

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Menurut Mohanraj (2008) refrigeran hidrokarbon merupakan salah satu refrigeran alami yang ramah lingkungan yang dapat dijadikan pengganti refrigeran CFC dan HFC yang biasa digunakan yaitu R-22, R-11, dan R-134a. Menurutnya refrigeran hidrokarbon tidak memiliki sifat *Ozone Depletion Potensial* (ODP) dan *Global Warming Potential* (GWP) yaitu yang menyebabkan lapisan ozon di bumi semakin menipis dan menyebabkan efek rumah kaca yang dimiliki oleh refrigeran CFC dan HFC.

Refrigeran Hidrokarbon menurut Suwono (2005) refrigeran hidrokarbon memiliki keunggulan dibanding dengan refrigeran lain. Hidrokarbon sebagai refrigeran bekerja pada tekanan rendah sehingga energi yang diperlukan dalam sistem refrigerasi lebih rendah sampai 25%. Pada penelitiannya membandingkan refrigeran hidrokarbon R-290 dengan R-22 terhadap unjuk kerja mesin pendingin industri.

Mukhlisin, Arif (2014) melakukan penelitian tentang "Pengaruh Konsentrasi CO₂ dalam refrigeran LPG-CO₂ Terhadap unjuk Kerja AC Mobil". Dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi CO₂ menghasilkan nilai unjuk kerja mesin pendingin semakin menurun karena seiring penambahan CO₂ terjadi kenaikan tekanan pada sistem sehingga kerja kompresor semakin tinggi dan menurunkan koefisien prestasi dari sistem pendingin.

Zainal Zakaria (2011), melakukan penelitian tentang "Kemungkinan Menggunakan Refrigeran *Liquified Petroleum Gas* (LPG) dalam sistem pendingin domestik". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penggunaan LPG pada sistem pendingin komersial yang biasa digunakan di masyarakat luas, pada penelitian ini membandingkan LPG dengan refrigeran CFC 22 terhadap unjuk kerjanya. Hasil dari penelitian ini menunjukkan tidak terjadi masalah pada penggunaan LPG sebagai refrigeran dan COP yang dihasilkan pada refrigeran LPG lebih besar dari pada CFC 22. Penelitian tersebut terus dilanjutkan penggunaan refrigeran LPG sampai empat bulan dan tidak terjadi masalah. Dapat disimpulkan bahwa LPG dapat digunakan sebagai refrigeran yang ramah lingkungan dan murah.

2.2 Sistem Refrigerasi dan Pengkondisian Udara

Refrigerasi adalah proses pengkondisian agar temperatur ruangan tetap berada di bawah temperatur lingkungan. Dengan kata lain metode untuk mendinginkan sesuatu dengan cara menjaga pemindahan kalor dari media yang didinginkan secara terus-menerus ke lingkungan.

Pengkondisian udara adalah proses perlakuan udara untuk mengatur suhu, kelembaban, kebersihan, dan pendistribusiannya agar mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang berada di dalamnya. Oleh karena itu teknik pengkondisian udara juga mencakup pemanasan seperti pengaturan kecepatan, radiasi termal dan kualitas udara termasuk penyisihan partikel dan uap pengotor. (Stoecker, 1996:1)

2.3 Mesin Pendingin

Mesin pendingin adalah salah satu mesin konversi energi yang digunakan untuk memindahkan panas dari temperatur rendah menuju temperatur yang lebih tinggi dengan bantuan kerjadari luar berupa kompresor.

Menurut cara kerjanya mesin pendingin dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Mesin pendingin dengan siklus kompresi uap (*Vapour Compression Refrigeration Cycle*).
2. Mesin pendingin dengan siklus absorpsi (*Absorption Refrigeration Cycle*).

Siklus kompresi uap disebut sebagai siklus yang dioperasikan oleh kerja (*work operated system*), karena kenaikan tekanan refrigeran dilakukan oleh kompresor yang memerlukan kerja dari luar. Sedangkan siklus absorpsi disebut sistem yang dioperasikan oleh kalor (*heat operated system*) karena sebagian besar biaya operasi berkaitan dengan pemberian kalor pada generator yang diperlukan melepaskan uap (refrigeran) dari zat cair bertekanan tinggi. Lebih jelasnya siklus kompresi uap menggunakan satu jenis refrigeran sedangkan siklus absorpsi menggunakan dua jenis refrigeran.

2.3.1 Mesin pendingin dengan siklus kompresi uap

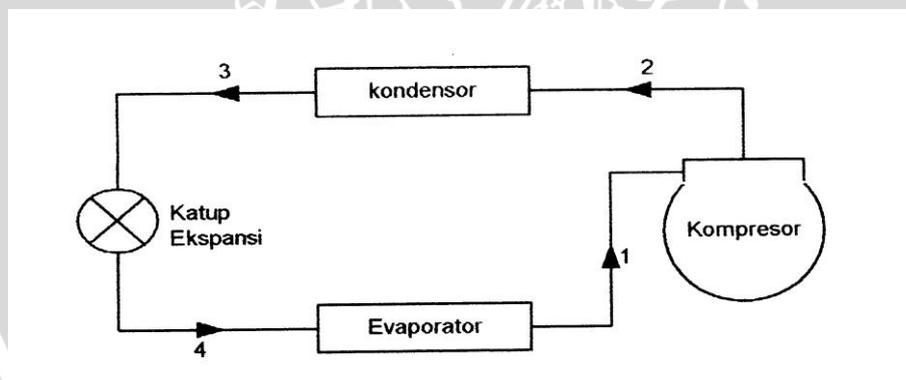
Mesin pendingin dengan siklus kompresi uap merupakan mesin pendingin yang paling banyak digunakan. Pada siklus ini penyerapan panas dilakukan dalam evaporator dengan temperatur dan tekanan rendah. Pada evaporator refrigeran bertemperatur lebih

rendah dari pada media yang didinginkan sehingga terjadi perpindahan panas dari media yang didinginkan ke refrigeran dan mengubah fase refrigeran dari fase uap jenuh menjadi fase uap kering, lalu masuk ke kompresor. Karena kerja kompresor, refrigeran menjadi gas yang bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi menuju ke kondensor. Untuk melepaskan panas yang diserap oleh evaporator, refrigeran diembunkan didalam kondensor sehingga refrigeran menjadi cair. Sebelum refrigeran masuk kedalam evaporator, refrigeran diekspansikan melalui katup ekspansi terlebih dahulu untuk diturunkan temperatur dan tekanannya agar mudah menguap di evaporator.

Pertimbangan memilih mesin pendingin kompresi uap adalah:

1. Pengoperasiannya mudah dan tahan lama.
2. Konstruksinya sederhana.
3. Suku cadangnya mudah didapat apabila terjadi kerusakan.
4. Refrigeran yang dipakai mudah didapat.

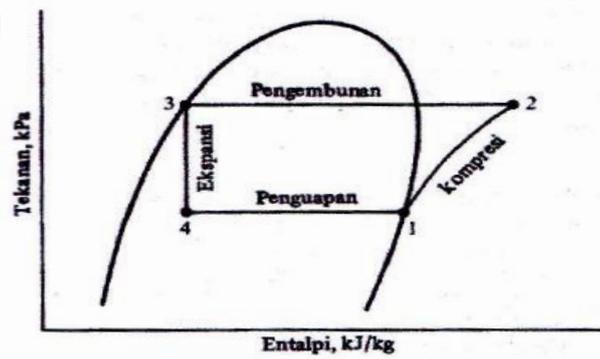
Instalasi mesin pendingin kompresi uap ditunjukkan pada gambar 2.1 dibawah ini:



Gambar 2.1 Diagram skematik komponen mesin pendingin siklus kompresi uap

Sumber : Stoecker (1996:187)

Siklus kompresi uap pada diagram tekanan-entalpi (p-h diagram) dan diagram skematik mesin pendingin siklus kompresi uap ditunjukkan oleh gambar 2.2:



Gambar 2.2 Diagram tekanan-entalpi siklus kompresi uap

Sumber : Stoecker (1992 :187)

Proses yang terjadi pada siklus kompresi uap pada gambar adalah sebagai berikut:

- Proses 1-2: Proses kompresi secara isentropik pada kompresor. Pada proses ini tekanan, temperatur dan entalpi refrigeran naik. Refrigeran mengalami perubahan fase dari uap kering menjadi uap panas lanjut.
- Proses 2-3: Proses pelepasan kalor secara isobarik, menyebabkan penurunan panas lanjut (*desuperheating*) dan pengembunan refrigeran. Pada proses ini temperatur dan entalpi refrigeran turun dan refrigeran mengalami perubahan fase dari uap panas lanjut menjadi cair.
- Proses 3-4: Proses ekspansi secara isoentalpi, hal ini berarti tidak terjadi perubahan entalpi dan terjadi penurunan tekanan dan penurunan temperatur. Refrigeran mengalami perubahan fase dari cair menjadi uap jenuh. Proses pengecilan (*throttling process*) pada sistem pendingin terjadi pada pipa kapiler atau katup ekspansi. Proses ini terjadi pada isoentalpi, sehingga:

$$h_3 = h_4 \quad (\text{Stoecker; 1996 : 186}) \quad (2-1)$$

- Proses 4-1: Proses penyerapan kalor dan penguapan pada tekanan yang konstan (*isobarik*) didalam evaporator. Panas dari dalam ruangan akan diserap oleh cairan refrigeran yang bertknan rendah dan bertemperatur rendah sehingga refrigeran berubah fase dari uap jenuh menjadi uap kering.

Istilah penting yang terdapat pada mesin pendingin adalah sebagai berikut:

1) Efek refrigerasi

Efek refrigerasi adalah banyaknya kalor yang diserap oleh evaporator setiap satuan massa refrigeran untuk menghasilkan efek pendinginan.

$$q_1 = (h_1 - h_4) \quad [\text{kJ kg}^{-1}] \quad (\text{Stoecker; 1996 : 188}) \quad (2-2)$$

2) Kerja kompresi

Kerja kompresi adalah kerja yang diperlukan untuk mengkompresikan refrigeran dalam kompresor setiap satuan massa refrigeran.

$$W = (h_2 - h_1) \quad [\text{kJ kg}^{-1}] \quad (\text{Stoecker; 1996 : 21}) \quad (2-3)$$

3) Kapasitas pendinginan

Kapasitas pendinginan adalah kemampuan mesin pendingin untuk menyerap kalor persatuan waktu. Penyerapan kalor ini terjadi di evaporator.

$$q = \dot{m}_{ref}(h_1 - h_4) \quad [\text{kW}] \quad (\text{Stoecker; 1996 : 200}) \quad (2-4)$$

4) Daya kompresor

Daya kompresor adalah kerja kompresor per-satuan waktu atau daya yang dibutuhkan oleh suatu kompresor ideal dengan hasil kali antara laju aliran massa dan kenaikan entalpi selama proses kompresi.

$$W = \dot{m}_{ref}(h_2 - h_1) \quad [\text{kW}] \quad (\text{Stoecker; 1996 : 21}) \quad (2-5)$$

5) Koefisien prestasi

Istilah prestasi di dalam siklus refrigerasi disebut dengan koefisien prestasi (KP) atau *COP (Coefficient Of Performance)*, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$KP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (\text{Stoecker; 1996 : 187}) \quad (2-6)$$

Dimana:

$$h_1 = \text{entalpi refrigeran keluar evaporator} \quad [\text{kJ kg}^{-1}]$$

$$h_2 = \text{entalpi refrigeran masuk kondensor} \quad [\text{kJ kg}^{-1}]$$

$$h_3 = \text{entalpi refrigeran keluar kondensor} \quad [\text{kJ kg}^{-1}]$$

$$h_4 = \text{entalpi refrigeran masuk evaporator} \quad [\text{kJ kg}^{-1}]$$

$$\dot{m}_{ref} = \text{laju aliran massa refrigeran} \quad [\text{kJ kg}^{-1}]$$

2.3.2 Komponen-komponen utama mesin pendingin kompresi uap

Mesin pendingin kompresi uap terdiri dari empat komponen utama yaitu : kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. (Arismunandar, 1980:1).

1. Kompresor

Kompresor mempunyai klarifikasi yang bermacam-macam, pada umumnya dapat dibagi menjadi dua jenis utama yaitu:

a. Kompresor dinamis

Dimana gas dihisap masuk dipercepat alirannya oleh sebuah impeller yang kemudian mengubah energi kinetik menjadi energi potensial fluida berupa fluida bertekanan.

b. Kompresor langkah positif

Dimana gas dihisap masuk kedalam silinder akibat perbedaan tekanan antara didalam silinder dan diluar silinder, terjadi proses perbahan energi kinetik berupa gerakan bolak-balik piston menjadi energi potensial fluida berupa fluida bertekanan.

Fungsi kompresor antara lain:

a. Mensirkulasikan media pendingin (refrigeran)

b. Menaikkan tekanan agar media pendingin (refrigeran) dapat berkondensasi di kondensor.

c. Mempertahankan tekanan yang konstan pada evaporator

Pada pengujian ini menggunakan kompresor dengan jenis hermatik, motor dan unit pengompresi berada pada tempat yang sama yang disebut rumah kompresor. Rumah kompresor ini terbuat dari baja yang dilas yang tertutup rapat seperti terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.3 Kompresor hermatik

Efisiensi kompresor dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya kompresi teoritik dengan daya kompresi sebenarnya. Daya kompresi teoritik ialah selisih antara entalpi sisi keluar dan sisi masuk refrigeran dikali dengan laju aliran massa refrigeran, sedangkan daya aktual dapat dilihat pada spesifikasi mesin. Efisiensi kompresi pada umumnya mengalami penurunan dari keadaan idealnya hal ini dikarenakan adanya gesekan antara kepala silinder dengan silinder. Kerja kompresi dari kompresor (w) adalah kerja yang dilakukan kompresor untuk meningkatkan tekanan refrigeran dari tekanan evaporator (p_1) menuju tekanan kondensor (p_2). Nilainya sebesar selisih antara sisi keluar kompresor (h_2) dan sisi masuk kompresor (h_1). Hal tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$h_1 + q = h_2 + w \quad (\text{Stoecker; 1996 : 186}) \quad (2-7)$$

Karena proses berjalan secara adiabatik maka (q) bernilai nol sehingga persamaan menjadi :

$$w = (h_2 - h_1) \quad [\text{kJ kg}^{-1}] \quad (\text{Stoecker; 1996 : 186}) \quad (2-8)$$

Dengan :

$$h_1 = \text{entalpi refrigeran pada daerah saturasi uap} \quad [\text{kJ kg}^{-1}]$$

$$h_2 = \text{entalpi refrigeran pada daerah panas lanjut} \quad [\text{kJ kg}^{-1}]$$

2. Kondensator

Kondensator adalah merupakan suatu komponen yang terdapat pada mesin pendingin yang berguna untuk melepaskan kalor yang dikandung oleh refrigeran. Pada kondensator refrigeran mula-mula berfase uap panas lanjut akibat dari kompresi yang dilakukan kompresor kemudian berubah menjadi cair karena kalor yang dikandungnya dilepaskan sepanjang pipa yang ada dikondensator. Kondensator ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.4 Kondensator

Pada unit kondensator terdapat *blower* yang berguna untuk menghembuskan udara melewati kisi-kisi kondensator hal ini bertujuan untuk meningkatkan jumlah kalor yang dilepas. Dalam kondensator terjadi pelepasan kalor sehingga terjadi perubahan refrigeran fase menjadi cair yang sebelumnya bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi setelah keluar dari kompresor. Jumlah kalor yang dilepaskan tiap detiknya oleh uap refrigeran ke lingkungan yang dihembuskan melalui kondensator sama dengan selisih entalpi refrigeran pada sisi masuk dan pada sisi keluar kondensator dikali dengan laju aliran massanya. Pelepasan kalor dalam kilo joule per kilogram (energi per satuan waktu) adalah perpindahan kalor dari refrigeran pada 2-3, sesuai persamaan berikut:

$$h_3 + q_2 = h_2 + w \quad (\text{Stoecker; 1996 : 186}) \quad (2-9)$$

karena tidak dilakukan kerja maka:

$$q_2 = h_2 - h_3 \quad (\text{Stoecker; 1996 : 187}) \quad (2-10)$$

Dengan:

q_2 = pelepasan kalor terjadi dari kondensor [kJ kg⁻¹]

h_3 = entalpi refrigeran pada daerah saturasi cair [kJ kg⁻¹]

3. Alat ekspansi

Merupakan alat yang digunakan untuk menurunkan tekanan refrigeran sehingga terjadi penurunan suhu dan perubahan fase pada refrigeran yang semula cair menjadi uap jenuh.

Alat ekspansi berguna untuk:

1. Menurunkan tekanan media pendingin cair yang mengalir didalamnya.
2. Mengatur jumlah tekanan media pendingin cair yang mengalir melaluinya.

Alat ekspansi yang sering digunakan adalah katup ekspansi termostatik dan pipa kapiler. Katup ekspansi termostatik merupakan katup ekspansi terkontrol panas yang berfungsi agar refrigeran yang masuk evaporator sesuai dengan beban pendinginan yang harus dilayani oleh evaporator. Pipa kapiler berfungsi untuk menurunkan tekanan yang memanfaatkan tahanan gesek refrigeran terhadap pipa, sehingga tekanannya turun. Pipa kapiler biasanya mempunyai diameter yang kecil (0.031-0.054 inch) dengan panjang 5 – 20 ft. Pipa kapiler digunakan karena alatnya yang ringkas dan harganya terjangkau murah, bahan pipa kapiler dibuat dari tembaga dengan diameter lubang dalam yang sangat kecil. Alat ekspansi ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.5 Katup ekspansi

4. Evaporator

Evaporator merupakan sebuah komponen yang terdapat dimesin pendingin yang berguna untuk menyerap kalor dari media yang akan didinginkan menuju refrigeran. Pada evaporator terjadi perubahan fase pada refrigeran karena terjadi penyerapan kalor yang mula-mula berfase cair jenuh menjadi uap kering. Pada evaporator biasanya digunakan sirip-sirip yang berfungsi untuk mempercepat terjadinya perpindahan kalor dari media yang akan didinginkan menuju refrigeran yang sebelumnya diturunkan tekanannya pada siklus sehingga terjadi penurunan suhu pada refrigeran tersebut. Bentuk dan konstruksi pada evaporator dan kondensor tidak berbeda jauh tetapi fungsi dari kedua alat ini berlainan. Evaporator dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.6 Evaporator

Pada rumah evaporator bagian bawah dibuat saluran atau pipa untuk keluarnya air yang berkondensasi pada evaporator akibat udara yang mengandung uap air. Air ini juga akan membersihkan sebagian kotoran yang menempel pada kisi-kisi evaporator, karena kotoran itu akan turun bersama air.

Pada evaporator besar nilai kalor yang diserap oleh refrigeran merupakan selisih entalpi refrigeran pada sisi keluar evaporator dan sisi masuk evaporator. Hal tersebut karena energi potensial, energi kinetik dan kerja diabaikan sehingga persamaannya menjadi sebagai berikut:

$$q_1 = h_1 - h_4 \quad (\text{Stoecker; 1996 : 187}) \quad (2-11)$$

Dengan :

$$q_1 = \text{penyerapan kalor oleh refrigeran dalam evaporator} \quad [\text{kJ kg}^{-1}]$$

h_1 = entalpi refrigeran pada daerah saturasi uap [kJ kg⁻¹]

h_4 = entalpi refrigeran pada daerah campuran [kJ kg⁻¹]

2.4 Refrigeran

Refrigeran adalah media perpindahan kalor yang menyerap kalor atau panas pada temperatur rendah di evaporator dan memberikan kalor pada temperature dan tekanan tinggi di kondensor. Refrigeran bersirkulasi didalam mesin pendingin yang mana fasanya dirubah dari uap menjadi cair atau pun sebaliknya. Untuk sistem refrigerasi kompresi uap, refrigeran menyerap panas pada kondensor pada tekanan serta temperature tinggi.

2.4.1 Macam-macam refrigeran

Berdasarkan prinsip kerjanya refrigeran dibagi menjadi dua macam yaitu:

1. Refrigeran primer

Refrigeran primer adalah zat yang berfungsi sebagai media pendingin dengan menyerap kalor dari benda atau bahan lain seperti air atau udara ruangan, sehingga refrigeran dapat dengan mudah merubah fasanya dari air menjadi gas. Pada saat terjadinya pelepasan kalor refrigeran terjadi perubahan fase dari gas bertekanan tinggi menjadi cair.

2. Refrigeran sekunder

Refrigeran sekunder adalah fluida yang mengangkut kalor dari bahan yang sedang didinginkan ke evaporator pada sistem refrigerasi. Refrigeran sekunder mengalami perubahan suhu bila menyerap kalor dan membebaskannya pada evaporator, tetapi tidak mengalami perubahan fasa (Stoecker; 1996:284). Refrigeran sekunder yang sering dipakai adalah *brine* (larutan garam) dan larutan anti-beku (*antifreezes*) yang merupakan larutan dengan suhu pembekuan dibawah 0°C. Larutan anti beku adalah larutan *glikol etilen*, *glikol propilen* dan *kalsium klorida*.

Berdasarkan zat penyusunnya refrigeran dibedakan menjadi empat yaitu:

1. Senyawa halokarbon

Refrigeran yang termasuk dalam kelompok halokarbon mempunyai satu atau lebih dari atom halokarbon yang tiga (klorin, flourin, dan bromin). Ketentuan

bilangan, nama kimia dan rumus kimia dari sejumlah anggota kelompok yang ditemukan dalam perdagangan, dimuat dalam tabel berikut:

Tabel 2.1 Beberapa refrigeran halokarbon

Ketentuan Penomoran	Nama Kimia	Rumus Kimia
R-11	Trikoloromonoflouorometana	CCl_3F
R-12	Dikloromonoflouorometana	CCl_2F
R-13	Monoklorotriflouorometana	CClF_3
R-22	Monoklorodiflouorometana	CHClF_2
R-40	Metilklorida	CCH_3Cl
R-113	Triklorotriflouoroetana	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$
R-114	Diklorotetraflouroetana	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$

Sumber: Stoecker (1996:279)

2. Senyawa hidrokarbon

Refrigeran yang atom penyusunnya terdiri dari dua atom yaitu karbon (C) dan hidrogen (H). Senyawa hidrokarbon memiliki sifat yang ramah lingkungan tetapi sifatnya sangat mudah terbakar. Beberapa senyawa hidrokarbon dimuat dalam tabel berikut:

Tabel 2.2 Beberapa refrigeran hidrokarbon

Ketentuan Penomoran	Nama Kimia	Rumus Kimia
50	Metana	CH_4
70	Etana	C_2H_6
290	Propana	C_3H_8

Sumber: Stoecker (1996:280)

3. Senyawa Anorganik

Refrigeran yang senyawa penyusunnya terdiri dari senyawa organik. Senyawa anorganik serng digunakan pada masa awal perkembangan bidang refrigerasi dan pengkondisian udara.

Tabel 2.3 Beberapa refrigeran anorganik

Ketentuan Penomoran	Nama Kimia	Rumus Kimia
717	Amonia	NH ₃
718	Air	H ₂ O
729	Udara	-
744	Karbon dioksida	CO ₂
764	Sulfur dioksida	SO ₂

Sumber: Stoecker (1996:280)

4. Azeotrop

Suatu campuran azeotrop dua substansi adalah campuran yang tak dapat dipisahkan menjadi komponen-komponennya dengan cara distilasi. Azeotrop menguap dan mengembun sebagai suatu substansi tunggal yang sifat-sifatnya berbeda dengan sifat unsur pembentuknya. Azeotrop yang paling banyak dikenal adalah refrigeran 502, merupakan campuran 48,8 persen refrigeran 22 dan 51,2 persen refrigeran 115 (Stoecker; 1996:280).

2.4.2 Dasar pemilihan refrigeran

Dalam menentukan refrigeran yang akan digunakan, maka harus mengetahui sifat-sifat refrigeran sebagai berikut:

1. Tekanan penguapan harus tinggi

Sebaiknya refrigeran menguap pada tekanan sedikit lebih tinggi dari tekanan atmosfer. Dengan demikian dapat mencegah pada saat terjadinya kebocoran udara luar masuk sistem refrigerasi karena kemungkinan adanya vakum pada sisi masuk kompresor.

2. Tekanan pengembunan yang tidak terlalu tinggi

Apabila tekanan pengembunan rendah maka perbandingan kompesinya menjadi lebih rendah sehingga penurunan prestasi kompresor dapat dihindarkan. Selain itu dengan tekanan kerja yang lebih rendah, mesin dapat bekerja lebih aman karena kemungkinan terjadinya kebocoran, ledakan dan hal-hal lain akibat tekanan yang terlalu tinggi menjadi lebih kecil.

3. Kalor laten penguapan harus tinggi

Kalor laten penguapan adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk menguapkan satu kilogram cairan jenuh pada temperatur atau tekanan tertentu. Refrigeran yang memiliki kalor penguapan yang tinggi lebih menguntungkan karena untuk kapasitas refrigerasi yang sama jumlah refrigeran yang bersirkulasi menjadi lebih kecil.

4. Viskositas yang rendah dalam fase cair maupun fase gas.

Viskositas yang rendah dapat menguntungkan karena tahanan gesek aliran refrigeran dalam pipa, kerugian tekanannya akan berkurang.

5. Konduktivitas termal yang tinggi

Konduktivitas termal yang sangat penting untuk menentukan karakteristik perpindahan panas pada refrigeran. Semakin tinggi konduktivitas suatu refrigeran maka perpindahan panasnya semakin baik pula.

6. Refrigeran tidak boleh beracun karena apabila terjadi kebocoran akan sangat membahayakan manusia sebagai pengguna AC (*Air Conditioner*).

7. Refrigeran hendaknya tidak bereaksi dan tidak korosif dengan material yang dipakai, hal tersebut dikarenakan apabila bereaksi dan bersifat korosif maka akan mudah terjadi kebocoran pada instalasinya.

8. Refrigeran hendaknya mudah diperoleh dan harganya terjangkau.

2.5 Sifat Termodinamika

Bagian terpenting dalam menganalisis sistem termal adalah penentuan sifat termodinamika yang bersangkutan. Suatu sifat termodinamika adalah setiap karakteristik atau ciri dari bahan yang dapat dijabari secara kuantitatif seperti suhu, tekanan dan rapat massa. Keadaan atau kondisi termodinamika suatu sistem didefinisikan berdasarkan sifat-sifatnya (Stoecker; 1996:14). Dalam penelitian ini sifat-sifat termodinamika yang paling diutamakan adalah:

1. Temperatur

Suhu (t) dari suatu bahan menyatakan keadaan termal dan kemampuannya untuk bertukar energi dengan bahan lain yang bersentuhan dengannya. Jadi suatu bahan yang bersuhu lebih tinggi akan memberikan energi kepada bahan lain yang suhunya lebih rendah. Titik acuan bagi skala Celcius adalah titik beku air (0°C) dan

titik didih air (100°C) sedangkan suhu absolut (T) adalah derajat diatas suhu nol absolut yang dinyatakan dengan Kelvin(K): yaitu $T = t^{\circ}\text{C} + 273$. (Stoecker; 1996:14).

2. Kalor spesifik

Kalor sepesifik dari suatu bahan adalah jumlah energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu satu satuan massa bahan tersebut sebesar 1K. Dua besaran yang umum adalah kalor spesifik pada volume tetap (c_v) dan kalor spesifik pada tekanan tetap (c_p). Kalor spesifik pada tekanan tetap (c_p) sering digunakan pada proses pemanasan dan refrigerasi (Stoecker; 1996:15). Nilai pendekatan untuk kalor spesifik dari beberapa bahan yang penting adalah sebagai berikut:

3. Rapat massa dan volume spesifik

Rapat massa (ρ) dari suatu fluida adalah massa yang mengisi satu satuan volume. Volume spesifik (v) adalah volume yang diisi oleh satu satuan massa. Rapat massa udara pada tekanan 1 atm dengan suhu 25°C mempunyai rapat massa $1,2 \text{ [kg m}^{-3}\text{]}$ (Stoecker; 1996:15).

4. Tekanan

Tekanan (P) adalah gaya normal (tegak lurus) yang diberikan oleh suatu fluida persatuan luas benda yang terkena gaya tersebut. Tekanan absolut adalah ukuran tekanan diatas nol (tekanan sebenarnya yang berada di atas nol). Satuan yang dipakai untuk tekanan adalah Newton per-luasan meter kuadrat atau $[\text{N m}^{-2}]$, bisa juga disebut dengan Pascal (Pa). Tekanan atmosfer standar = $101,325 \text{ [kPa]}$.

5. Entalpi

Entalpi (h) adalah energi kalor yang dikandung suatu zat per-satuan massa $[\text{kJ kg}^{-1}]$. Suatu perubahan entalpi Δh adalah jumlah kalor yang diberikan atau dilepaskan per-satuan massa melalui proses-proses tertentu. Sifat entalpi dapat menyatakan laju perpindahan kalor untuk proses penguapan dan pengembunan.

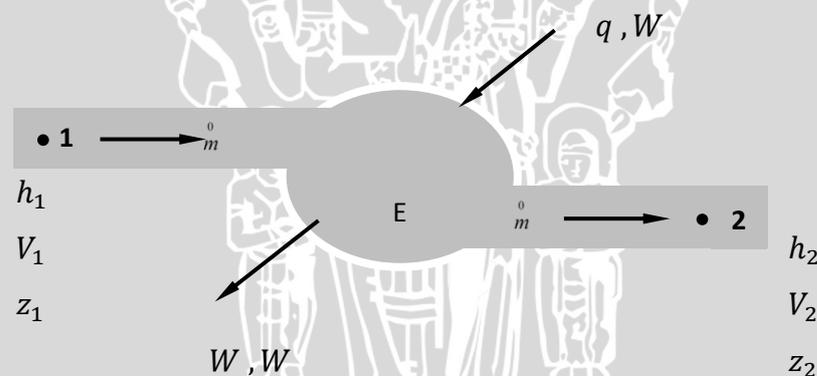
6. Entropi

Entropi (s) adalah energi kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan 1° temperatur setiap satuan massa $[\text{kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}]$. Entropi memiliki sifat yang hanya digunakan dalam hal khusus dan terbatas. Sifat-sifanya sebagai berikut :

- Jika suatu gas atau uap ditekan atau diekspansikan tanpa gesekan dan penambahan atau pelepasan kalor selama proses berlangsung maka entropi bahan tersebut tetap.
- Dalam proses tersebut, perubahan entalpi menyatakan jumlah kerja per-satuan massa yang diperlukan oleh proses penekanan atau yang dilepaskan oleh proses ekspansi tersebut.

2.6 Persamaan Energi Aliran Mantap

Dalam sistem refrigerasi dan pengkondisian udara, laju aliran massa tidak berubah dari waktu ke waktu, oleh karena itu laju aliran dapat dianggap mantap. Keseimbangan energi dapat dinyatakan, besarnya energi yang masuk bersama aliran dititik 1 ditambah dengan besarnya energi yang ditambahkan berupa kalor yang dikurangi dengan besarnya energi dalam bentuk kerja dan dikurangi dengan energi yang meninggalkan sistem pada titik 2 sama dengan besarnya perubahan energi di dalam volume kendali.



Gambar 2.7 Keseimbangan energi pada laju aliran mantap

Sumber : Stoecker (1996 : 20)

Pengertian tersebut bisa dijelaskan secara matematik yang dapat dilihat pada persamaan 2-1 dibawah ini :

$$\dot{m} \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right) + \dot{q} - \dot{m} \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) - \dot{W} = \frac{dE}{dt} \quad (\text{Stoecker, 1996 : 20}) \quad (2-12)$$

Oleh karena aliran mantap tidak ada perubahan laju aliran massa pada sistem, maka laju aliran masuk pada titik 1 sama dengan laju aliran massa keluar pada titik 2 dengan

demikian tidak ada perubahan energi sistem terhadap waktu sehingga $\frac{dE}{d\theta} = 0$, dan persamaan energi aliran mantap menjadi :

$$\dot{m} \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 \right) + q = \dot{m} \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \right) + W \quad (\text{Stoecker, 1996 : 21}) \quad (2-13)$$

Dimana :

\dot{m}	= laju aliran massa	[kg s ⁻¹]
h	= entalpi	[J kg ⁻¹]
V	= kecepatan	[m s ⁻¹]
z	= ketinggian	[m]
g	= percepatan gravitasi = 9,81	[m s ⁻²]
q	= laju aliran energi dalam bentuk kalor	[W]
W	= laju aliran energi dalam bentuk kerja	[J s ⁻¹]
E	= energi dalam sistem	[J]

2.7 Psikometri

Psikometri adalah ilmu yang mempelajari tentang sifat-sifat campuran udara dan uap air (Stoecker, 1996 : 38). Sifat termal dari udara basah pada umumnya ditunjukkan dengan menggunakan diagram psikometri. Udara atmosfer tidak seluruhnya kering, melainkan merupakan campuran antara udara dan uap air. Oleh karena itu, psikometri mempunyai arti penting dalam teknik refrigerasi dan teknik pengkondisian udara. Dalam psikometri terdapat beberapa istilah dan symbol sebagai berikut:

1. Temperatur bola kering (*Dry Bulb Temperature*)

Temperatur bola kering dapat dibaca pada termometer dengan sensor kering dan terbuka. Namun, penunjukannya tidaklah tepat karena adanya pengaruh radiasi panas, kecuali sensornya memperoleh ventilasi yang baik.

2. Temperatur bola basah (*WetBulb Temperature*)

Dalam hal ini digunakan thermometer dengan sensor yang dibalut dengan kain basah untuk menghilangkan pengaruh radiasi panas. Namun perlu diperhatikan bahwa sensor harus terjadi aliran udara sekurang-kurangnya 5 m/s. Suhu air pada thermometer bola basah sama dengan yang terdapat didalam alat penjenuh *adiabatic* (Stoecker, 1996 : 47).

3. Kelembaban relatif (*Relative Humidity*)

Kelembaban relatif (ϕ) adalah perbandingan antara tekanan parsial uap air yang ada di dalam udara dan tekanan jenuh uap air pada temperatur yang sama. Kelembaban relatif (ϕ) dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$\phi = \frac{\text{tekanan uap air parsial}}{\text{tekanan jenuh air murni pada suhu yang sama}} = \frac{p_s}{p_w} \quad (\text{Stoecker; 1996 : 40}) \quad (2-14)$$

Dengan :

ϕ = kelembaban relatif [%]

p_s = tekanan parsial uap air dalam keadaan jenuh [Pa]

p_w = tekanan jenuh air murni pada suhu yang sama [Pa]

4. Rasio kelembaban (*Humidity Ratio*)

Rasio kelembaban (W) merupakan berat atau massa air yang terkandung dalam setiap kilogram udara kering. Dalam teknik pengkondisian udara, untuk menghitung rasio kelembaban dapat digunakan persamaan gas ideal. Udara dianggap sebagai gas ideal karena suhunya cukup tinggi dibandingkan dengan suhu jenuhnya, dan uap air dianggap ideal karena tekanannya cukup rendah dibandingkan dengan tekanan jenuhnya. Dengan demikian diperoleh persamaan rasio kelembaban dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$W = \frac{kg_{\text{uap air}}}{kg_{\text{udara kering}}} = \frac{p_s \frac{V}{R_s} T}{p_a \frac{V}{R_a} T} = \frac{\frac{p_s}{R_s}}{\frac{(p_t - p_s)}{R_a}} \quad (\text{Stoecker; 1996 : 41}) \quad (2-15)$$

Dengan :

W = rasio kelembaban $\left[\frac{kg_{\text{uap air}}}{kg_{\text{udara kering}}} \right]$

V = volume sembarang campuran udara-uap [m^3]

p_t = tekanan atmosfer = $p_a + p_s$ [Pa]

p_a = tekanan parsial udara kering [Pa]

R_a = tetapan gas untuk udara kering = 287 [$J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$]

R_s = tetapan gas untuk uap-air = 461,5 [$J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$]

T = suhu absolut campuran udara-uap [K]

p_s = tekanan parsial uap air dalam keadaan jenuh [Pa]

Dengan mendistribusikan nilai R_a dan R_s ke dalam persamaan (2-3), maka akan diperoleh :

$$W = \left(\frac{287}{416,5}\right) \frac{p_s}{p_t - p_s} = 0,622 \frac{p_s}{p_t - p_s} \quad (\text{Stoecker; 1996 : 41}) \quad (2-16)$$

5. Titik embun (*Dew Point*)

Titik embun adalah temperature air pada keadaan dimana tekanan uapnya sama dengan tekanan uap dari udara (lembab). Jadi, pada temperatur tersebut uap air dalam udara mulai mengembun dan hal tersebut terjadi apabila udara lembab (mengandung banyak air) didinginkan.

6. Volume spesifik (*Specific Volume*)

Kelembaban relatif (ϕ) adalah perbandingan antara tekanan parsial uap air yang ada di dalam udara dan tekanan jenuh uap air pada temperatur yang sama.

Kelembaban relatif (ϕ) dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$\phi = \frac{\text{tekanan uap air parsial}}{\text{tekanan jenuh air murni pada suhu yang sama}} = \frac{p_s}{p_w} \quad (\text{Stoecker; 1996 : 40}) \quad (2-3)$$

Dengan :

ϕ = kelembaban relatif [%]

p_s = tekanan parsial uap air dalam keadaan jenuh [Pa]

p_w = tekanan jenuh air murni pada suhu yang sama [Pa]

2.8 *Liquified Petroleum Gas (LPG)*

LPG adalah campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari gas alam. Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas berubah menjadi cair. Komponennya didominasi propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}). LPG juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil seperti etana (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}), tetapi LPG yang dijual di Indonesia memiliki konsentrasi 50% propana (C_3H_8) dan 50% butana (C_4H_{10}).

Sebagai refrigeran hidrokarbon yang merupakan pencampuran butana dan propana yang tidak menghasilkan *Ozone Depleting Substance* (ODS) yaitu zat yang dapat menyebabkan kerusakan ozon. LPG juga tidak mempunyai potensi sebagai zat yang dapat menyebabkan efek rumah kaca yang berefek pemanasan global karena tidak memiliki *Global Warming Potential* (GWP). Sifat merusak ozon dan potensi menghasilkan efek rumah kaca yang dimiliki refrigeran CFC dan HFC ini tidak terdapat

pada LPG sehingga LPG cocok digunakan sebagai pengganti refrigeran CFC dan HFC yang lebih ramah lingkungan.

LPG (*Liquified Petroleum Gas*) dapat digunakan sebagai refrigeran pada sistem mesin pendingin tanpa mengganti komponen-komponen utama dalam mesin tersebut karena pada dasarnya LPG adalah refrigeran hidrokarbon. LPG (*Liquified Petroleum Gas*) bekerja pada tekanan rendah sehingga menghasilkan kerja kompresi yang lebih kecil dibandingkan dengan refrigeran halokarbon misalnya R-134a maupun R-22, sehingga koefisien prestasinya lebih bagus. Karena kelebihan yang dimiliki refrigeran hidrokarbon tersebut LPG (*Liquified Petroleum Gas*) sebagai refrigeran alternatif menggantikan refrigeran yang umum digunakan seperti R-22 dan R-134a.

2.9 Hipotesa

Semakin besar massa refrigeran yang dimasukkan kedalam sistem maka akan menyebabkan kapasitas pendinginan semakin tinggi dan akan menurun seiring penambahan refrigeran. Semakin besar massa refrigeran yang dimasukkan kedalam sistem maka akan menyebabkan kerja kompresi akan semakin meningkat. Semakin besar massa refrigeran yang dimasukkan kedalam sistem maka akan menyebabkan koefisien prestasi semakin tinggi dan akan mencapai nilai maksimum dan kemudian mengalami penurunan

