

LAPORAN PENELITIAN  
DOSEN MUDA



PEMAKAIAN REFRIGERAN HIDROKARBON MC-22  
SEBAGAI PENGGANTI REFRIGERAN R-22  
PADA MESIN PENDINGIN (AC)

Oleh

1. Ir, M. RUSDY HATUWE (Ketua)
2. Ir. MARSUDI, M.Sc (Anggota)
3. Ir. DJAWADI, M.Si (Anggota)

BIAYA OLEH DIPA TANGGAL, 31 DESEMBER 2007  
NOMOR : 01450023040/2007  
DIREKTORAT JENDRAL PENDIDIKAN TINGGI  
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK MESIN  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAKARTA  
BULAN NOPEMBER TAHUN 2007

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN HASIL  
PENELITIAN DOSEN MUDA

1. Judul Penelitian : Pemakaian Refrigeran Hidrokarbon MC – 22  
Sebagai Pengganti Refrigeran R – 22 pada  
Mesin Pendingin (AC)
2. Bidang Ilmu Penelitian : Pengembangan Ilmu Pengetahuan Teknologi  
dan Seni
3. Ketua Peneliti
  - a. Nama Lengkap : Ir, Mohamad Rusdy Hatuwe
  - b. Jenis Kelamin : Laki – laki
  - c. NIP : 030 207 679
  - d. Pangkat Gologan : Penata Tk. I / III d
  - e. Jabatan Struktural : Ka. Program S-1 Teknik Mesin FT  
UPN “Veteran” Jakarta
  - f. Fakultas / Jurusan : FT. Jurusan Teknik Mesin S- 1
4. Jumlah Anggota : 4 orang
5. Lokasi Penelitian : Pulo Gadung
6. Bila penelitian ini merupakan kerja sama kelembagaan
  - a. Nama Instansi : PT. Pertamina Persero
  - b. Alamat : Jl. Raya Bekasi Km. 47
7. Lama Penelitian : 10 bulan  
Biaya diajukan ke Dikti : Rp. 10.000.000,-



Mengetahui  
Dekan FT UPN “Veteran” Jakarta

Ir. Agus Susarso. M.Eng. Sc.MM

Jakarta, Nopember 2007  
Ketua Peneliti

Ir. Mohamad Rusdy Hatuwe



Menyetujui  
Ketua LPPM UPN “Veteran” Jakarta

Dra. Rini Riyantini, M.Si  
NIP. 030.203.002

## BAB I PENDAHULUAN

Mesin pendingin (AC) yang digunakan sebagai penyejuk udara digerakkan oleh tenaga listrik sebagai sumber energi. Pada hotel – hotel dan gedung perkantoran di Indonesia sekitar 60% sampai dengan 70% pemakaian tenaga listrik digunakan untuk menggerakkan mesin pendingin. Dengan pemakaian tenaga listrik yang lebih besar, maka pembayaran tarif listrik PLN akan semakin mahal. Untuk mengatasi keadaan-keadaan tersebut perlu dilakukan tindakan sebagai antisipasi untuk penghematan energi listrik yang digunakan untuk menggerakkan mesin pendingin .

Mesin pendingin memerlukan energi listrik dalam melakukan kerjanya, dan memerlukan suatu media pendingin yang disebut refrigeran, refrigeran sebagai media pendingin yang mengalir dalam sistem mesin pendingin menghasilkan udara dingin/segar. Pemakaian jenis refrigeran yang berbeda dalam sistem mesin pendingin akan mempengaruhi kinerja dan performance dari sistem mesin pendingin itu sendiri dan juga berpengaruh terhadap pemakaian energi listrik yang digunakan. Saat ini jenis refrigeran sintetik R-22 sebagai media pendingin pada mesin pendingin Split masih digunakan di Indonesia, akan tetapi bahan refrigeran syntetik R-22 merupakan media pendingin yang tidak dapat menghemat pemakaian listrik.

Merujuk pada penolakan terhadap penggunaan bahan refrigeran jenis sintetik (fluorocarbon) yang telah tertuang dalam Konvensi Wina dan Protokol Montreal 1987, dengan keharusan penghentian kegiatan produksi dan penggunaan bahan refrigeran jenis sintetik (fluorocarbon). Ratifikasi terhadap konvensi tersebut telah dilakukan oleh pemerintah Indonesia melalui:

- ♦ Keputusan Presiden RI NO. 23 Tahun 1992 tentang larangan memproduksi dan memper dagangkan barang baru yang merusak lapisan ozon.
- ♦ SK Menperindag RI No. 111/MPR/Kep/II/1998 tentang larangan impor bahan ODS terhitung mulai tanggal 27 Januari 1998
- ♦ SK Menperindag RI No. 110/MPR/ Kep/II/1998 tentang batas akhir perdagangan & pemakaian bahan ODS terhitung mulai tanggal 1 Januari 2005 ( SK tersebut telah ditinjau kembali sehingga pemerintah menetapkan jadwal penghapusan penggunaan

CFC secara total tahun 2007) dan diikuti dengan Instruksi Presiden RI NO. 10 Tahun 2005 tentang penghematan energi.

Oleh sebab itu penelitian dengan topik "Pemakaian Refrigeran Hidrokarbon MC-22 sebagai pengganti Refrigeran R-22 pada AC" perlu dilakukan penelitian dengan harapan bahwa penghematan pemakaian listrik dapat dicapai.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### A. Refrigeran

Refrigeran adalah media yang digunakan sebagai bahan pendingin pada mesin pendingin jenis kompresi uap. Refrigeran dapat berbentuk cairan atau gas yang dipergunakan untuk memindahkan panas dari tempat yang bertemperatur rendah ke tempat yang bertemperatur tinggi dengan bantuan siklus terbalik (reversed cycle), seperti misalnya reversed Carnot. Dalam suatu sistem uap bertekanan, refrigerant akan mengalami perubahan fasa dimana fasa cair berubah menjadi fasa uap ketika terjadi penyerapan panas dan kembali menjadi cair ketika panas tersebut dilepas. (Arora 1990).

### B. Persyaratan Refrigeran

Refrigeran dari mesin pendingin banyak dipergunakan untuk daerah temperatur yang luas untuk keperluan pendingin udara sampai dengan refrigerasi. Untuk unit refrigerasi tersebut diatas, hendaknya dipilih jenis refrigeran yang paling sesuai dengan jenis kompresor yang dipakai, dan karakteristik termodinamika yang antara lain meliputi temperatur penguapan dan tekanan penguapan serta temperatur pengembunan dan tekanan pengembunan. Persyaratan refrigeran untuk unit refrigeran dari mesin pendingin adalah sebagai berikut :

- (1). Tekanan penguapannya harus cukup tinggi
- (2). Tekanan pengembunan yang tidak terlampau tinggi
- (3). Kalor laten penguapan harus tinggi
- (4). Volume spesifik ( terutama dalam fasa gas ) cukup kecil
- (5). Koefisien prestasi harus tinggi
- (6). Konduktivitas termal yang tinggi

- (7). Viskositas yang rendah dalam fasa cair maupun gas
- (8). Konstanta dielektrika dari refrigeran yang kecil, tahan listrik yang besar, serta tidak menyebabkan korosi pada material isolator listrik. Sifat-sifat tersebut dibawah ini sangat penting, terutama untuk refrigeran yang akan dipergunakan pada kompresor hermetik.
- (9). Refrigeran hendaknya stabil dan tidak bereaksi dengan material yang dipakai, jadi juga tidak menyebabkan korosi
- (10). Refrigeran tidak boleh beracun dan berbau merangsang
- (11). Refrigeran tidak boleh mudah terbakar dan mudah meledak
- (12). Refrigeran harus mudah dideteksi, jika terjadi kebocoran
- (13). Harganya tidak mahal dan mudah diperoleh

Sumber : Arismunandar, 1986

#### B.1. Ciri termodinamika dari beberapa refrigeran sintetik (fluorocarbon)

Sebaiknya refrigeran sintetik pada tekanan sedikit lebih tinggi dari tekanan atmosfer. Dengan demikian, dapat dicegah terjadinya kebocoran udara luar masuk sistem refrigeran karena kemungkinan adanya vakum pada seksi masuk kompresor (bagian tekanan rendah). Selain itu, dapat dicegah turunnya efisiensi volumetrik karena naiknya perbandingan kompresi, yang dapat disebabkan karena berkurangnya tekanan dibagian tekanan rendah. Itulah sebabnya mengapa, titik didih refrigeran merupakan salah satu faktor yang sangat penting. Boleh dikatakan, bahwa refrigeran yang memiliki titik didih yang rendah biasanya dipakai untuk keperluan operasi pendinginan temperatur rendah (refrigerasi). Sedangkan refrigeran yang memiliki titik didih tinggi digunakan untuk keperluan pendinginan temperatur tinggi (pendinginan udara). Jadi, titik didih refrigeran merupakan indikator yang menyatakan apakah refrigeran dapat menguap pada temperatur rendah yang diinginkan, tetapi pada tekanan yang tidak terlalu rendah. Dari segi termodinamika, R12, R22, R500, R502, amoniak, dan sebagainya, dapat dipakai untuk daerah temperatur yang luas, dari keperluan pendinginan udara sampai ke

refrigerasi (Lihat Tabel 1; Tabel 2; dan Tabel 3)

Tabel 1. Jenis dan penggunaan refrigeran sintetik.

Refrigeran	Titik didih (°C)	Jenis kompresor	Temperatur penguapan	Temperatur pengembunan	Penggunaan
R 11	23,8	Sentripugal	Tinggi(pendinginan udara)	Biasa (pendinginan air,pendinginan udara)	Pendinginan air sentrifugal
R 12	- 29,8	Torak;putar	Tinggi-rendah (pembekuan,pendinginan ruangan)		Penyegar udara,refrigerasi dan pendinginan
		Sentripugal			Pendinginan air sentrifugal ukuran besar
R21	8,9		Tinggi (pendinginan)	Tinggi(pendinginan Udara)	Pendingin kabin alat pengangkat
R22	- 40,8		Tinggi-rendah (refrigerasi, Pendinginan)	Biasa (pendinginan air,pendinginan udara)	Penyegar udara, refrigerasi pada umumnya, pendinginan, beberapa unit refrigerasi, unit teperatur rendah
		Sentripugal			Pendingin air sentrifugal temperature rendah ukuran besar
Ammoniak	- 33,3	Torak	Rendah (refrigerasi)	Biasa (pendinginan air)	Unit pembuat es, ruang dingin, pendinginan larutan garam, peti es, pendinginan pabrik (proses) kimiaRing es, pendingin larutan garam, pendingin pabrik (proseskimia
		Sentripugal	Rendah (refrigerasi)		

Sumber : Arismunandar 1986

Tabel. 2. Jenis dan karakteristik beberapa refrigeran syntetik

Penggolongan	Halogen – Fluorokarbon									Ammaniak (R 717)
	Moan					A7eW'oQ				
Jenis refrigerant	R11	R12	R13	R21	R22	R13	R114	R500	R502	
Rumus kimia	CCh F	CClx F2	CCIF2	CHCL2 F	CHCIF2	C2 Cl. R%	C2 Clx F+	CClx F2 (73,8%) Cz H, Fx (26,2%)	CHCIFx (48,8%) Cz CIF3 (51,2%)	NH3
Berat molekul	137,37	120,92	104,46	102,92	86,47	187,39	17Q93	99,31	111,E	17,03
Titik didih (°C)	23,77	-29,8	-81,4	8,92	-40,Y.	47,57	3,55	-33,3	-45,6	-33,3
Titikpcmbekuan(°C)	-111	-158	-1,81	-135	-160	-35	-94	-158,9		-77,7
Temperatur kritis (°C)	198,0	112,0	28,9	178,5	196,0	214,1	145,7	105,1	90,1	133,0
Tchanan kritis (kg/cm <sup>l</sup> )	43,2	40,6	38,2	51	49,12	34,8	33,2	44,4	42,1	116,5
Berat jenis cair 30°C:(g/cc)	1,47G (25°C)	L294	1,298 (-3(>°C)	1,366	1,175	1,55	1,440	1,141	1,242	0,595
Berat jeius pada titik didih:(g/l)	5,86	6,33	7,01	4,57	4,82	7,38	7,82	5,22	6,05	Q905
Kalor spesifik cair 30 (cal/g°C)	0,208	0,24	0,25 (. 30°C)	0,256	Q335	0,218	0,238	0,290	0,30	1,143
Kalor spesifik uap Cp 30C pada tekanan Atmosfir) (cal/g °C)	Q135	Q147	0,158 (25°C)	0,140	Q152	0,161 (60°C)	0,160		0,168	0,52
Perbandingan kalor spesifik Cp/Cv (30°C pada tekanan atmosfer)	1,13E	1,136	1,145 (25°C)	1,175	1,184	1,080 (60°C)	1,088	1,127	1,132	1,31
Kalor laten penguapan pada titik didih (cal/g)	43;51	39,47	35,47	57,86	55,92	35,07	32,78	48,61	42,48	32,7
Kekuatan dielektrika: 23°C pada tekanau Atmosfir (nitrogen-1)	3,7	2,4	1,65	1,85	1,3	2,6 (0,4 atm)	2,8		2,34	0,83
Kekuatan Freon dalam Air pada 30°C: (g/ 100g)	0,011	0,009		0,13	0,15	0,013	0,011	0,035	0,056 (25,6 C)	89,9 (0 C)
Kemudahan terbakar	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidal	Tidak	Tidak	16-25" (volume) 1.14-1.77
S ifat racun	5A	6	6	4-5	5A	4-5	6	5A	5A	2

Sumber : Arismunandar 1986

Tabel. 3. dibawah ini menunjukkan karakteristik themodinamika dari refrigeran R-22 untuk siklus kompresor uap mesin pendingin.

Refrigeran	R 12	R 22	R 500	R 502
Tekanan penguapan (kg/cm <sup>2</sup> abs)	3,696	6,00	4,363	6,79
Tekananpengembunan (kg/cm <sup>2</sup> abs)	11,02	17,71	13,15	19,04
Perbandingan kompresi	3,26	2,98	3,10	2,80
Efek refrigerasi (kcal/kg)	28,13	37,14	33,47	21,34
Volume spesifik (cair) ( / kg)	0,797	0,883	0,905	0,874
Jumlah refrigeran yang bersikulasi (cair) (//jam.ton)	94,0	78,9	89,6	123,9
Volume spesifik (uap) (m <sup>3</sup> /kg)	0,0486	0,0403	0,0492	0,0274
Laju aliran (m <sup>3</sup> / jam.ton)	5,72	3,6	4,87	3,88
Kerja kompresi (kcal/kg)	5,1	6,7	5,8	4,5
Koefisien prestasi	5,5	5,5	5,8	4,54
Daya yang diperlukan (kW/ton)	0,7	0,7	0,67	0,85
Temp. gas keluar kompresor (°C)	51	67	53	50

Sumber : Arismunandar 1986

Apabila refrigeran memiliki kalor laten penguapan yang tinggi dan volume spesifik dalam bentuk gas yang kecil, maka kapasitas refrigerasi yang sama, daya dan volume torak kompresor yang diperlukan menjadi lebih kecil. Jika dibandingkan dengan R12, R22 yang dipergunakan untuk operasi temperatur rendah (untuk refrigerasi) dapat menaikkan kapasitas refrigerasinya sampai kira-kira 60 %. Oleh karena itu, R22 banyak dipergunakan untuk unit pendinginan udara, penyegar udara, dan sebagainya, serta memegang peranan penting dalam usaha menciptakan mesin refrigerasi yang kompak seperti telah diterangkan diatas, pada umumnya, lebih dikehendaki refrigeran yang memiliki volume spesifik yang lebih kecil.

Namun untuk unit pendinginan air sentrifugal dengan kapasitas kecil, sebaiknya dipergunakan refrigeran dengan volume spesifik yang besar. Hal tersebut diperlukan untuk menaikkan jumlah uap refrigeran yang bersikulasi, oleh karena jumlah uap



refrigeran yang secara efektif dapat dilayani oleh kompresor sentrifugal adalah kira-kira 40 – 60 m<sup>3</sup>/menit, dan kurang baik untuk kapasitas kecil. Berdasarkan hal tersebut, R113 merupakan refrigeran yang masih saja dipergunakan untuk unit pendingin sentrifugal dengan kapasitas kecil.

Jadi boleh dikatakan bahwa gas refrigeran sintetik keluar kompresor pada temperatur rendah. Dengan demikian, tidak diperlukan pendingin silinder, apabila bukan amoniak tetapi refrigeran sintetik yang dipergunakan sebagai refrigeran. Dari refrigeran sintetik yang ada, gas R22 keluar dari kompresor pada temperatur yang relatif lebih tinggi. Namun, R502, yaitu suatu campuran yang terdiri 48,8 % R22 lebih menguntungkan jika ditinjau dari segi temperatur gas keluar kompresor yang rendah. Jadi, menguntungkan jika ditinjau pula bagi kompresornya.

#### B.2. Uap air dalam refrigeran

Apabila uap air masuk ke dalam system refrigeran dari suatu unit refrigerasi, maka air mungkin beraksi dengan refrigeran sehingga menyebabkan berbagai macam gangguan terhadap operasi unit refrigerasi tersebut

Gangguan yang terjadi itu dapat berbeda-beda, tergantung pada jenis refrigeran dan jumlah uap air yang masuk, adanya udara dan kotoran, dan sebagainya. Namun, gangguan tersebut dapat dibagi menjadi dua golongan utama yaitu :

- (1) Pembekuan pada katup ekspansi dan sebagainya, karena adanya air yang ikut bersirkulasi dalam refrigeran.
- (2) Korosi pada system refrigeran dan rusaknya minyak pelumas, karena adanya reaksi kimia antara air dengan refrigeran dan bagian-bagian logam.

#### B.3. Ciri termodinamika dari refrigeran alami (hidrokarbon) MC – 22, dan beberapa jenis refrigeran hidrokarbon

Seperti halnya refrigeran sintetik (flourokarbon), refrigeran alami (hidrokarbon) MC-22 dapat juga dipakai untuk daerah temperatur yang luas, dari keperluan pendinginan udara sampai ke refrigerasi :

Karakteristik Termodinamika dari refrigeran alami (hidrokarbon) MC-22 seperti terlihat pada Tabel 4 dan Tabel 5 dibawah ini :

Tabel. 4. Karakteristik termodinamika dari refrigeran sintetis untuk kompresor positif. (kondisi pendinginan)

Refrigeran	R 12	R 22	R 500	R 502
Tekanan penguapan (kg/cm <sup>2</sup> abs)	3,696	6,00	4,363	6,79
Tekanan pengembunan (kg/cm <sup>2</sup> abs)	11,02	17,71	13,15	19,04
Perbandingan kompresi	3,26	2,98	3,10	2,80
Efek refrigerasi (kcal/kg <sup>0</sup> )	28,13	37,14	33,47	21,34
Volume spesifik (cair) (l / kg)	0,797	0,883	0,905	0,874
Jumlah refrigeran yang bersikulasi (cair) (l/jam.ton)	94,0	78,9	89,6	123,9
Volume spesifik (uap) (m <sup>3</sup> /kg)	0,0486	0,0403	0,0492	0,0274
Laju aliran (m <sup>3</sup> / jam.ton)	5,72	3,6	4,87	3,88
Kerja kompresi (kcal/kg)	5,1	6,7	5,8	4,5
Koefisien prestasi	5,5	5,5	5,8	4,54
Daya yang diperlukan (kW/ton)	0,7	0,7	0,67	0,85
Temp. gas keluar kompresor (°C)	51	67	53	50

(Kondisi ) temperatur penguapan 5°C. Temperatur pengembunan : 45 ° C

Sumber : Arismunandar 1986

Tabel . 5. Karakteristik Termodinamika dari refrigeran Alami (hidrokarbon) MC – 22

Untuk siklus kompresi uap pendingin

Temp [C]	Kompresor		Evaporator		Evaporator		Kondensor	
	Preasure [psi]	Prasure [psi]	Volume [m/kg]	Volume [m/kg]	Entalphy [Kj/ kg]	Entalphy [Kj/ kg]	Entalphy [Kj/ kg]	Entalphy [Kj/ kg]
-60.00	6170	6132	000166	09302	6056	5041	04284	2510
-55.00	7887	7841	000168	07320	7146	5100	04789	2490
-50.00	1020	1015	000169	05830	8248	5160	05287	2472
-45.00	1200	1282	000171	04695	9360	5220	05779	2456
-40.00	1607	1600	000173	03820	1048	5280	06264	2442
-35.00	1885	1977	000174	03737	1162	5340	06745	2429
-30.00	2429	2419	000176	02598	1227	5399	07221	2418
-25.00	2944	2933	000178	02169	1394	5458	07693	2407
-20.00	3539	3577	000180	01874	1512	5516	08160	2398
-15.00	4222	4208	000182	01544	1631	5575	08624	2390
-10.00	4998	4884	000184	01315	1752	5632	09085	2383
-50.00	5879	5862	000187	01126	1875	5689	09544	2377
00	6870	6852	000189	009689	2000	5745	1000	2371
50.00	7980	7960	000191	008378	2127	5800	1045	2366
10.00	9216	9137	000194	007274	2255	5854	1091	2362
15.00	1058	1057	000197	006339	2386	5907	1136	2358
20.00	1211	1209	000200	005543	2520	5959	1181	2354
25.00	1379	1376	000203	004860	2655	6009	1226	2351
30.00	1562	1560	000206	004273	2794	6057	1271	2348
35.00	1760	1761	000210	003763	2935	6102	1317	2345
40.00	1983	1980	000214	003320	3080	6146	1362	2341
45.00	2242	2218	000218	002932	3228	6186	1408	2338
50.00	2781	2478	000223	002591	3379	6222	1454	2334
55.00	2762	2758	000228	002289	3535	6254	1500	2329
60.00	3065	3062	000234	002021	3696	6281	1548	2324

Sumber : PT Pertamina ( Persero ) 2002

Tabel. 6. Karakteristik Termodinamika dari beberapa Refrigeran Alami (Hidrokarbon)

Property	MC-600	CARE 10	MC-12	CARE 30	MC-134A	CARE 40	MC-22
Density, $l$ (kg/m <sup>3</sup> )	550	544	533	533	531	494	493
Density, $v$ (kg/m <sup>3</sup> )	9.11	12.5	12.1	12.2	12.6	20.5	20.5
Specific Heat. $l$ (kJ/kg.K)	2.45	2.44	2.53	2.51	2.53	2.91	2.74
Specific Heat. $v$ (kJ/kg.K)	1.82	1.73	1.87	1.77	1.88	1.88	2.04
Viscosity, $l$ (Pa.s) <sup>10</sup>	150	166	132	141	129	102	98
Viscosity, $v$ (Pa.s) <sup>10</sup>	7.5	8.0	7.9	8.4	7.9	8.8	8.1
Thermal Cond. $l$ (W/ m.K)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09696	0.09	0.09
Thermal Cond. $v$ (W/ m.K)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01780	0.02	0.02
Surface Tension (N/ m) <sup>10<sup>3</sup></sup>	10	9.8	9.6	9.3	9.5	7.0	7.0
Speed of sound, $l$ (m/s)	810	810	795	814	791	721	721
Speed of sound, $v$ (m/s)	198	199	212	209	213	216	215
Temperature Glide	0	0	8	7.8	8	0	0
l-Saturated Liquid, v – saturated vapour. All condition given at 25oC (dew point)							

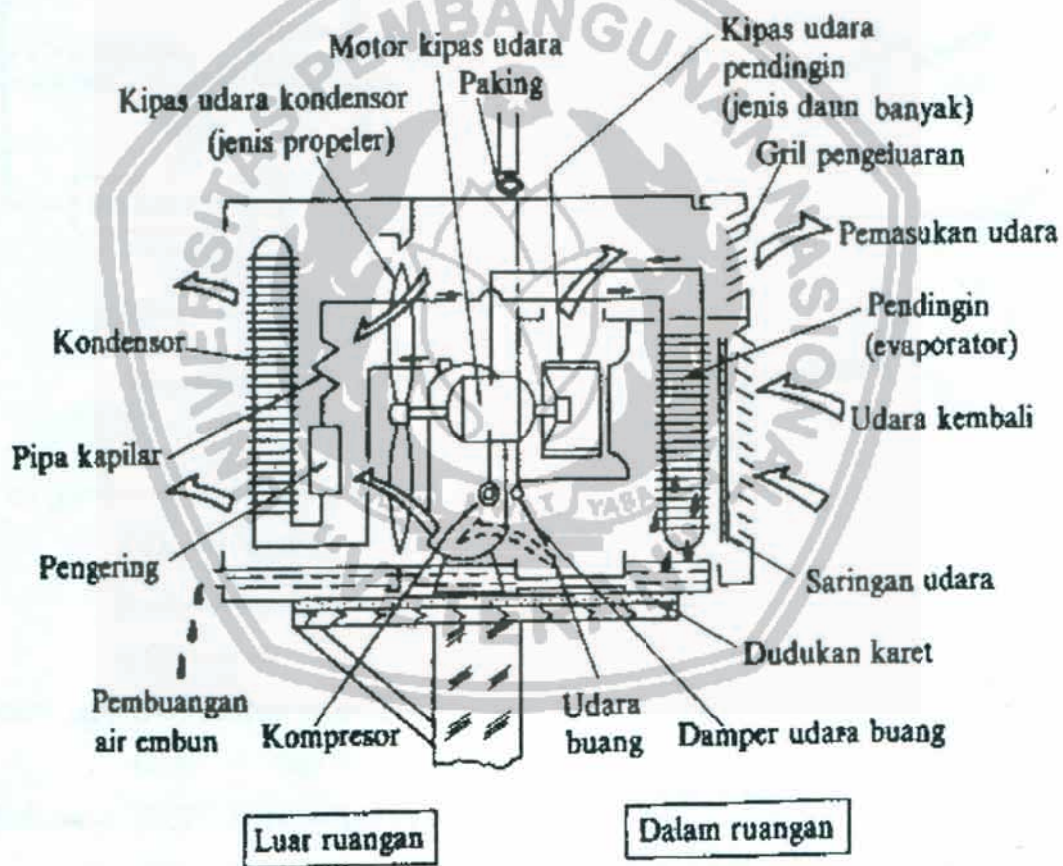
Sumber : PT Pertamina ( Persero ) 2002.

### C. Mesin Pendingin ( AC ) Split

Mesin pendingin (AC) Split adalah penyegar udara paket berukuran kecil dengan kapasitas pendinginan antara  $\frac{3}{4}$  PK sampai 2,5 PK: tersedia dalam jenis lantai, langit-langit, jenis dinding dan jenis jendela. Kondensor yang digunakan pada mesin pendingin split adalah kondensor dengan pendinginan udara yang biasanya diletakkan diluar kamar, terpisah dari unit mesin pendingin yang berada didalam kamar / gedung.

Gambar 1 menunjukkan konstruksi penyegar udara jenis jendela dengan kompresor torak atau kompresor putar. Kipas udara daun banyak dipasang didalam

kamar (dibagian evaporator) sedangkan kipas udara propeler dipasang dibagian luar (dibagian kondensor) : motor listrik menggerakkan kedua kipas udara tersebut. Koil udara pendingin (evaporator) dan kondensor terdiri dari pipa-pipa bersirip plat aluminium. Pengaturan temperatur kamar dapat dilakukan dengan menjalankan dan menghentikan kerja kompresor, berdasarkan pengukuran temperatur masuk. Penyegar udara ruangan yang biasanya berukuran kecil, mudah dipasang dan dijalankan, disamping itu kapasitas pendinginnya cukup besar. Jenis penyegar udara ini banyak digunakan di rumah maupun di dalam gedung.

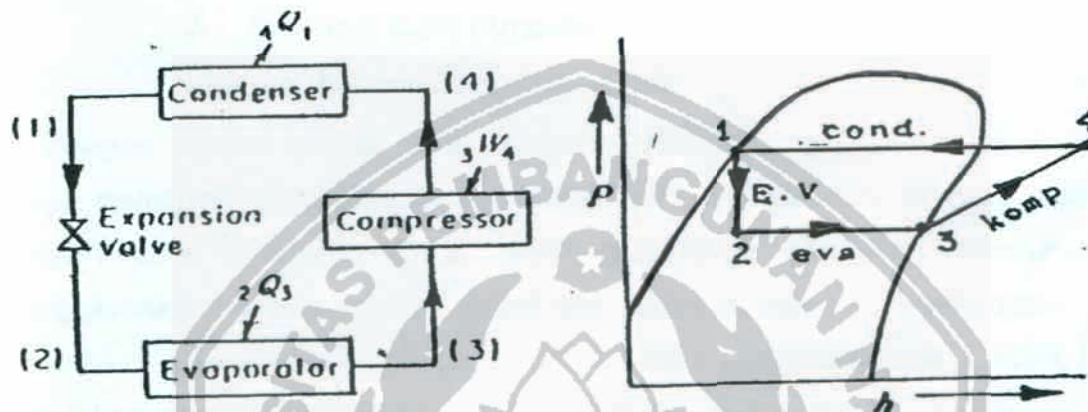


Gambar 1. Pendingin udara jenis split

D. Penentuan Besarnya COP ( Coefisien of Performance )

COP ( Coefitien of Performance ) adalah perbandingan antara beban panas yang dihasilkan evaporator dengan kerja yang dihasilkan oleh kompresor.

Untuk menentukan besar COP (Coeficien of Performance) dapat menggunakan teori siklus kompresi uap dengan diagram skematik P.h ( Jurnal EMAS, UKI,2003 ) sebagaiberikut



Gambar 2 . Siklus kompresi uap mesin pendingin.

Dari gambar 2 dapat diketahui bahwa :

$$2 Q_3 = h_3 - h_2$$

$$3 W_4 = h_4 - h_3$$

$$4 Q_1 = h_4 - h_1$$

Besar nilai COP dapat ditentukan dari rumus :

$$COP = Q_c / W$$

Dimana :  $COP = h_3 - h_2 / W = h_3 - h_2 / h_4 - h_3$

$Q_c$  = beban panas yang dihasilkan evaporator ( kJ / kg )

$W$  = kerja yang dihasilkan kompresor ( kJ / kg )

Dimana :  $h_1$  = entalphy pada temperatur keluar kondensor ( kJ / kg ).

$h_2$  = entalphy pada temperatur masuk evaporator ( kJ / kg ).

$h_3$  = entalphy pada temperatur keluar evaporator ( kJ / kg ).

$h_4$  = entalphy pada temperatur keluar kondensor ( kJ / kg ).

#### E. Penentuan Besar Daya Pemakaian Listrik

Untuk menentukan besar daya pemakaian listrik yang digunakan pada mesin pendingin dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$P = V.A.\cos \rho. \text{ (Watt)}$$

Dimana :  $P$  = daya listrik (Watt)

$V$  = tegangan listrik / voltase (Volt)

$A$  = arus listrik (Ampere)

$\cos \rho$  = factor koreksi (0,8 – 0,95)

Dengan asumsi bahwa berat refrigeran MC-22 yang bersirkulasi pada proses mesin pendingin akan berkurang sebesar 30% sampai dengan 35% dibandingkan dengan berat refrigeran R-22, maka arus listrik ( $A$ ) yang diperlukan untuk menggerakkan sistem mesin pendingin akan mengalami penurunan. Adanya penurunan arus listrik ( $A$ ) yang digunakan, maka penggunaan daya listrik ( $P$ ) yang diperlukan untuk menggerakkan mesin pendingin akan mengalami penurunan.

Dengan adanya penurunan daya listrik ( $P$ ) yang digunakan untuk menggerakkan mesin pendingin, maka secara otomatis akan mengurangi pemakaian daya listrik atau dengan kata lain, dapat mengurangi biaya daya listrik PLN setiap bulannya yang artinya " hemat listrik".

#### F. Metode Penentuan Nilai kelembaban Relatif ( RH ) pada unit mesin pendingin ( AC ).

Dengan menggunakan bantuan Psikometric chart dari temperatur bola basah ( $t_{b2}$ ) dan temperatur bola kering ( $t_{b1}$ ) ( pada tabel 13 halaman 23... dan tabel 14 Halaman 24. ) serta gambar 3 maka harga kelembaban Relatif ( RH) akan dapat ditentukan, Seperti terlihat pada gambar 3 dibawah ini cara mendapatkan nilai kelembaban relatif ( RH) dari Psychometric chart adalah dengan cara menarik garis vertikal yang merupakan temperatur bola kering ( $^{\circ}\text{C}$ ) dan menarik garis miring yang merupakan temperatur bola basah ( $^{\circ}\text{C}$ ) maka pertemuan kedua garis tersebut berupa satu titik yang menunjukkan besar nilai kelembaban relatif ( RH )

Yang dicari ( dinyatakan dalam % )

Gambar 3 Grafik Psychometric

Pada umumnya temperatur pendinginan suatu ruangan yang nyaman adalah pada temperatur 15 °C s/d 25 °C dan Kelembaban Relatif ( RH ) sebesar 50 % s/d 60 %

### BAB III

#### TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan

1. Menguji dan membuktikan kinerja dan performance mesin pendingin seperti COP (Coefficient of Performance), daya kompresor (PK) dan efisiensi mesin pendingin yang menggunakan refrigeran hidrokarbon MC-22.
2. Menghitung dan membuktikan penghematan energi listrik yang dihasilkan oleh mesin pendingin yang menggunakan refrigeran hidrokarbon MC-22.

Manfaat Penelitian:

1. Sebagai pihak pengguna yang menggunakan mesin pendingin yang menggunakan media pendingin refrigerant MC – 22 dapat menghemat pemakaian listrik.
2. Dapat bermanfaat terhadap lingkungan sekitarnya karena media pendingin refrigeran MC-22 ( Hidrocarbon ) yang digunakan pada mesin pendingin ramah terhadap lingkungan.



## BAB IV METODA PENELITIAN

### IV. 1. Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian mesin pendingin (AC) split terdiri dari :

- 1 ( satu ) unit mesin pendingin split dengan kapasitas 1 Pk ,  
Merk ; LG- Type LS B0966CN
- 1 ( unit ) buah tabung refrigeran yang berisi 3kg refrigeran R-22
- 1 ( satu ) buah tabung refrigeran yang berisi 3 kg refrigeran MC-22.
- 2 ( dua ) buah isolatif.
- Sumber energi listrik dari PLN dengan kapasitas maximum 900 Watt.

### IV.2. Alat.

Sebagaimana halnya dengan bahan maka alat yang dipergunakan dalam melakukan penelitian ini adalah seperti tabel 7.

Tabel 7. Daftar nama alat dan fungsi alat.

No	Nama Alat	Jumlah	Fungsi Alat
1.	Charging Manifold	1 buah	- Untuk mengukur tekanan masuk /suction pressure (psi) dan tekanan keluar / discharge pressure dari unit kompresor (psi ). - Dapat dipakai untuk menunjukkan tekanan volume ( kg / cm <sup>2</sup> ).
2	Vacuum pump	1 Unif -	- Untuk membuat vacuum system refrigeran sebelum diisi dengan refrigeran. - Dapat mengeluarkan semua gas-gas udara dan uap air dari system.

3	Machine 3 –R ( Recovery,Recicle dan Recharging )	1 Unit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mempunyai 2 fungsi :               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recovery berfungsi memindahkan refrigeran / freon dari system pendingin ke tempat penampungan.</li> <li>2. Recyling berfungsi memisahkan oli yang bercampur dengan refrigeran.</li> <li>3. Recharging berfungsi menggunakan kembali refrigeran yang telah diserapeddalam system.</li> </ol> </li> <li>- Mengukur temperatur ( °C ) Dengan cara digital.</li> <li>- Untuk mengukur berat refrigeran yang digunakan pada mesin pendingin dengan cara digital.</li> <li>- Untuk mengetahui kebocoran gas refrigeran yang keluar dari system mesin pendingin.</li> <li>- Untuk mengukur besar arus listrik / ampere yang keluar dari system.</li> <li>- Untuk mengukur waktu pada setiap melakukan percobaan.</li> <li>- Alat untuk keperluan pelengkap pada saat awal persiapan/ sebelum dan sesudah melakukan penelitian.</li> <li>- Alat untuk mengukur temperatur ruangan udara luar temperatur evaforator dan temperatur kondensor.</li> </ul>
4	Digital Thermometer	1 Unit	
5	Timbangan Digital	1 Unit	
6	Elektronik leak dictator	1 Unit	
7	Tang Ampere Meter	1 Unit	
8	Stop watch	1 Unit	
9	Hand tool anantara lain: - Tang - Obeng - Test pen - dll	1 Paket	
10	Thermometer	4 Buah	

11	Grafik Psychometric	1 buah	Alat untuk menentukan besar RH ruang pendingin dari temp. Bola kering (tb1) dan temp. Bola basah (tb2)
----	---------------------	--------	--

#### IV.3. Waktu dan Tempat Penelitian.

Penelitian ini akan dilaksanakan di PT PERTAMINA ( Persero ) dibagian Research and Laboratory Services Jl. Raya Bekasi km 20 Pulo Gadung. Waktu pelaksanaan penelitian selama 2 ( dua ) hari direncanakan pada bulan Nopember 2007.

#### IV. 4. Tahapan Penelitian.

Secara keseluruhan terbagi menjadi 4 ( empat ) tahap yaitu :

- Penentuan temperature pendinginan pada mesin pendingin split kapasitas 1 Pk.
- Penentuan parameter yang diukur dan diinstrumentasikan pada mesin pendingin yang menggunakan bahan refrigerant R-22 dan refrigerant MC – 22.
- Penentuan nilai kelembaban relative ruangan ( RH ) pada mesin pendingin yang menggunakan refrigerant R -22 dan Refrigeran MC – 22
- Penentuan karakteristik mesin pendingin serta penentuan COP dan konsumsi daya listrik.

IV.4.1. Metode yang dilakukan dalam model operasi mesin pendingin meliputi :

Model I.

- Operasi mesin pendingin Split yang menggunakan bahan refrigerant R - 22

Model 1, dalam operasinya dilakukan selama 2 ( dua ) hari pada tahun 2007, setiap operasi dimulai pada jam 9.00. pagi dan selesai jam 15.00 siang ( 6 jam kerja ).

Model II.

- Operasi mesin pendingin split 1 Pk yang menggunakan bahan refrigerant MC – 22.

Model II, dalam operasinya dilakukan selama 2 ( dua ) hari pada tahun 2007 setiap operasi dimulai jam 9.00 pagi dan selesai jam 15.00 siang ( 6 jam kerja )

#### IV.4.2. Penentuan parameter yang diukur dan diinstrumentasi pada mesin Pendingin

Tabel 8. Data – data dan parameter yang diukur pada mesin yang menggunakan bahan refrigerant R – 22

No Titik Pengukuran	Penelitian Model I - Operasi Mesin pendingin split yang menggunakan bahan refrigerant R – 22
1.	Berat refrigerant R – 22 : $W_{RF}$ ( kg )
2.	Temperatur pendingin pada AC : $T_{p1}$ ( °C )
3.	Temperatur masuk kondensor : $T_4$ ( °C )
4.	Temperatur keluar kondensor : $T_1$ ( °C )
5.	Temperatur masuk evaporator : $T_2$ ( °C )
6.	Temperatur keluar evaporator : $T_3$ ( °C )
7.	Tekanan isap / Suction pressure : $p_i$ ( psi )
8.	Tekanan Keluar / discharge pressure $p_k$ ( psi )
9.	Besar ampere pada tang ampere meter: $I_R$ ( Amp )
10.	Temperatur bola kering : $T_{b1}$ ( °C )
11.	Temperatur bola basah ; $T_{b2}$ ( °C )

Tabel 9, Data – data parameter yang diukur pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran MC – 22

No	Penelitian Model II
Titik Pengukuran	- Operasi mesin pendingin split 1 PK yang menggunakan bahan Refrigeran MC – 22
1	Berat refrigerant R – 22 : $W_{mc}$ ( kg )
2	Temperatur pendingin pada AC : $T_{p2}$ ( °C )
3	Temperatur masuk kondensor : $T_4$ ( °C )
4	Temperatur keluar kondensor : $T_1$ ( °C )
5	Temperatur masuk evaporator : $T_2$ ( °C )
6	Temperatur keluar evaporator : $T_3$ ( °C )
7	Tekanan isap / Suction pressure : $p_i$ ( psi )
8	Tekanan Keluar / discharge pressure : $p_k$ ( psi )
9	Besar ampere pada tang ampere meter : $I_m$ ( Amp )
10.	Temperatur bola kering : $T_{b1}$ : (°C )
11.	Temperatur bola basah ; $T_{b2}$ : (°C )

Tabel 10. Alat – alat yang dipergunakan sebagai pengukuran pada penelitian mesin pendingin.

No	Data yang diukur	Nama alat Ukur
1	Temperatur pada penelitian model 1 dan penelitian model 2.	Thermometer
2.	Pengukuran berat refrigeran R- 22 dan MC-22	Timbangan digital
3.	Pengukuran tekanan isap ( suction pressure dan tekanan keluar / discharge pressure compressor )	Charging manifold
4.	Pengukuran besar ampere listrik pada penelitian model 2.	Tang Ampere meter
5	Pengukuran kelembababn Relatif ( RN) pada penelitian model 1 dan penelitian model 2	Grafik Physometrik

#### IV.4.3. Prosedur Pengambilan Data

Dalam hal pengambilan data diperlukan suatu persiapan yang terencana baik secara peralatan maupun langkah – langkah pengambilan data yang akan dilakukan

Setelah semua alat ukur terpasang pada titik – titik pengukuran yang telah ditentukan dan sistem unit AC Sian untuk diuji maka proses pengambilan data pun dapat dilakukan.

Langkah – langkah pengambilan data – data pengujian sistem unit AC yang dilakukan hadala sebagai berikut :

1. menimbang berat bahan R – 22 dan MC – 22 sebelum digunakan dan sesudah digunakan ke sistem unit mesin pendingin ( AC )
2. mencatat data – data awal sebelum sistem unit mesin pendingin ( AC ) dijalankan dan masukkan data – data tersebut pada tabel data pengamatan dimulai dari menit ke nol
3. Jalankan sistem unit mesin pendingin ( AC ) dan 10 menit kemudian dilakukan pengukuran data – data tersebut ke tabel data pengamatan pada menit ke 10.
4. Lakukan pengukuran seperti pada langkah 3 setiap selang waktu 10 menit ingá 5 kali pengukuran.
5. Matikan sistem unit mesin pendingin (AC) kemudian divakum untuk diretrofitting dengan refrigeran MC – 22
6. Sebelum sistem unit mesin pendingin (AC) diisi oleh refrigeran MC-22 maka pengabihan data dapat dilakukan kembali dengan langkah – langkah yang sama seperti pada pengambilan data – data refrigeran R-22.

**BAB V**  
**HASIL DAN ANALISA**

**V. 1. HASIL PENGUJIAN**

Tabel 11. Hasil pengujian berat bahan R – 22 dan MC – 22 yang digunakan pada unit mesin pendingin ( AC ) Split kapasitas 1 PK , Merk : LG, Type : LS. B 0966 CN : Kapasitas pendinginan 8000 BTU/hr  
Tanggal pengujian : 6 Nopember 2007 ,  
Lama pengujian : 0,5 jam.

No	Nama bahan	Ulangan ke – 1		Rata-rata
		Berat tabung sebelum digunakan pada AC	Berat tabung sesudah digunakan pada AC	
1	R - 22	5,500	4,590	0,910
2	MC - 22	5,450	5,135	0,315

No	Nama bahan	Ulangan ke – 2		Rata-rata
		Berat tabung sebelum digunakan pada AC	Berat tabung sesudah digunakan pada AC	
1	R - 22	5,505	4,570	0,935
2	MC - 22	5,448	5,130	0,318

Tabel 12. Hasil pengujian berat bahan R – 22 rata – rata dan MC – 22 rata – rata yang digunakan AC split

Kapasitas 1 PK, Kapasitas pendinginan : 8000 BTU/hr

Merk ; LG

Type LS B0966CN

No	Nama Bahan	Berat refrigeran rata –rata	Keterangan
		( kg )	
1	R – 22	0,923	Menggunakan alat timbangan digital
2	MC – 22	0,317	

## V.2. DATA PENGAMATAN

Pengambilan data dengan menggunakan unit mesin pendingin ( AC ) dengan spesifikasi sebagai berikut :

Model mesin pendingin AC : Split

Kapasitas mesin pendingin : 1 PK

Merk mesin pendingin : LG

Type mesin pendingin : LS . B. 0966 CN

Kapasitas pendinginan : 8000 BTU/hr



Tabel 13. Data pengamatan penelitian model 1 pada saat sistem mesin pendingin ( AC ) menggunakan refrigeran R – 22 . menggunakan ruangan dengan usuran

sebagai berikut : Panjang = 3,5 m ;  
 : Lebar = 2,5m ;  
 : Tinggi = 2,25 m ;  
 : Volume = 19,7 m<sup>3</sup>

Hari / Tanggal : Senin / 6 Nopember 2007-11-01

Jam : 10.00 s/d 12.00. WIB,

No	Titik pengukuran	Satuan	0	15	30	45	60	Rata-Rata
1	Berat refrigeran R – 22 (W <sub>RF</sub> )	Kg	0.932	0.932	0.932	0.932	0.932	0.932
2	Temperatur udara luar (Ta1)	(°C )	29,0	30,1	31,8	31,5	31,8	30,7
3	Temperatur. Pendingin pd AC (Tp1)	(°C )	27	24	22	21	23,5	24,4
4	Temperatur.masuk kondensor (T4)	(°C )	47,5	47,8	47,9	48,5	48,8	48,1
5	Temperatur.keluar kondensor (T1)	(°C )	18,2	18,9	19,3	19,7	20,3	19,3
6	Temperatur masuk evaporator (T2)	(°C )	15,4	15,3	14,5	14,2	13,1	14,5
7	Temperatur keluar evaporator (T3)	(°C )	21,2	21,5	22,4	20,4	22,6	22,0
8	Tekanan. Isap/ suction pressure (pi)	Psi	80,2	80,1	80,0	80,0	80,0	80,6
9	Tekanan.keluar/discharge pressure (pk)	Psi	230,5	231,8	232,5	233,6	234,5	232,6
10	Arus Listrik	Amp	4,8	48	4,90	4,90	4,90	4,86
Ket : Cut off = 60 menit,			On = 2 menit .			temperatur = 14,5 (°C )		
Setting Temperatur = 20 (°C )								

Tabel 14. Data pengamatan penelitian model 2 pada sistem mesin pendingin ( AC ) menggunakan refrigeran MC – 22. menggunakan ruangan dengan usuran sebagai berikut ; Panjang = 3,5 m ;

: Lebar = 2,5m ;

: Tinggi = 2,25 m ;

: Volume = 19,7 m<sup>3</sup>

Hari / Tanggal : Selasa, 7 Nopember 2007-11-01

Jam : 10.00 - 12.00. WIB.

No	Titik pengukuran	Satuan	0	15	30	45	60	Rata <sup>2</sup>
1	Berat refrigeran R – 22 (WRF)	Kg	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317	0,317
2	Temperatur udara luar (Ta1)	(°C )	29,2	32,0	32,4	32,8	33,1	31,9
3	Temperatur. Pendingin pd AC (Tp1)	(°C )	27	25	24	22	21	23,8
4	Temperatur .masuk kondensor (T4)	(°C )	45,2	46,5	47,3	47,7	47,9	6,9
5	Temperatur.keluar kondensor (T1)	(°C )	19,5	19,4	20,6	20,5	20,0	20,0
6	Temperatur masuk evaporator (T2)	(°C )	10,8	10,6	10,5	10,3	10,1	10,5
7	Temperatur keluar evaporator (T3)	(°C )	20,2	20,4	20,7	20,8	20,9	20,6
8	Tekanan. Isap/ suction press (pi)	Psi	60	60	59	58	58	59,0
9	Tekanan.keluar/discharge press(pk)	Psi	210,3	210,8	211,5	212,6	214,4	211,9
10	Arus Listrik	Amp	3,0	3,1	3,1	3,1	3,1	3,08
Ket : Cut off = 60 menit, On = 2 menit . Temperatur = 10,5 (°C ) Setting Temperatur = 20 (°C )								

Tabel 15 Hasil pengukuran temperatur bola kering ( tb1) dan temperatur bola basah ( tb2) pada sistem mesin pendingin (AC) menggunakan refrigeran R -22 yang diset pada temperatur 20 (°C )

No	Menit ke	Tb1(°C )	Tb2 (°C )	RH1	Keterangan
1	0	20	17	73	Mendapatkan RH (Relatif Humidity )
2	15	20	14	55	Dengan menggunakan diagram phsikometrik
3	30	18	12	48	( lih. Lamp. Hal ... )
4	45	17	12	57	Ref. penyegaran udara oleh wiranto Arismunandar dan Heizo Suito
5	60	15	9	45	RH : 50-60%
Rata – rata		18	13,2	51,6	

Tabel 16 Hasil pengukuran temperatur bola kering ( tb1) dan temperatur bola basah ( tb2) pada sistem mesin pendingin (AC) menggunakan refrigeran MC -22 yang diset pada temperatur 20 (°C )

No	Menit ke	Tb1(°C )	Tb2 (°C )	RH2	Keterangan
1	0	20	17	73	Mendapatkan RH (Relatif Humidity )
2	15	19	16	65	Dengan menggunakan diagram phsikometrik ( lih. Lamp. Hal ... )
3	30	17	12	57	Ref. penyegaran udara oleh wiranto Arismunandar dan Heizo Suito
4	45	16	11	55	RH : 50-60%
5	60	14	9	50	
Rata – rata		17,2	13,8	60	

### V.3. Analisa Coefisien of Performance ( COP )

Besar harga COP dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$COP = \frac{\text{Efektif Refrigeran}}{\text{Kerja Kompresi}} = \frac{QC}{W}$$

$$COP = \frac{h_3 - h_2}{W} = \frac{h_3 - h_2}{h_4 - h_3} \quad (\text{sumber : Principles of Refrigeran})$$

Dimana :  $h_2$  = entalphy pada temperatur masuk Evaporator ( kJ/kg )

$h_3$  = entalphy pada temperatur keluar Evaporator ( kJ/kg )

$h_4$  = entalphy pada temperatur keluar kondensor ( kJ/kg )

Besar harga  $h_2$  ;  $h_3$  ; dan  $h_4$  dapat ditentukan dari tabel 3 .. hal..6

#### V.3.1. Perhitungan COP untuk mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R-22

$$T_2 = 14,4 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ ----- } h_2 = 217,328 \text{ kJ/kg}$$

$$T_3 = 21,0 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ ----- } h_3 = 412,202 \text{ kJ/kg}$$

$$T_4 = 48,1 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ ----- } h_4 = 417,665 \text{ kJ/kg}$$

Dari tabel 3 ,  $h_2$  didapat dengan metode interpolasi :

Temperatur masuk evaporator ( $T_2$ ) = 14,5 dimana  $h_2 = h_f$

$$h_f (14,5) = 216,719 + \frac{217,937 - 216,719}{(15 - 14)} \times (14,5 - 14) = 216,719 + (1,218 \times 0,5)$$

$$= 216,719 + 0,609$$

$$h_2 = 217,328 \text{ kJ/kg}$$

Temperatur keluar evaporator ( $T_3$ ) = 22  $^\circ\text{C}$  didapat  $h_3$  9  $h_f = 226,568 \text{ kJ/kg}$

Temperatur masuk condensor ( $T_4$ ) = 48,1  $^\circ\text{C}$  dimana  $h_4 = h_g = \dots$

$$h_g (48,1^\circ\text{C}) = 417,655 + \frac{(417,752 - 417,655)}{(49 - 48)} \times (48,1 - 48)$$

$$= 417,655 + (0,0097 \times 0,1)$$

$$= 417,655 + (0,0097)$$

$$h_4 = 417,665$$

Efek Refrigeran (QC) =  $h_3 - h_2$

$$= 412,202 - 217,328$$

$$= 194,874 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Kerja kompresi (W)} &= h_4 - h_3 \\ &= 417,665 - 226,568 \\ &= 191,097 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\text{COP} = \frac{194,874}{191,097} = 1,02$$

Jadi hasil perhitungan COP untuk mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R-22 = 1,02

Daya kompressor (N)

Daya kompressor untuk R-22 dimana  $m_{\text{ref}} = 22,03 \text{ kg/jam}$   
 $= 0,2 \text{ kg/menit}$

$$\begin{aligned} \text{Daya kompressor (N)} &= \frac{m_{\text{ref}}(h_4 - h_3)}{60} \text{ (KW)} \\ &= \frac{0,2 \text{ kg/men}(191,097)}{60} = 0,64 \text{ KW} \end{aligned}$$

### V.3.3. Laju Aliran Refrigeran (LAR)

Untuk mengetahui laju aliran refrigeran dalam system menggunakan rumus sebagai berikut :

$$m = \frac{Q}{QC} \text{ (kg / jam )}$$

Dimana : m = laju aliran refrigeran

Q = Kapasitas pendingin

QC = Efek refrigerasi (kJ/kg)

Diketahui dari data mesin pendingin, kapasitas pendingin (Q) = 8000 BTU/jam

1 KWh = 3,413 BTU ; QC = 194,874 kJ/kg

$$\text{Jadi : } Q = \frac{8000 \text{ BTU / jam}}{3,413 \text{ BTU / jam}} \times \text{KW / jam}$$

$$= 2343,98 \text{ KW/jam}$$

$$m = \frac{2343,98 \text{ KW / jam}}{194,874 \text{ kJ / kg}} = 12,03 \text{ kg / jam}$$

V.3.4. Perhitungan COP untuk mesin pendingin yang menggunakan refrigeran

MC – 22.

$$T_2 = 10,5^\circ\text{C} \text{ ----- } h_2 = h_f = 2268,1 \text{ kJ/kg}$$

$$T_3 = 20,6^\circ\text{C} \text{ ----- } h_3 = h_g = 5975,2 \text{ kJ/kg}$$

$$T_4 = 46,9^\circ\text{C} \text{ ----- } h_4 = h_g = 6199,68 \text{ kJ/kg}$$

Dari tabel 5 hal ....  $h_2$ ;  $h_3$  ; dan  $h_4$  didapat dengan metode interpolasi

Temperatur masuk evaporator ( $T_2$ ) =  $15,5^\circ\text{C}$  dimana  $h_2 = h_f$ .

$$h_f(10,5) = 2255 + \frac{(2386 - 2255)}{(15 - 10)} \times (10,5 - 10)$$

$$= 2255 + (26,2 \times 0,5)$$

$$= 2255 + 13,1$$

$$h_2 = 2268,1 \text{ kJ/kg}$$

Temperatur keluar evaporator ( $T_3$ ) =  $20,6^\circ\text{C}$  dimana  $h_3 = h_g$

$$h_f(20,6^\circ\text{C}) = 5959 + \frac{(6009 - 5959)}{(25 - 29)} \times (20,6 - 20)$$

$$= 5959 + (27 \times 0,6)$$

$$= 5959 + 16,2$$

$$h_3 = 5975,2 \text{ kJ/kg}$$

Temperatur masuk kondensor ( $T_4$ ) =  $46,9^\circ\text{C}$  dimana  $h_4 = h_g$

$$h_g(46,9) = 6186 + \frac{(6222 - 6186)}{(50 - 45)} \times (46,9 - 45)$$

$$= 6186 + (7,2 \times 1,9) = 6186 + 13,68$$

$$h_4 = 6199,68 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Efek refrigeran (QC)} = h_3 - h_2$$

$$= 5975,2 - 2268,1$$

$$= 268,1 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Kerja Kompresi (W)} = h_4 - h_3$$

$$= 6199,68 - 5975,2$$

$$= 224,5 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{COP} = \frac{268,1}{224,5} = 1,2$$

Jadi hasil perhitungan COP untuk mesin pendingin yang menggunakan refrigeran MC - 22 adalah 1,2.

Daya kompresor untuk MC-22 dimana  $m_{ref} = 8,7 \text{ kgt/jam} = 0.145 \text{ kg/menit}$

$$\begin{aligned} \text{Daya kompresor (N)} &= \frac{m_{ref}(h_2 - h_3)}{60} (KW) \\ &= \frac{0,145 \text{ kg / men}(224,5) \text{ kJ / kg}}{60} \\ &= 0,54 \text{ KW.} \end{aligned}$$

V.3.5. jumlah kalor yang dibuang oleh kondensor ( $Q_1 = Q_{out}$ )

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_{out} \\ &= h_4 - h_1 \end{aligned}$$

Dimana :  $h_4 = h_g (46,9 \text{ }^\circ\text{C}) = 6199,68 \text{ kJ/kg}$

$h_1 = h_f (20 \text{ }^\circ\text{C}) = 5959,0 \text{ kJ/kg}$

$$\begin{aligned} \text{jadi } Q_1 = Q_{out} &= 6199,68 - 5959,0 \\ &= 240,68 \text{ kJ/kg.} \end{aligned}$$

V.3.6. Laju Aliran Refrigeran (LAR)

Untuk mengetahui laju aliran refrigeran dalam system dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$m = \frac{Q}{QC} (\text{kg / jam})$$

Dimana :  $m$  = laju aliran refrigeran (kg/jam)

$Q$  = kapasitas pendingin (KW/jam)

$QC$  = Efek refrigeran (kJ/kg)

Diketahui data mesin pendingin ,kapasitas mesin pendingin ( $Q$ ) = 8000 BTU/jam

1 KW = 3,413 BTU;  $QC = 268,1 \text{ kJ/kg}$

$$\begin{aligned} \text{Jadi } Q &= \frac{8000 \text{ BTU / jam}}{3,413 \text{ BTU / jam}} \times \text{KW / jam} \\ &= 2343,98 \text{ KW/jam} \end{aligned}$$

$$m = \frac{2343,98 \text{ KW} / \text{jam}}{268,1 \text{ kJ} / \text{kg}} = 8,7 \text{ kg} / \text{jam}$$

#### V.4. Analisa Perhitungan Pemakaian daya listrik pada mesin pendingin refrigeran R – 22.

##### Spesifikasi mesin pendingin (AC)

- Model AC : AC Split
- Merk : LG
- Type : LS 0966
- Kapasitas : 1 PK
- Cooling capacity : 8000 BTU/jam
- Refrigeran R-22 : 980 gram
- \* Durasi pemakaian : 8 jam
- \* Tarif Dasar Listrik : Rp. 529 –per kWh
- \* Lokasi AC : Ruang Ka. Bag Administrasi PT. Pertamina di Pulo Gadung
- \* Ukuran ruangan : P X L X T  
: 3,5 x 2,5 x 2,25 m
- \* Volume ruang : 19,7 m<sup>3</sup>
- \* Arus listrik : 4,86 Ampere (tabel 12 hal..22)
- \* Voltase : 200 – 240
- Daya listrik (P) =  $V \cdot A \cos \rho$  (watt)
- Besar  $\cos \rho$  diambil = 0,85 (faktor koreksi)

$$P = 220 \times 4,86 \times 0,05 \\ = 908,82 \text{ watt.}$$

$$\begin{aligned} \text{Pemakaian listrik perbulan} &= 908,82 \text{ watt} \times 8 \text{ jam} \times 30 \text{ hari} \\ &= 218.116,80 \text{ watt jam} \\ &= 218,12 \text{ kwh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya pemakaian listrik perbulan} &= 218,12 \text{ kwh} \times \text{Rp. 529.} \\ &= \text{Rp. 115,48.} \end{aligned}$$



V.4.1. Analisa perhitungan pemakaian daya listrik pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran MC – 22.

Dengan menggunakan data-data spesifikasi mesin pendingin (AC) yang sama dengan mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R-22, maka biaya pemakaian listrik seperti dibawah ini.

$$\text{Daya listrik (P)} = V \cos \rho \text{ (watt)}$$

$$\text{Arus listrik (A)} = 3,08 \text{ Ampere ( tabel 13 hal..23)}$$

$$\text{Besarnya } \cos \rho \text{ diambil} = 0,85 \text{ watt}$$

$$= 575,96 \text{ watt.}$$

$$P = 220 \times 3,08 \times 0,85 \text{ watt}$$

$$= 575,96 \text{ watt}$$

$$\text{Pemakaian listrik perbulan} = 575,96 \text{ watt} \times 8 \text{ jam} \times 30 \text{ hari}$$

$$= 138.230,4 \text{ watt jam}$$

$$= 138,23 \text{ kwh.}$$

$$\text{Biaya pemakaian listrik perbulan} = 138,23 \text{ kwh} \times \text{Rp. } 529,-$$

$$= 73.123,76,-$$

V.4.2. Biaya Penghematan Listrik.

Biaya penghematan listrik perbulan mesin pendingin (AC) yang menggunakan refrigeran R – 22 dengan mesin pendingin (AC) yang menggunakan MC – 22 adalah sebagai berikut :

Biaya pemakaian listrik perbulan pada AC dengan R-22 dikurang dengan biaya listrik perbulan pada AC dengan MC – 22 :

$$= \text{Rp. } 115.385,48 - \text{Rp. } 73,123,67$$

$$= \text{Rp. } 42.261,81,-$$

$$\text{Effisiensi } (\eta) = \frac{42.361,81}{115.385,48} \times 100\% = 36,6 \%$$

V.5. Besar Nilai kelembaban Relatif (RH) pada mesin pendingin (AC)

Pada umumnya temperature pendinginan untuk perumahan maupun perkantoran yang paling nyaman untuk manusia adalah pada temperature 15 °C s/d 25 °C dan kelembaban Relatif adalah 50 s/d 60%.

**V.5.1. Nilai Kelembaban Relatif (RH) pada mesin pendingin dengan menggunakan refrigeran R-22.**

Besar nilai Kelembaban Relatif (RH) pada mesin pendingin (AC) dengan menggunakan refrigeran R-22 dapat ditentukan dengan menggunakan grafik psychrometrik .dengan menarik garis temperatur bola kering (tb1) dan temperatur bola basah (tb2) sehingga didapat RH rata - rata mesin pendingin yaitu : pada setting temperatur 20 °C didapat harga **RH = 51,6 %**, maka dengan kondisi seperti itu mesin pendingin masuk dalam katagori nyaman untuk dipakai karena sesuai dengan standard yang telah ditentukan.

**V.5.2. Nilai Kelembaban Relatif (RH) pada mesin pendingin dengan menggunakan refrigeran M - 22.**

Besar nilai Kelembaban Relatif (RH) pada mesin pendingin (AC) dengan menggunakan refrigeran MC-22 dapat ditentukan dengan menggunakan grafik psychrometrik .dengan menarik garis temperatur bola kering (tb1) dan temperatur bola basah (tb2) sehingga didapat RH rata-rata mesin pendingin yaitu : pada setting temperatur 20 °C didapat harga **RH = 60 %**, maka dengan kondisi seperti itu mesin pendingin masuk dalam katagori nyaman untuk dipakai karena sesuai dengan standard yang telah ditentukan.

V.6. Tabel 17. Perbandingan Hasil Analisa dan perhitungan mesin pendingin (AC) R-22 dengan MC – 22.

No	Item	Refrigeran R-22	Refrigeran MC-22
1	Efek Refrigerasi (QC)	194,874 kJ/kg.	268,1 kJ/kg
2	Kerja Kompresi (W)	191,097 kJ/kg.	224,5 kJ/kg
3	Daya Kompresor	0,64 kW	0,54 kW
4	Kalor yang dibuang oleh Kondensor	194,628 kJ/kg	240,68 kJ/kg
5	Laju Alirab Refrigeran	12,03 kg/jam	8,7 kg/jam
6	COP	1.02	1,2
7	Arus Listrik	4,86 Ampere	3,08 Ampere
8	Pemakaian Listrik perbulan	218,12 kW	138,23 kW
9	Biaya Pemakaian Listrik perbulan.	Rp.115.385,48	Rp,73.123,67,-
10	$\eta$ biaya pemakaian listrik.	-	36,6 %
11	Kelembaban Relatif (RH)	51,6 %	60,0 %

## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

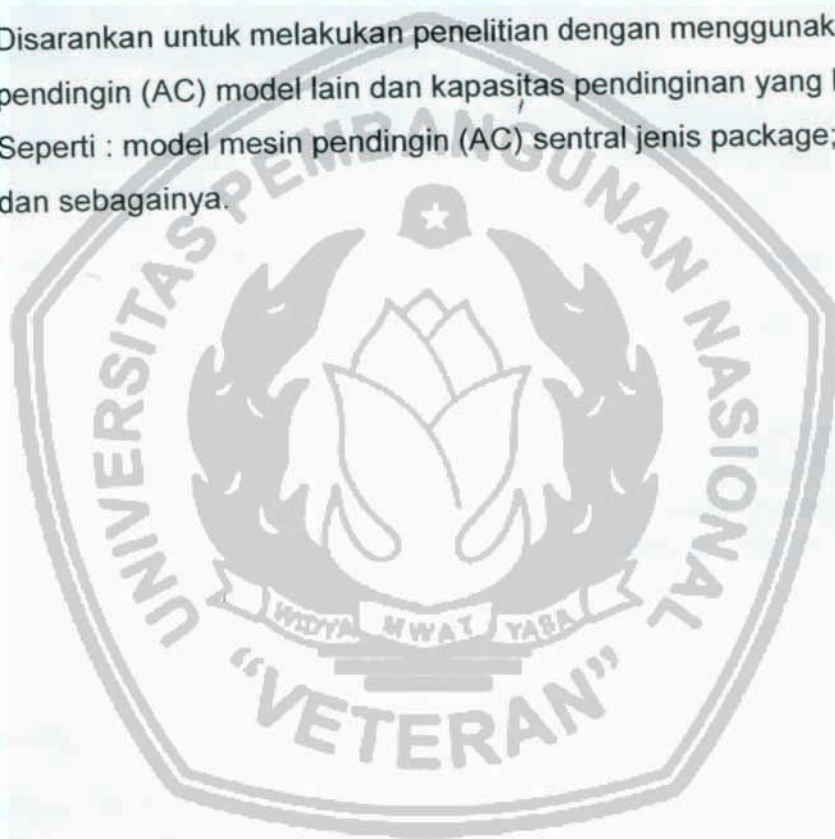
### VI. 1. KESIMPULAN

Penelitian dengan Judul pemakaian refrigeran hidrokarbon MC-22 Sebagai Pengganti R-22 pada mesin pendingin (AC) Split ; Merk LG ; Type LS B 0966 CN; dengan kapasitas maksimal 1 PK dengan volume ruangan 19,7 m<sup>3</sup> dan setting temperatur 20 °C, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Besar nilai COP pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran MC- 22 Adalah 1,8 dan mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R-22 adalah 1,02
2. Kerja kompresi dari kompressor pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran MC-22 adalah sebesar 224,5 kJ/kg. Sedangkan pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R - 22 adalah sebesar 191,097 kJ/kg.
3. Besar Nilai Kelembaban Relatif (RH) pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran MC -22 adalah sebesar 60 %. Sedangkan pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R - 22 adalah Sebesar 51,6 %.
4. Besar Arus Listrik yang digunakan pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran MC -22 adalah 3,08 ampere , sedangkan Mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R-22 adalah sebesar 4,86 ampere.
5. Pemakaian listrik perbulan pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran MC-22 adalah sebesar 138,32 kw ,sedangkan pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R-22 adalah sebesar 218,12 kW.
6. Biaya pemakaian listrik perbulan pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran MC-22 adalah sebesar Rp. 73.123,67,- Sedangkan pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran R-22 adalah sebesar Rp. 115.385,48.

## VI.2. SARAN

1. Disarankan dapat menggunakan mesin pendingin (AC) model split yang masih layak dioperasikan dengan baik sehingga hasil penelitiannya dapat dicapai dengan optimal dan akurat.
2. Disarankan untuk melakukan penelitian dengan menggunakan mesin pendingin (AC) model lain dan kapasitas pendinginan yang lebih besar Seperti : model mesin pendingin (AC) sentral jenis package; Jenis chiller dan sebagainya.



#### DAFTAR PUSTAKA

- Aurora, 1990; "*Refrigeran and Air Conditioning*" (in SI Unit), Tata Mc Grow Hill, 8<sup>th</sup> Reprint New Delhi.
- Arismunandar dan Heizo Saito, 1986. "*Penyegaran Udara*", The Association for International Technical Promotion, Tokyo, JAPAN, Cetakan ke 3 oleh PT.PERTIJA.
- Ashrae Handbook and Product Directory, 1978, "*Aplication American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineer*", Inc.
- Edward G..Pita 1981, "*Air Conditinig Principles and Systems of Energy Aproach*" Penerbit Airlangga Second Edition.
- Kardiyono, 2003, "*Perbandingan Unjuk Kerja System Air Conditioning mempergunakan R-22 dengan R-290*", "Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin, Institut Sain dan Teknologi AL-Kamal, Jakarta.
- Martana Budi "*Perawatan Pada Masin Pendingin yang Menggunakan Refrigeran CFC ke Hidrokarbon*" Jurnal Ilmiah BINA TEKNIKA Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran" Jakarta, ISSN: 1693-8550 Volume 1. No 1 Mei – Agustus 2004, Penerbit FTI-UPN"V" Jkt
- Marsudi, Juli 1999. "*Model Mesin Pendingin Sistem Foto Voltanic dengan Energi Surya untuk Mendinginkan Benih HTI UNTAR*" POROS, No ISSN 1410-6841, Volume 2 nomor 2, Juli 1999, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tarumanegara. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin dan Teknologi Manufaktur
- PT.Pertamina (Persero), 2002 ; "*Aspek Teknis Refrigeran Hidrokarbon Musicool (MC) yang Hemat Energi dan Ramah Lingkungan*"; Reseach and Laboratory Service; Jl. Raya Bekasi Km 20 Pulo Gadung.
- Sujirin, Januari 2000 "*Heat Exchanger (APK) Bersirip Pada Proses Pemanasan dan Pendinginan Udara*" POROS, No ISSN 1410-6841, Volume 3 nomor 1, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tarumanegara, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin dan Teknologi Manufaktur.
- Sukarna I Wayan dan Bison, Juli 1999 "*Perhitungan Beban Pendingin (cooling load) Ruang Kuliah J 508 FT Untar*" POROS, No ISSN 1410-6841, Volume 2 nomor 2, Juli 1999, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tarumanegara. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin dan Teknologi Manufaktur.
- Widodo "*Tata Cara Retrofitting pada AC Split Panasonic Kapasitas 2 PK*". Tekno Sain, Volume 1, No 1, Februari 2004, Jurnal Sekolah Tinggi Teknologi Bina Tunggal, Bekasi, ISSN : 1693 – 8089.

t, °C	p, kPa	Entalpi, kJ/kg		Entropi, kJ/kg·K		Volume spesifik, L/kg	
		$h_f$	$h_g$	$s_f$	$s_g$	$v_f$	$v_g$
19	884,75	222,848	411,629	1,07974	1,72590	0,82175	26,7477
20	909,93	224,084	411,918	1,08390	1,72462	0,82431	26,0032
21	935,64	225,324	412,202	1,08805	1,72334	0,82691	25,2829
22	961,89	226,568	412,481	1,09220	1,72206	0,82954	24,5857
23	988,67	227,816	412,755	1,0964	1,72080	0,83221	23,9107
24	1016,0	229,068	413,025	1,10048	1,71935	0,83491	23,2572
25	1043,9	230,324	413,289	1,10462	1,71827	0,83765	22,6242
26	1072,3	231,583	413,548	1,10876	1,71701	0,84043	22,0111
27	1101,4	232,847	413,802	1,11290	1,71576	0,84324	21,4169
28	1130,9	234,115	414,050	1,11703	1,71450	0,84610	20,8411
29	1161,1	235,387	414,293	1,12116	1,71325	0,84899	20,2829
30	1191,9	236,664	414,530	1,12530	1,71200	0,85193	19,7417
31	1223,2	237,944	414,762	1,12943	1,71075	0,85491	19,2168
32	1255,2	239,230	414,987	1,13355	1,70950	0,85793	18,7076
33	1287,8	240,520	415,207	1,13768	1,70826	0,86101	18,2135
34	1321,0	241,814	415,420	1,14181	1,70701	0,86412	17,7341
35	1354,8	243,114	415,627	1,14594	1,70576	0,86729	17,2686
36	1389,2	244,418	415,828	1,15007	1,70450	0,87051	16,8168
37	1424,3	245,727	416,021	1,15420	1,70325	0,87378	16,3779
38	1460,1	247,041	416,208	1,15833	1,70199	0,87710	15,9517
39	1496,5	248,361	416,388	1,16246	1,70073	0,88048	15,5375
40	1533,5	249,686	416,561	1,16659	1,69946	0,88392	15,1351
41	1571,2	251,016	416,726	1,17073	1,69819	0,88741	14,7439
42	1609,6	252,352	416,883	1,17486	1,69692	0,89097	14,3636
43	1648,7	253,694	417,033	1,17900	1,69564	0,89459	13,9938
44	1688,5	255,042	417,174	1,18315	1,69435	0,89828	13,6341
45	1729,0	256,396	417,308	1,18730	1,69305	0,90203	13,2841
46	1770,2	257,756	417,432	1,19145	1,69174	0,90586	12,9436
47	1812,1	259,123	417,548	1,19560	1,69043	0,90976	12,6122
48	1854,8	260,497	417,655	1,19977	1,68911	0,91374	12,2895
49	1898,2	261,877	417,752	1,20393	1,68777	0,91779	11,9753
50	1842,3	263,264	417,838	1,20811	1,68643	0,92193	11,6693
52	2032,8	266,062	417,983	1,21648	1,68370	0,93047	11,0806
54	2126,5	268,891	418,083	1,22489	1,68091	0,93939	10,5214
56	2223,2	271,754	418,137	1,23333	1,67805	0,94872	9,98952
58	2323,2	274,654	418,141	1,24183	1,67511	0,95850	9,48319
60	2426,6	277,594	418,089	1,25038	1,67208	0,96878	9,00062
62	2533,3	280,577	417,978	1,25899	1,66895	0,97960	8,54016
64	2643,5	283,607	417,802	1,26768	1,66570	0,99104	8,10023
66	2757,3	286,690	417,553	1,27647	1,66231	1,00317	7,67934
68	2874,7	289,832	417,226	1,28535	1,65876	1,01608	7,27605
70	2995,9	293,038	416,809	1,29436	1,65504	1,02987	6,88899
75	3316,1	301,399	415,299	1,31758	1,64472	1,06916	5,98334
80	3662,3	310,424	412,898	1,34223	1,63239	1,11810	5,14862
85	4036,8	320,505	409,101	1,36936	1,61673	1,18328	4,35815
90	4442,5	332,616	402,653	1,40155	1,59440	1,28230	3,56440
95	4883,5	351,767	386,708	1,45222	1,54712	1,52064	2,55133

Tabel. 3. dibawah ini menunjukkan karakteristik themodinamika dari refrigeran  
~~MC~~ R-22 untuk siklus kompresor uap mesin pendingin.

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{kPa}$	Entalpi, $\text{kJ/kg}$		Entropi, $\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$		Volume spesifik, $\text{L/kg}$	
		$h_f$	$h_g$	$s_f$	$s_g$	$v_f$	$v_g$
-60	37,48	134,763	379,114	0,73254	1,87886	0,68208	537,152
-55	49,47	139,830	381,529	0,75599	1,86389	0,68856	414,827
-50	64,39	144,959	383,921	0,77919	1,85000	0,69520	324,557
-45	82,71	150,153	386,282	0,80216	1,83708	0,70219	256,990
-40	104,95	155,414	388,609	0,82490	1,82504	0,70936	205,745
-35	131,68	160,742	390,896	0,84743	1,81380	0,71680	166,400
-30	163,48	166,140	393,138	0,86976	1,80329	0,72452	135,844
-28	177,76	168,318	394,021	0,87864	1,79927	0,72769	125,563
-26	192,99	170,507	394,896	0,88748	1,79535	0,73092	116,214
-24	209,22	172,708	395,762	0,89630	1,79152	0,73420	107,701
-22	226,48	174,919	396,619	0,90509	1,78779	0,73753	99,9362
-20	244,83	177,142	397,467	0,91395	1,78415	0,74091	92,8432
-18	264,29	179,376	398,305	0,92259	1,78059	0,74436	86,3546
-16	284,93	181,622	399,133	0,93129	1,77711	0,74786	80,4103
-14	306,78	183,878	399,951	0,93997	1,77371	0,75143	74,9572
-12	329,89	186,147	400,759	0,94862	1,77039	0,75506	69,9478
-10	354,30	188,426	401,555	0,95725	1,76713	0,75876	65,3399
-9	367,01	189,571	401,949	0,96155	1,76553	0,76063	63,1746
-8	380,06	190,718	402,341	0,96585	1,76394	0,76253	61,0958
-7	393,47	191,868	402,729	0,97014	1,76237	0,76444	59,0996
-6	407,23	193,021	403,114	0,97442	1,76082	0,76636	57,1820
-5	421,35	194,176	403,496	0,97870	1,75928	0,76831	55,3394
-4	435,84	195,335	403,876	0,98297	1,75775	0,77028	53,5682
-3	450,70	196,497	404,252	0,98724	1,75624	0,77226	51,8653
-2	465,94	197,662	404,626	0,99150	1,75475	0,77427	50,2274
-1	481,57	198,828	404,994	0,99575	1,75326	0,77629	48,6517
0	497,59	200,000	405,361	1,00000	1,75279	0,77834	47,1354
1	514,01	201,174	405,724	1,00424	1,75034	0,78041	45,6757
2	530,83	202,351	406,084	1,00848	1,74889	0,78249	44,2702
3	548,06	203,530	406,440	1,01271	1,74746	0,78460	42,9166
4	565,71	204,713	406,793	1,01694	1,74604	0,78673	41,6124
5	583,78	205,899	407,143	1,02116	1,74463	0,78889	40,3556
6	602,28	207,089	407,489	1,02537	1,74324	0,79107	39,1441
7	621,22	208,281	407,831	1,02958	1,74185	0,79327	37,9759
8	640,59	209,477	408,169	1,03379	1,74047	0,79549	36,8493
9	660,42	210,675	408,504	1,03799	1,73911	0,79775	35,7624
10	680,70	211,877	408,835	1,04218	1,73775	0,80002	34,7136
11	701,44	213,083	409,162	1,04637	1,73640	0,80232	33,7013
12	722,65	214,291	409,485	1,05056	1,73506	0,80465	32,7239
13	744,33	215,503	409,804	1,05474	1,73373	0,80701	31,7801
14	766,50	216,719	410,119	1,05892	1,73241	0,80939	30,8583
15	789,15	217,937	410,430	1,06309	1,73109	0,81180	29,9874
16	812,29	219,160	410,736	1,06726	1,72978	0,81424	29,1361
17	835,93	220,386	411,038	1,07142	1,72848	0,81671	28,3131
18	860,08	221,615	411,336	1,07559	1,72719	0,81922	27,5173



