

**PENGARUH PEMASANGAN *THERMOELECTRIC COOLER* SEBAGAI *PRECOOLER*
TERHADAP UNJUK KERJA MESIN PENDINGIN DENGAN REFRIGERAN R-22**

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

HENDRI AJI SANTOSO

NIM. 115060213111001-62

KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

MALANG

2015

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH PEMASANGAN *THERMOELECTRIC COOLER* SEBAGAI
PRECOOLER TERHADAP UNJUK KERJA MESIN PENDINGIN DENGAN
REFRIGERAN R- 22.**

SKRIPSI KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :
HENDRI AJI SANTOSO
NIM. 115060213111001-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Ir. Hastono Wijaya, MT.
NIP. 19601204 198601 1 002

Dosen Pembimbing II

Ir. Suharto, MT.
NIP. 19531030 198212 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PEMASANGAN *THERMOELECTRIC COOLER* SEBAGAI
PRECOOLER TERHADAP UNJUK KERJA MESIN PENDINGIN DENGAN
REFRIGERAN R- 22.**

SKRIPSI KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh:

HENDRI AJI SANTOSO
NIM. 115060213111001-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 3 Agustus 2015

Majelis Penguji

Skripsi I

Skripsi II

Prof. Dr.Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.
NIP. 19490911 198403 1 001

Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE
NIP. 19670923 199303 1 002

Skripsi III

Fransisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.
NIK. 820919 06 1 2 0259

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr.wb. Puji Syukur *Alhamdulillah*, penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena hanya dengan limpahan rahmat dan hidayah-Nya, juga sholawat dan salam penulis tunjukkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul ” **Pengaruh Pemasangan Thermoelectric Cooler Sebagai Precooler Terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Dengan Refrigeran R-22**”.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat bagi mahasiswa jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang untuk memperoleh gelar sarjana Teknik.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini, terutama kepada :

1. Bapak Surya Arifin dan Ibu Suyatmi sebagai dua orang yang menjadi orang tua saya yang telah memberikan segala doa, kasih sayang, dan dukungan baik secara materil maupun moril yang tidak pernah habisnya. Kakak saya, Yudha arifinanto yang slalu memberikan saya semangat untuk segera menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng. selaku ketua Jurusan Teknik Mesin dan Bapak Purnami, ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin.
3. Ibu Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S-1
4. Ibu Fransisca Gayuh, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Konversi Energi
5. Bapak Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. selaku pemberi ide atas penelitian, saran dan nasihatnya.
6. Bapak Ir. Hastono Wijaya selaku dosen pembimbing 1 yang memberikan banyak masukan, pengetahuan dan telah meluangkan waktunya untuk berdiskusi dengan penulis selama penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Ir. Suharto selaku dosen pembimbing 2 juga selaku Kepala Laboratorium Mesin Pendingin yang banyak memberikan pengetahuannya selama saya menjadi asistennya.
8. Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin serta Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

9. Teman-teman asisten Laboratorium Mesin Pendingin, Arif Perdana Putra, Andhika Dwi, Ridho, Aulia, Uprek dan Andhika Mandrak terima kasih atas bantuannya dalam penelitian serta diskusinya.
10. Rekan Tim sepenelitian Ridho dan Arif atas segala upaya saling melengkapi diantara kita dalam penyelesaian skripsi ini.
11. Rekan rekan Kamikaze (M'11), terimakasih atas kekompakan dan seluruh bantuannya dalam menyelesaikan masalah – masalh yang saya hadapi baik dalam perkuliahan, praktikum dan hal – hal lainnya yang tak mungkin bisa saya lupakan
12. Seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung dengan saya, sehingga saya mampu menyelesaikan skripsi ini, terimakasih atas segala bentuk dan bantuannya yang telah diberikan kepada saya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis bersedia menerima kritik yang bersifat membangun di kemudian hari. Semoga dapat memunculkan ide-ide baru, dan semangat untuk mengembangkannya dan bermanfaat bagi semua pihak. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Sistem Refrigerasi dan Pengkondisian Udara	5
2.3 Mesin Pendingin.....	5
2.3.1 Mesin Pendingin dengan siklus Kompresi Uap	5
2.3.2 Komponen – Komponen Utama Mesin Pendingin Uap	8
2.4 Refrigerant.....	11
2.5 Sifat Termodinamika	12
2.6 Persamaan Energi Mantap.....	13
2.7 Psikometri.....	15
2.8 <i>Thermoelectric</i>	16
2.8.1 Efek-Efek Pada Termoelektrik.....	17
2.9 Hipotesis.....	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian.....	20
3.2 Variabel Penelitian	20
3.3 Instalasi Penelitian.....	21

3.4 Alat-Alat yang Digunakan.....	22
3.5 Prosedur Penelitian.....	29
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	30

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data	31
4.1.1 Data Hasil Penelitian.....	31
4.1.2 Perhitungan Data	32
4.1.3 Analisa Statistik	37
4.1.3.1 Analisis Varian Kelembaban	40
4.1.3.2 Analisis Varian Temperatur	40
4.1.3.3 Analisis Varian COP Aktual	41
4.1.3.4 Analisis Varian COP Ideal	41
4.2 Hasil dan Pembahasan.....	42
4.2.1 Variasi Temperatur Penggunaan TEC dan Tidak Menggunakan TEC Terhadap Waktu	42
4.2.2 Variasi Kelembaban Penggunaan TEC dan Tidak Menggunakan TEC Terhadap Waktu	43
4.2.3 Variasi COP Aktual Penggunaan TEC dan Tidak Menggunakan TEC Terhadap Waktu	44
4.2.4 Variasi COP Teoritis Penggunaan TEC dan Tidak Menggunakan TEC Terhadap Waktu	46
4.2.4 Hubungan Kapasitas Pendinginan Dengan COP Terhadap Waktu.....	47

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	49

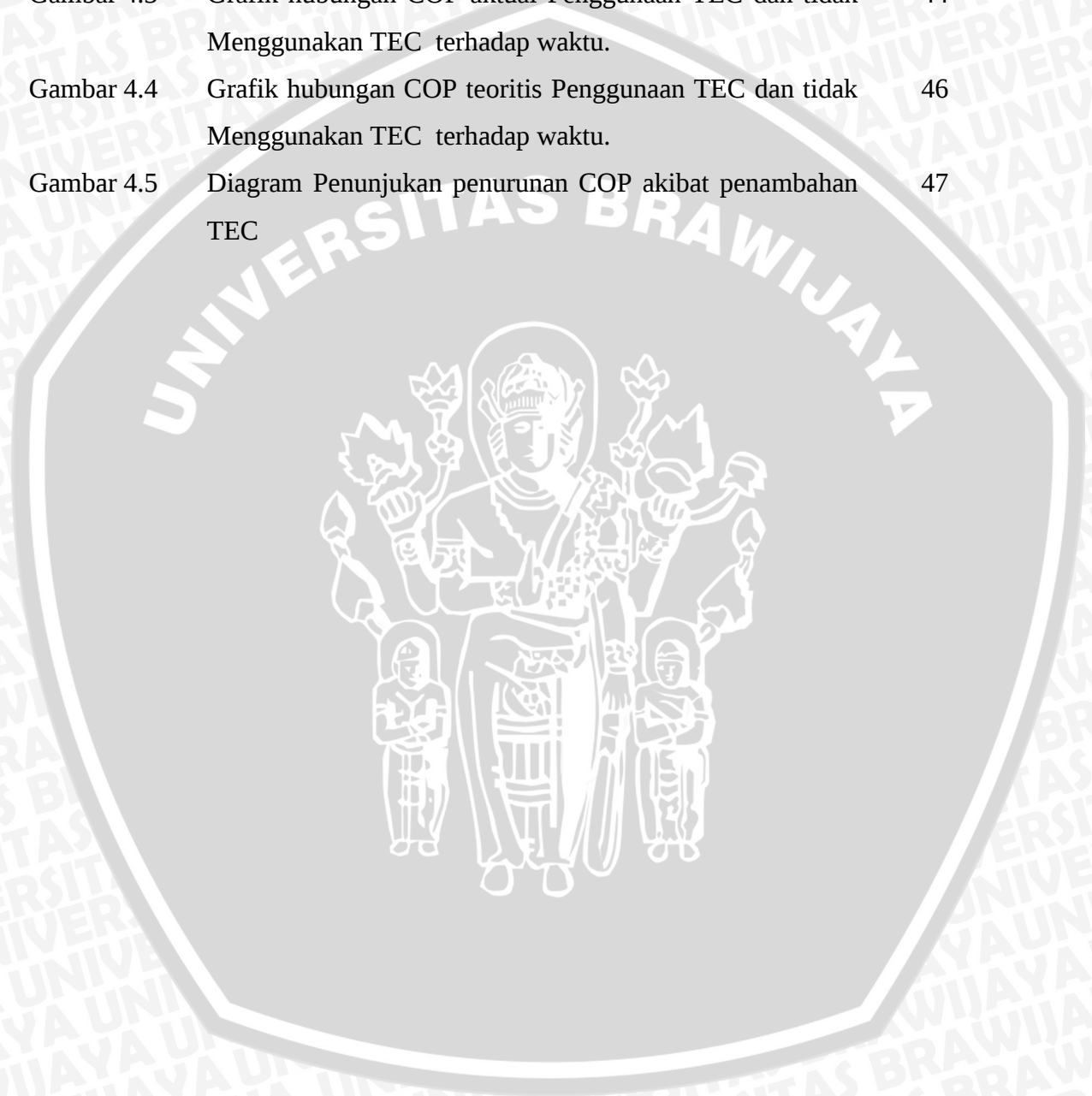
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

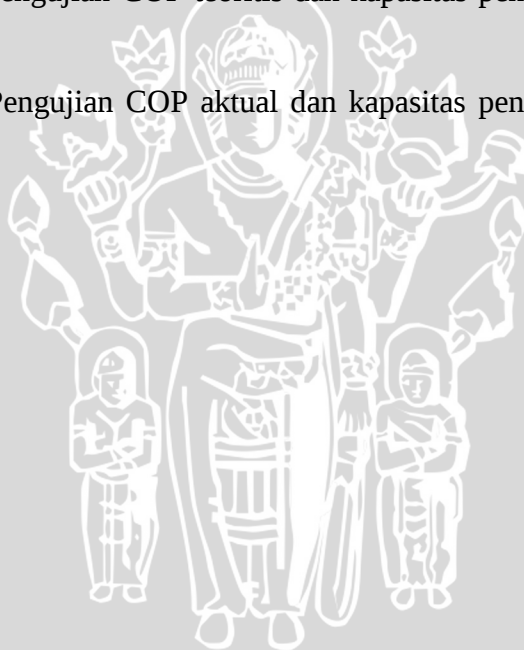
No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Diagram system pengkondensasian dengan thermoelectric peltier Diagram tekanan-entalpi siklus kompresi uap	4
Gambar 2.2	Diagram skematik komponen mesin pendingin siklus kompresi uap	6
Gambar 2.3	Diagram tekanan-entalpi siklus kompresi uap	6
Gambar 2.4	Kompresor Hermetic	8
Gambar 2.5	Kondensor	9
Gambar 2.6	Katup Ekspansi	10
Gambar 2.7	Evaporator	11
Gambar 2.8	Keseimbangan energi pada sebuah volume atur yang sedang mengalami laju aliran mantap	14
Gambar 2.9	Sistem pendinginan peltier	17
Gambar 2.10	efek <i>Seeback</i>	18
Gambar 2.11	efek <i>Peltier</i>	18
Gambar 3.1	Skema instalasi penelitian	21
Gambar 3.2	Kompresor	23
Gambar 3.3	Kondensor	23
Gambar 3.4	Katup ekspansi	24
Gambar 3.5	<i>Evaporator</i>	24
Gambar 3.6	<i>Thermoelectric cooler</i>	25
Gambar 3.7	<i>Filter drier</i>	25
Gambar 3.8	<i>Blower</i>	26
Gambar 3.9	Ruang penyekat	26
Gambar 3.10	<i>Pressure gauge</i>	27
Gambar 3.11	Termometer	27
Gambar 3.12	<i>Stopwatch</i>	27
Gambar 3.13	<i>Thermogun</i>	28
Gambar 3.14	<i>Anemometer</i>	28
Gambar 3.15	Mesin vakum refrigeran	28
Gambar 3.16	<i>Manifold</i>	29

Gambar 3.17	Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 4.1	Grafik hubungan temperatur Penggunaan TEC dan tidak Menggunakan TEC terhadap waktu	42
Gambar 4.2	Grafik hubungan kelembaban Penggunaan TEC dan tidak Menggunakan TEC terhadap waktu.	43
Gambar 4.3	Grafik hubungan COP aktual Penggunaan TEC dan tidak Menggunakan TEC terhadap waktu.	44
Gambar 4.4	Grafik hubungan COP teoritis Penggunaan TEC dan tidak Menggunakan TEC terhadap waktu.	46
Gambar 4.5	Diagram Penunjukan penurunan COP akibat penambahan TEC	47



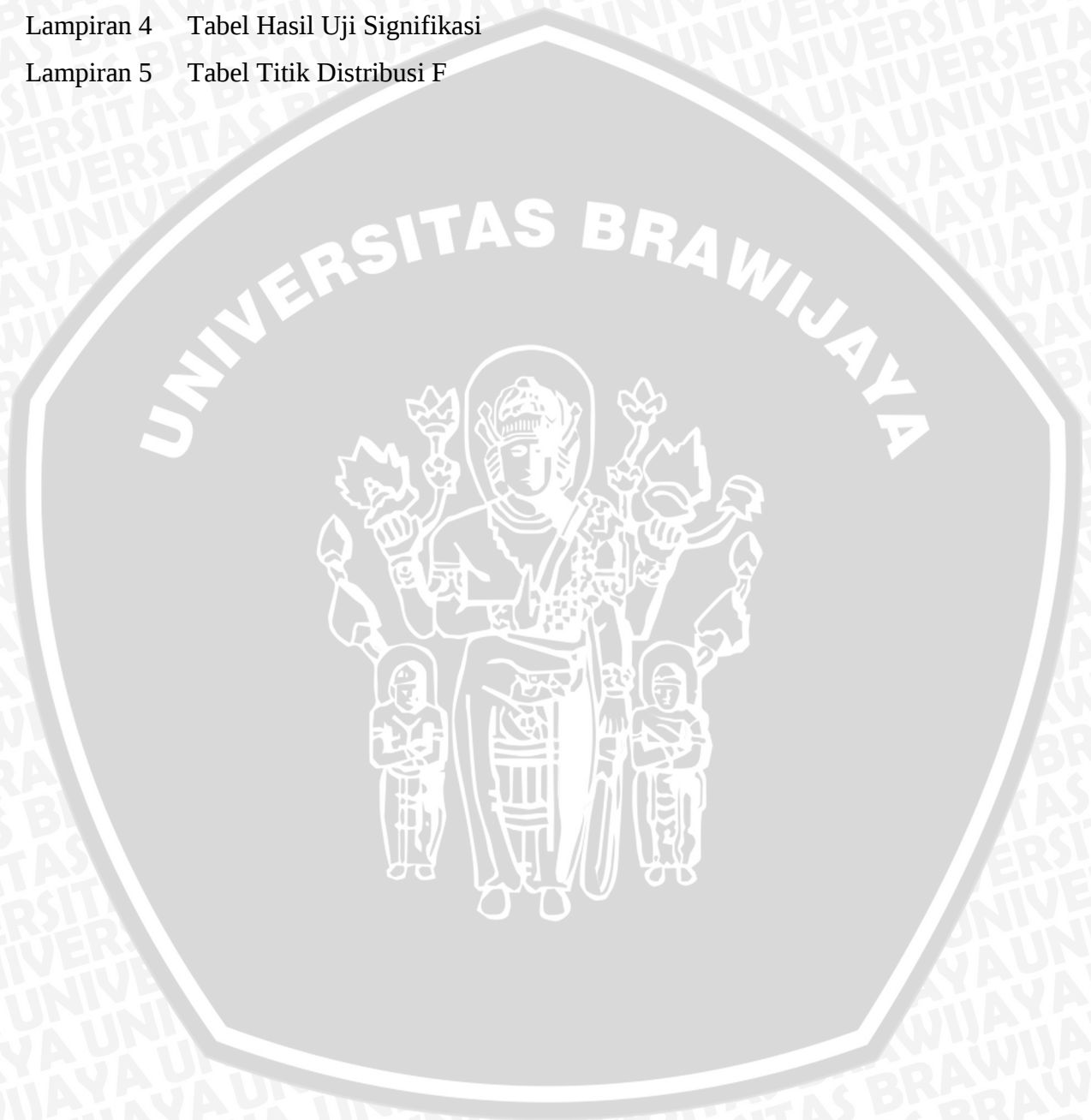
DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Siklus Teoritis Menggunakan TEC	31
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Siklus Aktual Menggunakan TEC	31
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Siklus Aktual Tidak Menggunakan TEC	31
Tabel 4.4	Data Hasil Pengujian Siklus Aktual Menggunakan TEC	32
Tabel 4.5	Data keragaman kelembaban	37
Tabel 4.6	Analisis Varian Kelembaban	40
Tabel 4.7	Analisis Varian temperatur	40
Tabel 4.8	Analisis Varian COP Aktual	41
Tabel 4.9	Analisis Varian COP Ideal	41
Tabel 4.10	Data Hasil Pengujian COP teoritis dan kapasitas pendinginan teoritis	47
Tabel 4.11	Data Hasil Pengujian COP aktual dan kapasitas pendinginan aktual	48



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data Hasil Perhitungan
- Lampiran 2 Diagram Psikometri
- Lampiran 3 Diagram *Mollier Pressure Enthalpy* R-22
- Lampiran 4 Tabel Hasil Uji Signifikasi
- Lampiran 5 Tabel Titik Distribusi F



RINGKASAN

HENDRI AJI SANTOSO, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2015, *PENGARUH PEMASANGAN THERMOELECTRIC COOLER SEBAGAI PRECOOLER TERHADAP UNJUK KERJA MESIN PENDINGIN DENGAN REFRIGERAN R-22*. Dosen Pembimbing: Hastono Wijaya, dan Suharto.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemasangan Thermoelectric sebagai Precooler terhadap unjuk kerja mesin pendingin dengan refrigeran R-22. Unjuk kerja mesin pendingin yang diamati adalah temperatur, kelembaban relative dan COP. Pada penelitian ini membandingkan antara alat yang menggunakan Thermoelectric Cooler (TEC) dan yang tidak menggunakan Thermoelectric cooler dengan pengambilan data sebanyak 5 kali per-10 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada alat yang menggunakan TEC lebih cepat mencapai titik dingin dari pada yang tidak menggunakan TEC. Hal ini disebabkan pemakaian TEC menyebabkan suhu masuk evaporator lebih rendah dibanding dengan yang tidak menggunakan TEC, sehingga beban pendinginan yang diserap evaporator lebih rendah, sehingga memungkinkan untuk menghasilkan suhu yang lebih rendah di temperature keluaran evaporator. Untuk kelembaban pada alat yang menggunakan TEC juga lebih rendah dibandingkan dengan alat yang tidak menggunakan TEC. Hal ini disebabkan perlakuan dengan menggunakan TEC membuat suhu udara turun sebelum masuk evaporator, sehingga nilai wet bulb dan dry bulb menjadi turun, yang mengakibatkan rasio tersebut menghasilkan nilai kelembapan relative yang turun, hal ini tentu membuat udara keluaran evaporator juga akan semakin kering. Untuk COP actual dan COP ideal dari mesin yang menggunakan TEC lebih kecil dibandingkan dengan yang tidak menggunakan TEC. Hal ini dikarenakan suhu refrigerant keluaran evaporator (T_1) alat yang menggunakan TEC bernilai lebih rendah dibandingkan yang tidak menggunakan TEC sehingga nilai entalpi (h_1) dan (h_2) menjadi lebih rendah.

Kata kunci : air conditioner, unjuk kerja, Thermoelectric cooler, R-22



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi mesin pendingin saat ini sangat mempengaruhi kehidupan dunia modern, tidak hanya terbatas untuk peningkatan kualitas dan kenyamanan hidup namun juga sudah menyentuh hal-hal penting penunjang kehidupan manusia. Ini dibuktikan dengan adanya banyak industri, perkantoran, perumahan maupun kendaraan yang dilengkapi dengan *air conditioner* (AC) yang bertujuan untuk mengondisikan dan menyegarkan udara ruangan.

Mesin pendingin merupakan mesin konversi energi yang dipakai untuk memindahkan kalor dari temperatur yang rendah ke temperatur yang tinggi dengan cara menambahkan kerja dari luar. Lebih jelasnya mesin pendingin merupakan suatu alat yang digunakan dalam proses pendinginan suatu fluida sehingga mencapai temperatur dan kelembaban yang dikehendaki dengan cara menyerap panas dari reservoir bertemperatur rendah dan diberikan ke reservoir bertemperatur tinggi. Mesin pendingin kompresi uap terdiri dari empat komponen utama yaitu : kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. (Arismunandar, 1980:1).

Indonesia sebagai negara beriklim tropis pada umumnya memiliki temperatur udara berkisar 28°C – 35°C dengan kelembapan relative 70% - 90%, sedangkan kondisi kenyamanan udara pada suatu bangunan temperatur 22°C - 25°C dengan kelembapan relative 30% hingga 60% (ASHRAE,1989). Sehingga hampir pengkondisian udara di Indonesia dilakukan dengan penurunan temperatur dan kelembaban. Terutama pada bidang kesehatan yang memerlukan kelembapan relative 30% hingga 60%, dikarenakan jika kelembaban diatas dan dibawah nilai tersebut akan menyebabkan pertumbuhan jamur pada ruangan rumah sakit.

Untuk mendapatkan kelembaban pada rentang 30% hingga 60% dapat diwujudkan dengan melakukan berbagai modifikasi pada *Air Conditioner* tersebut, diantaranya adalah dengan menambahkan *Thermoelectric cooler*. *Thermoelectric cooler* merupakan suatu komponen yang memanfaatkan efek *Peltier* dimana arus yang mengalir pada pertemuan dua kawat yang berbeda akan menghasilkan pendinginan pada titik pertemuannya. *Thermoelectric cooler* (TEC) ini digunakan sisi dinginnya sebagai cooler tambahan untuk mengurangi kelembaban udara dengan memberikan tambahan

heat sink pada kedua sisi dingin dan panas untuk memaksimalkan perpindahan panas pada udara dan sebagai tempat kondensasi.

Dari uraian diatas, dilakukan tindak lanjut penelitian terhadap penurunan kelembaban dengan menggunakan mesin pendingin kompresi uap refrigeran dan ditambahkan *cooler* berupa *thermoelectric cooler*. Diharapkan nantinya akan mendapatkan penurunan kelembaban tertinggi dengan durasi waktu yang singkat.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut : Bagaimanakah pengaruh pemasangan *thermoelectric cooler* sebelum evaporator terhadap kelembaban relative dan temperatur yang dihasilkan *Air Conditioner*?

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas dalam skripsi ini lebih terfokus, maka penulis mengambil beberapa batasan masalah sebagai :

1. Refrigeran yang digunakan adalah R-22
2. *Air conditioner* yang digunakan bermerk Toyota Kijang HFC 134a.
3. *Thermoelectric cooler* yang digunakan berukuran 40 mm x 40 mm dengan tegangan 12 Volt dan arus 6 Amper
4. Ruang sekat pada kondisi *steady state*.
5. Udara lingkungan sekitar diasumsikan memiliki kelembaban dan temperatur konstan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kelembaban relative dan temperatur yang dihasilkan oleh *Air Conditioner* dengan penambahan *thermoelectric cooler*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan manfaat dan masukan bagi masyarakat luas dalam upaya penurunan kelembaban pada ruangan.

2. Memberikan alternatif tambahan mengenai cara menurunkan kelembaban terutama dalam bidang medis.
3. Menambah referensi mahasiswa teknik mesin untuk penelitian-penelitian selanjutnya mengenai mesin pendingin.
4. Meningkatkan wawasan penelitian bagi dunia ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang teknik mesin.



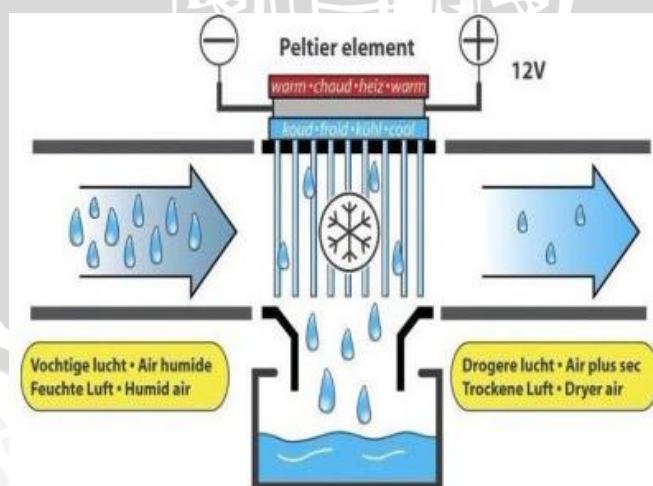
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Wang Huajun dan Qi Chengying (2010), melakukan penelitian tentang “*Experimental Study of Operation Performance of a Low Power Thermoelectric cooling Dehumidifier*”. Penelitian ini dilakukan untuk menerapkan teknologi *thermoelectric dehumidifier* (TED) sebagai perangkat alternatif dehumidifying pengganti sistem pendingin kompresi uap konvensional. *Thermoelectric dehumidifier* mengalami dua proses termodinamika yaitu *cooling dehumidification* dan *isothermal dehumidification*, Keterangan *isothermal dehumidification* yang lebih mendominasi karena adanya fenomena kondensasi pada permukaan sirip penukar sisi panas dengan sisi dingin. COP *thermoelectric dehumidifier* (TED) tertinggi pada percobaan ini adalah 0.32 dan dengan tingkat dehumidifying 0,0097 g / menit ketika daya inputan dijaga konstan sebesar 6.0 W. Pada penelitian ini juga masih ada kekurangan yang masih bisa diperbaiki pada kinerja TED yaitu untuk penghilangan tetesan air pada sirip sisi dingin.

Swapnil S. Khode (2015) melakukan penelitian tentang “*Review on Application of thermoelectric Peltier Module in cooling and power generating Technology*”, dari penelitian tersebut thermoelectric Peltier dapat diaplikasikan lagi sebagai dehumidifier dengan memodifikasi penambahan heat exchanger berupa heat sink.



Gambar 2.1 Diagram system pengkondensasian dengan thermoelectric peltier
Sumber : Swapnil S. Khode (2015)

2.2 Sistem Refrigerasi dan Pengkondisian Udara

Refrigerasi adalah suatu proses pengkondisian temperatur ruangan berada di bawah temperatur lingkungan, dengan memindahkan kalor dari media yang akan didinginkan ke lingkungan.

Pengkondisian udara merupakan proses pengaturan suhu, kelembaban, kebersihan, dan pendistribusiannya untuk mencapai kondisi nyaman bagi penghuni suatu ruangan. Pengkondisian udara juga berupa pemanasan seperti pengaturan kecepatan, radiasi termal dan kualitas udara termasuk penyisihan partikel dan uap pengotor. (Stoecker, 1996:1)

2.3 Mesin Pendingin

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

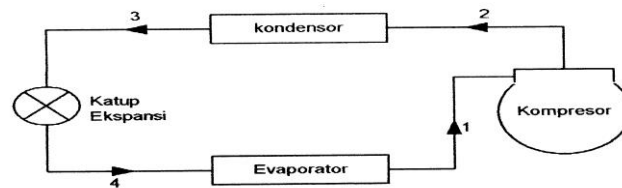
Menurut cara kerjanya mesin pendingin dibagi menjadi dua, yaitu:

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

2.3.1 Mesin Pendingin Dengan Siklus Kompresi Uap

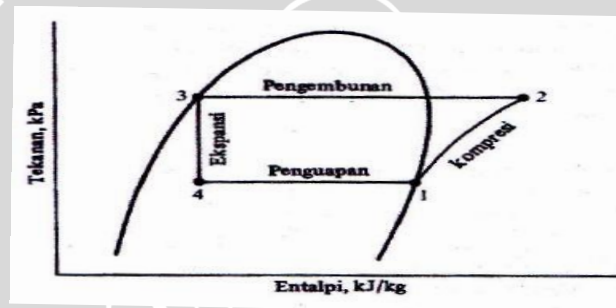
Mesin pendingin siklus kompresi uap merupakan mesin pendingin yang penyerapan panas dilakukan dalam evaporator dengan temperatur dan tekanan rendah. Pada evaporator refrigeran bertemperatur lebih rendah dari pada media yang akan didinginkan sehingga terjadi perpindahan panas dari media yang didinginkan ke refrigeran dan mengubah fase refrigeran dari fase uap jenuh menjadi fase uap kering, kemudian akan bersiklus masuk ke kompresor. Pada kompresor akan diberikan kerja kompresor sehingga refrigeran berubah fase menjadi gas yang bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi yang kemudian menuju ke kondensor. Untuk melepaskan panas, refrigeran akan diembunkan didalam kondensor sehingga refrigeran menjadi cair. Sebelum refrigeran masuk kedalam evaporator, refrigeran diekspansikan melalui katup ekspansi terlebih dahulu untuk dirubah fasenya menjadi uap secara paksa sehingga tekanan dan temperatur refrigeran akan turun.

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



Gambar 2.2 Diagram skematik komponen mesin pendingin siklus kompresi uap
Sumber : Stoecker (1996:187)

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



Gambar 2.3 Diagram tekanan-entalpi siklus kompresi uap
Sumber : Stoecker (1992 :187)

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

- Proses 1-2: Proses kompresi secara isentropik pada kompresor. Pada proses ini tekanan, temperatur dan entalpi refrigeran naik. Refrigeran mengalami perubahan fase dari uap kering menjadi uap panas lanjut. Kerja compressor masuk.
- Proses 2-3: Proses pelepasan kalor secara isobarik. Pada proses ini temperatur dan entalpi refrigeran turun dan refrigeran mengalami perubahan fase dari uap panas lanjut menjadi cair.
- Proses 3-4: Proses ekspansi secara isoentalpi, Refrigeran dirubah fasenya secara paksa dari cair menjadi uap jenuh, sehingga tekanan dan temperaturnya turun. Proses ini terjadi pada isoentalpi, sehingga:

$$h_3 = h_4$$

(Stoecker; 1996 : 186) (2-1)

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

Istilah penting yang terdapat pada mesin pendingin adalah sebagai berikut:

1) Efek refrigerasi

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

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

2) Kerja kompresi

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

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

3) Kapasitas pendinginan

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

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

4) Daya kompresor

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

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

5) Koefisien prestasi

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

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

Keterangan:

$$h_1 = \text{entalpi refrigeran keluar evaporator} \quad \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$h_2 = \text{entalpi refrigeran masuk kondensor} \quad \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

h_3 = entalpi refrigeran keluar kondensor $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

h_4 = entalpi refrigeran masuk evaporator $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$

$\dot{m}_{ref}$ = laju aliran massa refrigeran $\left[\frac{kg}{s} \right]$

2.3.2 Komponen-Komponen Utama Mesin Pendingin Kompresi Uap

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

1. Kompresor

Pada pengujian ini menggunakan kompresor dengan jenis hermatik, motor dan unit pengompresi berada pada tempat yang sama yang disebut rumah kompresor, seperti terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.4 Kompresor hermatik
Sumber: Arsip pribadi

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

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

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

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

Dengan :

$$h_1 = \text{entalpi refrigeran pada daerah saturasi uap} \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$h_2 = \text{entalpi refrigeran pada daerah panas lanjut} \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

2. Kondensor

Kondensor merupakan suatu komponen yang digunakan untuk melepaskan kalor yang dikandung oleh refrigeran ke lingkungan luar. Pada kondensor refrigeran yang berfase uap panas lanjut setelah mendapat kerja dari kompressor kemudian dirubah fasenya menjadi cair karena kalor yang dikandungnya dilepaskan sepanjang pipa yang ada dikondensor. Kondensor ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.5 Kondensor
Sumber: Arsip pribadi

Pada unit kondensor ditambahkan suatu *blower* yang berguna untuk menghembuskan udara melewati kisi-kisi kondensor hal ini bertujuan untuk meningkatkan jumlah kalor yang dilepas. Jumlah kalor yang dilepaskan tiap detiknya oleh uap refrigeran ke lingkungan yang dihembuskan melalui kondensor sama dengan selisih entalpi refrigeran pada sisi masuk dan pada sisi keluar kondensor dikali dengan laju aliran massanya. Pelepasan kalor dalam kilo joule per kilogram (energi per satuan waktu) adalah perpindahan kalor dari refrigeran pada 2-3, sesuai persamaan berikut:

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

karena tidak dilakukan kerja maka:

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

Dengan:

$$q_2 = \text{pelepasan kalor terjadi dari kondensor} \quad \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$h_3 = \text{entalpi refrigeran pada daerah saturasi cair} \quad \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

3. Katub ekspansi

Merupakan alat yang digunakan untuk merubah fase refrigerant secara paksa menjadi embun dan menurunkan tekanan refrigeran sehingga terjadi penurunan suhu.

Katup ekspansi termostatik merupakan katup ekspansi sisi refrigeran masuk evaporator sesuai dengan beban pendinginan yang harus diserap oleh evaporator. Pipa kapiler berfungsi untuk menurunkan tekanan yang memanfaatkan tahanan gesek refrigeran terhadap pipa. Pipa kapiler biasanya mempunyai diameter yang kecil (0.031-0.054 inch) dengan panjang 5 – 20 ft. Alat ekspansi ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.6 Katup ekspansi
Sumber: Arsip pribadi

4. Evaporator

Evaporator adalah komponen mesin pendingin yang berfungsi untuk menyerap kalor dari media yang akan didinginkan menuju refrigeran, dikarenakan temperatur refrigerant pada evaporator bertemperatur lebih rendah dibandingkan dengan temperatur udara yang akan didinginkan. Pada evaporator terjadi perubahan fase pada refrigeran dari cair jenuh menjadi uap kering. Evaporator dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.7 Evaporator

Sumber: Arsip pribadi

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

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

Dengan :

q_1 = penyerapan kalor oleh refrigeran dalam evaporator $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

h_1 = entalpi refrigeran pada daerah saturasi uap $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

h_4 = entalpi refrigeran pada daerah campuran $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

2.4 Refrigeran

Refrigeran adalah fluida kerja yang berfungsi untuk media perpindahan kalor pada mesin pendingin. Refrigeran bersirkulasi didalam mesin pendingin dengan cara dirubah fasenya karena adanya pelepasan dan penyerapan kalor.

Berdasarkan zat penyusunnya refrigeran dibedakan menjadi empat yaitu:

1. Senyawa halokarbon

Refrigeran halokarbon merupakan refrigerant yang mempunyai satu atau lebih dari atom halorkarbon (klorin, flourin, dan bromin).

2. Senyawa hidrokarbon

Refrigeran hidrokarbon merupakan refrigeran yang atom penyusunnya terdiri dari dua atom yaitu karbon (C) dan hidrogen (H). Senyawa hidrokarbon memiliki sifat yang ramah lingkungan tetapi sifatnya sangat mudah terbakar.

3. Senyawa Anorganik

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

4. Azeotrop

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

2.5 Sifat Termodinamika

Sifat termodinamika adalah karakteristik atau ciri dari bahan yang dapat dikaji secara kuantitatif seperti suhu, tekanan dan rapat massa. Keadaan atau kondisi termodinamika suatu sistem didefinisikan berdasarkan sifat-sifatnya (Stoecker; 1996:14). Dalam penelitian ini sifat-sifat termodinamika yang diutamakan adalah:

1. Temperatur

Suhu (t) dari suatu bahan menyatakan keadaan termal dan kemampuannya untuk bertukar energi dengan bahan lain yang bersentuhan dengannya. Temperatur akan berpindah dari yang bersuhu lebih tinggi ke suhu yang lebih rendah dengan, memberikan energi kepada bahan lain yang suhunya lebih rendah. (Stoecker; 1996:14).

2. Kalor spesifik

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

3. Rapat massa dan volume spesifik

Rapat massa (ρ) dari suatu fluida adalah massa yang mengisi satu satuan volume. Volume spesifik (v) adalah volume yang diisi oleh satu satuan massa.

Rapat massa udara pada tekanan 1 atm dengan suhu 25°C mempunyai rapat massa $1,2 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$ (Stoecker; 1996:15).

4. Tekanan

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

5. Entalpi

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

6. Entropi

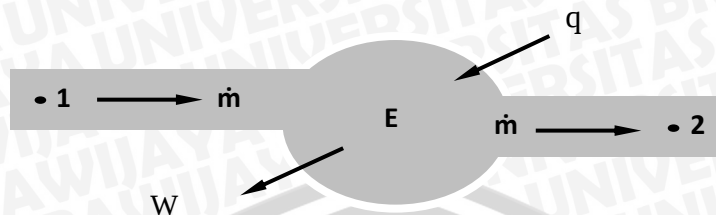
Entropi (s) adalah energi kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan 1° temperatur setiap satuan massa $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right]$. Entropi memiliki sifat yang hanya digunakan dalam hal khusus dan terbatas. Sifat-sifatnya sebagai berikut :

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

2.6 Persamaan Energi Aliran Mantap

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

meninggalkan sistem pada titik 2 sama dengan besarnya perubahan energi di dalam volume kendali.



Gambar 2.8 Keseimbangan energi pada sebuah volume atur yang sedang mengalami laju aliran mantap.

Sumber : Stoecker (1996 : 20)

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

$$\dot{m} \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 \right) + q - \dot{m} \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 \right) - W = \frac{dE}{d\theta} \quad (\text{Stoecker, 1996 : 20}) \quad (2-12)$$

Oleh karena aliran steady tidak ada perubahan laju aliran massa pada system, maka laju aliran masuk pada titik 1 sama dengan laju aliran massa keluar pada titik 2 dengan demikian tidak ada perubahan energi system terhadap waktu sehingga $\frac{dE}{d\theta} = 0$, dan persamaan energi aliran mantap menjadi :

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

Keterangan :

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

2.7 Psikometri

Psikometri adalah ilmu yang mempelajari tentang sifat-sifat campuran udara dan uap air (Stoecker, 1996 : 38). Dalam psikometri terdapat beberapa istilah sebagai berikut:

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

Temperatur bola kering dapat dibaca pada termometer dengan sensor kering dan terbuka.

2. Temperatur bola basah (*WetBulb Temperatur*)

Thermometer yang digunakan untuk mengukur temperatur bola basah pada sensornya dibalut dengan kain basah untuk menghilangkan pengaruh radiasi panas. Suhu pada termometer bola basah sama dengan yang terdapat didalam alat penjenruh adiabatic (Stoecker, 1996 : 47).

3. Kelembaban relatif (*Relative Humidity*)

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

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

Dengan :

ϕ = kelembaban relatif [%]

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

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

4. Rasio kelembaban (*Humidity Ratio*)

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

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

Dengan :

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

$$V = \text{volume sembarang campuran udara-uap} \quad [m^3]$$

$$p_t = \text{tekanan atmosfer} = p_a + p_s \quad [kPa]$$

$$p_a = \text{tekanan parsial udara kering} \quad [kPa]$$

$$R_a = \text{tetapan gas untuk udara kering} = 287 \quad \left[\frac{J}{kg.K} \right]$$

$$R_s = \text{tetapan gas untuk uap-air} = 461,5 \quad \left[\frac{J}{kg.K} \right]$$

$$I = \text{suhu absolut campuran udara-uap} \quad [K]$$

$$p_s = \text{tekanan parsial uap air dalam keadaan jenuh} \quad [kPa]$$

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

$$W = \left(\frac{287}{461,5} \right) \frac{p_s}{p_t - p_s} = 0,622 \frac{p_s}{p_t - p_s} \quad (\text{Stoecker; 1996 : 41}) \quad (2-16)$$

5. Titik embun (*Dew Point*)

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

6. Volume spesifik (*Specific Volume*)

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

$$\phi = \frac{\text{tekanan uap air parsial}}{\text{tekanan jenuh air murni pada suhu yang sama}} = \frac{p_s}{p_w} \quad (\text{Stoecker; 1996 : 40}) \quad (2-17)$$

Dengan :

$$\phi = \text{kelembaban relatif} \quad [\%]$$

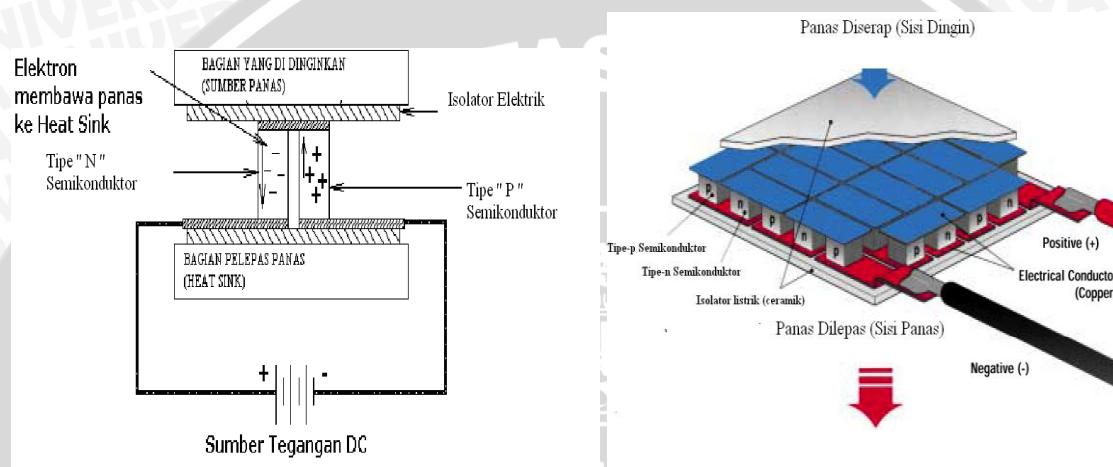
$$p_s = \text{tekanan parsial uap air dalam keadaan jenuh} \quad [kPa]$$

$$p_w = \text{tekanan jenuh air murni pada suhu yang sama} \quad [kPa]$$

2.8 Thermoelektrik

Thermoelectric merupakan suatu alat yang mengubah energi panas dari gradient temperatur menjadi energi listrik atau sebaliknya dari energi listrik menjadi gradient

temperatur. *Thermoelectric cooling* didasarkan pada efek *Peltier*. Jika arus listrik melewati rangkaian dari dua semikonduktor dari bahan *Bismuth telluride* (Bi_2Te_3) sebagai semikonduktor tipe – p dan *Antimony telluride* (Sb_2Te_3) sebagai semikonduktor tipe – n. Ketika arus listrik dialirkan pada termoelektrik, elektron bergerak dari bahan tipe – p ke bahan tipe – n dengan menyerap energi panas pada sambungan dingin. Elektron membuang kelebihan energi pada sambungan panas karena elektron mengalir dari tipe – n kembali ke bahan tipe – p melalui konektor listrik.



Gambar 2.9 Sistem pendinginan peltier
Sumber : Swapnil S. Khode (2015)

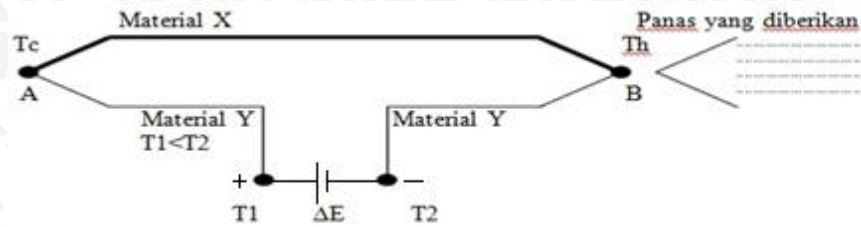
2.8.1 Efek –Efek Pada Termoelektrik

Pada rangkaian termoelektrik terdapat tiga macam gaya gerak listrik (ggl, $emf = electro motive force$), yaitu ggl Seebeck, yang disebabkan oleh dua material logam yang berbeda, ggl Peltier yang disebabkan arus yang mengalir di dalam rangkaian, serta ggl Thomson yang disebabkan oleh adanya gradien temperatur pada material.

1. Efek Seebeck

Konduktor pada termokopel merupakan dua material berbeda ditunjuki sebagai material X dan material Y. Dalam penerapan pengukuran temperatur, termokopel A digunakan sebagai referensi dan dijaga pada suatu temperatur dingin relatif, T_c . Termokopel B digunakan untuk mengukur titik yang ingin diketahui temperaturnya (T_h), yang dalam contoh ini, lebih tinggi dari temperatur T_c . Dengan kalor yang diaplikasikan pada termokopel B, tegangan akan mengalir melewati

terminal T_1 dan T_2 . Tegangan ini (V_0), yang dikenal sebagai *emf* Seebeck, dapat dinyatakan sebagai



Gambar 2.10 Efek Seebeck
Sumber : Swapnil S. Khode (2015)

$$V_0 = \alpha_{XY} (T_h - T_c) \quad (\text{Swapnil S. Khode (2015)}) \quad (2-18)$$

Keterangan :

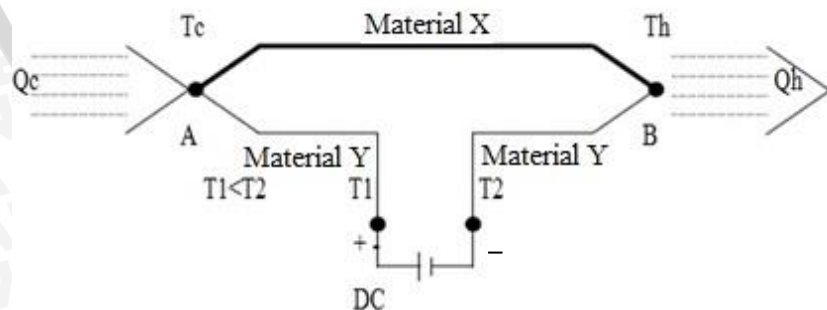
V_0 = Tegangan output Power supply [Volt]

α_{XY} = Koefisien Seebeck antara dua material, X dan Y, [Volt/K]

T_h, T_c = Temperatur termokopel panas dan dingin [K]

2. Efek Peltier

Jika rangkaian termokopel tersebut dimodifikasi untuk memperoleh konfigurasi sebagaimana terlihat pada gambar 2.11, maka akan diperoleh suatu fenomena sebaliknya yang dikenal dengan Efek Peltier. Dari gambar tersebut maka dapat dikatakan bahwa dari perbedaan tegangan, akan menghasilkan perbedaan temperatur. Perbedaan temperatur yang dihasilkan sebanding dengan jumlah arus searah yang dialirkan sehingga nantinya ada sambungan yang akan menyerap kalor dan ada sambungan yang melepaskan kalor.



Gambar 2.11 Efek Peltier
Sumber : Swapnil S. Khode (2015)

Dari jumlah aliran arus yang diberikan ke rangkaian, maka dapat diketahui jumlah kalor yang diserap maupun yang dilepaskan pada kedua sambungan yang dapat ditulis sebagai berikut.

$$Q_c = Q_h = \pi_{xy} \times I_{xy} \quad (\text{Swapnil S. Khode (2015)}) \quad (2-19)$$

Keterangan :

π_{xy} = Koefisien Peltier antara dua material, X dan Y [Volt]

I = Arus listrik yang mengalir [A]

Q_c, Q_h = Tingkat pendinginan atau pemanasan [Watt]

3. Efek Thomson

Ketika suatu arus listrik dilewatkan melalui suatu konduktor yang memiliki kalor hanya akan diserap oleh konduktor atau dilepaskan dari konduktor (hanya salah satu, diserap atau dilepas, tidak keduanya). Kalor diserap atau dilepaskan tergantung pada arah arus listrik dan temperatur. Sedangkan nilai kalor yang dilepas atau diserap tersebut untuk setiap satuan panjangnya adalah :

$$Q_\tau = \tau \times I \times \frac{dT}{dx} \quad (\text{Swapnil S. Khode (2015)}) \quad (2-19)$$

Keterangan :

Q_τ = Jumlah kalor yang diserap atau dilepaskan persatuan panjang [W/m]

τ = Koefisien Thomson [Volt/K]

I = Arus listrik yang mengalir [A]

T = Temperatur [K]

x = panjang konduktor [m]

2.9 Hipotesis

Penambahan *thermoelectric cooler* sebelum evaporator akan menyebabkan temperatur udara keluar evaporator semakin rendah sehingga kelembaban relatif menjadi semakin rendah, namun koefisien prestasi mesin pendingin akan berkurang seiring berkurangnya efek refrigerasi yang terjadi akibat kalor yang diserap oleh *thermoelectric cooler*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*) yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen guna mendapatkan data empiris. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mesin Pendingin, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah :

1. Variabel bebas (*independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya dapat diubah-ubah dengan metode tertentu untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari obyek penelitian, sehingga dapat diperoleh hubungan antara keduanya. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah perbandingan menggunakan *thermoelectric cooler* dengan tidak menggunakan *thermoelectric cooler* terhadap waktu pengambilan data (menit) : 10menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit dan 50 menit.

2. Variabel terikat (*dependent variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah :

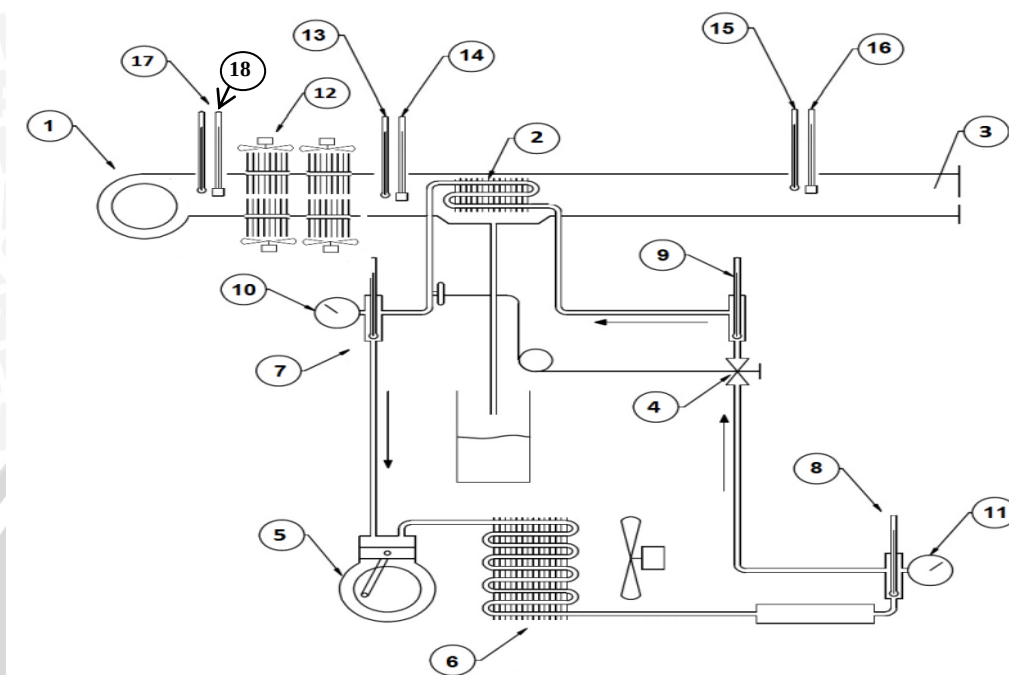
- Temperatur (T)
- Kelembaban relatif (ϕ)
- Koefisien prestasi (COP)

3. Variabel terkontrol (*control variable*)

Variabel terkontrol adalah variabel yang telah ditentukan nilainya sebelum penelitian. Dalam penelitian ini variabel kontrolnya adalah pembebanan pada mesin pendingin dengan massa alir udara, besar arus *thermoelectric*, dan udara lingkungan sekitar diasumsikan memiliki kelembaban dan temperatur yang konstan.

3.3 Instalasi Penelitian

Instalasi dari penelitian unjuk kerja AC mobil dengan refrigeran R-22 dengan penambahan *Thermoelectric cooler*, ditunjukkan pada gambar :



Gambar 3.1 Skema instalasi penelitian

Keterangan gambar instalasi:

1. Blower
2. Evaporator
3. Orifice
4. Katup Ekspansi
5. Kompresor
6. Kondensor
7. Termometer, Temperatur Refrigeran Setelah Dari Evaporator (T1)
8. Temperatur Refrigeran Keluar Kondensor (T3)
9. Termometer, Temperatur Refrigeran Masuk Evaporator (T4)
10. Pressure Gauge, Tekanan Refrigeran Keluar Evaporator (p1)
11. Pressure Gauge, Tekanan Refrigeran Keluar Kondensor (p3)
12. Thermoelectric cooler
13. Termometer bola kering (TDB)
14. Termometer bola basah (TWB)
15. Termometer bola kering (TDC)

16. Termometer bola basah (TWC)
17. Termometer bola kering (TDA)
18. Termometer bola basah (TWA)

Instalasi penelitian ini bekerja sebagai berikut:

➤ Siklus Refrigerasi

Pada siklus refrigerasi, refrigeran bersirkulasi ke empat komponen utama mesin pendingin yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Kompresor mengkompresi refrigeran menuju kondensor untuk buang kalor refrigeran, setelah dari kondensor ke katup ekspansi. Sebelum katup ekspansi terdapat alat ukur tekanan dan temperatur yang diberi simbol P_3 dan T_3 . Pada saluran keluar katup ekspansi, terdapat alat ukur temperatur T_4 , refrigeran menuju evaporator untuk menyerap kalor dari beban pendinginan. Setelah dari evaporator menuju ke kompresor, sebelumnya terdapat alat ukur tekanan dan temperatur yang diberi simbol P_1 dan T_1 .

➤ Siklus Pengkondisian Udara

Pada siklus pengkondisian udara, *blower* menghembuskan udara lingkungan dan uap air dari boiler ke sepanjang *air flow duct*. Pada *air flow duct* sebelum evaporator akan melewati *thermoelectric cooler* dimana sebagian kalor pada udara akan lebih dahulu masuk ke *thermoelectric cooler*. Disini seharusnya udara akan sedikit mengalami penurunan suhu dan kelembaban sebelum masuk evaporator sebagai pendingin utama.

3.4 Alat-Alat Yang Digunakan

1. AC mobil merk Kijang HFC-134a
 - a. Kompresor arus AC

Kompresor berfungsi untuk mengkompresikan refrigeran pada sistem pendingin, seperti pada gambar di bawah :

PANASONIC 2K 32S 225AUB

1120 WATT; 220 VOLT; 50 Hz



Gambar 3.2 Kompresor
Sumber : Arsip pribadi

b. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk melepas kalor refrigeran ke lingkungan. Dimensi kondensor adalah 60cm x 30cm x 3cm, seperti pada gambar :



Gambar 3.3 Kondensor
Sumber : Arsip pribadi

c. Katup Ekspansi

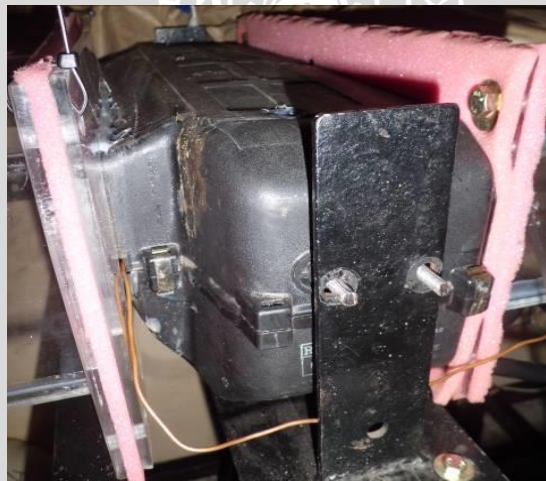
Katup ekspansi berfungsi untuk menurunkan tekanan dari kompresor hingga mencapai tekanan evaporasi. Katup ekspansi yang digunakan adalah katup ekspansi otomatis refrigeran R-22, seperti pada gambar :



Gambar 3.4 Katup ekspansi
Sumber : Arsip pribadi

d. Evaporator

Evaporator berfungsi untuk menyerap panas atau untuk proses evaporasi. Dimensinya adalah 41cm x 10cm x 12cm, seperti pada gambar :



Gambar 3.5 Evaporator
Sumber : Arsip pribadi

e. *Thermoelectric cooler*

Thermoelectric cooler berfungsi untuk menyerap panas dan melembabkan udara sebelum masuk ke evaporator. Tegangan 12 Volt dan arus 6 Amper dan dimensinya berukuran 40 mm x 40 mm dan disusun dengan heat sink seperti pada gambar :



Gambar 3.6 *Thermoelectric cooler*
Sumber : Arsip pribadi

f. *Filter Drier*

Filter drier berfungsi untuk menyaring kotoran agar tidak menyumbat katup ekspansi seperti pada gambar :



Gambar 3.7 *Filter drier*
Sumber : Arsip pribadi

g. *Blower*

Blower berfungsi untuk menghembuskan udara di dalam *duct*. Kecepatan yang digunakan 1000rpm dan dimensi tempat *blower* adalah 32cm x 14cm x 16cm, seperti pada gambar :



Gambar 3.8 *Blower*
Sumber : Arsip pribadi

h. Ruang penyekat (*duct*)

Agar waktu yang dibutuhkan untuk pendingin ruangan lebih cepat maka perlunya ruangan terbatas. Ruangan dibuat dari *acrylic* tebal 5mm. Dimensi *duct* adalah 80cm x 34cm x 12cm, seperti pada gambar :



Gambar 3.9 Ruang penyekat
Sumber : Arsip pribadi

2. Alat ukur sebagai berikut :

a. Pengukur tekanan (*pressure gauge*)

Pengukur tekanan berfungsi untuk mengukur tekanan refrigeran pada instalasi AC mobil, seperti pada gambar :



Gambar 3.10 *Pressure gauge*
Sumber : Arsip pribadi

b. Termometer

Termometer berfungsi untuk mengukur suhu pada *duct* dan suhu refrigeran pada operasi mesin AC, seperti pada gambar :



Gambar 3.11 Termometer
Sumber : Arsip pribadi

c. Stopwatch

Stopwatch berfungsi untuk menghitung waktu pada saat pengambilan data, seperti pada gambar :



Gambar 3.12 *Stopwatch*
Sumber : Arsip pribadi

d. *Thermogun*

Thermogun berfungsi untuk mengukur suhu pada saat pengambilan data, seperti pada gambar :



Gambar 3.13 *Thermogun*
Sumber : Arsip pribadi

e. *Anemometer*

Anemometer berfungsi untuk mengukur kecepatan udara keluar evaporator pada saat pengambilan data, seperti pada gambar :



Gambar 3.14 *Anemometer*
Sumber : Arsip pribadi

3. Mesin vakum refrigeran

Berfungsi untuk mengkosongkan refrigeran yang berada dalam sistem mesin pendingin.



Gambar 3.15 Mesin vakum refrigeran
Sumber : Arsip pribadi

4. *Manifold*

Berfungsi untuk mengetahui tekanan rendah dan tinggi dalam pengisian refrigeran.



Gambar 3.16 *Manifold*

Sumber : Arsip pribadi

3.5 Prosedur Penelitian

1. Persiapan

Semua alat ukur dan instalasi dipasang untuk melakukan percobaan dan pengambilan data.

2. Menjalankan Instalasi :

- Saklar induk dipasang pada posisi (on).
- Blower diatur agar ada aliran udara melalui evaporator, dengan tujuan membebani evaporator. Posisi Regavolt diatur sesuai variasi data.
- Kompresor dijalankan sehingga terjadi sirkulasi refrigeran. Instalasi dibiarkan beroperasi sampai terbentuk air kondensasi pada evaporator, ditampung dengan gelas pengukur dan termometer.
- Atur pembebanan *Air Flow Duct* dengan menggunakan saklar, dari semua komponen pelengkap. Posisinya disesuaikan dengan kombinasi & variasi data yang ditentukan.
- Menentukan temperatur evaporasi pada tekanan refrigeran keluar evaporator dengan tabel properti refrigeran.

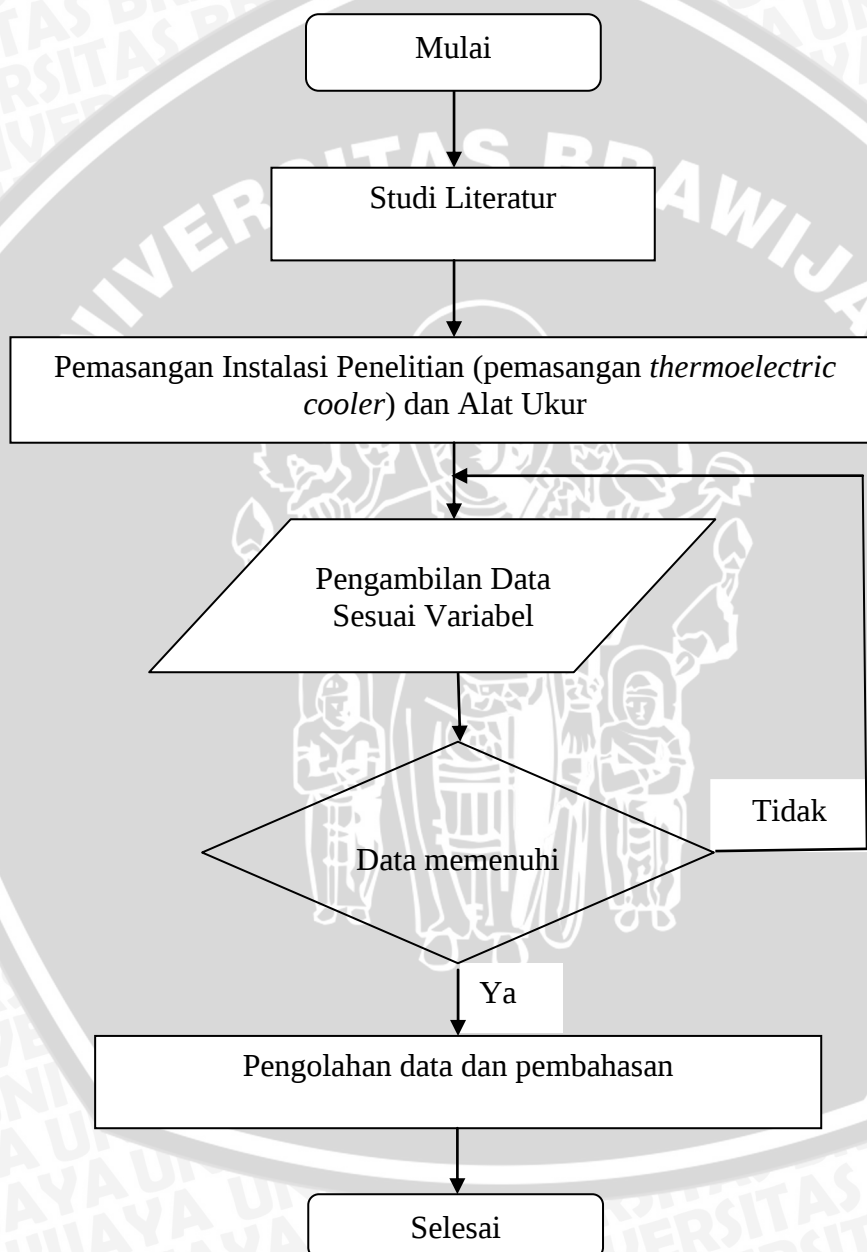
3. Pengambilan Data

Untuk penggunaan *thermoelectric cooler* dan tanpa penggunaan *thermoelectric cooler* diambil data lima kali dengan selang waktu 10 menit setiap pengambilan data dan dilakukan selama 5 kali pengambilan data.

4. Menghentikan Operasi Instalasi

- a. Semua saklar dari komponen pelengkap dimatikan.
- b. Kemudian matikan Kompresor.
- c. Blower diturunkan posisinya secara *steady* sampai mati.
- d. Matikan saklar induk .

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.17 Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Data

4.1.1 Data Hasil Penelitian

Pada saat pengambilan data, tekanan atmosfer = 97, 325 [kPa]. Data-data yang diambil dengan melakukan variasi yaitu perlakuan dengan penambahan thermoelectric dan tidak menggunakan thermoelectric. Pengambilan data dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Siklus Teoritis Menggunakan TEC

NO	P ₁ kPa	T ₁ °C	P ₃ kPa	T ₃ °C	Q ₂ ml	T _{CON} °C	v m s ⁻¹	A ampre
1	420	3	2000	35	100	23	3.3	8.5
2	420	3	2000	35	70	23	3.4	8.5
3	420	2.9	2000	35	100	23	3.4	8.5
4	420	2.9	2000	35	80	23	3.3	8.5
5	420	3	2000	35	80	23	3.3	8.5

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Siklus Aktual Menggunakan TEC

NO	Time menit	TWA ₁ °C	TDA ₁ °C	TWA ₂ °C	TDA ₂ °C	TWB ₁ °C	TDB ₁ °C	TWB ₂ °C	TDB ₂ °C	TW _C °C	TD _C °C
1	10	29	30	29	30	24.5	26	24.5	24	6	8
2	20	29	30	29	30	25	26.5	25	26	4	7
3	30	29	31	29	31	26	27	26	27	4	7
4	40	30	31	31	31	26	27	26	27	4	7
5	50	30.5	31	30.5	31	26	27	26	27	3	6

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Siklus Aktual Tidak Menggunakan TEC

NO	P ₁ kPa	T ₁ °C	P ₃ kPa	T ₃ °C	Q ₂ ml	T _{CON} °C	v m s ⁻¹	A ampre
1	420	4.3	2000	35	90	25	3.4	8
2	420	4.3	2000	35	80	24	3.5	8
3	420	4	2000	35	60	24	3.4	8
4	420	4	2000	35	80	24	3.4	8
5	420	4	2000	35	90	24	3.4	8

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Siklus Aktual Menggunakan TEC

NO	Time menit	TWA ₁ °C	TDA ₁ °C	TWA ₂ °C	TDA ₂ °C	TWB ₁ °C	TDB ₁ °C	TWB ₂ °C	TDB ₂ °C	TW _C °C	TD _C °C
1	10	29	30	29	30	29	30	29	30	10.5	11
2	20	29	30	29	30	29	30	29	30	8	10
3	30	29	30	29	30	29	30	29	30	8	10
4	40	29	30	29	30	29	30	29	30	5.5	8
5	50	29	30	29	30	29	30	29	30	5.5	8

Keterangan :

Time = waktu yang diperlukan saat pengambilan data [menit]

T₁ = temperatur refrigeran setelah evaporator [°C]

T₃ = temperatur refrigeran setelah kondensor [°C]

p₁ = tekanan refrigeran setelah evaporator [kPa]

p₃ = tekanan refrigeran setelah kondensor [kPa]

T_{WA}¹ = temperatur udara basah masuk evaporator [°C]

T_{DA}¹ = temperatur udara kering masuk evaporator [°C]

T_{WA}² = temperatur udara basah keluar evaporator [°C]

T_{DA}² = temperatur udara kering keluar evaporator [°C]

T_{WB}¹ = temperatur udara basah keluar evaporator [°C]

T_{DB}¹ = temperatur udara kering keluar evaporator [°C]

T_{WB}² = temperatur udara basah keluar evaporator [°C]

T_{DB}² = temperatur udara kering keluar evaporator [°C]

T_{WC} = temperatur udara basah keluar evaporator [°C]

T_{DC} = temperatur udara kering keluar evaporator [°C]

T_{con} = temperatur air kondensasi [°C]

Q_{con} = debit air kondensasi [ml]

v = kecepatan udara [m s⁻¹]

Arus = arus listrik yang digunakan kompresor [A]

4.1.2 Perhitungan Data

Perhitungan data dilakukan untuk mencari nilai besaran-besaran yang diperlukan untuk menentukan unjuk kerja dari mesin pendingin. Pada penelitian ini akan ditunjukkan perhitungan antara pengujian dengan penambahan thermoelectric dan yang tidak menggunakan thermoelectric. Data yang dihitung merupakan hasil dari 5 kali

pengambilan data. Berikut ini merupakan contoh perhitungan data pada menit ke 10 dengan perlakuan tidak memakai TEC.

- a. Tekanan atmosfer saat pengambilan data $P_{\text{atm}} = 97.325$ [kPa]
- b. Temperatur udara basah sebelum melewati evaporator $TW_A = 29$ [°C]
- c. Temperatur udara kering sebelum melewati evaporator $TD_A = 30$ [°C]
- d. Temperatur udara basah setelah melewati TEC $TW_b = 29$ [°C]
- e. Temperatur udara kering setelah melewati TEC $TD_b = 30$ [°C]
- f. Temperatur udara basah setelah melewati evaporator $TW_c = 10.5$ [°C]
- g. Temperatur udara kering setelah melewati evaporator $TD_c = 11$ [°C]
- h. Temperatur air kondensasi $T_{\text{con}} = 25$ [°C]
- i. Temperatur refrigeran keluar evaporator, $T_1 = 4.3$ [°C]
- j. Temperatur refrigeran keluar kondensor, $T_3 = 35$ [°C]
- k. Tekanan refrigeran keluar evaporator, $p_1 = 420$ [kPa]
- l. Tekanan refrigeran keluar kondensor, $p_3 = 2000$ [kPa]
- m. Debit air kondensasi Q_{con} setiap 10 menit = 90 [ml]
- n. Kecepatan udara didalam duct $v = 3.4$ [m s^{-1}]
- o. Laju aliran massa refrigeran, $\dot{m} = 0.0346$ [kg/s]
- p. Kapasitas pendinginan, $Q_{\text{ref}} = 1,33$ [kJ/kg]
- q. Entalpi refrigeran pada penampang duct B, $h_B = 97,38$ [kJ/kg]
- r. Laju aliran massa refrigeran penampang duct B, $\dot{m}_b = 0.0203$ [kg/s]
- s. Entalpi refrigeran pada penampang duct C, $h_C = 31.279$ [kJ/kg]
- t. Laju aliran massa refrigeran penampang duct C, $\dot{m}_c = 0,0201$ [kg/s]
- u. Entalpi refrigeran pada air kondensat, $h_{\text{con}} = 100.59$ [kJ/kg]
- v. Laju aliran massa refrigeran pada air kondensat, $\dot{m}_{\text{con}} = 0,0002$ [kg/s]

Proses perhitungan :

1. Menentukan tekanan absolut refrigeran

$$p_0 = \frac{730}{760} \cdot 101,325$$

$$p_0 = 97,325$$

Tekanan atmosfer saat pengambilan data = 97.325 [kPa]

- a. $p_{1(\text{absolut})} = p_1 + P_{\text{atmosfer}}$
 $= 420 + 97.325$
 $= 517.325$ [kPa]

- b. $p_{3(\text{absolut})} = p_3 + P_{\text{atmosfer}}$

$$= 2000 + 97,325$$

$$= 2097.325 \text{ [kPa]}$$

Keterangan:

p_0 = Tekanan atmosfer [kPa]

p_1 = Tekanan refrigeran keluar evaporator [kPa]

p_2 = Tekanan refrigeran keluar kompresor [kPa]

$p_{1,abs}$ = Tekanan absolut refrigeran keluar evaporator [kPa]

$p_{3,abs}$ = Tekanan absolut refrigeran keluar kompresor [kPa]

- Menentukan nilai entalpi udara pada setiap penampang *duct* sebelum evaporator dan sesudah evaporator.

Dari diagram psikrometri, setiap data temperatur bola kering (T_D) dan temperatur bola basah (T_W) pada setiap penampang *duct* kita dapat mengetahui nilai entalpi udara, yaitu:

$$T_{DB} = 30^\circ \text{ C}; T_{WB} = 29^\circ \text{ C}; h_B = 97.383 \text{ [kJ/kg]}$$

$$T_{DC} = 11^\circ \text{ C}; T_{WC} = 10.5^\circ \text{ C}; h_C = 31.279 \text{ [kJ/kg]}$$

- Menentukan entalpi refrigeran teoritis.

Dari diagram *moiller* p-h R-22 kita dapat menentukan nilai entalpi refrigeran dari tekanan refrigeran keluar evaporator dan tekanan refrigeran keluar kondensor sehingga didapat:

$$h_1 = \text{entalpi refrigeran keluar evaporator} = 630 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_2 = \text{entalpi refrigeran keluar kompresor} = 662 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_3 = \text{entalpi refrigeran masuk evaporator} = 457 \text{ [kJ/kg]}$$

- Perhitungan laju massa alir refrigeran

$$\dot{m}_{ref} = \frac{P_{com}}{w}$$

Keterangan:

P_{com} = Daya kompresor [kW]

w = Kerja kompresi actual [kJ/kg]

Dengan asumsi laju volume langkah = 50 L/s dan efisiensi volumetrik = 90% maka,

$$\dot{m}_{ref} = \frac{1.76}{50.843}$$

$$\dot{m}_{ref} = 0.0346 \text{ [kg/s]}$$

- Perhitungan kerja kompresi

Kerja kompresi adalah banyaknya refrigeran yang dikompresikan kompresor setiap satuan massa refrigeran

Kerja kompresi teoritis didapatkan dengan rumus:

$$w = h_2 - h_1 \text{ [kJ/kg].}$$

Keterangan :

h_1 = entalpi refrigeran keluar evaporator [kJ/kg].

h_2 = entalpi refrigeran keluar kompresor [kJ/kg].

Sehingga:

$$w = 662 - 630$$

$$w = 32 \text{ [kJ/kg]}$$

Sedangkan kerja kompresi aktual didapatkan dengan rumus:

$$w = \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_1 \cdot [(P_2/P_1)^{k-1/k} - 1] \text{ [kJ/s]}$$

Keterangan:

K = konstanta adiabatik = 1,33

T_1 = temperatur refrigeran keluar evaporator [°C]

P_2 = tekanan refrigeran keluar kompresor [kPa]

P_1 = tekanan refrigeran masuk kompresor [kPa]

R = konstanta gas universal [kJ/kmol.K]

Berat molekul refrigerant R-22 = 86,5 [gram/mol]

Konstanta gas refrigerant, $R = 0,1884$ [kJ/kg.K]

$$w = \frac{1,33}{1,33-1} \cdot R \cdot T_1 \cdot [(P_2/P_1)^{1,33-1/1,33} - 1]$$

$$w = \frac{1,33}{1,33-1} \cdot 0,1884 \cdot 278,5 \cdot [(2000/420)^{1,33-1/1,33} - 1]$$

$$w = 50,79 \text{ [kJ/kg]}$$

6. Perhitungan kapasitas pendinginan

$$Q_{ref} = (h_B \cdot \dot{m}_B) - (h_C \cdot \dot{m}_C) - (h_{con} \cdot \dot{m}_{con}) \text{ [kJ/kg]}$$

Keterangan:

h_B = Entalpi refrigeran pada penampang duct B [kJ/kg].

$\dot{m}_B$ = Laju aliran massa refrigeran penampang duct B [kg/s]

h_C = Entalpi refrigeran pada penampang duct C [kJ/kg].

$\dot{m}_C$ = Laju aliran massa refrigeran penampang duct C [kg/s]

h_{con} = Entalpi refrigeran pada air kondensat [kJ/kg].

$\dot{m}_{con}$ = Laju aliran massa refrigeran pada air kondensat [kg/s]

Sehingga:

$$Q_{ref} = (97,383 \cdot 0,0203) - (31,279 \cdot 0,0201) - (100,59 \cdot 0,0002)$$

$$Q_{ref} = 1,3308 \text{ [kJ/kg]}$$

7. Perhitungan efek refrigerasi

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

Efek refrigerasi teoritis didapatkan dengan rumus:

$$q_e = h_1 - h_4 \text{ [kJ/kg]}$$

Keterangan:

h_1 = entalpi refrigeran keluar evaporator [kJ/kg]

h_4 = entalpi refrigeran masuk evaporator [kJ/kg]

Sehingga:

$$q_e = 630 - 457$$

$$q_e = 173 \text{ [kJ/kg]}$$

Sedangkan efek refrigerasi aktual didapatkan dengan rumus:

$$q_e = \frac{Q_{\text{ref}}}{\dot{m}_{\text{ref}}}$$

$$= \frac{1.3308}{0.0346}$$

$$q_e = 38.447 \text{ [kJ/kg]}$$

8. Perhitungan COP

COP teoritis didapatkan dengan rumus:

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Sehingga:

$$COP = \frac{630 - 457}{662 - 630}$$

$$COP = 5,44$$

Sedangkan COP actual didapatkan dengan rumus:

$$COP = \frac{q_e \text{ aktual}}{W_{\text{aktual}}}$$

$$COP = \frac{38,447}{50.8433}$$

$$COP = 0.7562$$

4.1.3 Analisis Statistik

Berdasarkan data data yang diperoleh dari hasil pengujian dilakukan analisis varian dua arah untuk mengetahui pengaruh variasi waktu (factor α) dan variasi perlakuan pemasangan TEC (factor β) serta pengaruh interaksi keduanya (factor $\alpha\beta$) terhadap unjuk kerja mesin pendingin.

Adapun hipotesis dari penulisan ini adalah sebagai berikut :

1. $H_0^1: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$ (tidak ada pengaruh waktu percobaan terhadap unjuk kerja mesin pendingin)
 H_1^1 : paling sedikit satu $\alpha_1 \neq 0$ (ada pengaruh waktu percobaan terhadap unjuk kerja mesin pendingin)
2. $H_0^2: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j$ (tidak ada pengaruh pemasangan TEC terhadap unjuk kerja mesin pendingin)
 H_1^2 : paling sedikit satu $\beta_j \neq 0$ (ada pengaruh pemasangan TEC terhadap unjuk kerja mesin pendingin)

Tabel 4.5 Data keragaman kelembaban

Waktu [menit]	Kelembaban Relatif		Jumlah Baris
	Tanpa TEC	Dengan TEC	
10	0.9433075	0.7547349	1.698042
20	0.771357	0.6241213	1.395478
30	0.771357	0.6241213	1.395478
40	0.6958184	0.6241213	1.31994
50	0.6958184	0.6094432	1.305262
Jumlah Kolom	3.8776583	3.236542	7.1142

Dari tabel 4.5 mada dapat dihitung untuk analisis varian kelembaban sebagai berikut :

- Penghitungan jumlah kuadrat antar-kolom (JK_k) :

$$JK_k = \sum_{i=0}^k \frac{T_k^2}{n_k} - \frac{T^2}{N}$$

$$JK_k = \left(\left(\frac{3.8776583^2}{5} + \frac{3.236542^2}{5} \right) - \left(\frac{7.1142^2}{10} \right) \right)$$

$$= 0.0411030076542893$$

- Penghitungan jumlah kuadrat antar-baris (*between rows sum of squares*) (JK_b)

$$JK_b = \sum_{j=0}^B \frac{T_b^2}{n_b} - \frac{T^2}{N}$$

$$JK_b = \left(\left(\frac{1.698042^2}{2} + \frac{1.395478^2}{2} + \frac{1.395478^2}{2} + \frac{1.31994^2}{2} + \frac{1.305262^2}{2} \right) - \left(\frac{7.1142^2}{10} \right) \right)$$

$$= 0.0508234284836915$$

- Penghitungan jumlah kuadrat keseluruhan (JK_t)

$$JK_t = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^b X_{bk}^2 - \frac{T^2}{N}$$

$$JK_t = (0.9433075^2 + 0.7547349^2 + 0.771357^2 + 0.6241213^2 + 0.771357^2 + 0.6241213^2 + 0.6958184^2 + 0.6241213^2 + 0.6958184^2 + 0.6094432^2) - \left(\frac{7.1142^2}{10} \right) = 0.0965821666075266$$

- Penghitungan jumlah kuadrat kesalahan (galat atau *error*)

$$JKe = JK_t - (JK_k + JK_b)$$

$$JKe = 0.0965821666075266 - (0.0411030076542893 + 0.0508234284836915) = 0.00465573046954582$$

- Penghitungan derajat bebas (*degree of freedom*)

- a. Derajat bebas kolom (db_k)

$$db_k = k - 1$$

di mana: k adalah jumlah kolom.

$$\text{Jadi, } db_k = 2 - 1 = 1$$

- b. Derajat bebas baris (db_b)

$$db_b = b - 1$$

di mana: b adalah jumlah baris.

$$\text{Jadi, } db_b = 5 - 1 = 4$$

- c. Derajat bebas galat/error (db_e)

$$Db_e = (b - 1)(k - 1)$$

$$\text{Jadi, } db_e = 4 - 1 = 4$$

- d. Derajat bebas keseluruhan (db_t)

$$Db_t = N - 1$$

di mana: N adalah jumlah semua data

$$\text{Jadi, } db_t = 10 - 1 = 9$$

- Penghitungan kuadrat rata-rata (*mean of squares*)

- a. Kuadrat rata-rata kolom (KR_k)

$$KR_k = \frac{JK_k}{db_k}$$

$$KR_k = \frac{0.0411030076542893}{1}$$

$$= 0.0411030076542893$$

- b. Kuadrat rata-rata baris (KR_b)

$$KR_b = \frac{JK_b}{db_b}$$

$$KR_b = \frac{0.0508234284836915}{4}$$

$$= 0.0127058571209229$$

- c. Kuadrat rata-rata galat(error) (KR_e)

$$KR_e = \frac{JK_e}{db_e}$$

$$KR_e = \frac{0.00465573046954582}{4}$$

$$= 0.00116393261738645$$

- Penghitungan Rasio F atau F-hitung

- a. F-hitung kolom ($F-h_k$)

$$F - h_k = \frac{KR_k}{KR_e}$$

$$F - h_k = \frac{0.0411030076542893}{0.00116393261738645}$$

$$= 35.3139065271526$$

- b. F-hitung baris ($F-h_b$)

$$F - h_b = \frac{KR_b}{KR_e}$$

$$F - h_b = \frac{0.0127058571209229}{0.00116393261738645}$$

$$= 10.9163167447383$$

- Penentuan Ratio F kritik atau F-tabel

- a. F- tabel untuk kolom ($F-t_k$)

$F-t_k$ pada $db_k = 2$ dan $db_e = 4$ dan pada tingkat signifikansi (α) 0,05 adalah (dari tabel distribusi F) = 7.71

- b. F- tabel untuk kolom ($F-t_b$)

$F-t_b$ pada $db_b = 4$ dan $db_e = 4$ dan pada tingkat signifikansi (α) 0,05 adalah (dari tabel distribusi F) = 6.39

4.1.3.1 Analisis Varian untuk Kelembaban

Dari perhitungan statistik didapatkan tabel analisis varian sebagai berikut:

Tabel 4.6 Analisis Varian Kelembaban

Sumber Varian	JK _k	db	KR _k	F _{hitung}	F _{α,5%}
Waktu Percobaan	0.0411	1	0.0411	35.3139	7.71
Pemasangan TEC	0.0508	4	0.0127	10.9163	6.39
error	0.0011	4	0.0011		
Total	0.0965	9			

Dari tabel anova diatas terlihat bahwa masing masing nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hal ini berarti bahwa H_0^1 dan H_0^2 ditolak dan H_1^1 dan H_1^2 diterima. Artinya bahwa waktu lama percobaan dan variasi pemasangan TEC mempunyai pengaruh yang nyata pada kelembaban dengan tingkat keyakinan 95%. Dari table 4.6 dapat dilihat juga nilai signifikan dari variasi pemasangan TEC dan tidak menggunakan TEC adalah 0.041 dan nilai $\alpha < 0.05$ sehigga signifikan.

4.1.3.2 Analisis Varian untuk Temperatur

Dari perhitungan statistik didapatkan tabel analisis varian sebagai berikut :

Tabel 4.7 Analisis Varian temperatur

Sumber Varian	JK _k	db	KR _k	F _{hitung}	F _{α,5%}
Waktu Percobaan	12.1	1	12.1	34.571	7.71
Pemasangan TEC	8.6	4	2.15	6.4429	6.39
error	1.4	4	0.35		
Total	22.1	9			

Dari tabel anova diatas terlihat bahwa masing masing nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hal ini berarti bahwa H_0^1 dan H_0^2 ditolak dan H_1^1 dan H_1^2 diterima. Artinya bahwa waktu lama percobaan dan variasi pemasangan TEC mempunyai pengaruh yang nyata pada temperatur dengan tingkat keyakinan 95%. Dari table 4.7 dapat dilihat juga nilai signifikan dari variasi pemasangan TEC dan tidak menggunakan TEC adalah 0.014 dan nilai $\alpha < 0.05$ sehigga signifikan.

4.1.3.3 Analisis Varian untuk COP Aktual

Dari perhitungan statistik didapatkan tabel analisis varian sebagai berikut :

Tabel 4.8 Analisis Varian COP Aktual

Sumber Varian	JK _k	db	KR _k	F _{hitung}	F _{α,5%}
Waktu Percobaan	0.0716	1	0.0716	103.1249	7.71
Pemasangan TEC	0.0247	4	0.0062	8.9241	6.39
error	0.0027	4	0.0007		
Total	0.099	9			

Dari tabel anova diatas terlihat bahwa masing masing nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hal ini berarti bahwa H_0^1 dan H_0^2 ditolak dan H_1^1 dan H_1^2 diterima. Artinya bahwa waktu lama percobaan dan variasi pemasangan TEC mempunyai pengaruh yang nyata pada COP Aktual dengan tingkat keyakinan 95%. Dari table 4.8 dapat dilihat juga nilai signifikan dari variasi pemasangan TEC dan tidak menggunakan TEC adalah 0.002 dan nilai $\alpha < 0.05$ sehigga signifikan.

4.1.3.4 Analisis Varian untuk COP Ideal

Dari perhitungan statistik didapatkan tabel analisis varian sebagai berikut :

Tabel 4.9 Analisis Varian COP Ideal

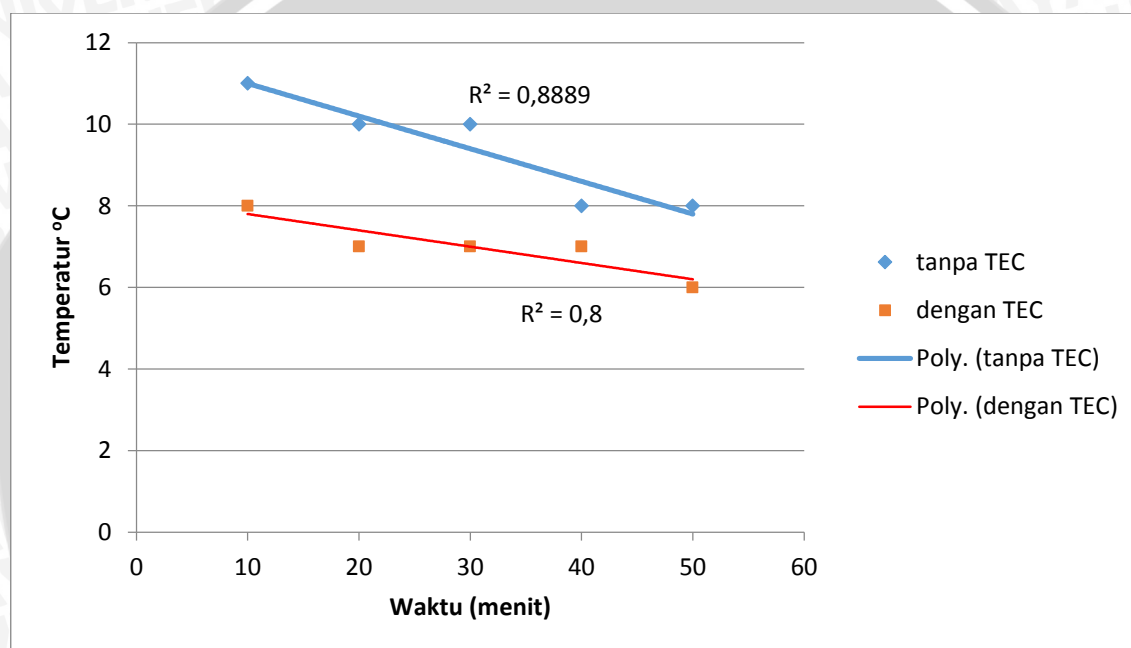
Sumber Varian	JK _k	db	KR _k	F _{hitung}	F _{α,5%}
Waktu Percobaan	0.5745	1	0.5746	640.820	7.71
Pemasangan TEC	0.0007	4	0.0002	22.30	6.39
error	0.0035	4	0.0009		
Total	0.5861	9			

Dari tabel anova diatas terlihat bahwa masing masing nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hal ini berarti bahwa H_0^1 dan H_0^2 ditolak dan H_1^1 dan H_1^2 diterima. Artinya bahwa waktu lama percobaan dan variasi pemasangan TEC mempunyai pengaruh yang nyata pada COP Ideal dengan tingkat keyakinan 95%. Dari table 4.9 dapat dilihat juga nilai signifikan dari variasi pemasangan TEC dan tidak menggunakan TEC adalah 0.000 dan nilai $\alpha < 0.05$ sehigga signifikan.

4.2. Hasil dan Pembahasan

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah penggunaan thermoelectric dan yang tidak menggunakan thermoelectric terhadap waktu lama pengambilan data . Perlakuan ini dilakukan untuk pengujian unjuk kerja mesin pendingin, diantaranya temperatur, kelembaban relatif dan COP.

4.2.1 Variasi Temperatur Penggunaan TEC Dan Tidak Menggunakan TEC Terhadap Waktu

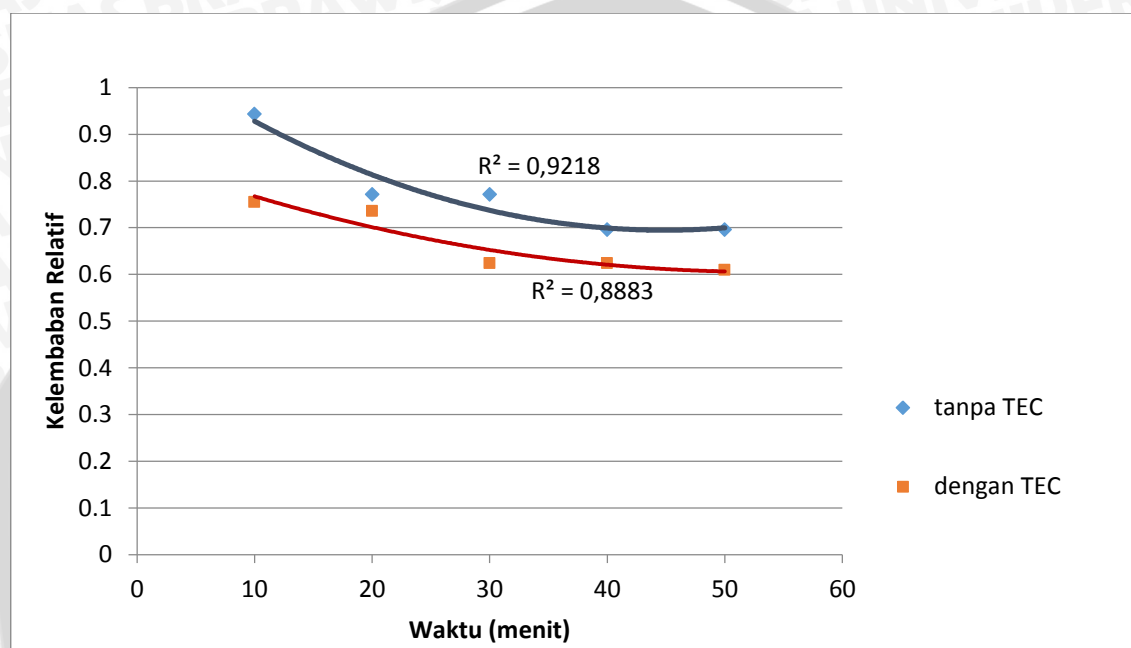


Gambar 4.1 Grafik hubungan temperatur Penggunaan TEC dan tidak Menggunakan TEC terhadap waktu

Grafik diatas merupakan grafik temperatur terhadap waktu dari alat dengan penambahan TEC dan tidak menggunakan TEC , terlihat bahwa ada kecendrungan dengan semakin lama pemakaian TEC akan terjadi penurunan nilai keluaran suhu evaporator dan nilai suhu pemakaian TEC lebih rendah dibanding yang tidak menggunakan TEC. Terlihat bahwa suhu maksimum dari kedua data terletak pada menit pertama dengan suhu yang menggunakan TEC lebih rendah yaitu 8°C, sedangkan yang tidak menggunakan TEC lebih tinggi yaitu 11°C, dan suhu paling minimum pada kedua data sama terletak pada menit terakhir yaitu pada menit ke – 50 dengan suhu yang menggunakan TEC lebih rendah yaitu 6°C, sedangkan yang tidak menggunakan TEC lebih tinggi yaitu 8°C. Hal ini disebabkan pemakaian TEC menyebabkan suhu masuk

evaporator lebih rendah dibanding dengan yang tidak menggunakan TEC, sehingga beban pendinginan yang diserap evaporator lebih rendah, sehingga memungkinkan untuk menghasilkan suhu yang lebih rendah di temperatur keluar evaporator.

4.2.2 Variasi Kelembaban Penggunaan TEC Dan Tidak Menggunakan TEC Terhadap Waktu

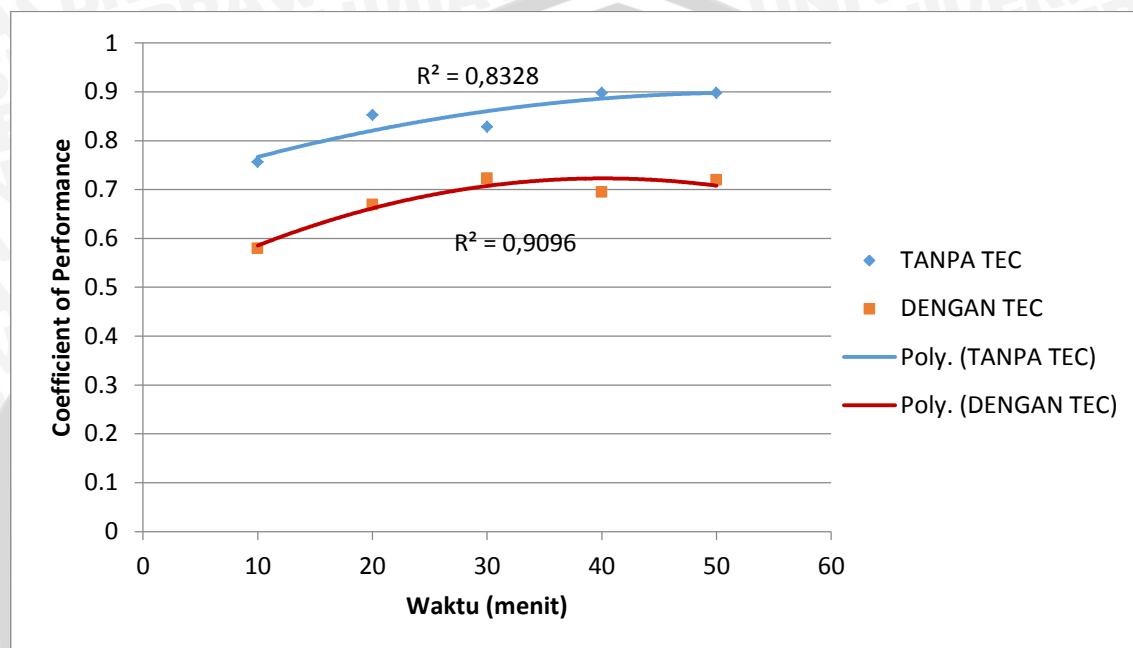


Gambar 4.2 Grafik hubungan kelembaban Penggunaan TEC dan tidak Menggunakan TEC terhadap waktu.

Grafik diatas adalah grafik hubungan antara kelembaban relative terhadap waktu. terlihat bahwa ada kecendrungan dengan semakin lama pemakaian TEC dan tidak memakai TEC akan terjadi penurunan nilai kelembaban relative dengan nilai kelembaban pemakaian TEC lebih rendah dibanding yang tidak menggunakan TEC. Terlihat bahwa kelembaban maksimum dari kedua data terletak pada menit pertama dengan kelembaban yang menggunakan TEC lebih rendah yaitu 75.4%, sedangkan yang tidak menggunakan TEC lebih tinggi yaitu 94.33%, dan kelembaban paling minimum pada kedua data sama terletak pada menit terakhir yaitu pada menit ke – 50 dengan kelembaban yang menggunakan TEC lebih rendah yaitu 60.9%, sedangkan yang tidak menggunakan TEC lebih tinggi yaitu 69.58%. Hal ini disebabkan perlakuan dengan menggunakan TEC membuat suhu udara turun sebelum masuk evaporator, sehingga nilai wet bulb dan dry bulb menjadi turun, yang mengakibatkan rasio tersebut

menghasilkan nilai kelembapan relative yang turun, hal ini tentu membuat udara keluaran evaporator akan semakin kering.

4.2.3 Variasi COP Aktual Penggunaan TEC Dan Tidak Menggunakan TEC Terhadap Waktu



Gambar 4.3 Grafik hubungan COP aktual Penggunaan TEC dan tidak Menggunakan TEC terhadap waktu.

Grafik diatas adalah grafik perubahan COP actual terhadap waktu, terjadi kecenderungan bahwa penggunaan TEC menghasilkan nilai COP yang lebih kecil dibanding dengan yang tidak menggunakan TEC. Selain itu terlihat juga bahwa dari menit ke 10 sampai menit ke 50 kedua grafik menunjukkan kecenderungan semakin meningkat. Untuk nilai COP paling rendah sama terletak pada menit ke 10 dimana penggunaan TEC menghasilkan nilai sebesar 0.579 dan yang tidak menggunakan TEC sebesar 0.756, dan untuk nilai COP paling tinggi pada penggunaan TEC terletak pada menit ke 30 dengan nilai COP sebesar 0.722 sedangkan pada alat yang tidak menggunakan TEC, COP tertinggi terletak pada menit ke 40 dan 50 dengan nilai COP sebesar 0.897. Hal ini disebabkan semakin lama waktu kompresor bekerja, maka arus listrik yang diperlukan kompresor mengalami peningkatan. Peningkatan konsumsi arus listrik tersebut diikuti dengan kenaikan massa alir refrigerant sesuai dengan rumus:

$$\dot{m}_{\text{ref}} = \frac{P_{\text{com}}}{w}$$

Keterangan:

P_{com} = Daya kompresor [kW]

w = Kerja kompresi actual [kJ/s]

Kenaikan massa alir refrigeran tersebut menyebabkan efek regrigerasi semakin menurun, sesuai dengan rumus

$$q_e = \frac{Q_{\text{ref}}}{\dot{m}_{\text{ref}}}$$

Keterangan:

Q_{ref} = Kapasitas pendinginan [kW]

$\dot{m}_{\text{ref}}$ = Massa alir refrigerant [kg.s⁻¹]

Dari penurunan nilai efek refrigerasi sesuai rumus diatas akan menyebabkan nilai COP aktual juga mengalami penurunan sesuai dengan rumus

$$COP = \frac{q_e \text{ aktual}}{w_{\text{aktual}}}$$

Bentuk grafik tanpa penggunaan TEC dipengaruhi oleh besar arus listrik yang dikonsumsi kompresor dan mengecilnya nilai kerja kompresi aktual yang dipengaruhi temperatur T1 yang lebih rendah dibandingkan tanpa menggunakan TEC sesuai dengan rumus:

$$w = \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_1 \cdot [(P_2/P_1)^{k-1/k} - 1] \quad [\text{kJ/s}]$$

Keterangan:

K = konstanta adiabatik = 1,33

T_1 = temperatur refrigeran keluar evaporator [°C]

P_2 = tekanan refrigeran keluar kompresor [kPa]

P_1 = tekanan refrigeran masuk kompresor [kPa]

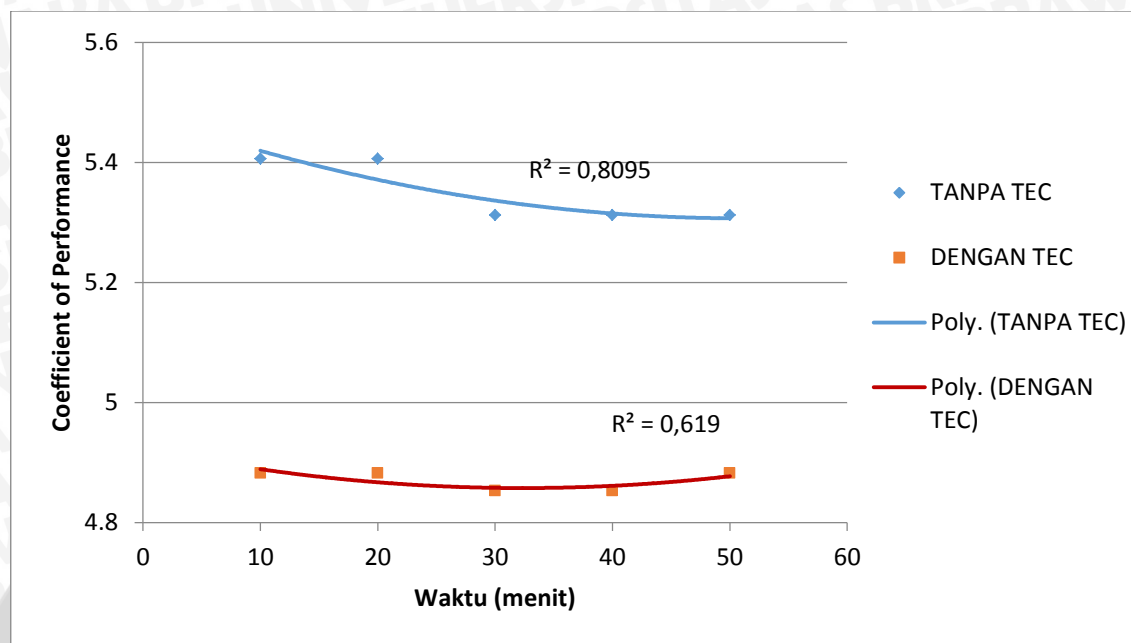
R = konstanta gas universal [kJ/kmol.K]

Berat molekul refrigerant R-22 = 86,5 [gram/mol]

Konstanta gas refrigerant, $R = 0,1884$ [kJ/kg.K]

Dari kedua grafik tersebut terlihat bahwa penggunaan TEC juga menurunkan nilai COP aktual, sehingga grafik COP yang menggunakan TEC selalu berada di bawah nilai COP yang tidak menggunakan TEC. Hal tersebut dikarenakan penggunaan TEC menurunkan nilai kerja kompresi yang dipengaruhi oleh turunnya nilai T1 (temperatur refrigerant keluar evaporator).

4.2.4 Variasi COP Teoritis Penggunaan TEC Dan Tidak Menggunakan TEC Terhadap Waktu



Gambar 4.4 Grafik hubungan COP teoritis Penggunaan TEC dan tidak Menggunakan TEC terhadap waktu.

Grafik diatas adalah grafik perubahan COP teoritis terhadap waktu, terjadi kecenderungan bahwa penggunaan TEC menghasilkan nilai COP yang lebih kecil dibanding dengan yang tidak menggunakan TEC. Selain itu terlihat juga bahwa dari menit ke 10 sampai menit ke 50 kedua grafik menunjukkan kecenderungan semakin menurun. Untuk nilai COP paling rendah pada alat yang penggunaan TEC terletak pada menit ke 30 dan 40 dengan nilai COP sebesar 4.85 dan yang tidak menggunakan TEC terletak pada menit ke 30, 40 dan 50 dengan nilai COP sebesar 5.31, dan untuk nilai COP paling tinggi pada penggunaan TEC terletak pada menit ke 10, 20 dan 50 dengan nilai COP sebesar 4.88 sedangkan pada alat yang tidak menggunakan TEC COP tertinggi terletak pada menit ke 10 dan 20 dengan nilai COP sebesar 5,4. Hal ini disebabkan oleh temperatur keluar evaporator (T_1) yang juga mengalami penurunan dan kenaikan sehingga mempengaruhi nilai entalpi pada titik 1 (h_1) dan 2 (h_2) sesuai dengan rumus:

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

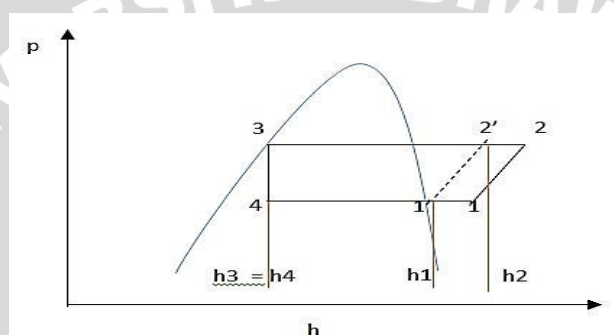
Keterangan:

h_1 = entalpi refrigeran keluar evaporator [kJ/kg.K]

h_2 = entalpi refrigeran keluar kompresor [kJ/kg.K]

h_4 = entalpi refrigeran masuk evaporator [kJ/kg.K]

Dari kedua grafik tersebut terlihat bahwa grafik yang paling rendah adalah grafik yang menggunakan TEC, hal tersebut dikarenakan suhu refrigerant keluaran evaporator (T_1) bernilai lebih rendah dibandingkan yang tidak menggunakan TEC sehingga nilai entalpi (h_1) dan (h_2) menjadi lebih rendah. Sesuai dengan rumus COP teoritis, bila nilai h_1 dan h_2 mengalami pergeseran kesebalah kiri dari titik 1 dan 2 ke titik 1' dan 2', seperti pada gambar akan semakin memperkecil nilai kapasitas pendinginan (h_1-h_4) sehingga nilai COP semakin kecil.



Gambar 4.5 Diagram Penunjukan penurunan COP akibat penambahan TEC

4.2.5 Hubungan Kapasitas Pendinginan Dengan COP Terhadap Waktu

Tabel 4.10 Data Hasil Pengujian COP Teoritis Dan Kapasitas Pendinginan Teoritis

waktu	Kapasitas pendinginan teoritis		COP teoritis	
	Tanpa TEC	Dengan TEC	Tanpa TEC	dengan TEC
10	173	166	5.406	4.882
20	173	166	5.406	4.882
30	170	165	5.313	4.853
40	170	165	5.313	4.853
50	170	166	5.313	4.882

Tabel 4.11 Data Hasil Pengujian COP Aktual Dan Kapasitas Pendinginan Aktual

Waktu [menit]	Kapasitas pendinginan aktual		COP aktual	
	Tanpa TEC	Dengan TEC	Tanpa TEC	Dengan TEC
10	1.331	1.083	0.756	0.579
20	1.500	1.256	0.852	0.672
30	1.457	1.352	0.828	0.723
40	1.580	1.299	0.897	0.695
50	1.580	1.345	0.897	0.719

Dari tabel 4.10 dan 4.11 dapat dilihat hubungan antara kapasitas pendinginan dan COP terhadap waktu pada alat yang menggunakan TEC dan alat yang tidak menggunakan TEC. Dari tabel dapat dilihat nilai COP pada alat yang menggunakan TEC memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas pendinginan tanpa TEC. COP sendiri dipengaruhi oleh kapasitas pendinginan dimana semakin besar nilai kapasitas pendinginan maka nilai COP juga akan semakin besar. Dari tabel juga bisa dilihat nilai kapasitas pendinginan dari alat yang menggunakan TEC lebih kecil dari pada alat yang tanpa menggunakan TEC, hal tersebut disebabkan karena nilai kalor yang akan melewati evaporator lebih dahulu mengalami pengurangan akibat diserap oleh TEC karena temperatur TEC lebih rendah dari pada temperatur udara yang melewati TEC.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian tentang pengaruh pemasangan TEC sebagai precooler dengan refrigeran R-22 dapat disimpulkan berikut :

- Pemasangan thermoelectric dapat mengurangi kelembaban relative dan temperatur udara sebelum masuk evaporator.
- Pemasangan TEC mempengaruhi nilai COP dan menyebabkan penurunan nilai COP pada perlakuan penggunaan TEC
- Pemasangan TEC membuat beban pendinginan evaporator lebih rendah sehingga kapasitas pendinginan lebih kecil, tetapi hasil udara keluar evaporator lebih rendah baik COP, suhu, dan kelembapan relatifnya dibanding dengan yang tidak menggunakan perlakuan TEC

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan:

1. Pengujian dengan penambahan variasi massa refrigeran untuk mengetahui kerja optimal mesin pendingin.
2. Penambahan *sight glass* disetiap titik pada instalasi mesin pendingin agar fase refrigeran yang melewati tiap komponen dapat terlihat.
3. Pemeriksaan kebocoran pipa harus dilakukan sebelum melakukan pengambilan data.
4. Meneliti tentang pengaruh luasan TEC terhadap suhu dan kelembapan relatif sesudah melewati evaporator.
5. Menganalisis proses perpindahan panas yang terjadi pada TEC
6. Peletakan kondensor pada instalasi alat seharusnya berada diluar ruangan

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, W. & Saito, H.; 2002: *Penyegaran Udara*; P.T. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Cengel, Yunus A.; 2009: *Heat Transfer Practical Approach*; Mc. Grow Hill Ltd, New York.
- Mohanraj, M., et.all. ; 2009 :. *Environment Friendly Alternative to Halogenated Refrigerants-A Review*, www.elsevier.com/locate/ijggc, International Journal of Greenhouse Gas Control 3 108-119.
- P. J. Patil 2013 *Review on Thermoelectric Devices* , International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering (Volume 3, Issue 10, October 2013)
- Sterling, E.M., A. Arundel, T.D. Sterling. 1985. "Criteria for human exposure to humidity in occupied buildings." *ASHRAE Transactions*, Vol. 91, Part 1B, pp. 611-622
- Stoecker, W. F. & Jones, J. W.; 1996: *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*; Terj. Supratman Hara; Erlangga, Jakarta.
- Swapnil S. Khode 2015 *Review on Application of Thermoelectric Peltier Module in cooling and power generating Technology*, International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR) ISSN: 2321-0869



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN



Lampiran 1

Tabel Kompresi Aktual

WAKTU	TANPA TEC		DENGAN TEC	
(MENIT)				
10	50,79772	Kj/Kg	50,55958	Kj/Kg
20	50,79772	Kj/Kg	50,55958	Kj/Kg
30	50,74276	Kj/Kg	50,54126	Kj/Kg
40	50,74276	Kj/Kg	50,54126	Kj/Kg
50	50,74276	Kj/Kg	50,55958	Kj/Kg

Tabel Daya Kompresor

WAKTU	TANPA TEC		DENGAN TEC	
(MENIT)				
10	1,76	Kw	1,87	Kw
20	1,76	Kw	1,87	Kw
30	1,76	Kw	1,87	Kw
40	1,76	Kw	1,87	Kw
50	1,76	Kw	1,87	Kw

Tabel Massa Alir Refrigeran

WAKTU	TANPA TEC		DENGAN TEC	
(MENIT)				
10	0,034647	Kg/S	0,036986	Kg/S
20	0,034647	Kg/S	0,036986	Kg/S
30	0,034685	Kg/S	0,036999	Kg/S
40	0,034685	Kg/S	0,036999	Kg/S
50	0,034685	Kg/S	0,036986	Kg/S

Tabel Volume Spesifik Udara

WAKTU	TANPA TEC		DENGAN TEC	
(MENIT)				
10	0,848885	M ³	0,836198	M ³
20	0,843348	M ³	0,831639	M ³
30	0,843348	M ³	0,831639	M ³
40	0,835652	M ³	0,831639	M ³
50	0,835652	M ³	0,828196	M ³

Tabel Massa Alir Udara Pada Penampang C

WAKTU (MENIT)	TANPA TEC		DENGAN TEC	
10	0,020141	Kg/S	0,019845	Kg/S
20	0,020869	Kg/S	0,020558	Kg/S
30	0,020273	Kg/S	0,020558	Kg/S
40	0,02046	Kg/S	0,019954	Kg/S
50	0,02046	Kg/S	0,020037	Kg/S

Tabel Massa Alir Kondensasi

WAKTU (MENIT)	TANPA TEC		DENGAN TEC	
10	0,00015	Kg/S	0,000167	Kg/S
20	0,000133	Kg/S	0,000117	Kg/S
30	0,0001	Kg/S	0,000167	Kg/S
40	0,000133	Kg/S	0,000133	Kg/S
50	0,00015	Kg/S	0,000133	Kg/S

Tabel Massa Alir Penampang B

WAKTU (MENIT)	TANPA TEC		DENGAN TEC	
10	0,020291	Kg/S	0,020012	Kg/S
20	0,021003	Kg/S	0,020675	Kg/S
30	0,020373	Kg/S	0,020725	Kg/S
40	0,020593	Kg/S	0,020087	Kg/S
50	0,02061	Kg/S	0,02017	Kg/S

Tabel Entalpi Kondensasi

WAKTU (MENIT)	TANPA TEC		DENGAN TEC	
10	100,59	Kj/Kg	104,89	Kj/Kg
20	100,59	Kj/Kg	104,89	Kj/Kg
30	100,59	Kj/Kg	104,89	Kj/Kg
40	100,59	Kj/Kg	104,89	Kj/Kg
50	100,59	Kj/Kg	104,89	Kj/Kg

Tabel Kapasitas Pendinginan

WAKTU (MENIT)	TANPA TEC		DENGAN TEC	
10	1,330888	Kw	1,08305	Kw
20	1,500257	Kw	1,25099	Kw
30	1,457487	Kw	1,35182	Kw
40	1,579562	Kw	1,299242	Kw
50	1,579509	Kw	1,345261	Kw

Tabel Efek Refirgerasi

WAKTU (MENIT)	TANPA TEC		DENGAN TEC	
10	38,41255	Kj/Kg	Kj/Kg	29,28264
20	43,30092	Kj/Kg	Kj/Kg	33,82329
30	42,02097	Kj/Kg	Kj/Kg	36,5362
40	45,54054	Kj/Kg	Kj/Kg	35,11514
50	45,539	Kj/Kg	Kj/Kg	36,37211

Tabel COP Aktual

WAKTU (MENIT)	TANPA TEC	DENGAN TEC
10	0,756186556	0,579170906
20	0,852418577	0,668978859
30	0,82811756	0,722898412
40	0,897478524	0,694781726
50	0,897448153	0,719391125

Tabel Hasil Perhitungan Enthalpi TANPA TEC

Waktu (MENIT)	H1	H2	H3	H4
10	630	662	457	457
20	630	662	457	457
30	627	659	457	457
40	627	659	457	457
50	627	659	457	457

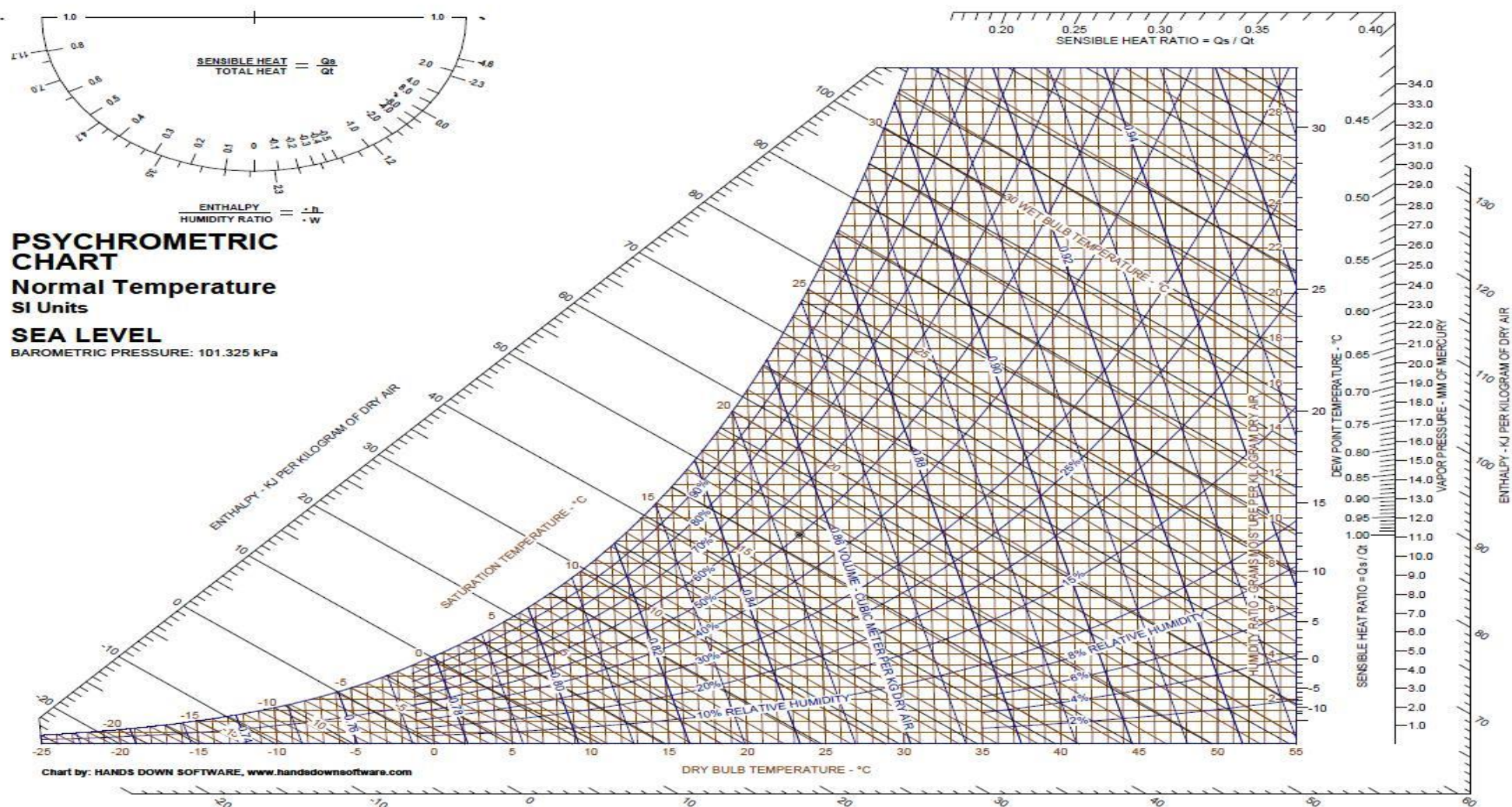
Tabel Hasil Perhitungan Enthalpi Dengan TEC

Waktu (MENIT)	H1	H2	H3	H4
10	623	657	457	457
20	623	657	457	457
30	622	656	457	457
40	622	656	457	457
50	623	657	457	457

Tabel COP Ideal

WAKTU (MENIT)	TANPA TEC	DENGAN TEC
10	5,40625	4,882352941
20	5,40625	4,882352941
30	5,3125	4,852941176
40	5,3125	4,852941176
50	5,3125	4,882352941

Lampiran 2



Lampiran 3

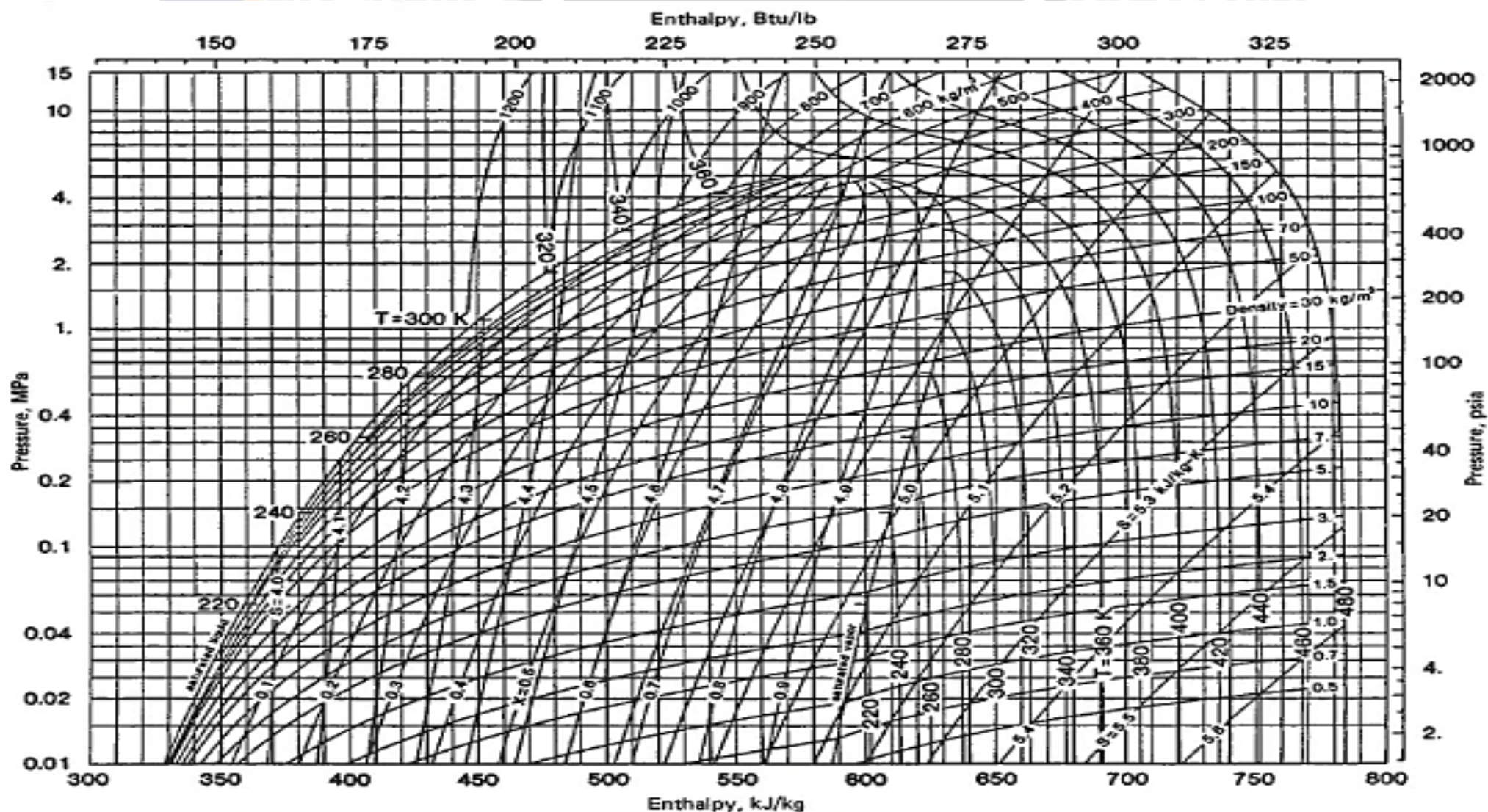
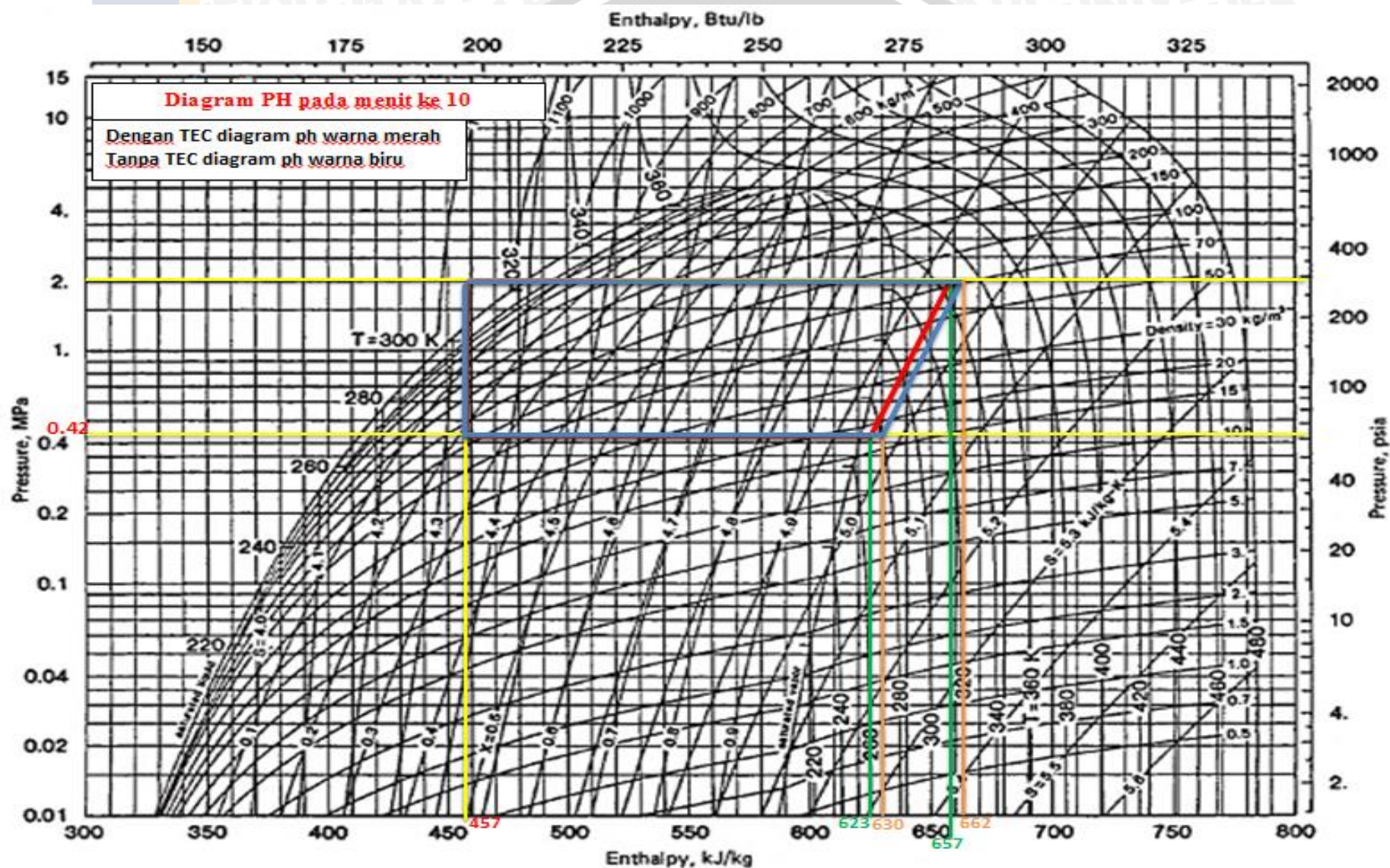
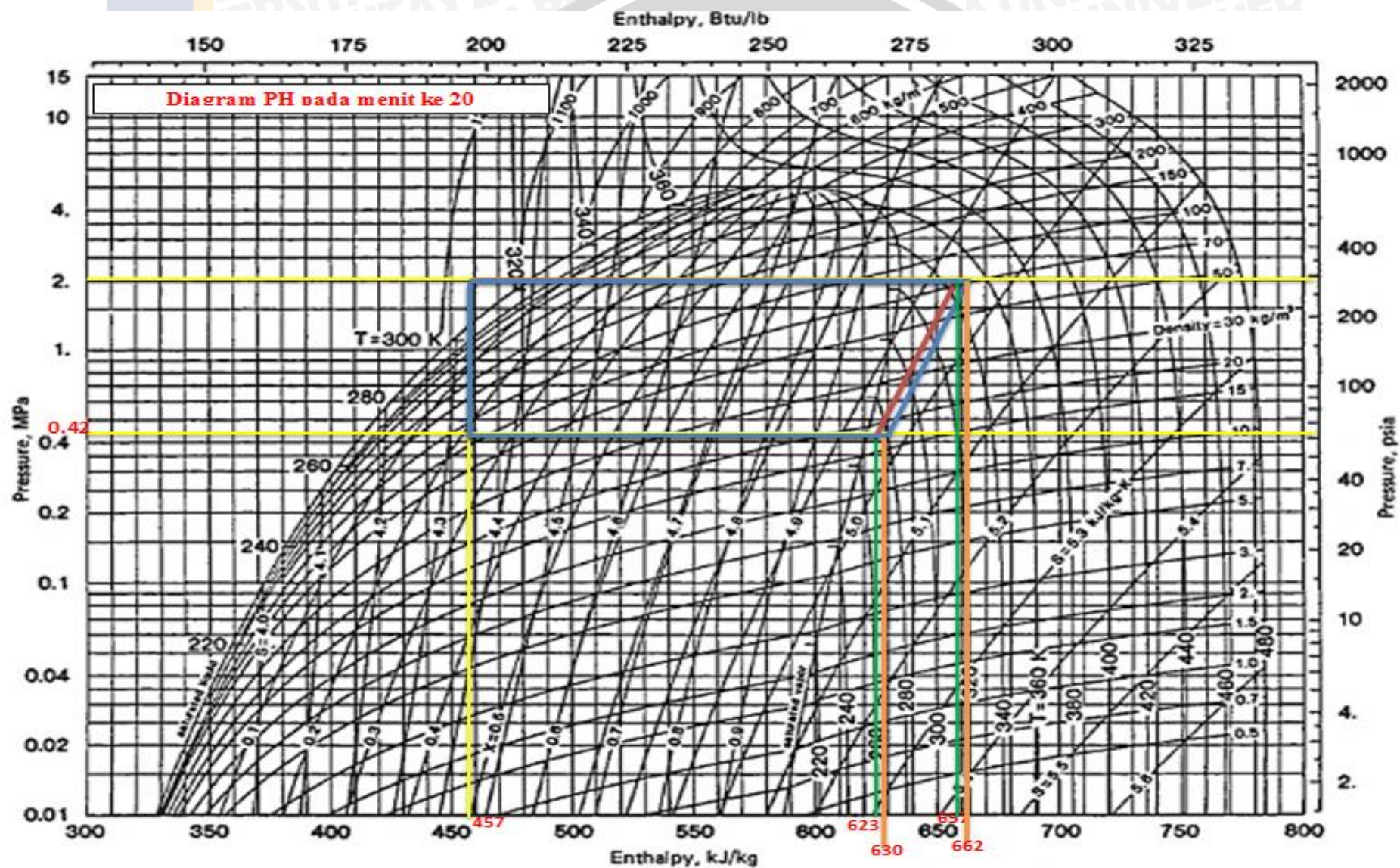
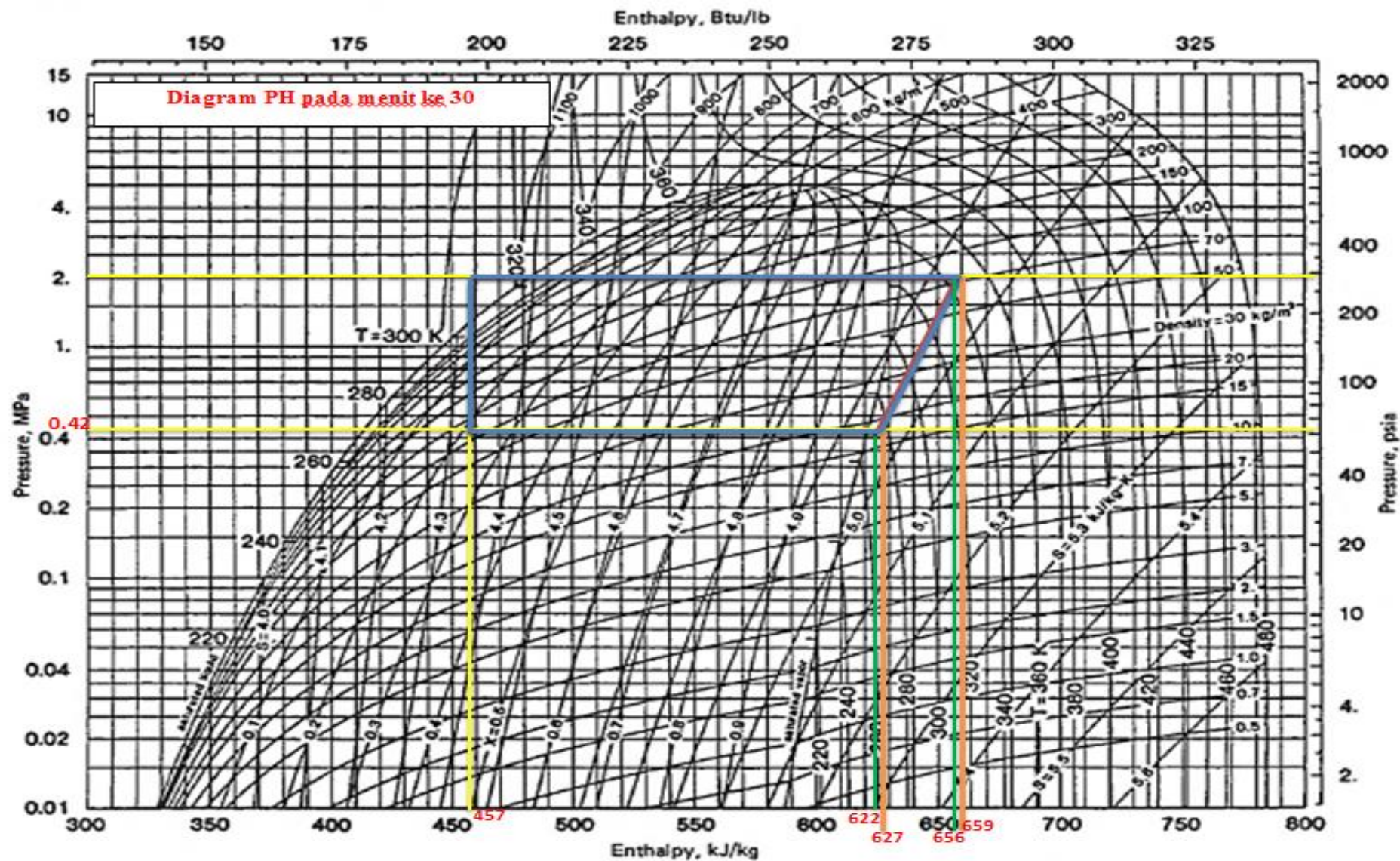
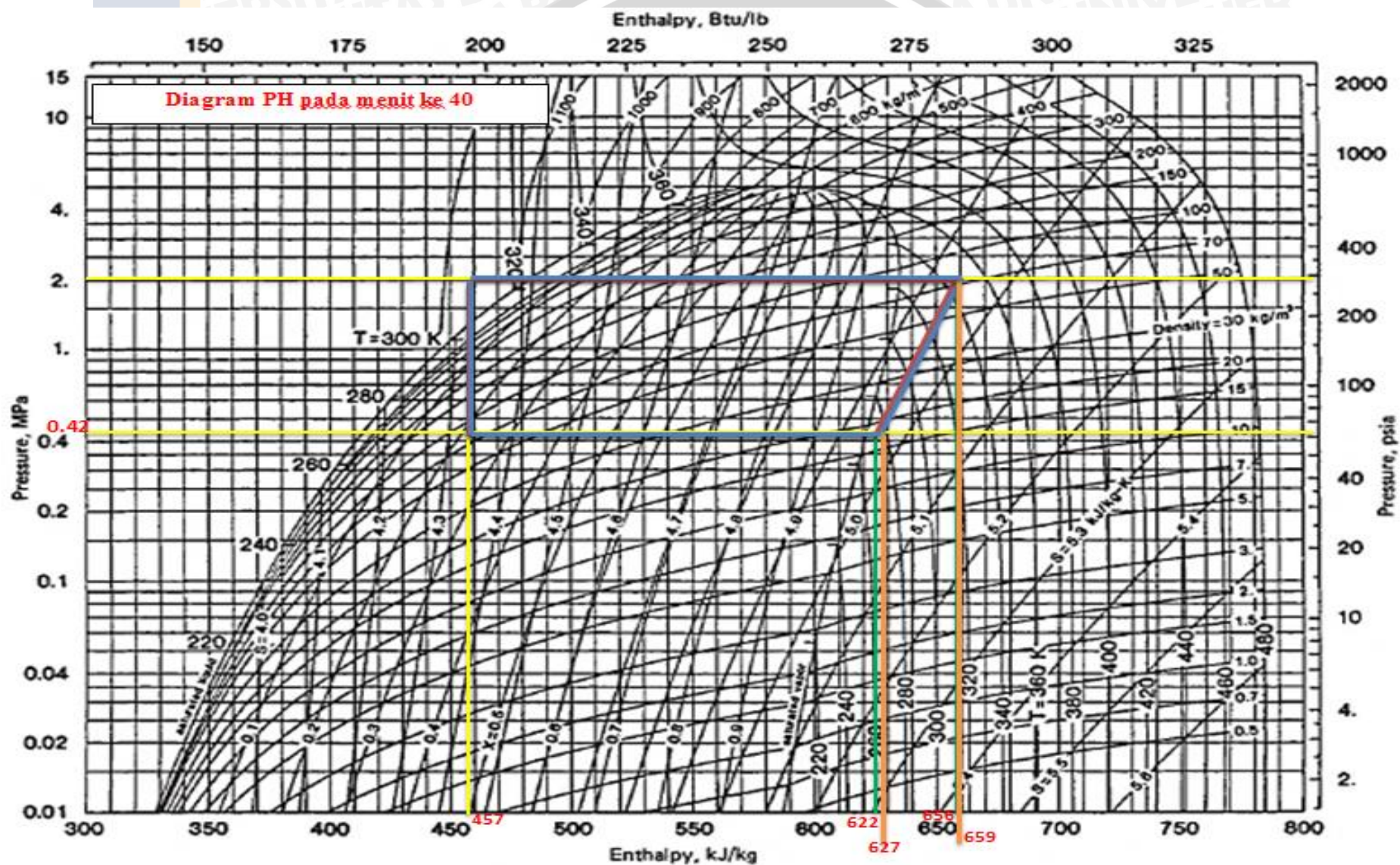


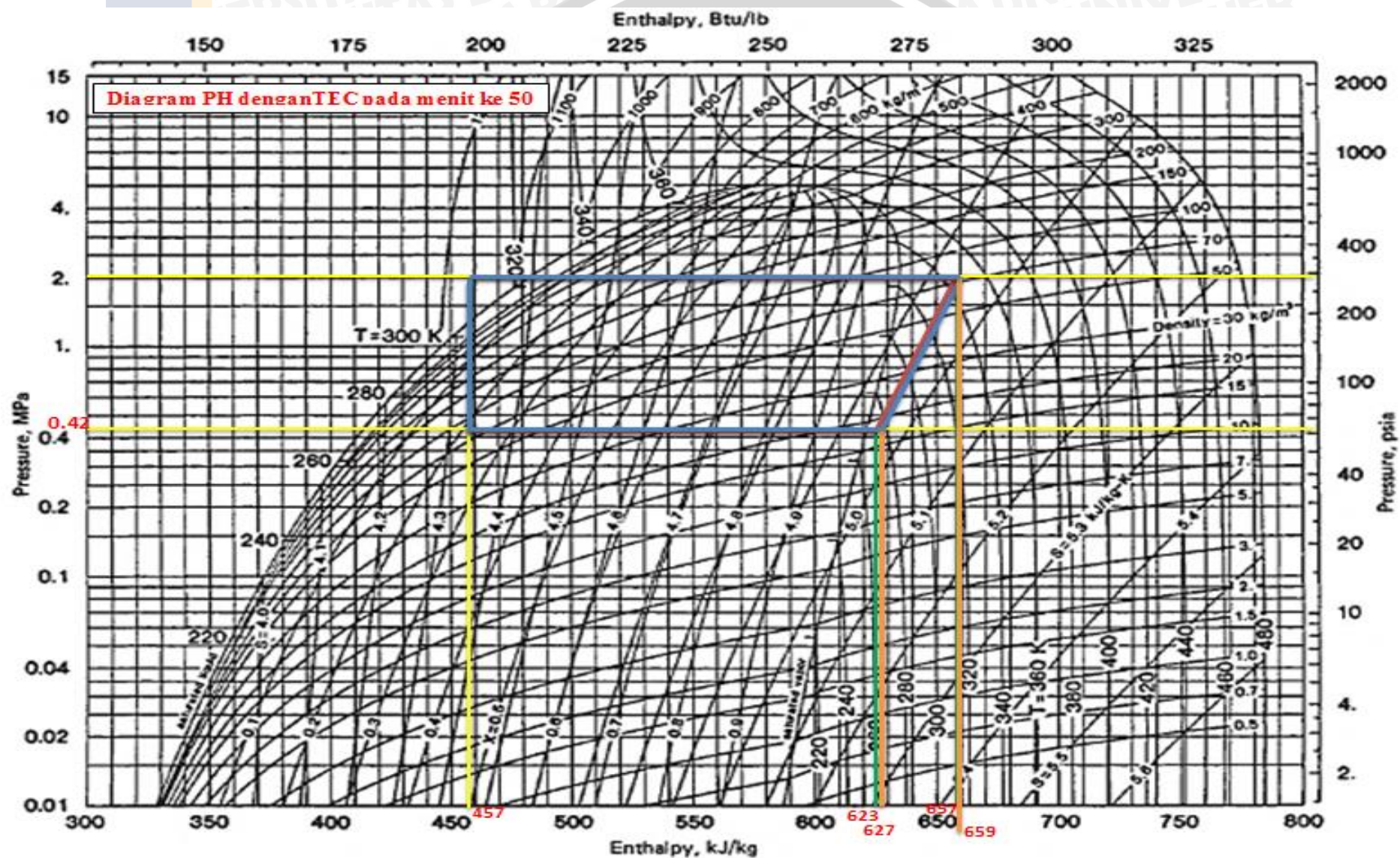
FIG. 2-20 Enthalpy-log-pressure diagram for Refrigerant 22. 1 MPa = 10 bar. (Copyright 1981 by the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers and reproduced by permission of the copyright owner.)











Lampiran 4

Tabel Hasil Uji Signifikasi

Signifikasi Kelembaban

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	1.033	.062		16.729	.000
1 waktu	-.004	.001	-.620	-3.755	.007
metode	-.128	.032	-.652	-3.954	.006

Signifikasi Temperatur

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	13.550	.567		23.913	.000
1 waktu	-.065	.011	-.618	-6.177	.000
metode	-2.200	.298	-.740	-7.392	.000

Signifikasi COP Aktual

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	.921	.039		23.368	.000
1 waktu	.003	.001	.450	4.332	.003
metode	-.169	.021	-.850	-8.182	.000

Signifikasi COP Ideal

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	5.876	.037		157.034	.000
1 waktu	-.002	.001	-.091	-2.235	.006
metode	-.479	.020	-.990	-24.393	.000

Lampiran 5

Tabel Nilai Titik Distribusi F

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89