

ANALISA SIKLUS IDEAL DAN AKTUAL PADA *MOBILE AIR CONDITIONING* DENGAN MENGGUNAKAN R-134a DAN HIDROKARBON MC-134

Puji Saksono¹

Abstraksi

Siklus refrigerasi adalah siklus kerja yang mentransfer kalor dari media bertemperatur tinggi ke media yang bertemperatur rendah dengan menggunakan kerja dari luar sistem. Idealnya siklus refrigerasi tersebut dapat beroperasi tanpa adanya gangguan perpindahan panas, sehingga hasil yang didapatkan untuk siklus tersebut lebih baik. Namun aktualnya siklus refrigerasi tersebut sangat sulit untuk dipisahkan dengan perpindahan kalor dari lingkungan sekitar. Dalam penelitian ini dirakit satu unit *Mobile Air Conditioning (MAC)* yang meliputi komponen kompresor, kondensor, evaporator, katup ekspansi, *filter drier* dan peralatan kontrol. Pengujian yang dilakukan menggunakan dua jenis refrigeran yaitu R-134a yang merupakan refrigeran sintesis dan MC-134 jenis hidrokarbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai koefisien performansi dari siklus ideal lebih besar dari siklus aktual. Aplikasi R-134a pada siklus aktual kehilangan (*losses*) performansi sebesar $\pm 29\%$ dari nilai COP (*coefficient of performance*) siklus ideal. Sedangkan aplikasi MC-134 kehilangan (*losses*) performansi sebesar $\pm 18\%$ dari COP siklus ideal. Dengan demikian temperatur dari *superheat* dan *subcooling* sistem refrigerasi akan berpengaruh terhadap nilai COP siklus aktual.

Kata Kunci: Jenis Refrigeran, Siklus Ideal, Siklus Aktual, COP.

PENDAHULUAN

Mobile air conditioning (MAC) atau yang lebih dikenal dengan istilah AC mobil sudah menjadi hal yang tidak asing lagi di kalangan pemakai kendaraan pribadi di Indonesia. MAC adalah sistem atau mesin yang dirancang untuk menstabilkan suhu udara dan kelembaban pada kendaraan (mobil). Tuntutan kehadiran MAC pada kendaraan hampir menjadi keharusan untuk mendinginkan dan mengeringkan udara di dalam mobil. Selain itu pada saat hujan, MAC akan membantu menghilangkan embun pada kaca (*wind shield*) bagian dalam akibat terjadinya kondensasi. Dengan demikian pandangan pengemudi tidak akan terganggu sehingga keselamatan pengguna kendaraan tetap terjamin. Performansi sebuah sistem MAC selalu berubah-ubah besarnya. Dengan membandingkan dua jenis refrigeran ditinjau dari siklus ideal dan aktual, kita akan

dapatkan *losses* (kerugian) dari keduanya. Dengan demikian nilai performansi aktual dapat kita ketahui

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah seberapa besar nilai performansi antara siklus ideal dan aktual pada (*Mobile Air Conditioning (MAC)*) dengan menggunakan R-134a dan Hidrokarbon MC-134 dengan batasan masalah dari penelitian ini adalah analisa siklus pada kondisi ideal dan aktual dan data diperoleh setelah sistem refrigerasi pada keadaan tunak (*steady state*).

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji seberapa besar perbedaan dari siklus ideal dan aktual pada sistem MAC dengan menggunakan R-134a dan Hidrokarbon MC-134. Manfaatnya yaitu sebagai analisa seberapa besar nilai dari kerugian (*losses*) dari aplikasi kedua jenis refrigerant pada MAC.

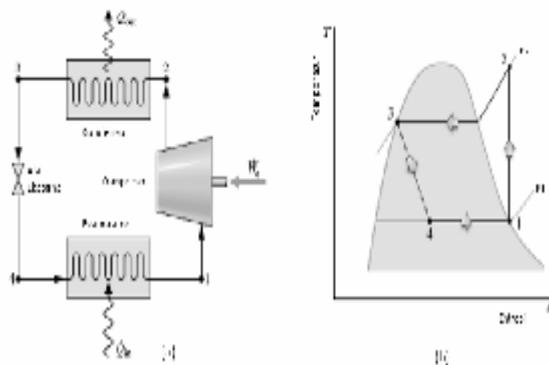
¹ Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Balikpapan

KAJIAN PUSTAKA

Sistem refrigerasi siklus kompresi uap Standar (ideal)

Siklus kompresi uap standar merupakan siklus teoritis, dimana pada siklus tersebut mengasumsikan beberapa proses sebagai berikut:

- 1–2 merupakan proses kompresi *adiabatic* dan *reversible*, dari uap jenuh menuju ke tekanan kondensor.
- 2–3 merupakan proses pelepasan kalor *reversible* pada tekanan konstan, menyebabkan penurunan panas lanjut (*desuperheating*) dan pengembunan refrigerasi.
- 3–4 merupakan proses ekspansi *unreversibel* pada entalpi konstan, dari fase cair jenuh menuju tekanan evaporator.
- 4 – 1 merupakan proses penambahan kalor *reversible* pada tekanan konstan yang menyebabkan terjadinya penguapan menuju uap jenuh.



Gambar 1. Siklus Kompresi Uap Standar (Pasek, 2007)

- (a) Diagram alir proses
(b) Diagram temperatur-entropi (T-S)

Analisa Kinerja Mesin Refrigerasi Kompresi Uap

Parameter-parameter prestasi sistem refrigerasi kompresi uap antara lain:

efek/dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, dan koefisien performansi (*coefficient of performance, COP*). Penentuan parameter-parameter tersebut dapat dibantu dengan penggunaan sketsa proses pada diagram tekanan-entalpi. (Stocker, 1996; Pasek, 2004)

Kerja kompresi persatuan massa refrigeran ditentukan oleh perubahan entalpi pada proses 1-2 dan dapat dinyatakan sebagai: (Stocker, 1996)

$$w = \frac{W}{m} = h_2 - h_1$$

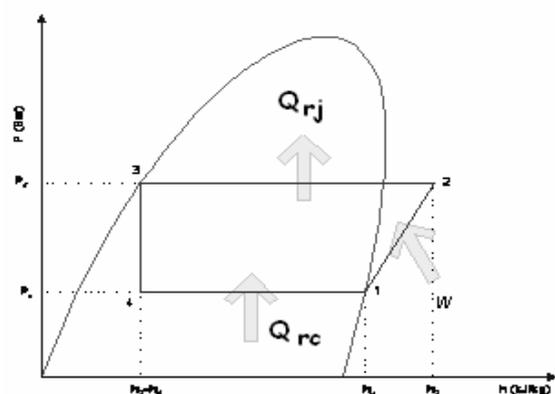
Dimana:

W = Daya kompresor [kW]

w = kerja kompresi [KJ/kg]

m = laju aliran refrigerant [kg/det]

Hubungan tersebut diturunkan dari persamaan energi dalam keadaan tunak, pada proses kompresi *adiabatic reversible* dengan perubahan energi kinetik dan energi potensial diabaikan. Perbedaan entalpinya merupakan besaran negatif yang menunjukkan bahwa kerja diberikan kepada sistem.



Gambar 2. Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal Pada Diagram Tekanan-Entalpi (P-H) (Herlianika, 2005)

Kalor yang dibuang melalui kondensor dari refrigeran ke lingkungan yang lebih rendah temperaturnya terjadi pada proses 2-3, yaitu:

$$q_{rj} = \frac{Q_{rj}}{m} = h_2 - h_3$$

Dimana:

Q_{rj} = Kapasitas kondensor/ pemanasan [kW]

q_{rj} = kalor yang dibuang melalui kondensor [KJ/kg]

m = laju aliran refrigerant [kg/det]

Besaran ini bernilai negatif, karena kalor dipindahkan dari sistem refrigerasi ke lingkungan.

Pada proses 3-4 merupakan proses ekspansi refrigeran menuju tekanan evaporator. Proses ini biasanya dimodelkan dengan proses cekik tanpa adanya perpindahan kalor (adiabatik) dan proses berlangsung tak-reversibel, sehingga diperoleh hubungan: $h_3 = h_4$

Efek refrigerasi (q_{rc}) adalah kalor yang diterima oleh sistem dari lingkungan melalui evaporator per satuan laju massa refrigeran. Efek refrigerasi merupakan parameter penting, karena merupakan efek yang berguna dan diinginkan dari suatu sistem refrigerasi.

$$q_{rc} = \frac{Q_{rc}}{m} = h_1 - h_4$$

Sedangkan kapasitas refrigerasi (Q_{rc}) merupakan perkalian antara laju massa refrigeran dengan efek refrigerasi.

Dimana:

Q_{rc} = Kapasitas refrigerasi [kW]

q_{rc} = efek refrigerasi [KJ/kg]

m = laju aliran refrigeran [kg/det]

Koefisien performansi (COP), adalah besarnya energi yang berguna, yaitu efek refrigerasi, dibagi dengan kerja yang diperlukan sistem, yaitu kerja kompresi.

$$COP = \frac{\text{efek refrigerasi}}{\text{kerja kompresi}} = \frac{h_2 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2.2)$$

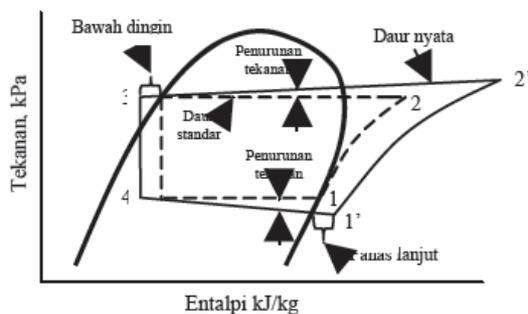
Siklus Aktual

Daur kompresi uap aktual mengalami pengurangan efisiensi dibandingkan dengan daur standar. Ada juga perubahan lain dari daur standar, yang mungkin cukup berarti atau tidak dapat diabaikan. Perbandingan dapat dilakukan dengan menempelkan diagram daur nyata pada diagram tekanan-entalpi daur standar. Perbedaan penting antara daur aktual dan standar terletak pada penurunan tekanan di dalam kondensor dan evaporator, dalam pembawahdinginan (*subcooling*) cairan yang meninggalkan kondensor, dan dalam pemanasan lanjut uap yang meninggalkan evaporator .

Daur standar dianggap tidak mengalami penurunan tekanan pada kondensor dan evaporator. Tetapi pada daur nyata, terjadi penurunan tekanan karena adanya gesekan. Akibat dari penurunan tekanan ini, kompresi pada titik 1 dan 2 memerlukan lebih banyak kerja dibandingkan dengan daur standar. Membawahdinginan (*subcooling*) cairan di dalam kondensor adalah peristiwa yang normal dan melakukan fungsi yang diinginkan untuk menjamin bahwa seluruh refrigeran yang memasuki alat ekspansi dalam keadaan 100 persen cair. Pemanasan lanjut uap biasanya terjadi di

dalam evaporator, dan disarankan sebagai pencegah cairan agar tidak memasuki kompresor.

Perbedaan terakhir pada daur nyata adalah kompresi yang tidak lagi isentropik, dan terdapat ketidakefisienan yang disebabkan oleh gesekan dan kerugian-kerugian lain.



Gambar 3. Diagram P-H (Tekanan-Entalpi) Siklus Ideal Dan Aktual

METODOLOGI PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian dilakukan di laboratorium Mesin Pendingin Program studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Balikpapan (UNIBA). Sedangkan waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Januari s/d Juni 2013.

Bahan dan Alat

Adapun perlengkapan dan alat penelitian yang digunakan adalah:

1. Satu unit uji sistim refrigrasi AC Mobil yang sudah dimodifikasi.
2. Pompa vakum
3. Gauge manifold
4. Termometer (Digital)
5. Timbangan refrigeran (Digital)

6. Refrigeran R-134a merk Klea dan hidrokarbon merk Mesicool (MC-134) produksi Pertamina
7. Leak detector (Alat uji kebocoran refrigeran)
8. Multimeter (Gigital)
9. Peralatan workshop

Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan peralatan uji sistim refrigerasi dan perlengkapan lainnya
2. Sistim divakum terlebih dahulu dengan menggunakan pompa vakum
3. Melakukan pengisian refrigeran R-134a sampai penuh
4. Menghidupkan alat uji sampai dengan kondisi konstan
5. Mencatat hasil pengukuran $T_1, T_2, T_3, T_4, P_1, P_2, T_{Subcooling}, T_{Superheated}$
6. Mengulang semua langkah dengan menggunakan refrigeran MC-134
7. Mengolah data yang diperoleh dengan penjabaran secara analisa ilmiah

Variabel Penelitian

Variabel-variabel dalam penelitian :

1. Variabel bebas, yang meliputi:
 - Jenis Refrigeran, R-134a dan Hidrokarbon MC-134
 - Interval waktu; 5, 10, 15, 20 dan 25 [menit] setelah *steady state*.
2. Variabel terikat, yang meliputi:
 - COP (*coefficient of performance*)
3. Variabel Kontrol, yang meliputi penggunaan:

- Temperatur ruang uji 29 - 30 °C.
- Kelembaban ruang uji 85 ± 1 °C. (relatif)

HASIL DAN PEMBAHASAN

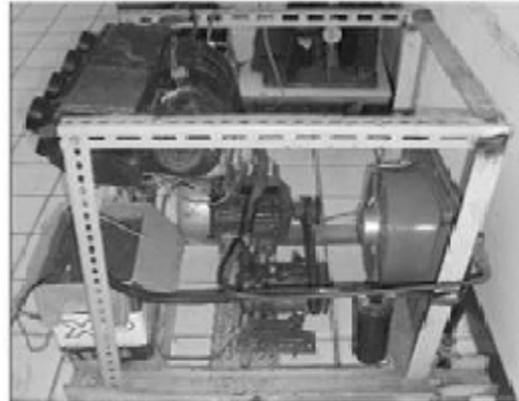
Spesifikasi alat uji dan data pengujian siklus ideal sbb :

Spesifikasi alat uji

Tipe alat uji : *Mobile Air Conditioning (MAC)*

Jenis Kompresor : Tipe torak

Daya motor penggerak : 2 HP



Gambar 4. Alat uji *Mobile Air Conditioning (MAC)*

Tabel 1. Hasil Pengujian Dan Pengolahan Data Refrigeran R-134a Pada Siklus Ideal

Menit ke-	Temperatur (°C)				Tekanan (bar)		Enthalpy			(w) = kerja kompresi h ₂ - h ₁	(Q _h) =Kalor kel. Kondensor h ₂ - h ₃	(Q _c) =efek refrigerasi h ₁ - h ₄	COP (h ₁ - h ₄) / (h ₂ - h ₁)
	T1	T2	T3	T4	P1=P4	P2=p3	h ₁	h ₂	h ₃ =h ₄				
5	5	53	33	-22	1.2	8.3	384.054	423.916	245.819	39.862	178.097	138.235	3.47
10	-2	67	36	-20	1.3	9.1	385.279	425.125	250.22	39.846	174.905	135.059	3.39
15	-6	67	34	-22	1.2	8.6	384.054	424.517	247.281	40.463	177.236	136.773	3.38
20	-8	68	35	-22	1.2	8.8	384.054	425.114	248.748	41.06	176.366	135.306	3.30
25	-7	69	35	-23	1.1	8.8	383.44	425.415	248.748	41.975	176.667	134.692	3.21

Tabel 2. Hasil Pengujian Dan Pengolahan Data Refrigeran MC-134 Pada Siklus Ideal

Menit ke-	Temperatur (°C)				Tekanan (bar)		Enthalpy			(w) = kerja kompresi h ₂ - h ₁	(Q _h) =Kalor kel. Kondensor h ₂ - h ₃	(Q _c) =efek refrigerasi h ₁ - h ₄	COP (h ₁ - h ₄) / (h ₂ - h ₁)
	T1	T2	T3	T4	P1=P4	P2=p3	h ₁	h ₂	h ₃ =h ₄				
5	8	56	36	-20	1.5	9.2	546.8	613.76	291.82	66.96	321.94	254.98	3.81
10	0	64	39	-21	1.5	9.2	545.52	616.85	299.98	71.33	316.87	245.54	3.44
15	3	68	33	-20	1.6	9.6	549.36	617.44	302.70	68.08	314.74	246.66	3.62
20	3	69	39	-19	1.6	9.9	548.08	616.59	299.98	68.51	316.61	248.10	3.62
25	2	70	41	-18	1.6	9.9	549.36	618.40	305.46	69.04	312.94	243.90	3.53

Data Refrigeran R-134a Siklus Aktual

Tabel 3. Hasil Pengujian Dan Pengolahan Data Refrigeran R-134a Pada Siklus Aktual

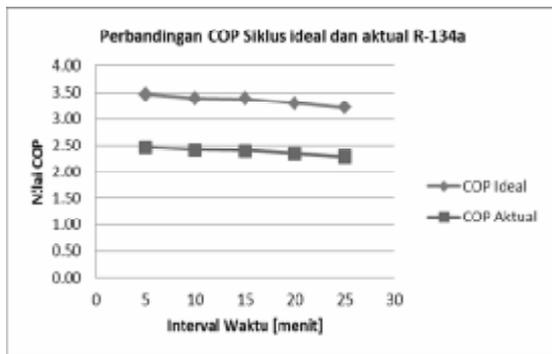
Menit ke-	Temperatur (°C)				Tekanan (bar)		Enthalpy			(w) = kerja kompresi h ₂ - h ₁	(Q _h) =Kalor kel. Kondensor h ₂ - h ₃	(Q _c) =efek refrigerasi h ₁ - h ₄	Subcooling	Superheated	COP (h ₁ - h ₄) / (h ₂ - h ₁)
	T1	T2	T3	T4	P1=P4	P2=p3	h ₁	h ₂	h ₃ =h ₄						
5	5	53	32.2	-17.9	1.2	8.3	387.423	445.566	244.663	58.143	200.913	142.77	0.8	4.1	2.46
10	-2	67	34.9	-15.1	1.3	9.1	389.345	447.714	248.601	58.369	199.113	140.744	1.1	4.9	2.41
15	-6	67	33.2	-17.8	1.2	8.6	387.505	446.556	246.111	59.051	200.445	141.394	0.8	4.2	2.39
20	-8	68	33.9	-17.2	1.2	8.8	387.967	448.059	247.208	60.092	200.851	140.759	1.1	4.8	2.34
25	-7	69	34.2	-18.5	1.1	8.8	387.121	448.467	247.574	61.346	200.893	139.547	0.8	4.5	2.27

Tabel 4. Hasil Pengujian Dan Pengolahan Data Refrigeran MC-134 Pada Siklus Aktual

Menit ke-	Temperatur (°C)				Tekanan (bar)		Enthalpy			(w) = kerja kompresi	(Q _k) = Kalor kel. Kondensor	(Q _c) = efek refrigerasi	Subcooling	Superheated	COP (h ₁ -h ₄) / (h ₂ -h ₁)
	T1	T2	T3	T4	P1=p4	P2=p3	h ₁	h ₂	h ₃ =h ₄	h ₂ -h ₁	h ₂ -h ₃	h ₁ -h ₄			
5	8	56	34.9	-15.3	1.5	9.2	552.816	638.067	288.828	85.25	349.24	263.99	1.1	4.7	3.10
10	0	64	38.4	-17.0	1.5	9.2	550.64	640.93	298.348	90.29	342.58	252.29	0.6	4	2.79
15	3	68	32.3	-15.6	1.6	9.6	552.432	634.415	281.918	81.98	352.50	270.51	0.7	4.4	3.30
20	3	69	38.4	-14.0	1.6	9.9	554.48	641.2414	298.144	86.76	343.10	256.34	0.6	5	2.95
25	2	70	40.4	-13.5	1.6	9.9	555.12	642.3703	303.464	87.25	338.91	251.66	0.6	4.5	2.88

Perbandingan Siklus Ideal dengan Siklus Aktual

Dari hasil pengolahan data yang ada di dalam tabel dapat di plot ke grafik untuk melihat karakteristik dan tren koefisien performansi refrigeran R-134a.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Koefisien Performansi R-134a

Tabel 5. Hasil Pengolahan Data Efisiensi Refrigerasi Dan Kerugian (Losses) Siklus Aktual R-134a

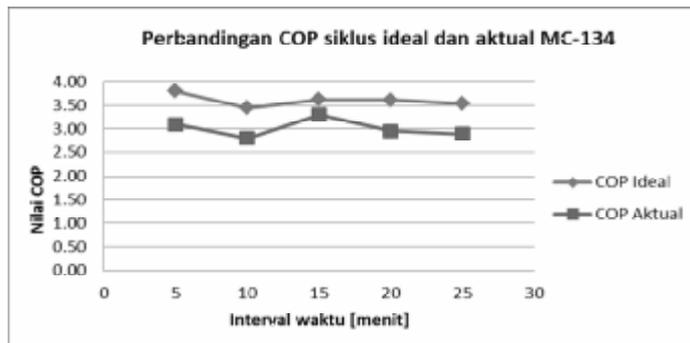
No.	Menit ke-	COP ideal	COP aktual	Efisiensi Refrigerasi	Kerugian (losses)
1	5	3.47	2.46	70.81%	29.19%
2	10	3.39	2.41	71.14%	28.86%
3	15	3.38	2.39	70.84%	29.16%
4	20	3.30	2.34	71.08%	28.92%
5	25	3.21	2.27	70.89%	29.11%

Grafik di atas dapat terlihat perbandingan nilai COP pada siklus ideal dengan siklus aktual dimana siklus aktual memiliki koefisien performansi lebih kecil daripada siklus ideal. Dari data di atas dapat ditentukan efisiensi refrigerasi dengan membagi COP aktual dengan COP ideal sehingga di dapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi refrigerasi} = \frac{\text{COP aktual}}{\text{COP ideal}}$$

Sehingga dari perhitungan tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk tabel 5.

Sedangkan hasil perhitungan dari data untuk refrigeran MC-134 yaitu :



Gambar 6. Grafik Perbandingan COP Refrigerant MC-134

Tabel 6. Hasil Pengolahan Data Efisiensi Refrigerasi Dan Kerugian (*Losses*) Siklus Aktual MC-134

No.	Menit ke-	COP Ideal	COP Aktual	Efisiensi Refrigerasi	Kerugian (<i>losses</i>)
1	5	3.81	3.10	81.32%	18.68%
2	10	3.44	2.79	81.18%	18.82%
3	15	3.62	3.30	91.07%	8.93%
4	20	3.62	2.95	81.59%	18.41%
5	25	3.53	2.88	81.64%	18.36%

SIMPULAN

Simpulan yang diperoleh dari hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. Perbandingan nilai COP siklus aktual lebih kecil daripada siklus ideal.
2. Perbandingan siklus ideal dan aktual pada refrigeran R-134a, dimana kerugian (*losses*) sebesar ± 29% sehingga efisiensi refrigerasi sistem aktual tersebut ± 71%.
3. Perbandingan siklus ideal dan aktual pada refrigeran hidrokarbon MC-134, dimana kerugian (*losses*) sebesar ± 18% sehingga efisiensi refrigerasi sistem aktual tersebut ± 82%.

DAFTAR PUSTAKA

Arismunandar, W dan Saito, H, 2002, **Penyegaran Udara**, Cetakan ke-6, PT. Pradnya, Paramita, Jakarta.

Dincer, I., 2003, *Refrigeration System and Application*, Wiley, England.

Holman, J.P. Alih bahasa Jasjfy, E. Ir. Msc, 1988, **Perpindahan Kalor**. Penerbit Erlangga, Jakarta.

Herlianika, H, 2005, **Eksperimen Dengan Alat Peraga Refrigerasi Dasar**, Butterworth-Heinemann, Oxford.

Moran J. Michael & Shapiro, N, Howard, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. John Wiley & Son Ltd. England, 5th Edition.

Pasek, A.D., 2007, **Retrofit Sistik Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara Ramah Lingkungan**, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.

Stocker, W.F., 1996, **Refrigerasi dan Pengkondisian Udara**, Erlangga, Jakarta.