

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Refrigerasi dan Pengkondisian Udara**

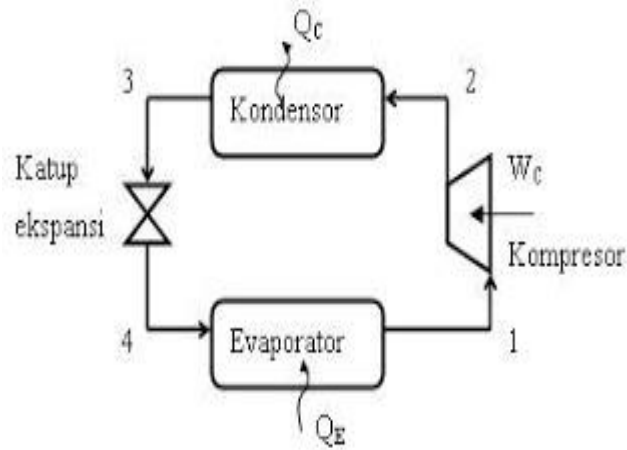
Refrigerasi dan pengkondisian udara merupakan suatu proses yang saling berkaitan satu sama lain, akan tetapi masing-masing mempunyai ruang lingkup yang berbeda-beda. Refrigerasi merupakan suatu proses penurunan temperatur dan menjaga agar temperatur ruang atau bahan yang ada di ruangan tetap berada di bawah temperatur sekelilingnya, dalam kata lain ruang lingkup teknik.

Sistem refrigerasi adalah suatu sistem yang menjadikan kondisi temperatur rendah suatu ruang lingkup yang terbatas dibawah kondisi temperaturnya semula. Pada prinsipnya kondisi temperatur rendah yang dihasilkan suatu sistem refrigerasi, diakibatkan penyerapan panas pada reservoir dingin ( Low Temperature Source ) yang merupakan salah satu bagian dari sistem refrigerasi tersebut. Panas yang diserap pada low temperatur source ditambah dengan panas yang diakibatkan oleh pemberian kerja luar bidang pada bagian sistem refrigerasi yang disebut High Temperature Sink ( Reservoir Panas ). Sedangkan teknik pengkondisian udara tidak hanya mendinginkan udara, tetapi penekanannya pada kenyamanan pengguna atau pemakai ( Comfort Air Conditioning ). Menurut definisi pengkondisian udara adalah pengaturan simulasi terhadap temperatur, kelembapan, aliran dan kebersihan udara di dalam suatu ruangan, pengkondisian udara juga mencakup usaha pemanasan atau penghangatan ruangan. Penerapan pengkondisian udara banyak dijumpai pada pusat perbelanjaan, rumah tinggal, perhotelan dan perkantoran.

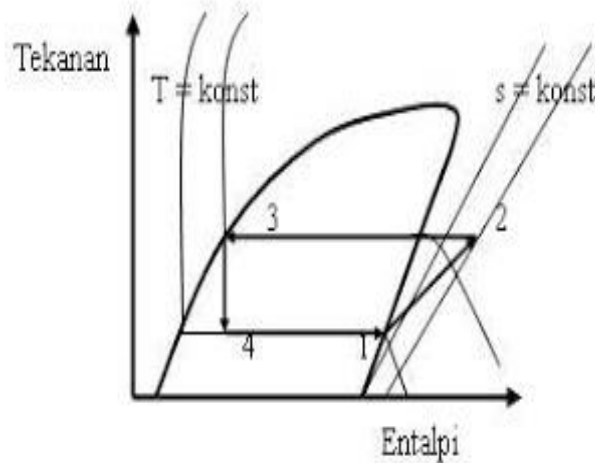
#### **2.2 Siklus Kompresi Uap**

##### **2.2.1 Siklus Kompresi Uap Standart ( Standart Vapour Compression System )**

Daur refrigerasi yang sederhana terdiri dari kompresor, kondensor, expansion valve, dan evaporator. Kemudian dari kondisi yang sederhana ini dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan.



Gambar 2.1 : Skematis siklus refrigrasi kompresi uap

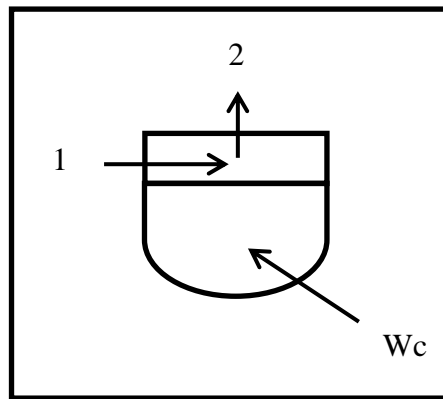


Gambar 2.2 : Skematis siklus refrigrasi termasuk perubahan tekanannya

### 2.2.2 Siklus Sistem Refrigerasi

#### 1) Proses 1-2 : Proses Kompresi di Kompresor

Pada proses kompresi ideal (1-2s) tidak ada perpindahan panas yang terjadi antara refrigeran dan sekelilingnya (Proses Adiabatik), juga dianggap tidak ada kerugian gesekan antara refrigerant dengan komponen-komponen kompresor. Proses ini juga disebut dengan proses isentropik, yaitu suatu proses dimana nilai dari entropinya adalah konstan. Kerja yang dialami kompresor merupakan masukan kerja (  $W$  ) yang sebenarnya berdasarkan tingkat keadaan 1, oleh tekanan yang super panas.



Gambar 2.3 : Simbol Kompresor

Persamaan keseimbangan energy ( balance energy )

$$W_c + h_1 - h_2 = 0$$

$$W_c = h_2 - h_1$$

Karena energy kinetic (  $E_k$  ) dan energy potensial (  $E_p$  ) maka untuk kompresi isentropic ideal, tingkat keadaan dua ditentukan oleh entropi ( sama dengan tingkat keadaan satu ) dan tekanannya, sehingga untuk kompresor adalah

$$W_c = h_{2s} - h_1$$

Maka untuk kerja mesin sebenarnya adalah sebagai berikut :

$$W_c = \frac{W_c}{c}$$

Dimana :

$W_c$  = kerja kompresor ( kJ/kg )

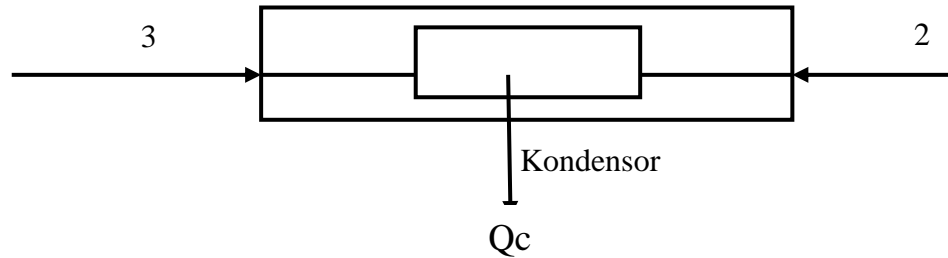
$h_1, h_2, h_{2s}$  = enthalpy ( kJ/kg )

$c$  = efisiensi isentropic kompresor

## 2) Proses 2-3 : Proses Pembuangan Panas (Kondensasi) di Kondensor

Pada proses ini tidak terjadi penurunan tekanan (Drop Pressure) sehingga proses disebut isobarik, yaitu suatu proses yang dimana tekanannya adalah konstan. Proses ini merubah refrigerant dari kondisi uap lanjut (titik 2) menjadi cairan jenuh (titik 3) dilakukan dengan jalan mengalirkan udara melalui kondensor, sehingga di dalam area ini terjadi proses perpindahan panas (kondensasi) antara refrigerant dengan udara. Dari tingkat keadaan biasa

ditentukan pula harga  $h_3$  yang ditentukan oleh tekanan pada pengeluaran kompresor dalam kondisi cairan jenuh setelah kondensasi.



Gambar 2.4 : Simbol Kondensor

Persamaan keseimbangan energy ( balance energy )

$$h_2 - Q_c - h_3 = 0$$

$$Q_c + h_3 = h_2$$

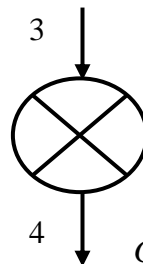
$$Q_c = h_2 - h_3$$

Dimana :

$Q_c$  = laju perpindahan kalor ( kJ/kg )

### 3) Proses 3-4 : Proses Ekspansi pada Katup Ekspansi

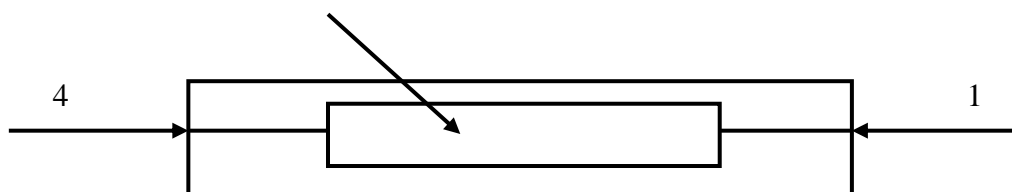
Pada proses ekspansi ini terjadi penurunan tekanan tanpa terjadi perubahan enthalpi dari kondisi cairan jenuh (titik 3) menjadi kondisi campuran (titik 4). Dengan terjadinya penurunan tekanan menyebabkan temperatur refrigerant menjadi turun juga. Refrigerant dengan suhu yang sangat dingin ini dialirkan ke dalam evaporator untuk dihembuskan keluar. Proses yang terjadi adalah penurunan tekanan dengan enthalpy konstan yang disebut throttling yang menghasilkan penurunan temperatur yang berarti, sehingga nilai  $h_3 = h_4$



Gambar 2.5 : Simbol Katup Ekspansi

#### 4) Proses 4-1 : Proses Penyerapan Panas (Evaporasi) di Evaporator

Dalam proses ini tidak terjadi penurunan tekanan seperti halnya pada kondensor, proses ini merubah kondisi refrigerant dari kondisi campuran (titik 4) menjadi uap jenuh (titik 1) dengan jalan melewati udara melalui evaporator. Didalam ruang ini terjadi perpindahan panas antara refrigerant dengan udara. Temperatur refrigerant naik sampai menjadi uap jenuh, sedangkan udara yang keluar melalui evaporator menjadi dingin. Udara dingin inilah yang dimanfaatkan untuk mendinginkan udara disekitar ruangan atau dimanfaatkan sebagai pengkondisian udara.



Gambar 2.6 : Simbol Evaporator

Persamaan keseimbangan energy ( balance energy )

$$Q_e + h_4 - h_1 = 0$$

$$Q_e = h_1 - h_4$$

Dimana :

$Q_e$  = laju perpindahan energy ( kJ/ kg )

Untuk lebih amannya dalam perencanaan maka  $Q_c$  dan  $Q_e$  sebaliknya dikalikan dengan factor keamanan, yaitu 5% - 10%. Sehingga pelepasan kalor actual pada kondensor adalah :

$$Q_c = Q_c + Q_c \cdot f_k$$

Dan penyerapan kalor actual oleh evaporator adalah :

$$Q_e = Q_e + Q_e \cdot f_k$$

## 2.3 Komponen Utama yang Membentuk Sistem Refrigerasi

### 2.3.1 Kompresor

Kompresor adalah suatu alat pada mesin pendingin. Daya hisapnya yang menghisap dan memompa gas digerakkan oleh electromotor. Sehingga menaikkan tekanan yang mengakibatkan adanya kompresi yang bertujuan untuk memudahkan cairan kembali dari refrigerant. Pada waktu uap refrigerant dihisap masuk ke kompresor berlangsung maka temperaturnya akan naik. Jumlah refrigerant yang bersirkulasi didalam daur refrigerant tergantung pada jumlah uap yang dihisap masuk kedalam kompresor.

### 2.3.2 Kondensor

Kondensor adalah suatu jaringan pipa yang berfungsi sebagai pengembunan udara yang dipompakan dari kompresor akan mengalami penukaran, sehingga mengalir ke pipa kondensor. Selanjutnya udara yang berada dalam pipa kondensor akan mengalami pengembunan dan menjadi cair jenuh. Dari sini, udara yang sudah mengembun dan menjadi zat cair jenuh akan mengalir menuju pipa evaporator melalui katup ekspansi.

### 2.3.3 Alat Ekspansi

Elemen dasar dari sistem refrigerant selain dari kompresor, kondensor, dan evaporator adalah alat ekspansi. Alat ekspansi ini mempunyai dua kegunaan yaitu menurunkan tekanan refrigerant cair dan mengatur aliran refrigerant ke evaporator. Alat ekspansi menurut cara kerjanya dibedakan menjadi 4 bagian yaitu :

#### ➤ Pipa kapiler

Berupa pipa kecil dari tembaga dengan lubang berdiameter sekitar  $\pm 1$  mm, dengan panjang yang disesuaikan dengan keperluannya hingga beberapa centimeter. Pada berbagai unit refrigerasi yang menggunakannya pipa ini biasanya diuntai agar terlindung dari kerusakan dan ringkas penempatannya. Lubang saluran yang sempit dan panjangnya pipa kapiler

ini merupakan hambatan bagi aliran refrigerant yang melintasinya, hambatan itulah yang membatasi besarnya aliran itu. Pipa kapiler ini menghasilkan aliran yang konstan.

➤ Katup Ekspansi Tangan ( hand/manual expansion valve )

Adalah pengatur aliran yang berupa katup atau keran biasa, yang dioperasikan untuk mengatur bukaannya secara manual.

➤ Katup Ekspansi Termostatik ( Thermostatic expansion valve )

Pada piranti ini terdapat bagian yang dapat bekerja secara termostatik, yaitu mempunyai sensor suhu yang dilekatkan pada bagian keluaran evaporator. Perubahan suhu yang terjadi pada keluaran evaporator itu menjadi indicator besar-kecilnya beban refrigerasi. Variasi suhu itu dimanfaatkan untuk mengaturbukaan TEV, sehingga besarnya laju aliran melintasinya juga menjadi terkontrol.

➤ Katup Pelampung ( float valve – FV )

Piranti ekspansi jenis ini biasanya dirangkaikan dengan evaporator jenis “genangan” ( flooded evaporator, wet evaporator ). Ketinggian muka (level) cairan dalam tendon ( reservoir ) cairan evaporator menjadi pendorong pelampung yang menjadi pengatur besarnya bukaan katup.

### **2.3.4 Evaporator**

Evaporator adalah suatu jaringan atau bentuk pipa yang dikonstruksikan sedemikian rupa berfungsi sebagai alat penguapan. Pipa evaporator ada yang terbuat dari bahan tembaga, besi, aluminium, atau dari kuningan. Namun kebanyakan terbuat dari aluminium dan besi.

Evaporator dapat dibagi ke dalam beberapa golongan sesuai dengan keadaan refrigeran yang ada didalamnya yaitu: Jenis ekspansi kering (Dry atau direct expansion evaporator) dan evaporator jenis basah (Flooded evaporator). Pada evaporator jenis ekspansi kering, cairan refrigeran yang diekspansikan melalui katup ekspansi, pada waktu masuk ke dalam evaporator sudah dalam keadaan campuran cair dan uap sehingga keluar dari evaporator dalam keadaan uap kering. Oleh karena sebagian dari evaporator terisi oleh uap refrigeran maka perpindahan kalor yang terjadi tidak begitu

besar jika dibandingkan dengan keadaan dimana evaporator terisi oleh refrigeran cair.

Pada evaporator jenis basah sebagian besar dari evaporator terisi oleh refrigeran cair. Proses penguapannya terjadi seperti pada ketel uap. Gelembung refrigeran yang terjadi karena pemanasan akan naik dan pecah pada permukaan cairan atau terlepas dari permukaannya. Sebagian refrigeran kemudian masuk ke dalam akumulator (liquid receiver) yang memisahkan uap dari cairan, maka refrigeran dalam bentuk uap sajalah yang akan masuk ke dalam kondensor.

Ditinjau dari konstruksi evaporator dapat dibagi menjadi tiga yaitu: evaporator tabung dan koil, evaporator tabung dan pipa jenis ekspansi kering, dan evaporator koil dengan pendinginan udara. Pada evaporator tabung dan koil terdapat koil pipa tunggal atau koil pipa ganda di dalam sebuah silinder.

Refrigeran mengalir didalam koil pipa untuk mendinginkan air atau larutan garam yang ada dibagian luar koil. Evaporator jenis ini hanya dipakai pada mesin refrigerasi yang kecil karena laju perpindahan kalornya sangat rendah. Evaporator jenis Tabung dan Pipa Ekspansi Kering menggunakan banyak pipa yang dipasang di dalam tabung. Refrigeran mengalir di dalam pipa sedangkan cairan yang akan didinginkan mengalir dibagian luar pipa refrigeran yaitu didalam tabung.

Pelat sekat yang ada didalam silinder berfungsi menunjang pipa refrigeran dan mengarahkan aliran cairan yang hendak didinginkan sehingga dapat mengalir tegak lurus pada pipa dengan kecepatan yang lebih tinggi. Hal ini akan menyebabkan laju perpindahan kalornya makin baik karena kontak antara cairan yang hendak didinginkan dengan pipa refrigeran dapat dibuat lebih baik. Di dalam evaporator, refrigeran menguap sempurna dan selanjutnya mengalir ke dalam kompresor. Sedangkan bentuk atau konstruksi evaporator kering untuk lemari es ada tiga macam yaitu:

- a. Permukaan datar (plate surface)
- b. Pipa (bare tube)
- c. Pipa dengan sirip-sirip (finned tube)



➤ Prinsip Kerja Evaporator

Adapun cara kerja evaporator adalah menguapkan gas yang masuk dari pipa kondensor. Gas refrigerant dari kompresor masih dalam temperature yang sangat tinggi, artinya kalorinya ( panasnya ) dinaikkan. Setelah itu karena dorongan dari kompresor, ia mengalir masuk masuk pipa-pipa kondensor. Dalam pipa kondensor ini, gas mengalami perubahan menjadi dingin, selanjutnya mengalir terus menuju pipa kapiler, dari pipa kapiler merambat menuju ke pipa evaporator.

### 2.3.5 Refrigerant

Refrigerant adalah media perpindahan panas, yang menyerap panas atau kalor dengan penguapan ( evaporator ) pada temperature rendah dan memberikan kalor dengan pengembunan ( kondensor ) pada temperature dan tekanan tinggi.

Refrigerant dalam perdagangan telah diklasifikasi oleh ASRE ( American Society of Refrigerating Engineers ). Standart dari ASRE membagi refrigerant dalam beberapa kelompok penting yaitu senyawa Halokarbon, Anorganik, Hidrokarbon, dan Aezotop.

➤ Sifat-sifat refrigerant

Pada refrigerator, refrigerant yang ideal sekurang-kurangnya mengikuti sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Tekanan penguapan positif mencegah kemungkinan terjadinya kebocoran udara kedalam sistem selama operasi.
- b. Suhu pembekuan harus cukup rendah, agar pemadatan refrigerant tidak terjadi selama operasi normal.
- c. Daya larut minyak pelumas.  
Minyak yang digunakan sebagai pelumas dalam refrigerator, terutama pada sistem, harus mudah larut, karena bersentuhan langsung dengan refrigerant.
- d. Refrigerant harganya murah.
- e. Tidak mudah terbakar, uap refrigerant tidak boleh terbakar atau mengakibatkan kebakaran pada setiap konsentrasi dengan udara.

- f. Mempunyai tekanan kondensasi yang tidak terlalu tinggi, karena dengan tekanan kondensasi yang tinggi memerlukan kondensor yang besar dan kuat, juga pipa-pipa harus kuat dan kemungkinan terjadinya kebocoran sangat besar.
- g. Kekuatan di elektrik yang tinggi.
- h. Mempunyai struktur kimia yang stabil, tidak boleh terurai setiap kali dimampatkan, diembunkan, dan diuapkan.

Sifat-sifat di atas jarang sekali dijumpai pada refrigerant yang mempunyai sifat secara mutlak memuaskan untuk semua sistem pendingin.

## 2.4 Proses Kerja Sistem

### 2.4.1 Daya Input Kompresor

Merupakan kerja yang dilakukan untuk menaikkan tekanan dari tekanan rendah evaporator ketekanan tinggi kondensor, kerja yang diberikan kompresor dalam bentuk daya listrik untuk menggerakkan kompresor dirumuskan :

$$W_{in} = V \cdot A \cdot \cos \text{ teta (Watt)}$$

Dimana :

V = Tegangan saat alat bekerja (Volt)

A = Arus saat alat semua bekerja (Ampere)

Cos t = factor koreksi listrik ( 0,7 – 0,9 )

### 2.4.2 Daya Yang Diterima Refrigerant

Merupakan jumlah daya yang diterima refrigerant untuk menaikkan tekanan evaporator ke tekanan kondensor. Rumus yang dipakai adalah :

$$W_{ref} = \dot{m} ( h_2 - h_1 ) \text{ (Watt)}$$

Dimana :

$\dot{m}$  = laju aliran massa ( lbm/ min )

$h_2$  = enthalpy refrigerant pada keluaran kondensor ( Btu/lbm )

$h_1$  = enthalpy refrigerant pada masukan kompresor ( Btu/lbm )

### 2.4.3 Kerja Kompresor

Adalah kerja yang didapatkan dari perbedaan enthalpy refrigerant yang keluar dan masuk kompresor. Rumus yang digunakan adalah :

$$W = h_2 - h_1 \text{ ( Btu/lbm )}$$

Dimana :

$h_2$  = enthalpy refrigerant pada keluaran kompresor ( Btu/lbm )

$h_1$  = enthalpy refrigerant pada masukan kompresor ( Btu/lbm )

### 2.4.4 Kerja Evaporator

Adalah jumlah panas yang diserap refrigerant saat melalui evaporator. Rumus yang digunakan adalah :

$$QE = \dot{m} ( h_1 - h_4 ) \text{ (Watt)}$$

Dimana :

$h_1$  = enthalpy refrigerant pada masukan kompresor ( Btu/lbm )

$h_4$  = enthalpy refrigerant pada keluaran evaporator ( Btu/lbm )

### 2.4.5 Efek Refrigerant

Adalah jumlah kalor yang dikeluarkan oleh refrigerant dalam evaporator pada laju aliran refrigerant. Rumus yang digunakan adalah :

$$q_e = h_1 - h_4 \text{ ( Btu/lbm )}$$

Dimana :

$q_e$  = Efek refrigerant ( Btu/lbm )

$h_1$  = enthalpy refrigerant pada masukan kompresor ( Btu/lbm )

$h_4$  = enthalpy refrigerant pada keluaran evaporator ( Btu/lbm )

#### 2.4.6 Laju pelepasan kalor di Kondensor

Adalah panas yang dilepaskan refrigerant saat melalui kondensor.

Rumus yang digunakan :

$$Q_c = \dot{m} (h_2 - h_3) \text{ (watt)}$$

Dimana :

$\dot{m}$  = laju aliran masa (Ibm / min)

$h_2$  = enthalpy refrigerant pada keluaran kondensor (Btu / Ibm)

$h_3$  = enthalpy refrigerant pada masukan kondensor (Btu /Ibm)

#### 2.4.7 Panas yang dibuang Kondensor

Adalah kalor yang dikeluarkan oleh refrigerant dalam kondensor pada laju aliran refrigerant. Rumus yang digunakan adalah :

$$q_c = h_2 - h_3 \text{ (Btu / Ibm)}$$

Dimana :

$q_c$  = Panas yang dibuang kondensor ( Btu / Ibm)

$h_2$  = Enthalpy refrigerant pada keluaran kondensor ( Btu / Ibm )

$h_3$  = Enthalpy refrigerant pada masukan kondensor ( Btu / Ibm )

#### 2.4.8 Coefficient Of Performance (COP)

Adalah kapasitas refrigerant terhadap daya yang diberikan ke sistem rumus yang digunakan adalah :

$$\text{COP} = \frac{\text{Kapasitas Pendingin}}{\text{Kerja Kompresor}}$$

$$\text{COP} = \frac{q_e}{w} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

## 2.5 Pengaruh variasi panjang pipa kapiler terhadap efektifitas pembuangan panas kondensor pada Air Cooler 1PK

Pipa kapiler merupakan suatu komponen utama yang berfungsi untuk menurunkan tekanan pada refrigerant dan untuk mengatur aliran pada evaporator. Fungsi pipa kapiler sangat penting karena menghubungkan 2 bagian yang bertekanan berbeda yaitu bagian tekanan tinggi ( high pressure ) dan bagian bertekanan rendah ( low pressure ).

### 2.5.1 Prinsip pada Pipa Kapiler

Cara kerja pipa kapiler adalah gas refrigerant yang keluar dari pipa kompresor sudah menjadi gas yang bertekanan kemudian mengalir melalui pipa kondensor (*out door*). Sebelum refrigerant masuk melewati pipa kapiler terlebih dahulu melalui sebuah alat yang disebut *drier strainer* yang bertujuan untuk menyaring dan menyerap debu yang akan masuk kedalam lubang pipa kapiler, selanjutnya ke jalur pipa yang menuju evaporator dan terakhir menuju ke pipa kapiler masih dalam bentuk gas yang bertekanan. Tekanan ini dapat diturunkan akibat adanya gesekan pada pipa kapiler yang panjang dan berdiameter kecil, dan dalam pengujian ini digunakan panjang pipa kapiler yang berbeda dengan 3 variasi namun diameter yang sama standart yaitu 0,54 cm. Maka akibat dari penurunan tekanan itu menyebabkan penurunan pada suhu didalam pipa, dan pada bagian ini refrigerant yang ada di dalam pipa kapiler mencapai suhu terendah (dingin). Penurunan tekanan pada pipa kapiler ini disebabkan karena adanya penyempitan aliran refrigerant, sehingga terjadi penurunan tekanan temperatur/suhu terendah, dan terjadi proses adiabatik tidak ada masukan dan keluaran kalor yang menyebabkan enthalpi konstan.

### 2.5.2 Analisa Perhitungan Penurunan Tekanan dalam Pipa Kapiler

Pipa kapiler yang biasanya digunakan pada semua mesin pendingin dengan system refrigerasi dengan daya yang sangat kecil misalkan ½PK dan 1PK (seperti pada rumah atau kantor) dan sekarang digunakan secara luas dengan system yang sama namun dengan kapasitas daya yang lebih besar dari 5PK.



Gambar 2.7 : Pipa Kapiler

Persamaan-persamaan yang mengaitkan antara keadaan dan kondisi pada titik 1 dan 2 di dalam suatu pipa kapiler yang sangat pendek, akan dituliskan notasi dan keterangannya sebagai berikut:

$A$  = Luas penampang pipa bagian dalam,  $m^2$

$D$  = diameter dalam pipa, m

$f$  = faktor gesekan (tak berdimensi)

$h$  = enthalpy, kJ/kg

$h_g$  = enthalpy uap jenuh, kJ/kg

$h_f$  = enthalpy cairan jenuh, kJ/kg

$\Delta L$  = panjang pipa, m

$p$  = tekanan, Pa

$Re$  = bilangan reynold,  $VD/\nu\mu$

$v$  = volume spesifik,  $m^3/kg$

$v_f$  = volume spesifik cairan jenuh,  $m^3/kg$

$v_g$  = volume spesifik uap jenuh,  $m^3/kg$

$V$  = kecepatan refrigerant, m/s

$\dot{m}$  = mass flow, kg/s

$\mu$  = viskositas, Pa.det

$\mu_f$  = viskositas cairan jenuh, Pa.det

$\mu_g$  = viskositas uap jenuh, Pa. det

$x$  = fraksi uap dalam campuran cairan uap.

Persamaan yang digunakan adalah dari persamaan konservasi massa, konservasi energi, dan konservasi momentum. Persamaan konservasi massa merumuskan bahwa :

$$\dot{m} = \frac{V_1 A}{v_1} = \frac{V_2 A}{v_2} \quad (\text{..... Persamaan 1})$$

$$\text{atau } \frac{\dot{m}}{A} = \frac{V_1}{v_1} = \frac{V_2}{v_2} \left( \frac{kg/s}{m^2} \right) \quad (\text{..... Persamaan 2})$$

Dan  $w/A$  bernilai konstan untuk keseluruhan panjang pipa kapiler

Rumusan tentang konservasi energi adalah :

$$1000h_1 + \frac{v_1^2}{2} = 1000h_2 + \frac{v_2^2}{2} \quad (\text{..... Persamaan 3})$$

Dengan anggapan bahwa perpindahan kalor ke dalam dan ke luar pipa diabaikan. Persamaan konversi energi ini digunakan untuk mendapatkan fraksi uap dalam campuran.

Persamaan momentum menyatakan bahwa perbedaan gaya-gaya yang bekerja pada elemen, yang disebabkan oleh pengurangan kecepatan (drag), dan perbedaan tekanan pada ujung-ujung elemen, sama dengan yang diperlukan untuk mempercepat fluida.

$$\left[ (p_1 - p_2) - f \frac{\Delta L}{D} \frac{v^2}{2v} \right] A = \dot{m} (V_2 - V_1) \quad (\text{..... Persamaan 4})$$

Pada saat refrigeran mengalir melalui pipa kapiler, tekanan dan suhu jenuhnya turun secara bertahap, dan fraksi uap naik secara kontinu di setiap titik.

$$h = h_f (1 - x) + h_g x \quad \left( \frac{KJ}{Kg} \right) \quad (\text{..... Persamaan 5})$$

$$v = v_f (1 - x) + v_g x \quad \left( \frac{m^3}{Kg} \right) \quad (\text{..... Persamaan 6})$$

$V, v$ , dan  $f$  semuanya berubah ketika refrigerant mengalir dari titik 1 ke titik 2, tetapi dapat dilakukan beberapa penyederhanaan dari persamaan 2 yang menunjukkan bahwa  $V/v$  konstan, sehingga

$$f \frac{\Delta L}{D} \frac{V^2}{2v} = f \frac{\Delta L}{D} \frac{V}{2} \frac{\dot{m}}{A} \quad (\text{..... Persamaan 7})$$

Nilai  $V$  yang digunakan dalam persamaan diatas akan menyatakan kecepatan rata-rata sebagai berikut.

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad \left( \frac{m}{s} \right) \quad (\text{..... Persamaan 8})$$

Persamaan untuk faktor gesekan  $f$  adalah

$$f = \frac{0.33}{Re^{0.25}} \quad (\text{..... Persamaan 9})$$

Viskositas untuk refrigerant dua-fasa pada suatu posisi tertentu di dalam pipa adalah fungsi dari fraksi uap,

$$\mu = \mu_f (1 - x) + \mu_g x \quad (\text{..... Persamaan 10})$$

Dengan faktor gesekan rata-rata sebagai berikut.

$$f_m = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad (\text{..... Persamaan 11})$$

### 2.5.3 Analisa Perhitungan Pertambahan Panjang Pipa Kapiler

Perhitungan panjang ini dilakukan untuk menentukan panjang ruas pipa kapiler untuk menurunkan temperatur refrigeran hingga mencapai temperatur tertentu yang diinginkan.

Dengan menggabungkan persamaan kontinuitas dan persamaan energi

$$1000h_2 + \frac{v_2^2}{2} \left(\frac{\dot{m}}{A}\right)^2 = 1000h_1 + \frac{v_1^2}{2} \quad (\text{..... Persamaan 12})$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 4 dan 5

$$1000h_{f2} + 1000(h_{g2} - h_{f2})x + \frac{[v_{f2} + (v_{g2} - v_{f2})x]^2}{2} \left(\frac{\dot{m}}{A}\right)^2 = 1000h_2 + \frac{v_2^2}{2} \quad (\text{..... Persamaan 13})$$

Nilai  $x$  bisa diketahui dengan menggunakan penyelesaian persamaan kuadrat

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (\text{..... Persamaan 14})$$

Dengan :

$$a = (v_{g2} - v_{f2})^2 \left(\frac{\dot{m}}{A}\right)^2 \frac{1}{2}$$

$$b = 1000(h_{g2} - h_{f2}) + v_{f2}(v_{g2} - v_{f2}) \left(\frac{\dot{m}}{A}\right)^2$$

$$c = 1000(h_{f2} - h_1) + \left(\frac{\dot{m}}{A}\right)^2 \frac{1}{2} v_{f2}^2 - \frac{V_1^2}{2}$$

Dengan mengetahui nilai  $x$ , maka harga  $h_2$ ,  $v_2$ ,  $V_2$  dapat dihitung.

Selanjutnya, substitusikan persamaan 7 dan persamaan 8 ke dalam persamaan ke 14 untuk memperoleh nilai  $\Delta L$  atau menggunakan persamaan dibawah ini

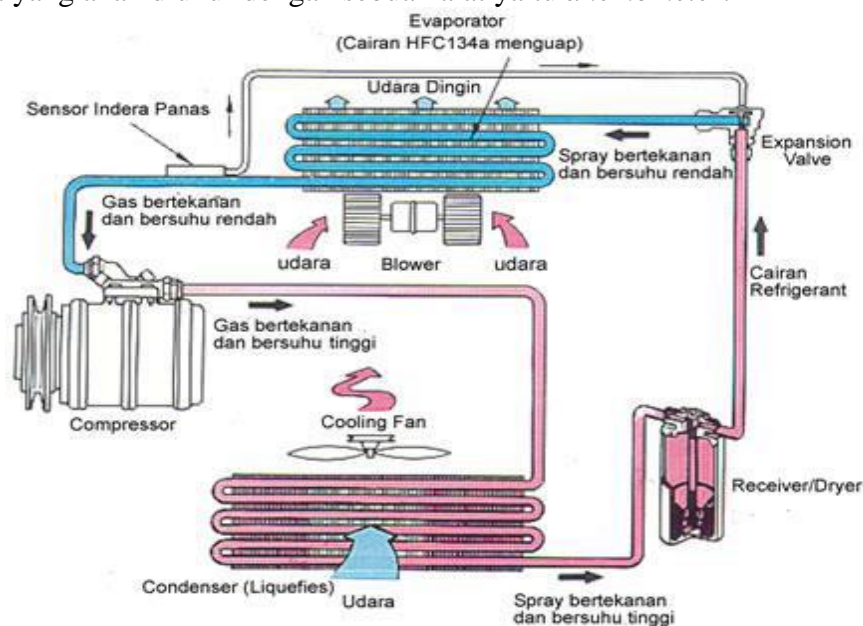
$$\left[ (p_1 - p_2) - f_m \frac{\Delta L}{D} \frac{V_m}{2} \frac{\dot{m}}{A} \right] A = \dot{m} (V_2 - V_1)$$



$$\Delta L = \left[ (p_1 - p_2) - \frac{\dot{m}}{A} (V_2 - V_1) \right] \times \left( \frac{2D A}{f_m V_m \dot{m}} \right)$$

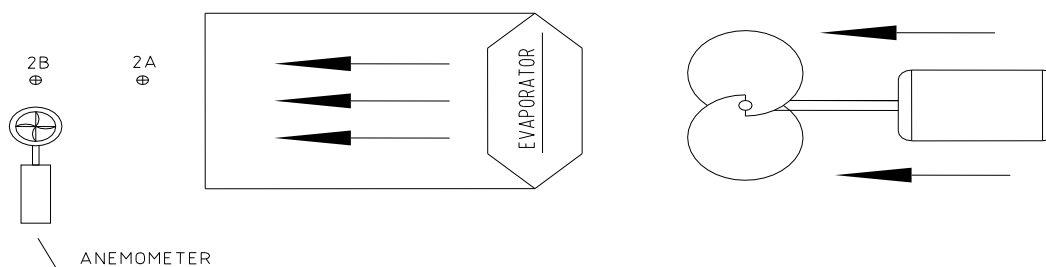
## 2.6 Pengaruh variasi kecepatan udara evaporator terhadap efektifitas pembuangan panas kondensor pada Air Cooler 1PK

Evaporator sebagai penukar kalor dimana suhu dingin yang mengalir melalui pipa – pipa akan dihembuskan oleh kipas motor yang berputar secara sentrifugal. Kecepatan kipas motor ini berdasarkan putaran dari kipas evaporator dinyalakan. Dan hal ini yang akan dianalisa mengenai pengaruh dari kecepatan udara yang akan diukur dengan sebuah alat yaitu *anemometer*.



Gambar 2.8 : Diagram aliran sistem refrigrasi

### 2.6.1 Perhitungan Analisis Kecepatan Udara



Gambar 2.9 : Skema perhitungan kecepatan udara

### 2.6.2 Perhitungan debit aliran yang keluar dari evaporator

Untuk menghitung debit aliran lewat alat ukur dengan menggunakan rumus gabungan antara kontinuitas dan Bernoulli, yaitu :

$$\dot{m}_2 = \rho \times A_2 \times V_{2A} \dots\dots\dots[\text{kg/s}]$$

diketahui :

$$\rho = \frac{P_{2A}}{R \times (273 + T_{D2}^{\circ\text{C}})} \dots\dots\dots[\text{kg/m}^3]$$

Sehingga rumus menjadi :

$$\dot{m}_2 = \frac{P_{2A}}{R \times (273 + T_{D2}^{\circ\text{C}})} \times A_2 \times V_{2A} \dots\dots\dots[\text{kg/s}]$$

### 2.6.3 Perhitungan debit air kondensasi

$$\dot{m}_3 = \rho \times A_3 \times V_3$$

### 2.6.4 Perhitungan debit aliran udara sebelum ke evaporator

$$\frac{d_m}{d_t} = 0,$$

Persamaan kontinuitas yang diterapkan pada evaporator dalam keadaan aliran steady, maka rumus yang digunakan :

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3$$

### 2.6.5 Perhitungan kecepatan udara

$$\dot{m}_1 = \rho \times A_1 \times V_1$$

Atau , 
$$\dot{m}_1 = \frac{A_1 \times V_1}{v_1}$$

### 2.6.6 Perhitungan laju perpindahan kalor

$$\dot{m}_1 \times h_1 = \dot{m}_2 \times h_2 + \dot{m}_3 \times h_3 + Q_1$$

Sehingga laju perpindahan kalor yang diserap evaporator yaitu:

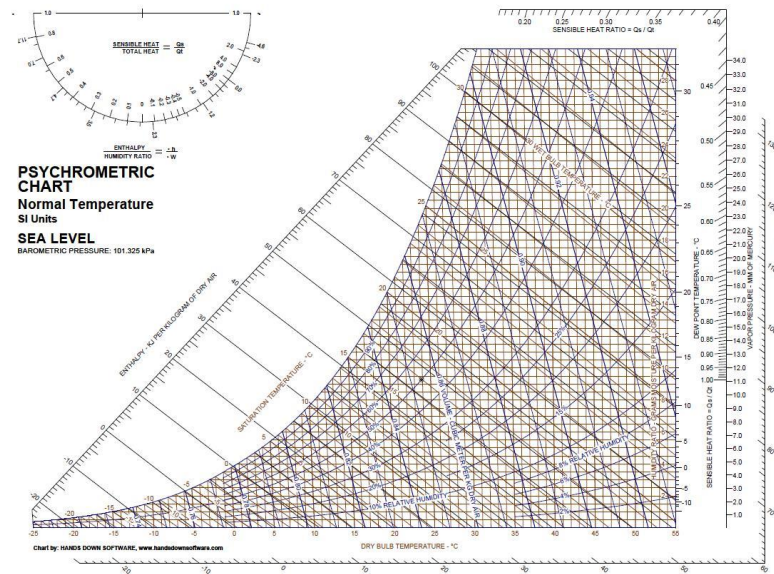
$$Q_1 = \dot{m}_1 \times h_1 - (\dot{m}_2 \times h_2 + \dot{m}_3 \times h_3)$$

### 2.6.7 Perhitungan COP dengan pengaruh kecepatan udara

$$COP_{\text{actual}} = \frac{Q_1}{W_{\text{compresor}}}$$

## 2.7 Diagram Psikometri

Pada umumnya sifat thermal dari udara basah adalah dengan menggunakan atau diketahui dengan diagram psikometri. Dalam diagram ini akan diperoleh nilai enthalpy dari suhu masuk evaporator dan suhu keluar evaporator serta persentase kelembabahan udaranya. Berikut contoh diagram psikometri :



Gambar 2.10 : Diagram Psikometri (Heizo Saito, 1986 : 10)

Beberapa istilah (sifat – sifat udara) yang sering dipakai dan berkaitan dengan diagram psikometri adalah :

1. Temperatur Udara Kering / Dry Bulb ( *TD* )

Temperatur udara kering adalah temperatur udara yang diukur dengan menggunakan thermometer udara biasa dengan ujung sensor air raksa kering dan sensor terbuka.

2. Temperatur Udara Basah / Wet Bulb ( *TD* )

Temperatur udara basah adalah temperatur udara yang diukur dengan menggunakan thermometer udara biasa dengan ujung sensor air raksa basah dan sensor dibalut kain dan direndam dalam air biasa.