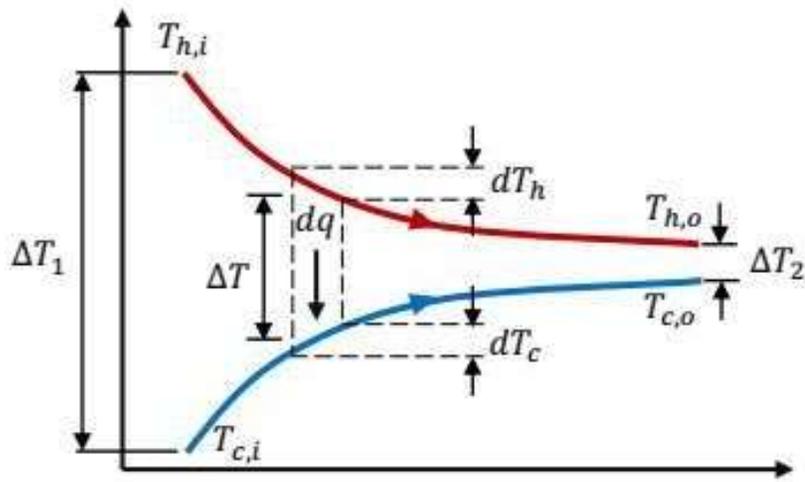
Plate Type Heat Exchanger (2)



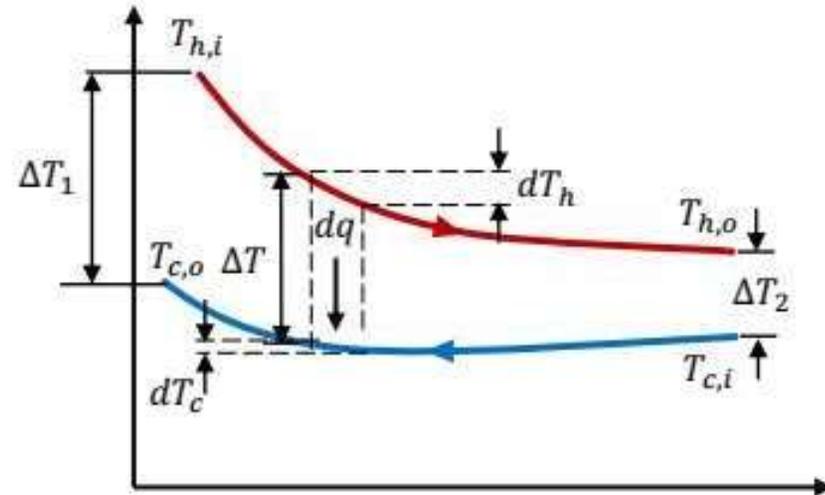
Bagian-bagian heat exchanger tipe Plat

Prinsip Kerja heat exchanger tipe Plat

Aliran HE



Aliran Paralel / parallel flow



Aliran Berlawanan/ counter flow

advantages

Kekurangan parallel flow

1. Perbedaan temperature yang besar pada salah satu sisi pertemuan fluida panas dan fluida dingin pada HE dapat menyebabkan peningkatan thermal stresses dan kegagalan dini
2. Temperatur outlet pada fluida dingin tidak dapat melebihi temperature outlet fluida panas. (kurang efisien)

Kelebihan counter flow

1. Perbedaan temperature yang lebih seragam meminimalkan thermal stresses.
2. Temperatur outlet pada fluida dingin dapat mencapai temperature outlet fluida panas tertinggi. (lebih efisien)
3. Perbedaan temperature lebih seragam maka nilai q lebih seragam

Analisis HE

Masalah analisis ~~la day~~ umumnya terdiri dari salah satu dari dua tantangan di bawah ini:

1. Memilih ~~la day~~ yang akan mencapai perubahan suhu tertentu dalam aliran fluida dengan laju aliran massa yang telah diketahui
2. Memprediksi suhu keluaran aliran fluida panas dan dingin pada ~~la day~~ tertentu

Dalam pembelajaran ini, kita akan membahas dua metode yang digunakan dalam analisis heat exchanger:

- Metode ~~la day~~ (atau LMTD), yang paling cocok untuk poin pertama
- Metode efektivitas-NTU, yang paling cocok untuk poin kedua

Metode ΔT_{LMTD}

~~Log Mean Temperature~~

$$q = UA \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$q = UA \Delta T_{lm}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

di mana

$$\begin{cases} \Delta T_1 \equiv T_{h,1} - T_{c,1} \equiv T_{h,i} - T_{c,i} \\ \Delta T_2 \equiv T_{h,2} - T_{c,2} \equiv T_{h,o} - T_{c,o} \end{cases}$$

Aliran Paralel

$$q = UAF \Delta T_{lm,CF}$$

$$\Delta T_{lm,CF} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\begin{cases} \Delta T_1 \equiv T_{h,1} - T_{c,1} \equiv T_{h,i} - T_{c,o} \\ \Delta T_2 \equiv T_{h,2} - T_{c,2} \equiv T_{h,o} - T_{c,i} \end{cases}$$

Aliran Berlawanan

Metode ε -NTU

Metode ini didasarkan pada parameter ~~da~~
yang disebut efektivitas perpindahan panas ε

$$\varepsilon \equiv \frac{q}{q_{max}}$$

Laju perpindahan panas

$$q = C_c(T_{c,o} - T_{c,i}) = C_h(T_{h,i} - T_{h,o})$$

$$\varepsilon = \frac{C_h(T_{h,i} - T_{h,o})}{C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i})}$$

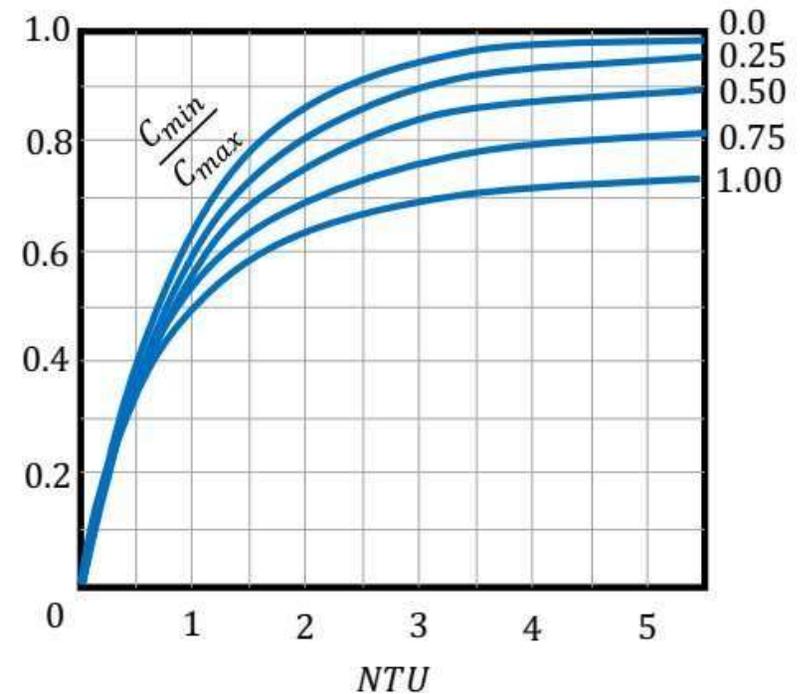
$$\varepsilon = \frac{C_c(T_{c,o} - T_{c,i})}{C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i})}$$

Metode NTU

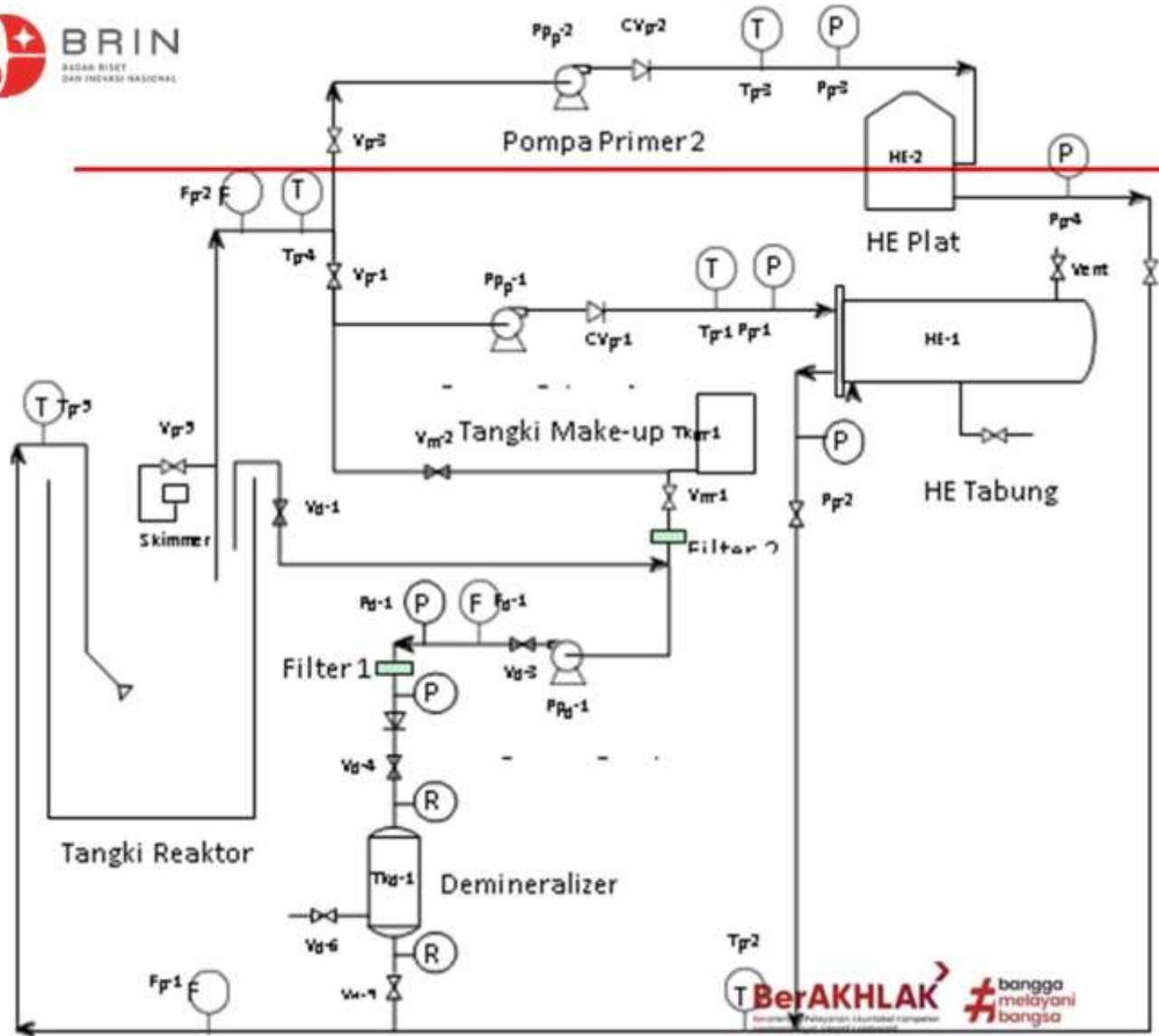
$$q = \varepsilon C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i})$$

$$\varepsilon = f\left(NTU, \frac{C_{min}}{C_{max}}\right)$$

$$NTU \equiv \frac{UA}{C_{min}}$$

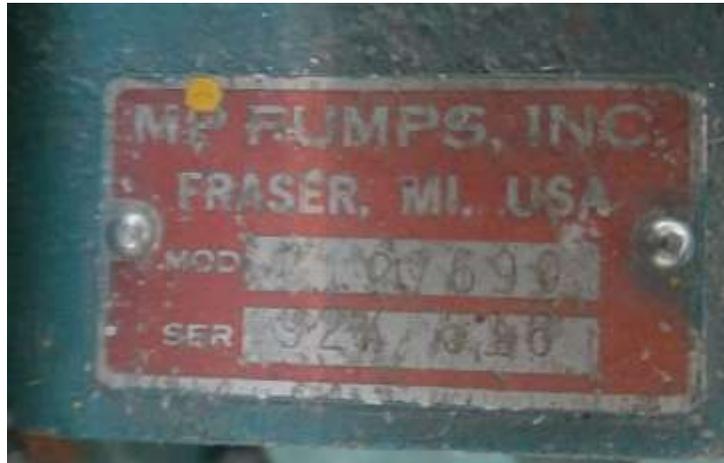
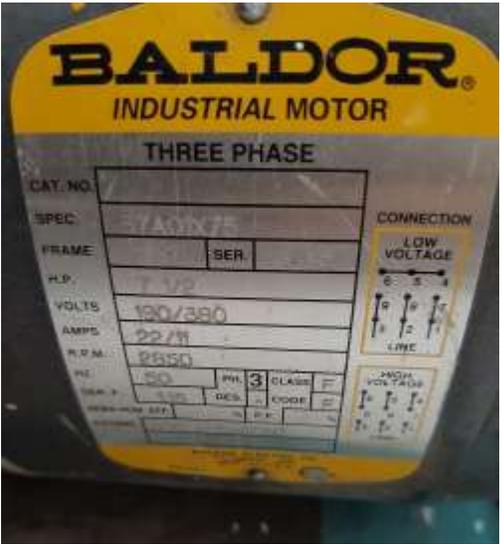


Susunan Aliran	Relasi
Parallel flow	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 + C_r)]}{1 + C_r}$
Counter-flow ($C_r < 1$)	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 - C_r)]}{1 - C_r \exp[-NTU(1 - C_r)]}$
Shell and tube one shell pass	$\varepsilon_1 = 2 \left\{ 1 + C_r + (1 + C_r^2)^{\frac{1}{2}} \times \frac{1 + \exp \left[-(NTU)_1 (1 + C_r^2)^{\frac{1}{2}} \right]}{1 - \exp \left[-(NTU)_1 (1 + C_r^2)^{\frac{1}{2}} \right]} \right\}^{-1}$
Shell and tube n shell pass	$\varepsilon_n = \left[\left(\frac{1 - \varepsilon_1 C_r}{1 - \varepsilon_1} \right)^n - 1 \right] \left[\left(\frac{1 - \varepsilon_1 C_r}{1 - \varepsilon_1} \right)^n - C_r \right]^{-1}$
Cross-flow (single pass)	$\varepsilon = 1 - \exp \left[\left(\frac{1}{C_r} \right) (NTU)^{0.22} \{ \exp[-C_r (NTU)^{0.78}] - 1 \} \right]$
All exchangers ($C_r = 0$)	$\varepsilon = 1 - \exp(-NTU)$



- Cara operasi
- Alat ukur dan katup
- Range operasi alat
- Normal / tidak

Nama komponen	Karakteristik	Keterangan
Pompa Primer	Centrifugal self priming Merk : Flowmax 10 Model : 26006 Seri : 76 F 135 Head : 40 m Debit : 438 Lpm	Jumlah : 2
Motor pompa primer	Merk : Baldor Daya : 5 HP Phase : 3 Voltase : 208/230/460 Amper : 12,6/12/6 Cycle : 50/60 Hz Rpm : 3450 Suhu : 40°C	Jumlah : 2



Sistem Pendingin Sekunder

Sistem pendingin primer berfungsi memindahkan panas yang diambil dari sisi primer untuk kemudian dibuang ke lingkungan.

Media pendingin (air)

Perpipaan (sekunder)

Colling tower

Sistem kelistrikan

Pompa (sekunder)

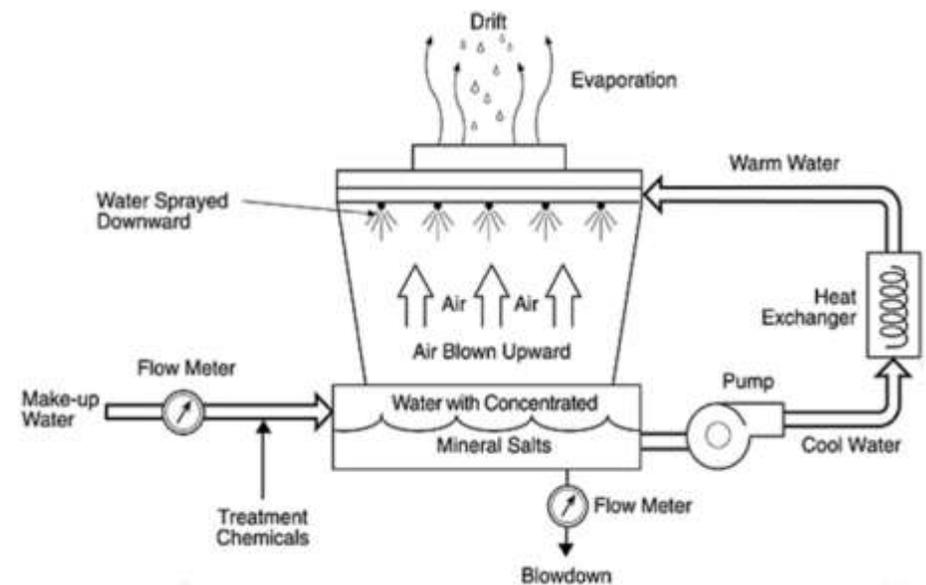
Sistem suplai air

Nama Komponen	Karakteristik	Keterangan
Pompa Sekunder	Jenis : <i>Centrifugal</i> Merk : KSB Torishima Model : ETA 50 - 20 Seri : 76 F 135 Head : 47 - 58 m Putaran : 2900 rpm Debit : 25 – 68 m ³ /min	Jumlah : 2
Motor pompa	Merk : <i>AEG</i> Daya : 18,5 kW Phase : 3 Voltase : 380 V Arus : 36 A Cycle : 50 Hz Rpm : 2930	Jumlah : 2
Pompa Sekunder	Jenis : <i>Centrifugal</i> Merk : Ebara Model : ETA 50 - 20 Head : 47,5 m Putaran : 2950 rpm Debit : 0,417 m ³ /det	Jumlah : 1
Motor pompa	Merk : Hitachi Daya : 10 HP Phase : 3 Voltase : 220 / 380 V Arus : 24 A Cycle : 50 Hz Rpm : 2900	Jumlah : 1

Pompa 3 yaitu 520 lpm (137 gpm)

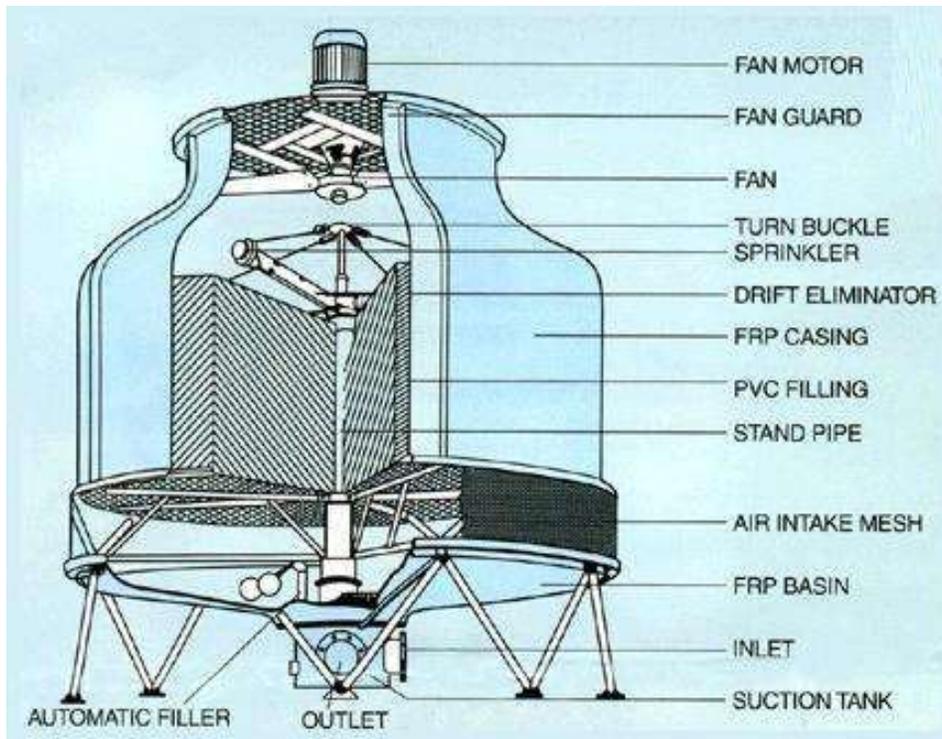
Pompa 1 dan 2 yaitu 820 lpm (217 gpm)

- Peralatan yang dipakai untuk membuang panas yang dikandung oleh air pendingin sekunder;
- Proses pendinginan terjadi 2 cara yaitu secara perpindahan panas konveksi dan penguapan;
- Konveksi sangat ditentukan oleh koefisien perpindahan panas, suhu udara lingkungan dan luas kontak antara air dan udara;
- Proses pendinginan karena penguapan sangat ditentukan oleh laju penguapan air di dalam cooling tower, kelembaban udara.



Instalasi Menara Pendingin

Struktur Menara Pendingin

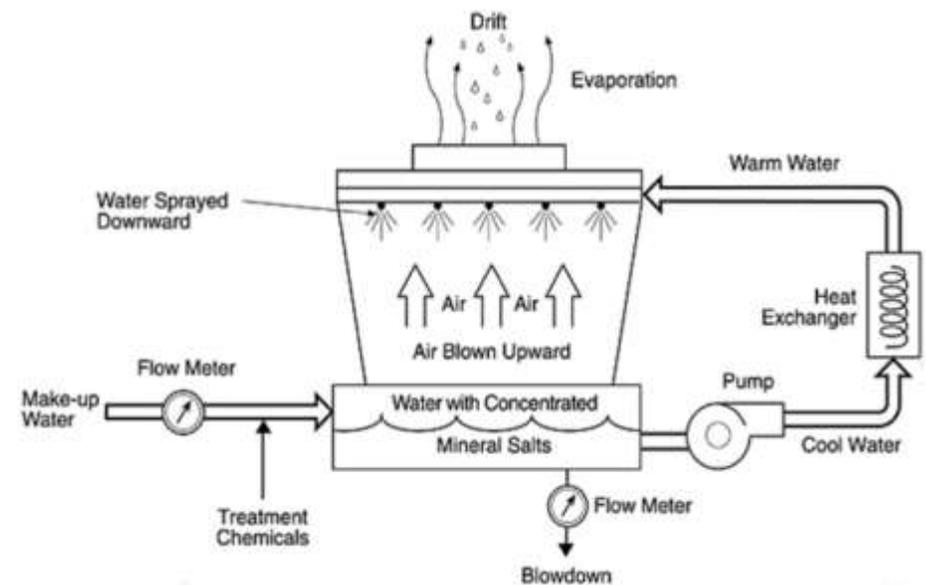


No.	Parameter	Spesifikasi
1	Kapasitas	350 ton refrijerasi
2	Tinggi	3,360 m
3	Diameter	4,6 m
4	Daya motor	10 HP
5	Head pompa	4,2 m

- Makin rendah kelembaban udara makin besar laju penguapan sehingga makin banyak panas laten yang diambil dari air tersebut untuk penguapan atau makin besar pendinginannya;

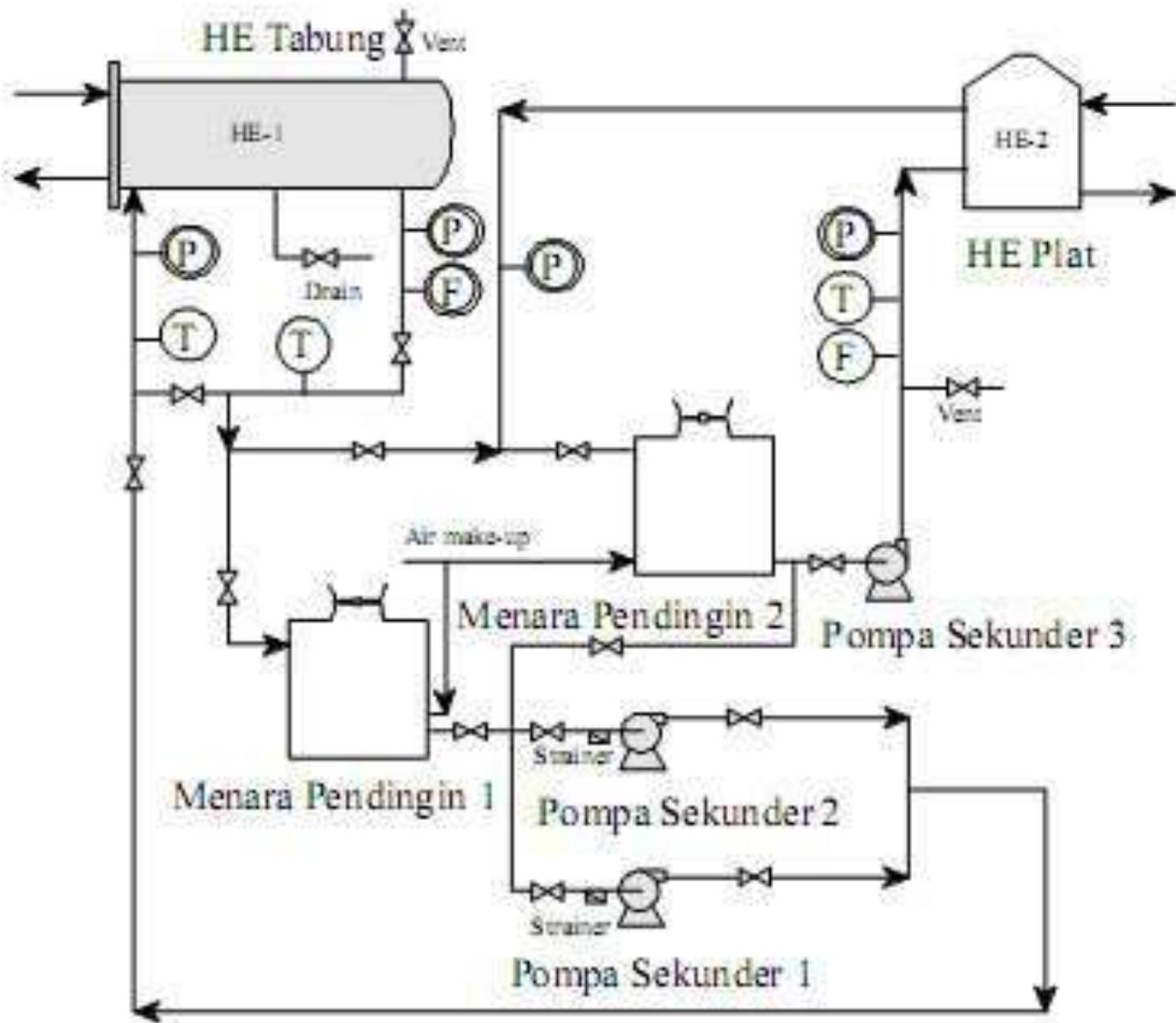
Bagian-bagian Menara Pendingin

- Peralatan yang dipakai untuk membuang panas yang dikandung oleh air pendingin sekunder;
- Proses pendinginan terjadi 2 cara yaitu secara perpindahan panas konveksi dan penguapan;
- Konveksi sangat ditentukan oleh koefisien perpindahan panas, suhu udara lingkungan dan luas kontak antara air dan udara;
- Proses pendinginan karena penguapan sangat ditentukan oleh laju penguapan air di dalam cooling tower, kelembaban udara.



Instalasi Menara Pendingin

Nama Komponen	Karakteristik	Keterangan
Menara Pendingin	Model : LBC - 80 Tinggi 1925 cm Diameter bak 2175 cm Pipa overflow 25 mm (1") Pipa inlet 4", outlet 4" Pipa drain 1" Automatic filler ¾" Quick filler 1" Aliran nominal 275 GPM Kapasitas 312 kkal/jam Berat kering 300 kg Berat operasi 700 kg	Jumlah : 2
Fan motor	Diameter kipas 46 " Power 2 HP Volum Udara 10900 cfm	Jumlah : 1 untuk setiap menara pendingin



-
- Cara operasi
 - Alat ukur dan katup
 - Range operasi alat
 - Normal / tidak

Sistem demineralizer

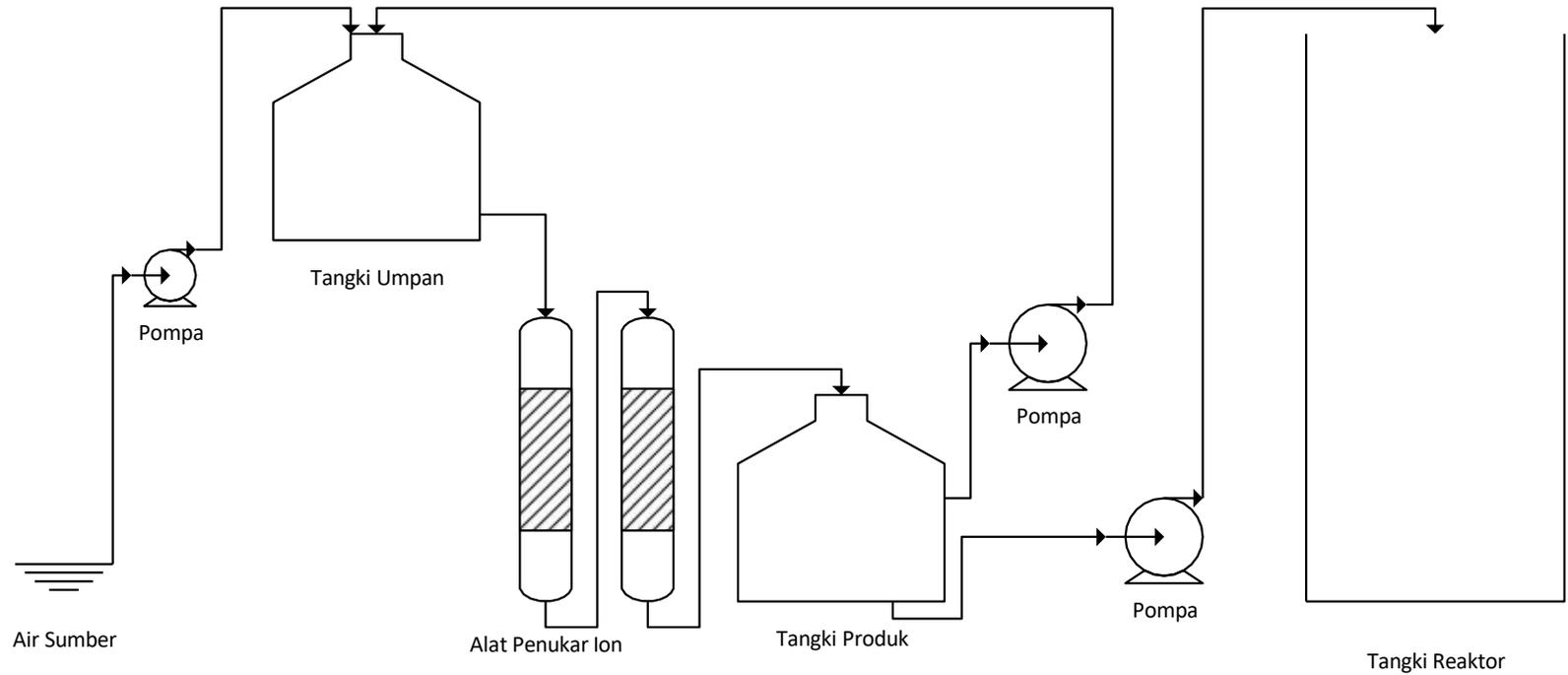


Nama Komponen	Kegiatan Perawatan	Frekuensi Perawatan
Air pendingin primer	Pengukuran pH dan tahanan jenis air pendingin	Pada saat reaktor akan dioperasikan atau sekurang-kurangnya 1 kali/ bulan
	Pengukuran radioaktivitas air pendingin	1 kali / bulan
	Pengukuran kandungan unsur Mg, Ca, Na ATR	1 kali / 3 bulan dan kadarnya masih < 1 ppm
Pompa, katup dan sistem pemipaan, pengukur tekanan, pengukur konduktivitas air	Pemeriksaan Kebocoran/kerusakan	2 kali / tahun
Alat ukur tekanan, flowmeter, dan konduktivitas	Pemeriksaan kinerja	1 kali / bulan
Resin perangkat pemurnian air (<i>demineralizer</i>)	Penggantian	Apabila tahanan jenis air primer setelah keluar dari demineralizer < 5 MΩ cm
Filter perangkat pemurnian air (<i>demineralizer</i>)	Pembersihan	1 kali / 2 tahun

No	Parameter	Batas
1	pH	5,5 – 7
2	Tahanan jenis Konduktivitas input	$\geq 2 \text{ M } \Omega \text{ cm}$
3	Kadar Na, Ca, Mg	$\geq 1 \text{ ppm}$

Nama Komponen	Karakteristik
Demineralizer	Merk : RM THOMAS Co Industrial Water Tangki SS Volume : 200 L Isi : resin Amberlite IRN-150
Pompa demineralizer	Merk : Luitweler Type : sentrifugal Head : 30 m Debit : 150 Lpm
Motor pompa demineralizer	Daya : 2 HP Voltase : 230/115 Amper : 9,6/19 RPM : 2850 Phase : 1 Frekuensi : 50 Hz Type : CP
Panel demineralizer	Tahanan : 6 - ∞ K Ω cm Flow meter : 0 – 60 GPM Barometer : 0 – 60 psi di inlet dan outlet filter

Sistem penambah ATR



THANK YOU FOR YOUR
ATTENTION



**DIREKTORAT PENGELOLAAN FASILITAS KETENAGANUKLIRAN
BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL**



Jl. Babarsari, Kotak Pos 6101 ykbb Yogyakarta, 55281, Indonesia



(+62 274) 488435 | Fax. (+62 274) 525 1110



wahy052@brin.go.id