

BAB II

DASAR TEORI

A. Landasan Teori

1. Tata Udara (*Air Conditioning*)

“*Air conditioning* atau tata udara didefinisikan sebagai proses pengaturan udara secara simultan atau serempak antara temperatur, kelembaban, kecepatan aliran dan kejernihan udara di dalam suatu ruangan, sehingga diperoleh suatu kondisi udara ruangan tertentu”.¹ Dari definisi tersebut, agar suatu ruangan dapat dirasakan nyaman bagi tubuh manusia, perlu diatur empat properti udara di dalam ruangan yaitu :

- a). Temperatur udara
- b). Kelembaban udara
- c). Sirkulasi udara
- d). Kejernihan udara

2. Siklus Pendinginan *Air Conditioner*

Dalam pengertiannya, siklus pendinginan (refrigerasi) adalah :

“Proses menguapkan refrigerasi (zat pendingin) yang dapat menyerap panas dari sekelilingnya, kemudian membuat sekelilingnya menjadi dingin melalui penguapan panas laten (panas yang diperlukan untuk merubah fase

¹ R. Setia Irawan, Split Air Conditioner, (Jakarta : BLKI, 1998), h. 3.

benda, mulai dari titik lelehnya atau titik didihnya atau titik bekunya sampai benda itu secara sempurna berubah fase, tetapi temperatur tetap) dari refrigerasi tersebut”.² Refrigerasi yang baik, salah satunya adalah mudah menguap dan mengembun pada temperatur udara biasa.

Waktu kompresor sedang bekerja, bahan pendingin di kompresi sehingga tekanannya menjadi tinggi. Bahan pendingin (Refrigeran) mengalir ke kondensor, pipa kapiler, *dryer*, evaporator dan melalui saluran hisap kembali ke kompresor selanjutnya siklus berulang kembali.

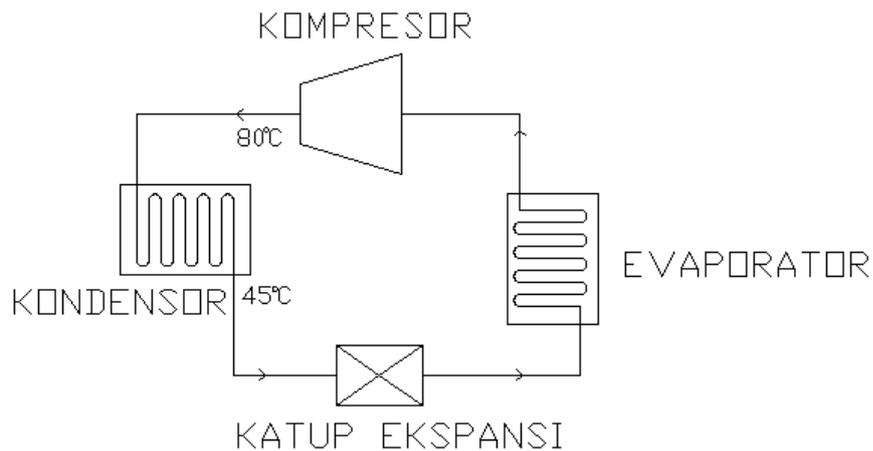
Gas *freon* yang masuk dikompresi oleh kompresor yang menyebabkan gas menjadi sangat panas temperatur 80°C, sehingga klep tekan menjadi terbuka dan klep hisap menutup. Dengan terbukanya klep tekan, *vapor* yang dipompa oleh piston kompresor keluar melalui celah-celah klep tersebut, dan masuk ke dalam saluran tekan. *Vapor* di dalam silinder dan di dalam saluran tekan adalah merupakan *refrigeran* panas dengan temperatur 80°C dan mempunyai tekanan yang paling tinggi dari seluruh sirkulasi.

Gas *freon* yang panas dan bertekanan tinggi memasuki kondensor, dan begitu gas tersebut memasuki pipa kondensor, panasnya diserap oleh udara yang mengalir melalui sela-sela pipa dan *fins*. Dengan kondensor bekerja melepaskan panas hasil dari kompresi dan mengubah gas yang bersuhu tinggi menjadi cairan bertekanan tinggi. Pada keadaan normal, bagian atas

² CEVEST Seri Latihan Teknik Pendingin, Pengantar Teknik Pendingin 1, (Jakarta : Departemen Tenaga Kerja RI dan JICA, 1987), h. 23.

kondensor penuh dengan gas panas dan bagian bawah penuh dengan cairan panas.

Vapor panas ini setelah berada dalam kondensor agak turun temperaturnya (45°C) mengubah menjadi *liquid* semuanya. Peredaran *liquid* dari kondensor setelah sampai dalam *dryer*, akan segera memasuki pipa kapiler yang mempunyai lubang diameter sangat kecil sehingga tekanannya diturunkan menjadi rendah sesuai dengan temperatur jenuh di evaporator.

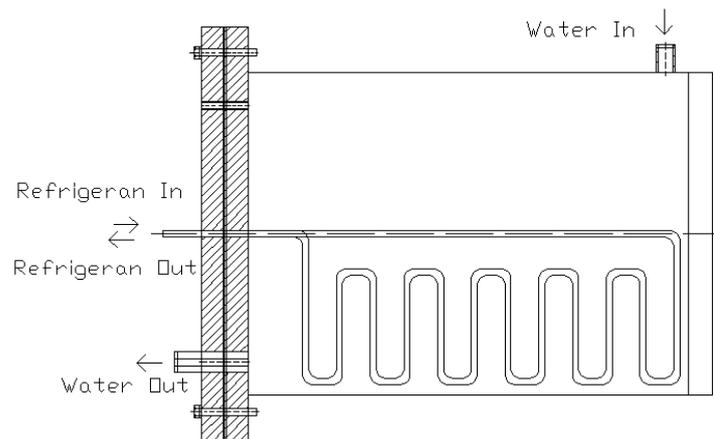


Gambar 2.1 Sistem *Air Conditioner*

3. *Heat Exchanger*

Alat penukar kalor atau *Heat Exchanger* (HE) adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas dari sistem ke sistem lain tanpa perpindahan massa dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai adalah air yang dipanaskan sebagai fluida panas dan air biasa sebagai air pendingin. Penukar kalor dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat

berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung



Gambar 2.2 *Heat Exchanger*

Secara praktis bisa digunakan metode beda suhu rata-rata logaritmik atau *Logarithmic Mean Temperature Difference* (LMTD) dan jumlah unit perpindahan panas atau *Number of heat Transfer Units* (NTU) untuk menghitung panjang pipa yang akan digunakan pada *heat exchanger*.

Untuk menentukan besarnya kalor yang dilepas oleh pipa, dapat digunakan persamaan-persamaan untuk silinder horizontal panjang dengan konveksi bebas :

$$Q_{HE} = \bar{h} \times A_{\text{pipa}} \times \Delta T \quad \dots(1)$$

Untuk menentukan besarnya koefisien konveksi (\bar{h}), digunakan persamaan :

$$\bar{h} = \frac{Nu k}{D} \quad \dots(2)$$

Sedangkan untuk mencari besarnya Nu, Churchill dan Chu merekomendasikan persamaan untuk bilangan Rayleigh pada kisaran tertentu :

$$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 Ra^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\} \text{ untuk } Ra \leq 10^{12} \quad \dots(3)$$

$$\alpha = \frac{\nu}{Pr} \quad \dots(4)$$

$$Ra = \frac{g\beta(T_{ri}-T_{wi})D^3}{\alpha\nu} \quad \dots(5)$$

Dimana :

Q_{HE} = Kalor yang dilepas oleh *Heat Exchanger* (Joule)

\bar{h} = Koefisien Konveksi ($W/m^2 \cdot K$)

Nu = Bilangan Nusselt

D = Diameter Pipa (m)

k = Konduktifitas thermal pipa ($W/m \cdot K$)

Pr = Bilangan Prandtl

Ra = Bilangan Rayleigh

B = Koefisien ekspansi thermal (K^{-1})

g = gravitasi (m/s^2)

α = Difusifitas thermal (m^2/s)

ν = Viskositas kinetik (m^2/s)

T_{ri} = Temperatur *Refrigeran* masuk ($^{\circ}C$)

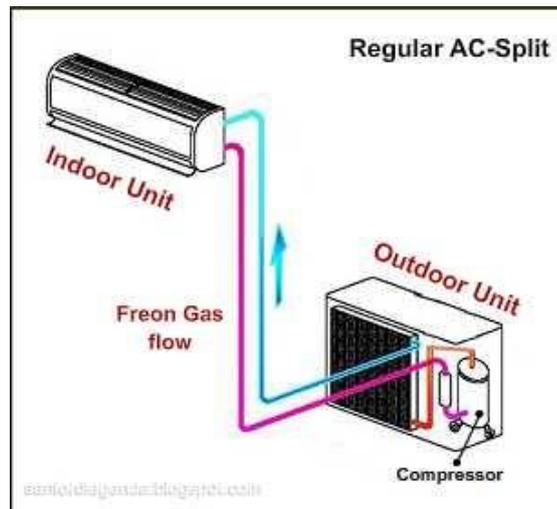
T_{wi} = Temperaur air masuk ($^{\circ}C$)

4. *Air Conditioner Water Heater*

Pemanas air menggunakan AC atau *Air Conditioner Water Heater* (ACWH) merupakan jenis pemanas air yang memanfaatkan energi panas yang dihembuskan oleh kondensor AC rumah. Sebagaimana diketahui bahwa untuk mendinginkan ruangan, AC rumah mengandalkan kompresor memompakan *freon* yang mengembun dan sebagai gantinya udara panasnya dibuang oleh kondensor keluar.

Prinsip kerja *air conditioner water heater* ini adalah mengumpulkan panas yang dibuang oleh kondensor kemudian dialirkan ke tabung penyimpanan air untuk memanaskan air. Pemanas air jenis ini tidak mempunyai bentuk yang spesifik selain mempunyai satu tangki penyimpan air panas seperti yang terdapat pada jenis pemanas air yang lain.

Dengan pemanas air AC ini tidak memerlukan energi tambahan baru untuk mendapatkan air panas untuk keperluan rumah tangga, seperti mandi misalnya. Cara kerja AC Split pada umumnya, seperti terlihat pada gambar skema di bawah ini.



Gambar 2.3 Cara Kerja AC Split

AC menggunakan gas *freon* sebagai bahan pendinginnya. Ketika masuk ke *indoor* unit (Evaporator) temperatur *freon* sangat dingin. Temperatur yang dingin dari *freon* dihembuskan keluar untuk mendinginkan ruangan. Temperatur ruangan yang lebih panas akan dihisap sehingga *freon* menjadi panas ketika keluar dari *indoor* unit dan seterusnya masuk ke *outdoor* unit. Setelah masuk ke *outdoor* unit dan sebelum didinginkan di bagian kondensor, *freon* panas dikompres (dimampatkan) oleh kompresor sehingga temperatur *freon* menjadi lebih panas lagi. Temperatur *freon* yang sangat panas ini didinginkan kembali dengan cara ditiup kipas dibagian kondensor. Dan *freon* kembali masuk ke *indoor* unit melewati *expansion valve* untuk mengurangi tekanan yang dihasilkan oleh kompresor. Begitu seterusnya.

Pada pemanas air AC, temperatur *freon* yang sangat tinggi yang keluar dari kompresor disalurkan ke elemen pemanas (*heat exchanger*) yang ada di dalam tangki dan memanaskan air yang ada di dalam tangki tersebut.

Setelah keluar dari elemen pemanas yang ada di dalam tangki pemanas, temperatur *freon* tidak terlalu panas dan didinginkan kembali di bagian kondensor *outdoor* unit. Keluar dari *outdoor* unit *freon* yang dingin kembali masuk ke *indoor* unit untuk mendinginkan ruangan. Begitu seterusnya.

5. Penggunaan Air Panas dalam Rumah Tangga

Berdasarkan standar temperatur air panas untuk kepentingan mandi dan mencuci tangan, maka temperatur harus dicapai oleh sistem ACWH adalah 40-45°C. Sedangkan untuk kepentingan mandi, rata-rata orang dewasa membutuhkan air 50 L.

Tabel 2.1 Temperatur Penggunaan Air Panas di Rumah Tangga³

No	Jenis Pemakaian	Temperatur
		°C
1	Minum	50-55
2	Mandi : Dewasa	42-45
	Mandi : anak-anak	40-42
3	Pancuran mandi	40-43
4	Cuci muka dan tangan	40-42
5	Cuci tangan untuk pengobatan	43
6	Bercukur	46-52
7	Dapur :	
	Macam-macam keperluan	45
	Pencucian mesin cuci	45-60
	Pembilasan mesin cuci	70-80
8	Cuci pakaian :	
	Macam-macam pakaian	60
	Bahan sutra dan wol	33-49
	Bahan linen dan katun	49-60
9	Kolam renang	21-27
10	Cuci mobil (bengkel)	24-30

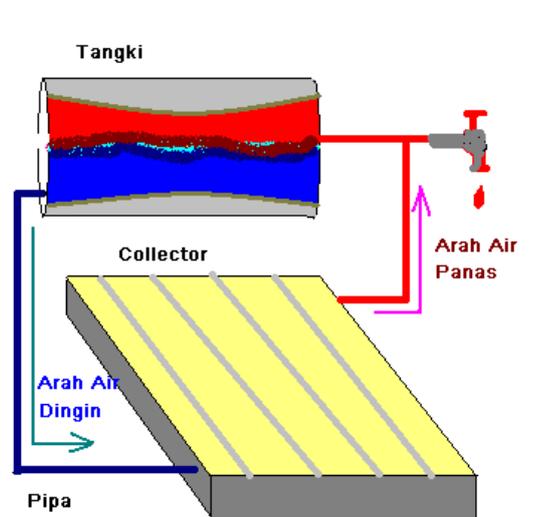
³ Badan Standardisasi Nasional, *Tata Cara Perencanaan Sistem Plambing*, http://sisni.bsn.go.id/index.php?/sni_main/sni/detail_sni/6601, diakses 10 November 2015.

B. Jenis-jenis Pemanas Air

Pemanas air yang berada di pasaran memiliki berbagai jenis dan memiliki keunggulan serta kelebihan masing-masing. Beberapa jenis pemanas air yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Pemanas Air Matahari

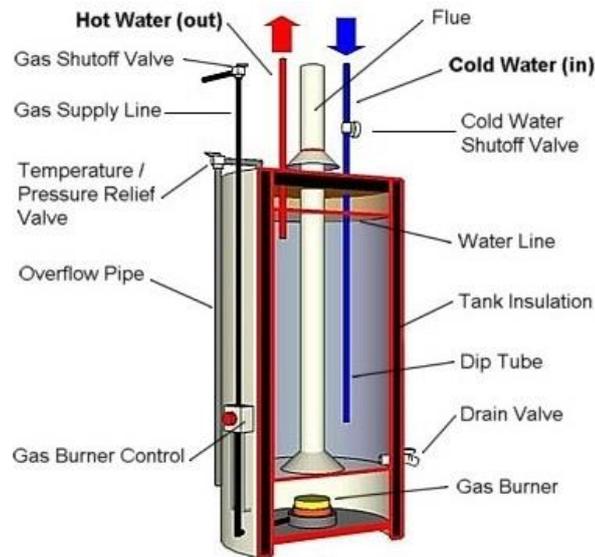
Tipe ini merupakan tipe yang ramah lingkungan karena menggunakan radiasi panas matahari sebagai sumber energinya, tetapi untuk harga alat ini jauh lebih mahal dibandingkan dengan tipe lainnya. Prinsip kerjanya adalah dengan memanfaatkan energi radiasi matahari yang diserap oleh absorber, kemudian air panas ditampung di dalam tangki yang diisolasi. Fluida mengalir dengan cara perbedaan massa jenis air di dalam tangki. Beberapa sistem pemanas telah dilengkapi dengan *heater* tambahan sehingga dapat memanaskan air walaupun tidak ada sinar matahari. Pemanas air tenaga surya yang paling umum adalah jenis pemanas air tenaga surya plat datar. Kekurangannya adalah pemasangan yang lebih rumit (diletakan di atas atap rumah) dan panas yang dihasilkan akan tergantung dari panas matahari yang ada. Apabila panas matahari yang dibutuhkan tidak cukup untuk memanaskan air yang ada, maka pemanas listrik yang ada bekerja untuk memanaskan air. Jadi dibutuhkan energi listrik tambahan lagi.



Gambar 2.4 Pemanas Air Tenaga Matahari

2. Pemanas Air Berbahan Bakar Gas

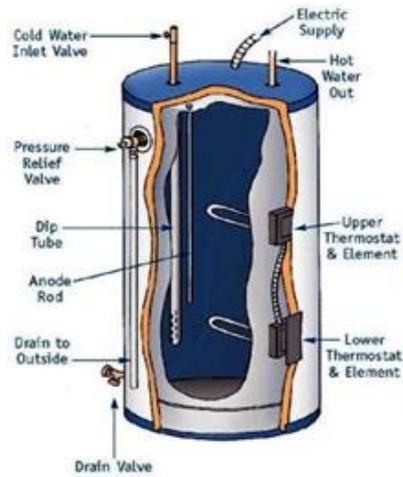
Prinsip kerjanya adalah dengan melewati air melalui pipa-pipa kedalam sebuah tangki yang diisolasi sekelilingnya, kemudian pada bagian bawah tangki tersebut dibakar dengan menggunakan gas, untuk menghasilkan air panas. Untuk memperluas bidang perpindahan panas biasanya ditambahkan sirip-sirip. Perluasan bidang perpindahan panas diperlukan agar input energi lebih besar sehingga temperatur yang diperoleh lebih tinggi. Selain itu digunakan pula pipa-pipa tembaga untuk mempercepat perpindahan panas.



Gambar 2.5 Pemanas Air Berbahan Bakar Gas

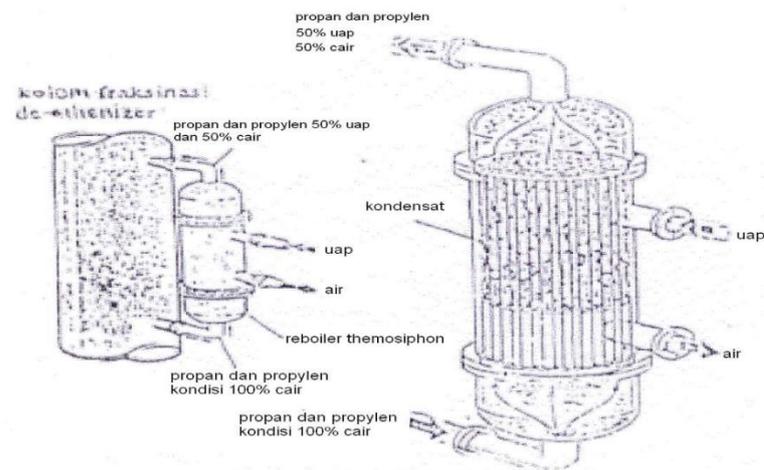
3. Pemanas Air Listrik

Tipe ini merupakan tipe pemanas air yang paling umum digunakan. Prinsip kerja pemanas air listrik adalah dengan cara mengalirkan air dalam sebuah tangki berisolasi yang dilengkapi dengan elemen pemanas yang akan memanaskan air karena adanya arus listrik. Pemanas air listrik dilengkapi dengan adanya thermostat sehingga sistem dapat mati/hidup secara otomatis. Ketika air panas digunakan, *supply* air akan masuk ke dalam tangki yang menyebabkan turunnya temperatur air di tangki. Penurunan temperatur akan mengaktifkan sistem pemanas sampai temperatur air panas tercapai. Kekurangannya adalah dibutuhkan energi listrik yang besar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.



Gambar 2.6 Pemanas Air Listrik

4. Reboiler



Gambar 2.7 Reboiler

Alat penukar kalor ini berfungsi mendidihkan kembali (*reboil*) serta menguapkan sebagian cairan yang diproses. Adapun media pemanas yang sering digunakan adalah uap atau zat panas yang sedang diproses itu sendiri. Hal ini dapat dilihat pada penyulingan minyak pada gambar 2.7, diperlihatkan sebuah *reboiler* dengan mempergunakan minyak (665°F) sebagai media penguap, minyak tersebut akan keluar dari boiler dan mengalir didalam *tube*.

5. *Phase Change Heat Exchanger*

Selain memanaskan atau pendinginan cairan hanya dalam satu fasa, penukar panas dapat digunakan baik untuk memanaskan cairan menguap (atau mendidih) atau digunakan sebagai kondensor untuk mendinginkan uap dan mengembun ke cairan. Pada pabrik kimia dan kilang, *reboilers* digunakan untuk memanaskan umpan masuk untuk menara distilasi sering penukar panas.

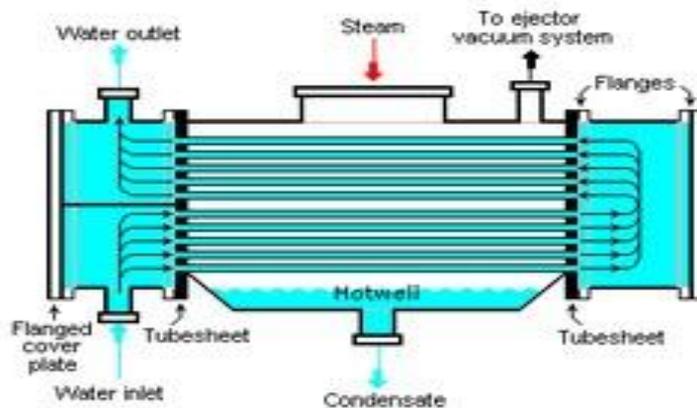
Distilasi *set-up* biasanya menggunakan kondensor untuk mengkondensasikan uap distilasi kembali ke dalam cairan. Pembangkit tenaga listrik yang memiliki uap yang digerakkan turbin biasanya menggunakan penukar panas untuk mendidihkan air menjadi uap.

Heat exchanger atau unit serupa untuk memproduksi uap dari air yang sering disebut boiler atau generator uap. Dalam pembangkit listrik tenaga nuklir yang disebut reaktor air bertekanan, penukar panas khusus besar yang melewati panas dari sistem (pabrik reaktor) primer ke sistem (pabrik uap) sekunder, uap diproduksi dari air dalam proses, disebut generator uap. Semua pembangkit listrik berbahan bakar fosil dan nuklir menggunakan uap yang digerakkan turbin memiliki kondensor permukaan untuk mengubah uap gas buang dari turbin ke kondensat (air) untuk digunakan kembali.

Untuk menghemat energi dan kapasitas pendinginan dalam kimia dan tanaman lainnya, penukar panas regeneratif dapat digunakan untuk mentransfer panas dari satu aliran yang perlu didinginkan ke aliran yang

perlu dipanaskan, seperti pendingin distilat dan pakan *reboiler* pra-pemanasan.

Istilah ini juga dapat merujuk kepada penukar panas yang mengandung bahan dalam struktur mereka yang memiliki perubahan fasa. Hal ini biasanya padat ke fase cair karena perbedaan volume kecil antara negara-negara ini. Perubahan fase efektif bertindak sebagai *buffer* karena terjadi pada suhu konstan tetapi masih memungkinkan untuk penukar panas untuk menerima panas tambahan. Salah satu contoh di mana ini telah diteliti untuk digunakan dalam elektronik pesawat daya tinggi.

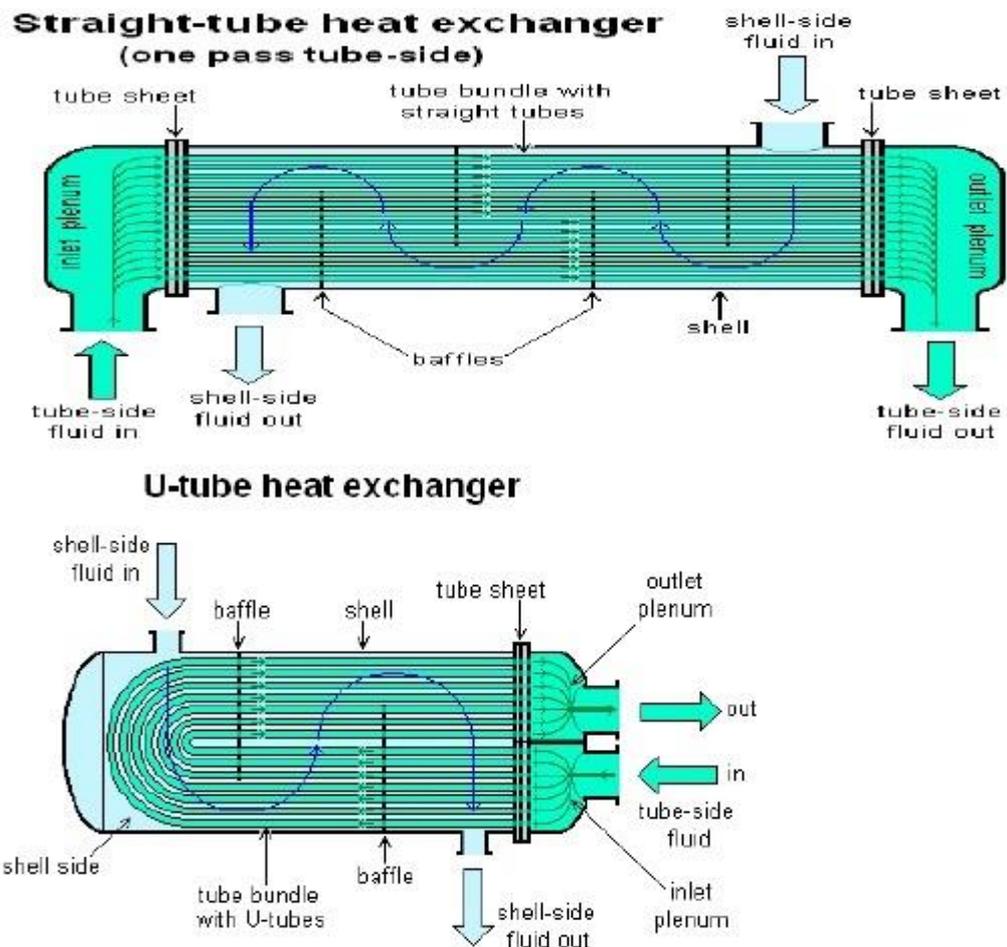


Gambar 2.8 *Phase Change Heat Exchanger*

6. *U-Tube Heat Exchanger*

Tube bundle yang berisi *stationary tube sheet*, *u-tubes*, *baffle* atau plat pendukung, *tie rods* dan *spaces* yang sesuai. *Tube bundle* dapat dipindahkan dari *heat exchanger shell*. Suatu *tube sider (stationary head)* dan *shell* dengan *integral shell cover*, yang dimana dilas pada *shell*, telah disediakan. Masing-

masing tabung bebas untuk memperluas tanpa ada batasan ditempatkan di atasnya oleh tabung lain.



Gambar 2.9 U-Tube Heat Exchanger

U-tube bundle memiliki keuntungan jarak yang minimum antara batas tabung luar dan bagian dalam *shell* untuk perpindahan konstruksi *tube bundle* apapun. Jarak merupakan sama pentingnya seperti pada *fixed-tube-sheet heat exchanger*.

Banyaknya lubang tabung yang diberikan *shell* lebih sedikit untuk *fixed-tube-sheet exchanger* karena pembatasan pada pembengkokkan tabung

pada radius yang sangat pendek. Desain *U-tube* memberikan keuntungan untuk mengurangi banyaknya sambungan. Pada konstruksi bertekanan tinggi, bentuk ini menjadi penting dipertimbangkan dalam mengurangi biaya awal dan pemeliharaan. Penggunaan konstruksi *U-tube* telah meningkat dengan pengembangan tentang pembersih tabung hidrolik, yang dapat memindahkan residu dari bagian lurus dan bengkakan U pada tabung.

Rods dan tabung mekanis pembersih konvensional tidak bisa lewat dari satu ujung *u-tube* ke ujung lainnya. Terdapat *power driven tube cleaner*, yang dapat membersihkan kaki tabung yang lurus dan bengkakan tabung. Pengaliran hidrolik dengan mendorong air melalui nozzle pada tekanan.

Alat pemanas tangki penghisap, seperti pada gambar 2.9, terdapat *U-tube bundle*. Desain ini sering digunakan dengan tangki penyimpanan di luar untuk bahan bakar minyak berat, tar, molases dan fluida yang memiliki viskositas kecil agar mudah untuk dipompa. Biasanya media pemanasan tube side berupa uap. Satu ujung *shell* pemanas terbuka, dan cairan dipanaskan melewati bagian luar dari tabung. Biaya pompa dapat dikurangi tanpa memanaskan keseluruhan muatan tangki. *Bare fin-tube* dan *integral low-fin tube* dilengkapi dengan *baffles*. Pemanas longitudinal *fin-tube* tidak di-*baffle*. *Fin* sering digunakan untuk mengurangi potensi pencemaran fluida tersebut.

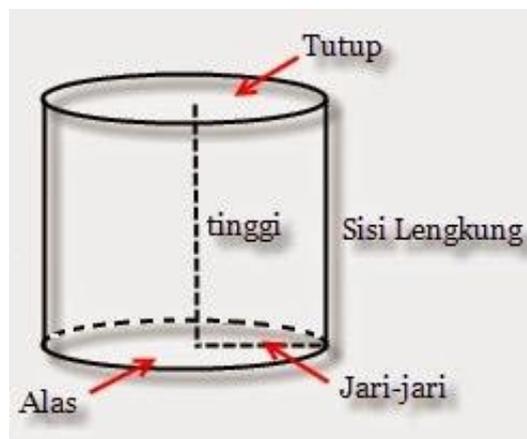
U-tube exchanger dengan tabung tembaga, *cast iron headers*, dan bagian lain yang merupakan baja karbon digunakan untuk air dan uap di dalam bangunan kantor, sekolah, rumah sakit, hotel dan lain-lain. Lembar tabung *non-ferrous* atau 90-10 tabung tembaga-nikel adalah yang paling sering

digunakan sebagai material pengganti. Standar *exchangers* ini tersedia dari sejumlah harga sebenarnya yang jauh di bawah peralatan industri proses.

C. Dasar Teori Perhitungan ACWH

1. Perhitungan Volume Tangki

Untuk menentukan volume *water storage*, berikut adalah perhitungan dalam rancang bangunnya :



Gambar 2.10 Perhitungan Mencari Volume Tabung

$$V = \text{Luas Alas} \times \text{Tinggi}$$

$$\text{Luas alas} = \pi r^2 = 1/4\pi d^2$$

$$V = \pi r^2 t$$

.....(1)⁴

Dimana,

⁴ <http://www.cara.aimyaya.com/2015/01/rumus-menghitung-volume-tabung-silinder.html>, diakses pada 16 september 2015

V = Volume

A = Luas alas

$\pi = 22/7$ atau 3,14

r = Radius/jari-jari lingkaran

d = Diameter lingkaran

t = Tinggi tabung

2. Perhitungan Kerja Kompresor

$$P = I.V$$

.....(2)⁵

Dimana,

P = Daya listrik (Watt)

I = Arus listrik (Ampere)

V = Tegangan listrik (Volt)

3. Efisiensi *Heat Exchanger*

Untuk mencari efisiensi *heat exchanger* bisa menggunakan aplikasi CoolPack dan Refprop. Dengan menggunakan aplikasi tersebut dapat di cari kalor kondensor (Q_c) yang dihasilkan oleh AC.

$$\eta = \frac{Q_{air}}{Q_c}$$

⁵ <http://teknikelektronika.com/pengertian-daya-listrik-rumus-cara-menghitung/> diakses pada 16 september 2015

Dimana :

η = Efisiensi *heat exchanger* (%)

Q_{air} = Kalor air (Joule)

Q_c = Kalor kondensor (Joule)

4. Coefficient Of Performance Heat Exchanger

$$\text{COP HE} = \frac{Q_{\text{air}}}{\text{Daya}}$$

Dimana :

Q_{air} = Kalor air (Joule)

Daya = Daya listrik (Watt)