

## Analisis penggunaan *water cooled condenser* pada mesin pengkondisian udara paket (*AC window*)

IKG Wirawan<sup>(1)</sup> & Ngurah Putra Wibawa<sup>(2)</sup>

<sup>(1),(2)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Kampus Bukit Jimbaran 80362

---

### Abstrak

Salah satu aspek yang penting dari rekayasa lingkungan thermal adalah refrigrasi, salah satunya adalah penyegaran udara. Prinsip kerja dari penyegar udara adalah proses penyerapan dan pembuangan panas. Kondensor merupakan salah satu komponen utama yang berfungsi sebagai alat perpindahan panas dari uap panas refrigeran ke media pendingin sehingga refrigeran mengalami perubahan fase dari uap ke cair. Latar belakang dalam pembuatan *water cooled condenser* adalah karena air merupakan media pendingin yang sangat baik. Untuk mendapatkan kinerja kondensor berpendingin air dilakukan pengukuran variabel-variabel dalam sistem, meliputi tekanan uap refrigeran masuk dan keluar kompresor, tekanan uap refrigeran keluar kondensor, tekanan uap refrigeran masuk evaporator, temperatur uap refrigeran masuk dan keluar kompresor, temperatur uap refrigeran keluar kondensor, temperatur uap refrigeran masuk evaporator, temperatur air pendingin masuk dan keluar *water cooled condenser*, temperatur lingkungan saat pengambilan data serta debit air pendingin yang bersirkulasi  $Q$  di *water cooled condenser*. Hasil analisis data menunjukkan nilai efek pendinginan maksimum 1,86 kJ/dt dan minimum 1,31 kJ/dt, nilai maksimum C.O.P 12,40 dan minimum 9,66 sedangkan kapasitas pendinginan maksimum sebesar 0,53 TR dan minimum 0,38 TR. Perpindahan panas maksimum pada sistem sebesar 2,98 KW minimum 2,20 KW.

Kata kunci: Refrigrasi, kondensor berpendingin air, efek pendinginan, kapasitas pendinginan

### Abstract

One of the important aspects in thermal design is refrigeration and air conditioning. Working principle of air conditioning is absorption and thermal dissipation process. Condenser is main component to release the heat from refrigerant to the cooling medium. In the present research, *water cooled condenser* was used to replace the commonly air condenser. Pressure and temperature at some section of the components were observed in order to examine the performance of the air conditioning system. The results showed that the COP varied from 9.66 to 12.4; refrigeration effect varied from 1.31 kW to 1.86 kW; cooling capacity varied from 0.38 TR to 0.53 TR; and heat transfer varied from 2.2 kW to 2.98 kW.

Keywords: refrigeration, *water cooled condenser*, cooling effect, cooling capacity

---

### 1. Pendahuluan

Refrigrasi merupakan suatu proses penarikan panas dari suatu benda atau ruang sehingga temperatur benda atau ruang tersebut lebih rendah dari temperatur lingkungannya [1]. Salah satu yang termasuk dari proses refrigrasi adalah penyegaran udara yakni suatu proses mendinginkan udara sehingga dapat mencapai temperatur dan kelembaman yang sesuai dengan yang dipersyaratkan terhadap kondisi udara dari suatu ruangan tertentu [2], berdasarkan pada konsep hukum kekekalan energi.

Komponen utama dari penyegar udara adalah kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Kompresor berfungsi mengalirkan dan menaikkan tekanan gas refrigeran yang selanjutnya masuk kedalam kondensor, kondensor ini berfungsi sebagai alat perpindahan panas yang dilepaskan dari uap panas refrigeran ke media pendingin sehingga uap panas refrigeran akan mengalami pengembunan dan berubah fase dari keadaan uap menjadi cairan. Pada umumnya kondensor yang dipakai oleh penyegar udara pada instalasi yang kecil digunakan kondensor dengan media pendingin udara. Dari kondensor

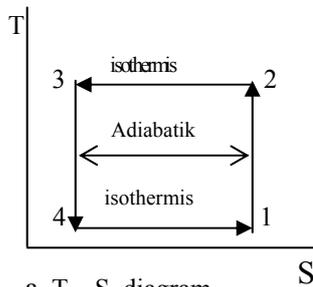
cairan diekspansikan melalui katup ekspansi yang selanjutnya dimasukkan ke evaporator untuk proses penyerapan panas dari lingkungan sehingga suhu lingkungan menjadi lebih rendah dari sebelumnya.

Dengan begitu prinsip dari penyegaran udara adalah proses penyerapan panas dan proses pembuangan panas. Dari sini penulis mendapatkan gambaran untuk melakukan pembuatan kondensor dengan media pendingin air. Dari kondensor ini diharapkan akan adanya proses pembuangan panas yang baik karena air merupakan media pendingin yang baik. Dengan proses pembuangan panas yang baik maka akan terjadi proses kondensasi (uap panas dari refrigeran berubah menjadi cairan atau mengembun) yang baik. Dengan proses kondensasi yang baik, maka akan membantu kerja komponen-komponen yang lainnya khususnya di evaporator akan terjadi proses penyerapan kalor (penguapan cairan refrigeran) yang lebih baik dari suatu ruang atau benda sehingga didapatkan harga COP (*coefficient of performance*) yang tinggi.

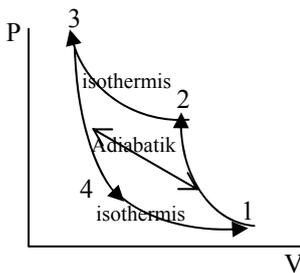
2. Dasar Teori

Reversed Carnot Cycle

Bila siklus Carnot dibalik arah prosesnya akan diperoleh suatu siklus pendinginan (Gambar 1).



a. T – S diagram



b. P – V diagram

Gambar 1. Siklus pendinginan

Pada suhu rendah ( $T_1$ ) sejumlah kalor diserap ( $Q_1$ ) dan pada suhu tinggi ( $T_2$ ) sejumlah kalor dilepas ( $Q_2$ ) sesuai hukum Termodinamika II hal ini tidak mungkin terjadi tanpa adanya kerja yang diberikan sebesar  $W$ :

$$Q_2 = W + Q_1 \tag{1}$$

Rasio antara kalor yang diserap dengan kerja yang diberikan dinyatakan sebagai koefisien prestasi (*coefficient of performance*) untuk suatu mesin pendingin:

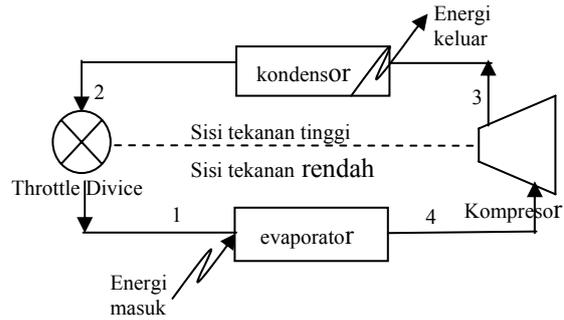
$$\begin{aligned} COP &= Q_1 / W \\ &= Q_1 / (Q_2 - Q_1) \\ &= T_1 / (T_2 - T_1) \end{aligned} \tag{2}$$

Rasio  $Q_1/W$  atau C.O.P selalu  $> 1$ , ini menunjukkan efisiensi dari mesin pendingin. Kesempurnaan siklus sebenarnya dinyatakan dengan perbandingannya terhadap siklus Carnot, untuk itu didefinisikan efisiensi refrigrasi yaitu:

$$\eta_c = \frac{COP}{COP_c} = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c,carnot}} \tag{3}$$

Sistem refrigrasi kompresi uap sederhana

Sistem kompresi uap dari suatu mesin pendingin menggunakan uap sebagai zat pendingin yang mengalami proses kondensasi dan evaporasi, merupakan sistem tertutup karena zat pendingin mengalir melalui sejumlah komponen unit terpisah seperti kompresor, kondensor, tangki pengumpul, katup *throttle*, evaporator dan kembali lagi ke kompresor (Gambar 2):



Gambar 2. Diagram refrigrasi sistem kompresi uap

Jumlah refrigran yang bersirkulasi adalah jumlah refrigran yang dimasukkan dan diuapkan didalam evaporator untuk memperoleh kapasitas refrigrasi yang diperlukan. Jumlah refrigran yang bersirkulasi dapat diperoleh dengan persamaan berikut ini:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot q_e \quad \text{atau} \quad \dot{m} = \frac{\dot{Q}}{q_e} \tag{4}$$

Dimana :

$\dot{Q}$  = Kapasitas refrigrasi yang diperlukan (kJ / menit)

$q_e$  = Efek refrigrasi per 1 kg refrigran (kJ / kg)

$\dot{m}$  = Jumlah refrigran yang bersirkulasi (kg /menit)

Kompresor

Kompresor adalah alat untuk menghisap uap refrigran yang berasal dari evaporator dan menekan uap refrigran tersebut ke kondensor sehingga tekanan dan temperaturnya meningkat (Gambar 2). Pada kompresor terjadi proses kompresi (1–2) secara isentropik adiabatik.

$$h_2 = h_{g2} + c_{pg2}(T_{sup2} - T_{g2}) \tag{5}$$

Volume yang dipindahkan kompresor per menit, (V):

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \times L \times n \times \mu_v \times \text{jumlah silinder} \times k \tag{6}$$

Kerja kompresor (W):

$$W = P_m \times L \times A \times n \times k \quad (\text{kgf-m/menit}) \tag{7}$$

Daya kompresor :

$$P = \frac{W [\text{kgf.m} / \text{mnt}]}{4500} \text{ hp} \tag{8}$$

Dimana :

D = Diameter silinder kompresor , m

L = Panjang langkah torak, m

n = Putaran poros / menit

$\mu_v$  = Efisiensi kompresor volumetrik

K = Faktor

(1 untuk kerja tunggal, 2 untuk kerja ganda)

$P_m$  = Tekanan efektif rata rata, kgf / m<sup>2</sup>

A = Luas penampang torak, m<sup>2</sup>

Kondensor

Kondensor berfungsi sebagai alat perpindahan panas yang dilepaskan dari uap refrigran ke udara luar (media pengembun) sehingga uap refrigran akan mengembun dan berubah fase dari uap ke cair

(proses kondensasi (2– 3). Selama proses kondensasi tahap pertama (gambar 2) uap panas lanjut dengan suhu  $T_{sup2}$  didinginkan sampai suhu jenuh uap  $T_{jen 2}$ . Proses ini tidak isothermis, selanjutnya proses kondensasi (2–3) pada keadaan 3 uap telah mengembun seluruhnya menjadi cair pada tekanan  $P_2$ . ( $h_3 = hf_2$ ). Kalor yang dilepaskan  $q_r$  ke media pendingin oleh zat pendingin dalam proses kondensasi:  $q_r = (h_2 - h_3)$   
Kalor total yang dilepas QR :

$$Q_r = (m \cdot q_r) = m \cdot (h_2 - h_3) \text{ kJ / menit} \quad (9)$$

Dalam keadaan sesungguhnya aliran massa zat pendingin dihitung dari keseimbangan kalor yang diperoleh dari sirkulasi air pendingin ( $m_w$ ) kg/ menit. Untuk kenaikan suhu air pendingin sebesar  $\Delta t$  derajat:

$$m \cdot (h_2 - h_3) = m_w \cdot c_p \cdot \Delta t$$

$$m = \frac{m_w \cdot c_p \cdot \Delta t}{h_2 - h_3} \text{ kg / menit} \quad (10)$$

Dimana :

$m_w$  = Laju aliran massa air pendingin didalam kondensor (kg / menit)

$\Delta t$  = Kenaikan suhu air pendingin (K)

#### Alat Ekspansi

Alat ekspansi di dalam sistem pendingin mempunyai 2 tujuan, pertama adalah fungsi termodinamik, dengan ekspansi menurunkan tekanan cairan refrigeran dari tekanan kondensor ke tekanan evaporator. Kedua adalah fungsi kontrol terhadap aliran cairan yang masuk pada evaporator, pada proses ekspansi ini (3–4), bagian kering dari uap pada keadaan tekanan rendah evaporator adalah  $x_4$ . Rumusan yang dipakai dalam ekspansi ini adalah:

$$x_4 = \frac{F - 4}{F - G}$$

Entalpi pada titik 4 pada fase campuran:  
 $h_4 = h_{f1} + x_4 h_{fg1} \quad (11)$

#### Evaporator

Evaporator merupakan komponen refrigerasi yang berfungsi untuk memindahkan panas dari udara, air atau obyek lainnya dengan cara menyerap kalor untuk proses penguapan refrigeran. Pada proses evaporasi ini (4–1) berlangsung secara isobar isothermal.

Besarnya kalor yang diserap:

$$q_c = h_1 - h_4 \text{ kJ / kg} \quad (12)$$

Efek pendingin total:

$$N = m \cdot (h_1 - h_4) \text{ kJ / menit} \quad (13)$$

Beban pendinginan 50 kcal /menit = 1TR (*Ton of refrigerant*) maka kapasitas pendinginan:

$$\text{Kapasitas tanpa pendinginan lanjut} = \frac{N}{50} \quad (14)$$

Koefisien prestasi C.O.P teoritis adalah rasio antara efek pendinginan teoritis dengan kerja kompresor teoritis :

$$COP = \frac{N}{W} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (15)$$

$$COP_{\text{sebenarnya}} = \frac{N_{\text{sebenarnya}}}{W_{\text{sebenarnya}}} \quad (16)$$

$$COP_{\text{relatif}} = \frac{COP_{\text{sebenarnya}}}{COP_{\text{teoritis}}} \quad (17)$$

#### Penurunan tekanan (*Pressure drop*)

##### Pada Sisi *Tube*

Penurunan tekanan pada sisi *tube* dibuat korelasi terhadap faktor gesekan dari fluida yang dipanasi atau didinginkan didalam *tube*, persamaannya:

$$P_t = \frac{f \cdot G_t^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \times 10^{10} \cdot D_s \cdot \phi_t} \quad (18)$$

Mengingat bahwa fluida itu mengalami belokan pada saat *pass*nya maka akan terdapat kerugian tambahan penurunan tekanan yang dinyatakan dengan  $P_r$  (*return loss*), besarnya *loss* adalah 4 kali *head* kecepatan setiap *pass*:

$$\Delta P_r = \frac{4 \cdot n}{s} \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (19)$$

Sehingga besarnya penurunan / kerugian total pada sisi sebelah *tube*:

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r \quad (20)$$

##### Pada sisi *shell*

Kalau banyaknya sekat yang dipasang pada penukar kalor itu adalah =N, maka jumlah berapa kali fluida akan menyeberangi *tube* bundel adalah (N+1), dan jika dihubungkan dengan panjang *tube*, maka didapat:

$$N + 1 = \frac{12 \cdot L}{B} \quad (21)$$

Besarnya penurunan tekanan pada isothermal untuk fluida yang dipanaskan atau didinginkan, serta kerugian saat masuk dan keluar (*entrance and exit losses*) adalah:

$$\Delta P_s = \frac{f \cdot G_s^2 \cdot D_s \cdot (N + 1)}{2 \cdot g \cdot \rho \cdot D_e \cdot \phi_s} \quad (22)$$

### 3. Metode Penelitian

#### Alat dan Bahan

Pada proses pembuatan *water cooled* kondensor dengan sistem sirkulasi terulang diperlukan alat atau bahan pendukung yang digunakan sebagai perancangan dan pengujian yaitu satu unit mesin penyegaran udara paket (AC

Window). Mesin Penyeegar udara ini menggunakan sistem kompresi uap dengan ekspansi langsung yang biasanya dipakai dirumah tangga. Susunan peralatan dan bahan disusun seperti pada Gambar 3.

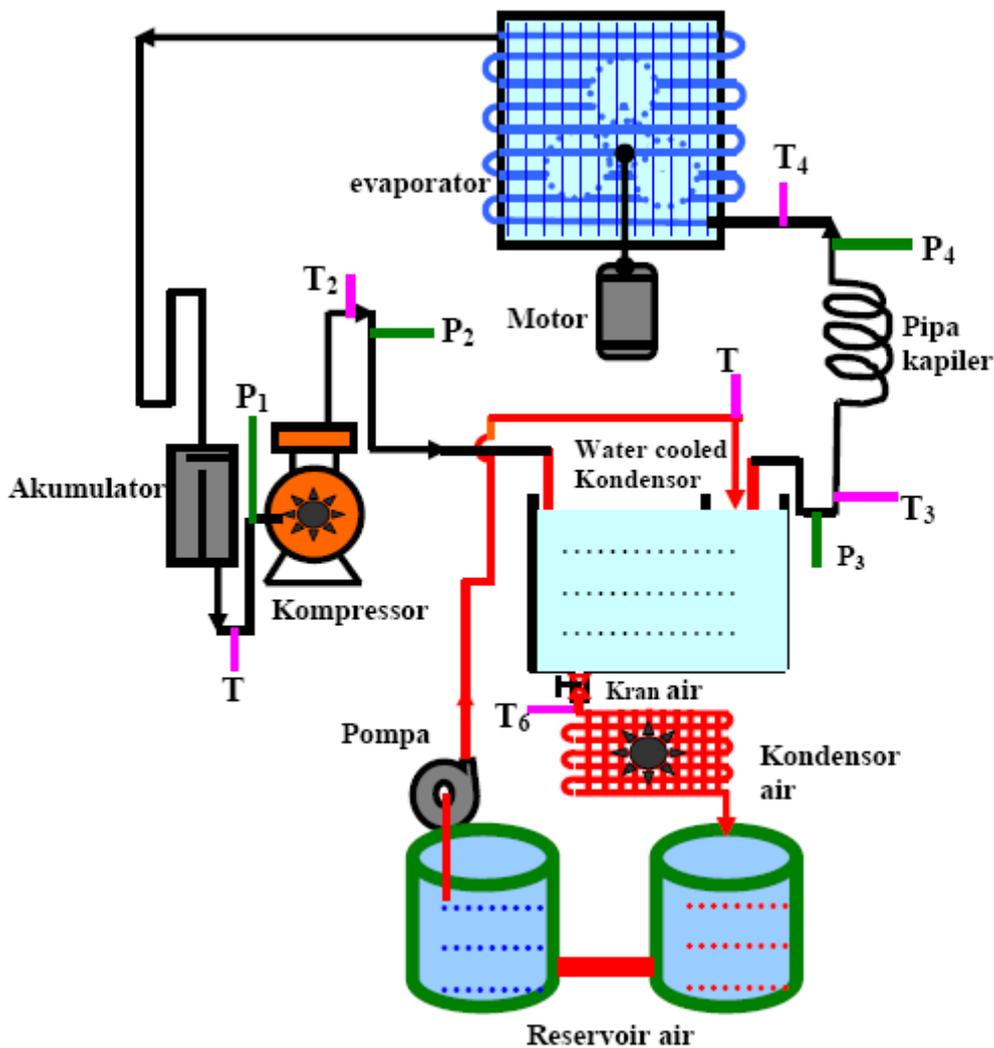
**Proses Pengambilan Data**

Langkah awal yang diambil sebelum menjalankan dan mengambil data pada mesin pendingin dengan *water cooled condensor* ini adalah:

- Mengisolasi seluruh pipa tembaga yang berhubungan dengan lingkungan secara langsung.
- Mencatat suhu awal yang terukur pada tiap-tiap bagian yang akan diambil datanya, hal ini dilakukan untuk mengetahui perubahan suhu yang terjadi saat sistem dijalankan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.
- Selanjutnya memasang alat pengukur tekanan (*charging manifold*) secara bersamaan pada bagian-bagian yang akan diukur tekanannya.
- Mengukur debit air pendingin yang masuk pada *shell* yang disinkronkan dengan debit air

pendingin yang keluar dari *shell*, didapat debit air 520 ml/15 detik.

- Kemudian menentukan tekanan awal freon-22 pada bagian setelah keluar dari kompresor yaitu pada ( $P_2$ ), keadaan awal pada saat pengambilan data adalah 150 Psia, penetapan ini dilakukan untuk memperoleh kesamaan data.
- Setelah semua sudah dilakukan maka mesin pendingin udara siap untuk dijalankan sesuai dengan waktu yang ditetapkan. Disini data diambil secara bersamaan setiap 40 menit.
- Proses pengambilan data berikutnya diulang seperti sebelumnya dengan keadaan awal mesin yang hampir sama dengan sebelumnya. Pengambilan data dilakukan pada tempat yang sama dengan keadaan ruangan yang terbuka dan waktu yang berbeda.



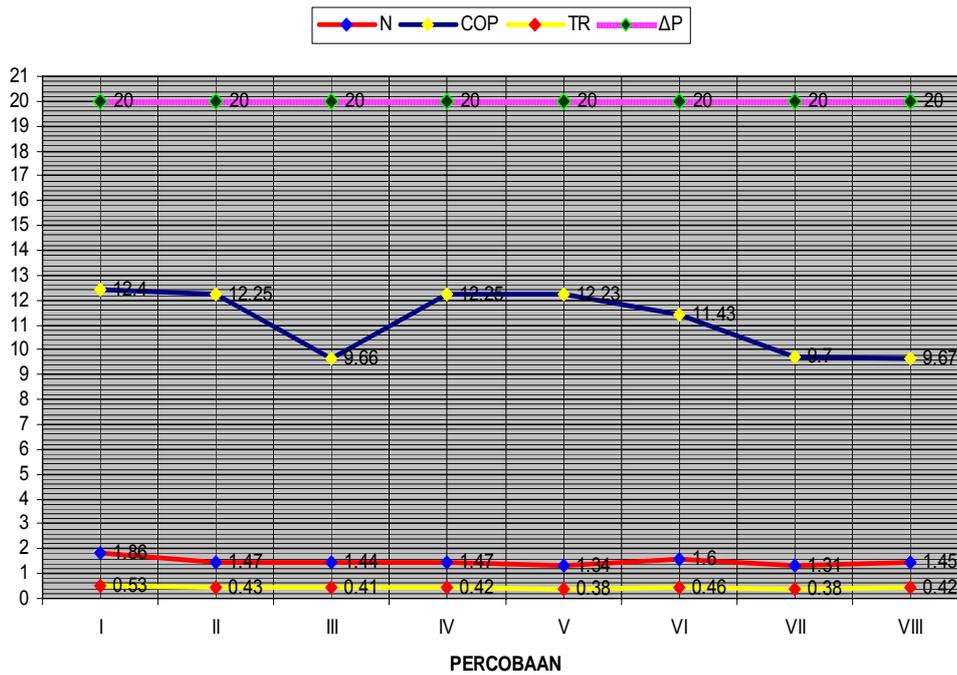
Gambar 3. Susunan peralatan dan bahan

Tabel 1. Data tekanan dan temperatur hasil percobaan

VARIABEL	Percobaan								
	I	I	III	IV	V	VI	VII	VIII	
	Waktu (WITA)								
	20.00	12.00	22.00	11.00	16.00	14.00	17.00	21.00	
(P sia)	P <sub>1</sub>	94,69	94,69	94,69	94,69	94,69	94,69	94,69	94,69
	P <sub>2</sub>	374,69	374,69	374,69	374,69	374,69	374,69	374,69	374,69
	P <sub>3</sub>	354,69	354,69	354,69	354,69	354,69	354,69	354,69	354,69
	P <sub>4</sub>	94,69	94,69	94,69	94,69	94,69	94,69	94,69	94,69
(°C elcius)	T <sub>1awl</sub>	24	25	24	22	27	26	24	24
	T <sub>1akr</sub>	18	18	18	18	18	18	18	18
	T <sub>2awl</sub>	26	28	28	28	28	28	28	28
	T <sub>2akr</sub>	72	72	75	72	72	72	75	75
	T <sub>3awl</sub>	26	27	25	29	28	27	27	27
	T <sub>3akr</sub>	35	36	38	38	38	38	38	38
	T <sub>4awl</sub>	24	24	23	22	27	26	25	24
	T <sub>4akr</sub>	10	10	10	10	10	10	10	10
	T <sub>5awl</sub>	22	25	24	23	25	24	22	27
	T <sub>5akr</sub>	24	28	28	28	28	26	30	30
	T <sub>6awl</sub>	23	27	26	24	27	24	24	30
	T <sub>6akr</sub>	38	39	39	39	38	38	40	41
	T <sub>7awl</sub>	25	27	26	27	28	28	28	26
	T <sub>7akr</sub>	16	16	16	16	17	17	16	18

Tabel 2. Hasil perhitungan data pada percobaan I sampai VIII

Variabel	Percobaan							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	Waktu (WITA)							
	20.00	12.00	22.00	11.00	16.00	14.00	17.00	21.00
$h_1$	260,34	260,34	260,34	260,34	260,34	260,34	260,34	260,34
$h_2$	275,45	275,45	278,9	275,45	275,45	275,45	278,9	278,9
$h_3$	72,06	79,03	81,36	81,36	81,36	81,36	81,36	81,36
$h_4$	72,06	79,03	81,36	81,36	81,36	81,36	81,36	81,36
$m_{ref}$	0,0099	0,0081	0,0080	0,0082	0,0075	0,0089	0,0073	0,0081
$\eta_{penukarkalor}$	0,292	0,25	0,23	0,25	0,23	0,26	0,22	0,24
$\Delta T_{LM}$	20,44	17,61	20,3	19,33	19,67	21,2	18,24	17,9
R	2,64	3,27	3,36	3,1	3,4	2,8	3,7	3,36
S	0,29	0,25	0,23	0,25	0,23	0,26	0,22	0,24
F <sub>T</sub>	0,78	0,77	0,76	0,81	0,76	0,86	0,74	0,77
$\bar{U}$	550	550	550	550	550	550	550	550
$q$	2,604	2,21	2,52	2,56	2,4	2,98	2,2	2,52
$\Delta P$	20	20	20	20	20	20	20	20
N	1,86	1,47	1,44	1,47	1,34	1,6	1,31	1,45
W	0,15	0,12	0,149	0,12	0,11	0,14	0,135	0,15
C.O.P	12,40	12,25	9,66	12,25	12,18	11,43	9,70	9,67
Kapasitas pendingin [TR]	0,53	0,43	0,41	0,42	0,384	0,458	0,376	0,42



Gambar 4. Grafik hubungan antara N – COP – TR – ΔP pada tiap percobaan

4. Pembahasan

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara efek pendinginan total (N), *coefficient of performance* (C.O.P), kapasitas pendinginan (TR) dan *pressure drop* (ΔP) yang dihasilkan pada tiap percobaan. Dari grafik hubungan antara N – COP – TR - ΔP diatas pada tiap-tiap percobaan terdapat nilai yang berbeda dari empat variabel tersebut. Dimana nilai efek pendinginan total (N), *coefficient of pPerformance* (COP) dan Kapasitas pendinginan (TR) yang tertinggi terjadi pada percobaan yang pertama. Perbedaan nilai yang dihasilkan sistem disebabkan karena adanya perbedaan temperatur yang dihasilkan oleh sistem, yang mana besar kecilnya temperatur yang dihasilkan oleh sistem akan mempengaruhi nilai dari enthalpi yang dipergunakan dalam perhitungan variabel tersebut diatas. Perbedaan temperatur yang dihasilkan sistem juga mengakibatkan adanya perbedaan pada nilai *mass flow rate* dari refrigeran yang mengalir pada system. Pokok masalah yang menyebabkan adanya perbedaan temperatur yang dihasilkan sistem disebabkan karena pada saat melakukan percobaan dilakukan pada waktu yang berbeda yaitu pagi, siang, sore dan malam hari, dimana kondisi temperatur lingkungan pada awal percobaan pada tiap-tiap percobaan berbeda sehingga mempengaruhi temperatur yang dihasilkan oleh sistem ini. Pada percobaan pertama yang dilakukan pada jam 20.00 wita mempunyai temperatur awal lingkungan yang lebih rendah dari percobaan yang lain yaitu 25°C.

Nilai minimum untuk *Coefficient of performance* (COP) terdapat pada percobaan ketiga pada jam 22.00 wita pada jam 22.00, hal ini disebabkan karena

efek pendinginan total yang dihasilkan rendah sedang kerja kompresor tinggi dimana nilai ini dipengaruhi oleh temperatur yang dihasilkan sistem yaitu T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, empat variabel ini akan mempengaruhi nilai dari h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub>, h<sub>3</sub> h<sub>4</sub>, *m<sub>ref</sub>* yang digunakan dalam mencari nilai dari efek pendinginan total dan kerja kompresor. Untuk efek pendinginan total minimum terdapat pada percobaan ketujuh pada jam 17.00 wita hal ini dikarenakan temperatur yang dihasilkan pada T<sub>2</sub> dan T<sub>3</sub> rendah sehingga entalpi yang dihasilkan pada h<sub>2</sub>, h<sub>3</sub> rendah pula, dengan begitu *mass flow rate* refrigeran yang dihasilkan akan lebih rendah dari percobaan yang lainnya. Nilai minimum untuk kapasitas pendinginan terdapat pada percobaan ketujuh pada jam 17.00 wita pada jam 17.00, nilai kapasitas pendingin ini hanya dipengaruhi oleh nilai dari efek pendinginan total yang dihasilkan sistem dimana pada percobaan ini mempunyai efek pendingin yang lebih rendah dari yang lainnya sehingga pembahasan dari permasalahan ini sama seperti sebelumnya. Pada setiap percobaan terdapat *pressure drop* sebesar 20 Psia, kesamaan ini dikarenakan kondensor yang digunakan dan laju aliran air pendingin tidak berubah.

5. Kesimpulan

1. Efisiensi rata-rata yang dihasilkan oleh *water cooled* kondensor selama penelitian adalah sebesar 0,2465.
2. Dari pengolahan data didapatkan harga rata-rata *coefficient of performance* (COP) = 11,19 dan Kapasitas pendinginan (TR) = 0,4285.

3. *Pressure drop* yang terjadi di *water cooled* kondensor pada tiap penelitian adalah sama yaitu sebesar 20 pa dan pada percobaan pertama mempunyai nilai efek pendinginan, *coefficient of performance* dan kapasitas pendinginan yang lebih besar daripada percobaan yang lainnya.
4. Apabila suatu sistem pendingin mempunyai efek pendinginan yang besar maka sistem itu akan mempunyai kapasitas pendinginan yang besar pula.

#### Daftar Pustaka

- [1] -, 1996, *Mesin Refrigerasi dan Tata Udara Serta Perawatannya*, Politeknik Institut Teknologi Bandung., Bandung.
- [2] Arismunandar, M., Saito, H., 1995, *Penyegaran Udara*, PT Pradnya Paramita., Jakarta.
- [3] Cengel, Yunus A., 1998, *Heat Transfer*, McGraw–Companies Inc, United States of America.
- [4] Holman, J.P., 1993, *Pepindahan Kalor*, Erlangga, Jakarta.
- [5] Incopera, F.P., Dewitt, D.P., 1996, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Fourth Edition, John Wiley & Sons, New York
- [6] Kulshrestha, S.K., 1989, *Termodinamika Terpakai, Teknik Uap dan Panas*, Universitas Indonesia, Jakarta.
- [7] Pitts., D.R dan Sissom, L.E., 1987, *Perpindahan Kalor*, Penerbit Erlangga., Jakarta.
- [8] Sitompul, T.M., 1993, *Alat Penukar Kalor*, PT Raja Grafindo Persada, Jakarta.