

**UJI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENGGUNAAN REFRIGERAN
R22, R134a, DAN CAMPURAN PROPAN ISOBUTAN
TERHADAP KINERJA MESIN PENGKONDISIAN UDARA**

*AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF THE APLICATION OF
THE REFRIGERANT R22 AND R134a AND A MIXTURE OF PROPANE
ISOBUTANE ON THE PERFORMANCE THE AIR CONDITIONER*

ARIYANTO



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

**UJI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENGGUNAAN REFRIGERAN
R22, R134a, DAN CAMPURAN PROPAN ISOBUTAN
TERHADAP KINERJA MESIN PENGKONDISIAN UDARA**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Mesin

Disusun dan diajukan oleh

ARIYANTO

kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2013

TESIS**UJI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENGGUNAAN REFRIGERAN
R22, R134a, DAN CAMPURAN PROPAN ISOBUTAN
TERHADAP KINERJA MESIN PENGKONDISIAN UDARA**

Disusun dan diajukan oleh

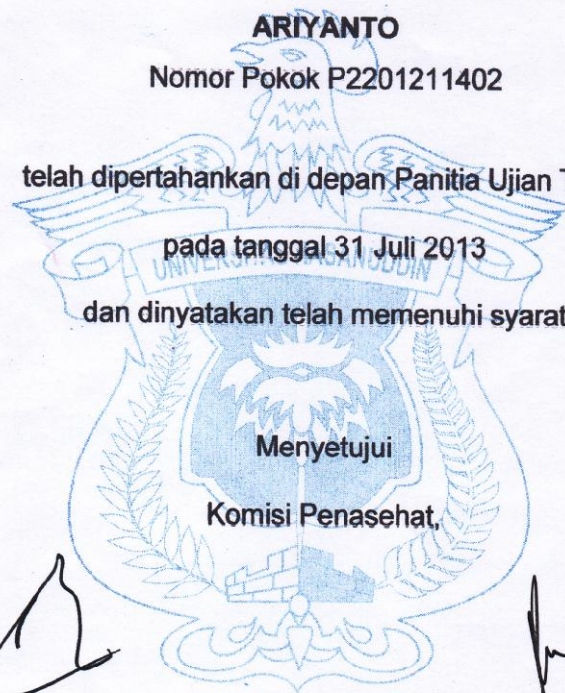
ARIYANTO

Nomor Pokok P2201211402

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

pada tanggal 31 Juli 2013

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

**Prof. Dr. Ir. Effendy Arif, ME.**

Ketua

Dr.-Eng. Jalaluddin, ST., MT

Anggota

Ketua Program Studi
Teknik Mesin**Rafiuddin Syam, ST., M.Eng., Ph.D**Direktur Program Pascasarjana
Universitas Hasanuddin**Prof. Dr. Ir. Mursalim**

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Ariyanto

Nomor mahasiswa : P2201211402

Program studi : Magister Teknik Mesin

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 31 juli 2013

Yang menyatakan

Ariyanto

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayahNya sehingga tesis ini dapat diselesaikan sholawat serta salam kepada manusia yang paling besar pengaruhnya pada diri manusia lain nabi Muhammad,saw.

Gagasan yang melatari tajuk permasalahan ini timbul dari hasil pengamatan penulis dimana pada mesin pengkondisian udara pada umumnya menggunakan refrigeran R22, sementara penggunaan refrigeran tersebut sudah tidak diperbolehkan lagi digunakan oleh karenanya penulis mencoba mencari alternatif pengganti dari refrigeran tersebut dengan mencampur propan dan isobutan yang diketahui ramah lingkungan dan banyak terdapat di dalam negeri.

Penelitian yang dilakukan ini merupakan penelitian eksperimental dengan judul “Kaji Eksperimental Pengaruh Penggunaan Refrigeran R22, R134a, dan Campuran Propan Isobutan Terhadap Kinerja Mesin Pengkondisian Udara”.

Banyak kendala yang dihadapi oleh penulis dalam rangka penyusunan tesis ini, yang hanya berkat bantuan berbagai pihak, maka tesis ini dapat diselesaikan. Dalam kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan terimakasih kepada : Prof.Dr.Ir.Effendy Arif, ME sebagai Ketua Komisi Penasihat dan Dr.Eng.Jalaluddin,ST.MT sebagai Anggota Komisi Penasihat atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mulai dari

pengembangan minat terhadap permasalahan penelitian ini, pelaksanaan penelitiannya sampai dengan penulisan tesis ini; Bapak Prof. Dr.Ir.Yusuf Siahaya, MSME, Bapak DR-Ing.Ir Wahyu H.Piarah, MSME dan Bapak Prof.Dr.Ir.H.A.Syamsul Arifin.P.ME sebagai narasumber atas saran dan arahannya demi kesempurnaan tesis ini; Bapak Rafiuddin Syam,ST. M.Eng,Ph.D selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu selama studi; Bapak Yusran, Bapak Dirman dan Ibu Suriani sebagai instruktur Bengkel Teknik Pendingin BLKI Makassar atas bantuan mengisinkan melakukan pengujian di tempat mereka; Terimakasih juga penulis sampaikan kepada Muh. Fachry dan Afdal yang membantu dalam proses pengambilan data; Seluruh teman-teman konversi energi 2011 yang selama ini sangat membantu dalam proses perkuliahan; Ibuku dan Ayahandaku yang sangat penulis banggakan dan kakak dan adik tercinta serta seluruh keluarga atas segala bantuannya dari awal kuliah hingga selesainya tesis ini dan yang terakhir ucapan terimakasih kepada mereka yang namanya tidak tercantum tetapi telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini.

Penulis telah berupaya maksimal untuk kesempurnaan tesis ini, namun penulis menyadari masih terdapat berbagai kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik demi kesempurnaan tulisan ini, dengan senang hati penulis terima.

Makassar, 31 Juli 2013

Ariyanto

ABSTRAK

ARIYANTO. *Kaji Eksperimental Pengaruh Penggunaan Refrigeran R22, R134a, dan Campuran Propan Isobutan Terhadap Kinerja Mesin Pengkondisian Udara* (dibimbing oleh **Effendi Arief** dan **Jalaluddin**).

Penelitian ini bertujuan untuk : (1) mencampur refrigeran Propan dan Isobutan dengan komposisi berat campuran Propan 90% + Isobutan 10%, Propan 80% + Isobutan 20%, Propan 70% + Isobutan 30% dan Propan 50% + Isobutan 50%. (2) mengetahui pengaruh refrigeran R22, R134a, propan, isobutan, dan campuran propan isobutan terhadap prestasi mesin pengkondisian udara dan penurunan temperatur ruangan yang dikondisikan, dan (3) mendapatkan refrigeran hidrokarbon campuran propan dan isobutan yang optimal untuk menggantikan refrigeran sintesis R22.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pengujian langsung pada alat simulasi mesin pengkondisian udara dengan ruangan yang berukuran panjang 4 meter, lebar 3 meter, dan tinggi 2.6 meter bertempat di bengkel mesin pengkondisian udara BLKI Makassar dengan penentuan entalpi menggunakan refrop 6.0

Hasil penelitian menunjukkan bahwa : (1) refrigeran hidrokarbon campuran propan dan isobutan telah berhasil dibuat dengan berat yang sama dan diuji pada mesin pengkondisian udara dengan komposisi (Propan 90% + Isobutan 10%, Propan 80% + Isobutan 20%, Propan 70% + Isobutan 30%, Propan 50% + Isobutan 50%). (2) secara keseluruhan refrigeran dapat digunakan pada mesin pengkondisian udara dan dapat menurunkan temperatur ruangan. Refrigeran yang paling mampu menurunkan temperatur ruangan dengan waktu dan volume yang sama adalah refrigeran R22 dan disusul oleh refrigeran hidrokarbon campuran Propan 80% dan Isobutan 20%. Kedua refrigeran ini memiliki COP yang hampir sama. (3) refrigeran propan 80% + isobutan 20% dianggap paling optimal untuk dapat menggantikan R22

Keywords: Refrigeran, R22, R134a , Propan, Isobutan, Campuran, COP

ABSTRACT

ARIYANTO. *An Experimental Study of the Effect Of the Application Of the Refrigerant R22 and R134a And Mixture Of Propane Isobutane On The Performance the Air Conditioner (Supervised by Effendi Arief and Jalaluddin).*

This study aims to : (1) mix refrigerant Propane and Isobutane with the weight compositions of Propane 90% + Isobutane 10%, Propane 80% + Isobutane 20%, Propane 70% + Isobutane 30%, Propane 50% + Isobutane 50%; (2) investigate the effect of the refrigerant R22, R134a, propane, isobutane, and the mixture of propane and isobutane on the performance of the air conditioners and the decrease of the temperatures in conditioned room; (3) obtain a hydrocarbon refrigerant of the optimum mixture of propane and isobutane which could substitute the synthetic refrigerant R22.

The method used was an experimental method by directly testing a simulation engine of an air conditioner in a room of length 4 meter width 3 meter and height 2.6 meter located in the air conditioner workshop of BLKI Makassar, and by determining the enthalpy using the refprop 6.0

The research results were : (1) the mixture of hydrocarbon refrigerant propane and isobutane with same weights has successfully been created and composition (Propane 90% + Isobutane 10%, Propane 80% + Isobutane 20%, Propane 70% + Isobutane 30%, Propane 50% + Isobutane 50%) have been tested on a machine of an air conditioner (2) generally, an air conditioner could use refrigerant to lower the temperature in the room. The refrigerant that could lower the room temperature most significantly in the same time period and volume was refrigerant R22 followed by the refrigerant of the mixture of propane 80% + Isobutane 20% was considered the most optimum to replace R22

Keywords: refrigerant, R22, R134a, Propane, isobutane, Mixed, COP

DAFTAR ISI

	halaman
PRAKATA	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xv
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Batasan Masalah	6
E. Manfaat Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Dampak Penggunaan Refrigeran Sintesis	8
B. Refrigeran	8
1. Senyawa halokarbon	9
2. Azeotrop	9
3. Senyawa anorganik	9
4. Senyawa hidrokarbon	10
C. Refrigeran Propana (C ₃ H ₈)	10
D. Isobutana	11
E. Antisipasi Kecelakaan Pada Hidrokarbon	12
F. Persyaratan Refrigeran	13
G. Siklus Refrigerasi Kompresi Uap	15
1. Proses kompresi (1-2)	17
2. Proses kondensasi (2-3)	18

3. Proses ekspansi (3-4)	19
4. Proses evaporasi (4-1)	19
H. Komponen Utama Sistem Pengkondisian Udara	20
1. Kompresor	20
2. Kondensor	20
3. Evaporator	21
I. Karakteristik Refrigeran	21
III. METODOLOGI PENELITIAN	25
A. Rancangan Penelitian	25
B. Tempat dan Waktu Penelitian	25
C. Bahan dan Alat	25
1. Bahan	25
2. Alat	25
D. Skema dan Gambar alat pengkondisian udara	28
E. Prosedur pengujian dan pengambilan data	31
1. Pembuatan Alat Uji Simulasi	31
2. Pengujian Kandungan Refrigeran	32
3. Pencampuran Refrigeran	36
4. Pengujian Refrigeran pada alat simulasi mesin pengkondisian udara	38
E. Diagram Alir Penelitian	40
IV. ANALISA HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN	41
A. Analisa Hasil Perhitungan	41
1. Hasil pengambilan data	41
2. Diagram p-h	42
a. Diagram P-h R22 pada menit 150	42
b. Diagram P-h R22 pada menit 155	43
c. Diagram P-h R22 pada menit 160	44

d. Diagram P-h R134a pada menit 150	46
e. Diagram P-h R134a pada menit 155	47
f. Diagram P-h R134a pada menit 160	48
3. Analisis Perhitungan	49
a. R22	52
b. R134a	40
c. Propan 100 %	54
d. Isobutan 100 %	57
e. Propan 90% + Isobutan 10%	59
f. Propan 80% + Isobutan 20%	61
g. Propan 70% + Isobutan 30%	63
h. Propan 50% + Isobutan 50%	66
B. Pembahasan	68
1. Waktu operasi terhadap Temperatur ruangan	68
2. Waktu operasi mesin pengkondisian udara terhada COP mesin pengkondisian udara	69
3. Waktu operasi mesin pengkondisian udara terhadap daya kompresor	70
4. Waktu operasi mesin pengkondisian udara terhadap laju aliran kalor evaporator	71
5. Waktu operasi mesin pengkondisian udara terhadap laju aliran kalor kondensor	72
V. KESIMPULAN DAN SARAN	74
A. Kesimpulan	74
B. Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN-LAMPIRAN	77

DAFTAR TABEL

Nomor	halaman
1. Data Evaporator R22	84
2. Data Evaporator R134a	85
3. Data Evaporator Propan 100%	86
4. Data Evaporator Isobutan 100%	87
5. Data Evaporator Propan 90% + 10%	88
6. Data Evaporator Propan 80% + 20%	89
7. Data Evaporator Propan 70% + 30%	90
8. Data Evaporator Propan 50% + 50%	91
9. Refrigeran R22	92
10. Refrigeran R134a	94
11. Refrigeran Propan	96
12. Refrigeran Isobutan	98
13. Refrigeran Propan 90% + Isobutan 10%	100
14. Refrigeran Propan 80% + Isobutan 20%	102
15. Refrigeran Propan 70% + Isobutan 30%	104
16. Refrigeran Propan 50% + Isobutan 50%	106
17. Entalpi refrigeran R22	108
18. Entalpi refrigeran R134a	110
19. Entalpi refrigeran Propan 100%	112
20. Entalpi refrigeran Isobutan 100%	114

DAFTAR GAMBAR

Nomor	halaman
1. Skema Siklus Kompresi Uap	17
2. Diagram P - h Siklus Kompresi Uap	17
3. Kompresor	20
4. Kondensor	20
5. Evaporator	21
6. Skema Instalasi Penelitian	28
7. Tampak 2 Dimensi Instalasi Pengujian	29
8. Tampak Potongan 3 Dimensi Instalasi Pengujian	30
9. Skema Sistemika Penelitian	40
10. Diagram P-h R22 pada menit 150	42
11. Diagram P-h R22 pada menit 155	43
12. Diagram P-h R22 pada menit 160	45
13. Diagram P-h R134a pada menit 150	46
14. Diagram P-h R134a pada menit 155	47
15. Diagram P-h R134a pada menit 160	48
16. Hubungan Antara Waktu Operasi Mesin Pengkondisian Udara Dengan Temperatur Ruangan	68
17. Hubungan Antara Waktu Operasi Mesin Pengkondisian Udara Dengan COP Mesin Pengkondisian Udara	69
18. Hubungan Antara Waktu Operasi Mesin Pengkondisian Udara Dengan Daya Kompresor	70

19. Hubungan Antara Waktu Operasi Mesin Pengkondisian Udara Dengan Laju Aliran Kalor Evaporator	71
20. Hubungan Antara Lamanya Waktu Operasi Mesin Pengkondisian Udara Dengan Laju Aliran Kalor Kondensor	72
13. Refrigeran R22	78
14. Refrigeran R134a	78
15. Refrigeran Propan	79
16. Refrigeran Isobutan	79
18. Insatalasi Pengujian Outdoor	80
19. Gambar Instalasi	80
20. Alat Pengukur Tekanan	81
21. Termokopel Digital	81
22. Anemometer	81
23. Timbangan Digital	82
24. Manifold	82
24. Amperemeter	82
25. Refrigeran Gas Analyser	83
26. Hasil Pengujian Refrigeran R22	83
27. Pompa Vakum	83

DAFTAR NOTASI

Notasi		Satuan
COP	Koefisien Prestasi Mesin Pendingin	-
A	Luas Penampang	m^2
T_1	Temperatur Refrigeran Masuk Kompresor	$^{\circ}C$
T_2	Temperatur Refrigeran Keluar Kompresor	$^{\circ}C$
T_3	Temperatur Refrigeran Keluar Kondensor	$^{\circ}C$
T_4	Temperatur Refrigeran Masuk Evaporator	$^{\circ}C$
P_1	Tekanan Refrigeran Masuk Kompresor	bar
P_2	Tekanan Refrigeran Keluar Kompresor	bar
P_3	Tekanan Refrigeran Keluar Kondensor	bar
P_4	Tekann Refrigeran Masuk Evaporator	bar
h_1	Entalpi Refrigeran Titik 1	kJ/kg
h_2	Entalpi Refrigeran Titik 2	kJ/kg
h_3	Entalpi Refrigeran Titik 3	kJ/kg
h_3	Entalpi Refrigeran Titik 4	kJ/kg
$\dot{m}_{ud\ evap}$	Laju aliran massa udara evaporator	kg/s
w_c	Kerja kompresi	kJ/kg
W_c	Daya kompresi	kW
\dot{m}_{ref}	Laju aliran massa refrigeran	kg/s
Q_{evap}	Laju aliran kalor evaporator	kW
q_{re}	Efek refrigerasi	kJ/kg
Qc	laju aliran kalor kondensor	kW

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Refrigeran merupakan fluida kerja yang bersirkulasi dalam siklus refrigerasi. Refrigeran menyerap panas dari satu lokasi dan membuangnya ke lokasi yang lain, melalui mekanisme evaporasi dan kondensasi. Refrigeran yang paling banyak digunakan saat ini dan memiliki volume penjualan terbesar diantara semua refrigeran khususnya untuk mesin pengkondisian udara adalah R22. R22, bagaimanapun, adalah CFC yang mengandung atom klorin termasuk *ozone depleting substance (ODS)*, yaitu zat yang dapat menyebabkan kerusakan lapisan ozon oleh karena itu dilarang di impor dan digunakan khususnya di Indonesia mulai tahun 2008 (*Kompas, 2012*).

Pada tahun 1980an, para ilmuwan menemukan bahwa zat CFC tidak hanya melakukan kerusakan besar terhadap lapisan ozon, tetapi juga menciptakan efek rumah kaca, dan sangat mempengaruhi lingkungan dan kesehatan manusia di bumi *Bolaji, 2005*.

Setelah keberadaan lubang ozon di lapisan atmosfer diverifikasi secara saintifik, perjanjian internasional untuk mengatur dan melarang penggunaan zat-zat perusak ozon disepakati pada tahun 1987 yang terkenal dengan sebutan Protokol Montreal *Bolaji, 2012*.

Pemerintah Indonesia saat ini telah melarang penggunaan refrigeran yang mengandung bahan perusak ozon melalui peraturan yang telah di

tetapkan diantaranya : Keputusan Presiden Republik Indonesia nomor 23 tahun 1992 tentang Pengesahan Protokol Montreal, London 27 juni 1990; Keputusan Presiden Republik Indonesia nomor 92 tahun 1998 tentang Pengesahan Protokol Montreal tentang zat-zat yang merusak lapisan ozon, Copenhagen 1992; Peraturan Presiden Republik Indonesia nomor 33 tahun 2005 tentang Amandemen Beijing atas Protokol Montreal tentang bahan-bahan yang merusak lapisan ozon; Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia nomor 33 tahun 2007 pasal 3, bahan perusak lapisan ozon dilarang digunakan pada produksi mesin pengkondisian udara yang digunakan di dalam ruangan dan kendaraan bermotor; Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 02 tahun 2007 tentang Pedoman Teknis dan Persyaratan Kompetensi Pelaksanaan Retrofit dan Recycle pada sistem refrigerasi *kementerian lingkungan hidup, 2011*

Menteri Negara Lingkungan Hidup, Balthasar Kambuaya menyampaikan, "Pemerintah Indonesia telah menunjukkan komitmen yang tinggi dengan keberhasilan menghentikan impor bahan perusak ozon sejak Januari 2008. Selanjutnya dengan kerjasama yang erat antara pemerintah, industri, perguruan tinggi dan para pakar serta mitra internasional, Indonesia telah menetapkan strategi percepatan penghapusan HCFC (hydrochlorofluorocarbon)" *Tribun, 2013*

Refrigeran CFCs (R22) dan HCFCs (R134a) merupakan dua refrigeran yang dijadwalkan untuk dihapuskan masing-masing pada tahun

1996 dan 2030 untuk negara-negara maju. Sedangkan untuk negara-negara berkembang, kedua refrigeran utama tersebut masing-masing dijadwalkan untuk dihapus pada tahun 2010 (CFCs) dan 2040 (HCFCs).

Dengan adanya kebijakan pemerintah tentang penghentian impor serta pelarangan penggunaan refrigeran perusak ozon tersebut maka refrigeran yang umum digunakan saat ini yang masih mengandung CFC seperti R22 yang digunakan pada mesin pengkondisian udara akan tidak bisa ditemukan lagi, oleh karena itu harus ada upaya untuk mencari refrigeran pengganti yang ramah lingkungan.

Beberapa refrigeran alami yang sudah digunakan pada mesin refrigerasi adalah ammonia (NH_3), Hidrokarbon (HC), Karbon Dioksida (CO_2), air dan udara *Riffat dkk, 1997*. Kata "alami" menekankan keberadaan zat-zat tersebut yang berasal dari sumber biologis ataupun geologis, meskipun saat ini beberapa produk refrigeran alami masih didapatkan dari sumber daya alam yang terbarukan, misalnya hidrokarbon yang didapatkan dari oil cracking, serta amonia dan CO_2 yang didapatkan dari gas alam *Powel, 2002*

Hidrokarbon sebagai refrigeran dalam sistem refrigerasi telah dikenal sejak tahun 1920-an, sebelum refrigeran sintetik dikenal. Ilmuwan yang tercatat sebagai promotor hidrokarbon sebagai refrigeran antara lain *Linde (1916) dan Ilmuwan Dunia Albert Einstein (1920)*

Pada saat ini refrigeran hidrokarbon dipersiapkan sebagai refrigeran alternatif untuk digunakan sebagai pengganti CFC12, HCFC134a dan

HCFC22. Setiap senyawa hidrokarbon memiliki fisik yang berbeda-beda dengan refrigeran yang akan digantikannya dilakukan pencampuran senyawa hidrokarbon seperti propan dan isobutan

Beberapa penelitian yang di terbitkan pada jurnal internasional terbaru yang telah dilakukan diantaranya; Pengkajian Kinerja dari refrigeran alami sebagai pengganti untuk CFC dan HCFC pada iklim panas. M. Boumaza. 2010; Kinerja AC Split R22 penggantian dengan refrigeran ramah ozon (R410A dan R417A). Bolaji, B.O. 2012; Pengembangan Model statistik untuk Memprediksi Kinerja R22, R134a dan R290/R600a Campuran pendingin menggunakan Desain Eksperimen yang menyimpulkan bahwa campuran terbaik adalah propan 79% + Isobutan 21%. N. Murugan dkk. 2013.

Untuk mendapatkan sebuah refrigeran yang ramah lingkungan tentunya kita harus melakukan pengujian dengan mencoba mencampur beberapa zat dengan komposisi tertentu untuk kemudian dilakukan pengujian terhadap mesin pengkondisian udara tertentu sehingga akan di ketahui kinerja dan efisiensi mesin pendingin dari hasil penggantian refrigeran yang telah dibuat

Oleh karena itu maka diadakan penelitian secara eksperimental dari beberapa refrigeran yang telah ada dan mencoba mencari refrigeran yang lebih baik dari yang telah ada dengan judul penelitian “ ***Pengaruh Penggunaan Refrigeran R22, R134a Dan Campuran Propana Isobutana Terhadap Kinerja Mesin Pengkondisian Udara*** ”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana mencampur refrigeran propan dan isobutan dengan berbagai komposisi ?
2. Bagaimana pengaruh refrigeran R22, R134a, propan, isobutan, dan campuran propan isobutan terhadap prestasi mesin pengkondisian udara dan penurunan temperatur ruangan yang dikondisikan ?
3. Bagaimana mendapatkan campuran refrigeran hidrokarbon yang optimal untuk menggantikan refrigeran sintesis R22 ?

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk :

1. Mencampur refrigeran propan dan isobutan dengan komposisi berat campuran (Propan 90% + Isobutan 10%, Propan 80% + Isobutan 20%, Propan 70% + Isobutan 30%, Propan 50% + Isobutan 50%)
2. Mengetahui pengaruh refrigeran R22, R134a, propan, isobutan, dan campuran propan isobutan terhadap prestasi mesin pengkondisian udara dan penurunan temperatur ruangan yang dikondisikan
3. Mendapatkan refrigeran hidrokarbon campuran propan dan isobutan yang optimal untuk menggantikan refrigeran sintesis R22

D. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dibatasi pada :

1. Pembahasan hanya dilakukan untuk jenis refrigeran R22, R134a, dan campuran propan, Isobutan pada berbagai komposisi berat
2. Mesin yang digunakan adalah mesin simulasi dengan merek AUX type A SW 07 EA
3. Ruang uji berukuran panjang 4 meter, lebar 3 meter, dan tinggi 2.6 meter
4. Sifat-sifat termodinamika refrigeran diperoleh dari software Refrop 6.0 dengan data tekanan dan temperatur masuk dan keluar dari kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator diambil dari alat uji simulasi mesin pengkondisian udara

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Bagi kalangan industri; dapat dijadikan informasi dan pertimbangan untuk menggunakan refrigeran hidrokarbon
2. Bagi Akademisi; dapat dijadikan bahan perbandingan dalam penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan refrigeran sintesis dan refrigeran hidrokarbon
3. Bagi peneliti; memacu peneliti untuk melakukan penelitian selanjutnya yang mendalami tentang refrigeran hidrokarbon

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Dampak Penggunaan Refrigeran Sintesis

Penggunaan refrigeran sintesis sebagai refrigeran pada mesin-mesin pendingin, berpengaruh terhadap kerusakan lingkungan. Walaupun senyawa ini merupakan refrigeran yang baik, tetapi atom klor yang dilepaskan ke atmosfer dapat menyebabkan kerusakan pada lapisan ozon (O₃) pada stratosfir, dimana lapisan ozon ini berguna untuk melindungi bumi dari radiasi ultra-violet sinar matahari.

Radiasi ultra-violet yang berlebihan dapat menyebabkan peningkatan kemungkinan terkena kanker kulit, katarak mata, pelemahan sistem imunisasi seseorang, pengurangan tingkat produktivitas panen dan kemungkinan terhambatnya pertumbuhan phytoplankton. (PPAU-IR ITB, 1999).

Chlorodifluoromethana (R-22) sebagai salah satu media refrigerator yang digunakan oleh mesin pengkondisian udara, selain mempunyai potensi pengrusakan ozon (*Ozon Depletion Potential, ODP*) juga mempunyai potensi pemanasan global (*Global Warning Potential, GWP*) Devotta et al, 2005; Fatouh et al 2010.

Kesepakatan untuk menurunkan produksi dan penggunaan senyawa *Halocarbon* sebagai bahan refrigeran telah mendapat persetujuan dari beberapa negara, yaitu Amerika, Masyarakat Eropa dan 23 negara

lainnya pada tanggal 16 September 1987 dalam Konferensi Bumi dengan ditandatanganinya "*The Montreal Protocol on Substance that Deplete the Ozon Layer*", yang dikenal dengan nama Protokol Montreal dan kesepakatan yang diperbaharui setiap dua tahun sekali.

Protokol Kyoto, yang telah disetujui oleh banyak Negara, untuk mengurangi emisi gas rumah-kaca termasuk HFCs, *Jung D, 2000*. Meskipun sifat hidrokarbon yang mudah terbakar telah menjadi perhatian, ketertarikan penggunaan propan dan isobutan murni atau campuran refrigeran tersebut sebagai refrigeran pada mesin pengkondisian udara rumah tangga dan komersil telah meningkat pada dekade akhir ini. *Pederson, 1998* menyatakan bahwa hidrokarbon tidak memiliki efek terhadap penipisan ozon atau efek pemanasan global. *Aisbett E, 1996 dan Perry RH, 1997* menyatakan, refrigeran tersebut cukup murah, mudah ditemukan dan cocok dengan pelumas mineral dan oli sintetis. *Ben Adamson dkk, 1998* melaporkan bahwa biaya yang berhubungan dengan hidrokarbon secara kasar setengahnya pada pendingin R12. *Richardson, 1995 dan Maclain-cross, 1995* juga menyatakan bahwa berbagai tes yang telah dilakukan mengindikasikan bahwa hidrokarbon cukup aman.

B. Refrigeran

Refrigeran adalah fluida kerja dalam sistem mesin pengkondisian udara dengan menjadi media perpindahan panas yang menyerap kalor dengan mekanisme penguapan (*evaporasi*) di evaporator pada temperatur

rendah dan memberikan kalor dengan pengembunan (*kondensasi*) di kondensor pada temperatur dan tekanan tinggi.

Refrigeran dalam perdagangan telah diklasifikasikan oleh ASRE (*American Society of Refrigeran Enggineer*). Standar ASRE membagi refrigeran dalam beberapa kelompok penting yaitu senyawa *halokarbon* (R-11, R-12, R-22), *Azeotrop* (R-502), senyawa *Anorganik* (Amonia, Air, Karbon Dioksida). dan senyawa *hidrokarbon* (Etana, Propana, Butana

Refrigeran yang digunakan dalam sistem kompresi uap pada instalasi pengujian dapat digolongkan sebagai berikut :

1. Senyawa halokarbon

Refrigeran yang memiliki satu atau lebih atom dari salah satu halogen yaitu klorin, bromine, fourin. Beberapa jenis Freon yang populer digunakan seperti R-12, R-22, R13 termasuk refrigeran halokarbon

2. Azeotrop

Campuran Azeotrop dua substansi adalah campuran yang tidak dapat dipisahkan menjadi komponen-komponen dengan cara destilasi. Azeotrop menguap dan mengembun sebagai substansi tunggal yang sifatnya berbeda dengan sifat unsur pembentuknya. Azeotrop yang paling dikenal adalah refrigeran R-502 yang merupakan campuran 48.8% R-22 dan 51,2% R-115.

3. Senyawa anorganik

Senyawa Anorganik sering digunakan pada masa awal perkembangan bidang refrigerasi dan pengkondisian udara. Beberapa senyawa anorganik yang populer digunakan seperti Amonia , Air, Udara, Karbondioksida, Sulfurdioksida.

4. Senyawa hidrokarbon

Banyak senyawa hidrokarbon yang cocok digunakan sebagai refrigeran khususnya dipakai untuk industri perminyakan dan petrokimia. Beberapa senyawa hidrokarbon yang populer digunakan seperti Metana, Etana, Propana.

C. Refrigeran Propana (C₃H₈)

Propana Berasal dari Gas Alam atau Minyak Bumi yang ditemukan bercampur di gas alam dan minyak bumi. Propana adalah salah satu gas minyak bumi cair (LP-gas atau LPG) Propana dan gas cair lainnya, termasuk etana dan butana, dipisahkan dari gas alam di pusat pengolahan gas alam, atau dari kilang minyak mentah. Jumlah propana yang dihasilkan dari gas alam dan dari minyak bumi kurang lebih sama.

Propana alami berbentuk sebagai gas. Namun, pada tekanan tinggi atau suhu yang lebih rendah, gas ini menjadi cairan. Karena propana 270 kali lebih kompak sebagai cairan daripada gas, propana diangkut dan disimpan dalam bentuk cair. Propana menjadi gas lagi ketika katup dibuka untuk melepaskannya dari wadah bertekanan-nya. Ketika kembali ke tekanan normal, propana menjadi gas sehingga kita dapat menggunakannya. Propana relatif mudah untuk dicairkan dan dikompres

dan memiliki titik didih $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$. Propana dengan mudah dapat disimpan di hampir semua lingkungan karena suhu di bawah titik beku tidak akan mempengaruhi karakteristiknya. Propana digunakan oleh jutaan orang setiap hari. Orang menggunakan propana di dalam dan sekitar rumah mereka untuk tungku, pemanas air, AC, panggangan outdoor, perapian, dan peralatan. www.propanecouncil.org diakses 2013

R290 adalah nama umum untuk Propan murni (C_3H_8) cocok untuk digunakan dalam pendinginan dan industri AC. Seiring dengan pendingin alam lainnya, hidrokarbon seperti R290 digunakan dalam pendinginan dari pertengahan 1800-an hingga 1930-an. Karena dampak ramah lingkungan, R290 telah mendapatkan kembali popularitas sejak tahun 1990, dan sekarang menjadi alternatif umum fluorocarbons dalam berbagai aplikasi.

Keuntungan dari R290

1. Potensi penyebab penipisan lapisan ozon (0)
2. Potensi penyebab pemanasan globalnya (<4)
3. Sifat termodinamika baik sehingga menyebabkan efisiensi energi yang tinggi
4. Baik kompatibilitas dengan komponen sistem
5. Biaya rendah memungkinkan penukar panas yang lebih kecil dan dimensi pipa.
6. Banyak tersedia khususnya di Indonesia

D. Isobutana

Isobutan adalah zat yang merupakan bagian dari sumber alami yang sering juga disebut R 600a. Refrigeran R 600a telah digunakan dimasa lalu, dalam lemari es. Dan kini digunakan secara luas dalam lemari es domestik dan freezer di Eropa, terutama di Jerman, di mana lebih dari 90% dari kulkas diproduksi menggunakan R 600a sebagai refrigeran bagian lain dari Eropa dan Asia saat ini menggunakan isobutana. Amerika Serikat saat ini memiliki pemesanan paling besar.

Isobutana atau, Refrigeran R 600a, adalah pengganti untuk refrigeran pendingin lain, yang memiliki dampak yang tinggi terhadap kerusakan lingkungan. Isobutana tidak mengandung zat yang menyebabkan penipisan lapisan ozon dan potensi pemanasan global.

Karena ketersediaan isobutana, diseluruh dunia telah dibahas secara luas untuk penggantian CFC. Isobutana R 600a adalah refrigeran mungkin untuk aplikasi ini, dengan efisiensi energi yang baik, tetapi dengan karakteristik yang sangat berbeda dalam beberapa hal, yang menyiratkan desain yang akan dibuat atau diadopsi untuk refrigeran ini

E. Antisipasi Kecelakaan Pada Hidrokarbon

Pada saat pengisian maka perlu dilakukan dengan baik dan benar dengan menghindari sekecil mungkin kebocoran pada rangkaian mesin pendingin, kemudian isolasi pipa dengan baik sehingga potensi kebocoran dari refrigeran kecil. Memasang alat detektor gas di dalam ruangan, menjauhkan sumber nyala api dengan refrigeran hidrokarbon.

Jika terjadi kebakaran janganlah padamkan, kecuali kebocoran dapat dihentikan dengan aman. Hilangkan semua sumber penyulut jika aman untuk melakukannya. Keselamatan Peralatan pelindung dan Pencegahan untuk Pemadam Kebakaran Pakailah pelindung api pertempuran gigi lengkap termasuk alat bernafas mandiri (SCBA) untuk perlindungan terhadap paparan mungkin.

Tindakan Pemadaman Kebakaran Pindahkan wadah dari daerah kebakaran jika dapat dilakukan tanpa risiko. Dinginkan wadah dengan semprotan air sampai benar-benar dingin setelah api padam. menjauh dari ujung tangki.

Untuk kebakaran di kargo atau tempat penyimpanan. Dinginkan wadah dengan air dari selang pemegang tak berawak atau monitor nozel sampai setelah api dapat dipadamkan. Jika ini tidak mungkin maka lakukan tindakan pencegahan berikut. Jangan biarkan orang mendekati dengan sumber kebakaran, mengisolasi daerah bahaya dan melarang masuk.

Jika api semakin besar biarkan api membakar. Segera menjauh dari tempat kebakaran dalam kasus meningkatnya suara dari alat pengaman ventilasi atau perubahan warna tank akibat kebakaran. Untuk tangki, mobil kereta api atau truk tangki. Hentikan kebocoran jika mungkin tanpa risiko pribadi.

Untuk tangki kecil atau silinder, memadamkan dan mengisolasi dari flammables lainnya. Evakuasi radius: 800 meter. Hentikan aliran gas.

F. Persyaratan Refrigeran

Persyaratan refrigeran (zat pendingin) untuk unit refrigerasi adalah sebagai berikut :

1. Tekanan penguapannya harus cukup tinggi.

Sebaiknya refrigeran memiliki temperatur penguapan pada tekanan yang lebih tinggi, sehingga dapat dihindari kemungkinan terjadinya vakum pada evaporator, dan turunnya efisiensi volumetrik karena naiknya perbandingan kompresi.

2. Tekanan pengembunan yang tidak terlampau tinggi.

Apabila tekanan pengembunannya rendah, maka perbandingan kompresinya menjadi lebih rendah sehingga penurunan prestasi kompresor dapat dihindarkan. Selain itu, dengan tekanan kerja yang lebih rendah, mesin dapat bekerja lebih aman karena kemungkinan terjadinya kebocoran, kerusakan, ledakan menjadi lebih kecil.

3. Kalor laten penguapan harus tinggi.

Refrigeran yang memiliki kalor laten penguapan yang tinggi lebih menguntungkan karena untuk kapasitas refrigerasi yang sama, jumlah refrigeran yang bersirkulasi menjadi lebih kecil. Refrigeran dengan kalor laten penguapan yang besar dan volume spesifik gas yang kecil akan memungkinkan penggunaan kompresor dengan volume torak yang lebih kecil.

4. Koefisien prestasi harus tinggi.

Dari segi karakteristik termodinamika dari refrigeran, koefisien prestasi merupakan parameter yang terpenting untuk menentukan biaya operasi.

5. Konduktifitas termal yang tinggi

konduktivitas termal sangat penting untuk menentukan karakteristik perpindahan kalor.

6. Viskositas yang rendah dalam fasa cair maupun fasa gas.

Dengan turunnya tahanan aliran refrigeran dalam pipa, kerugian tekanan akan berkurang.

7. Konstanta dielektrika dari refrigeran yang kecil, tahanan listrik yang besar, serta tidak menyebabkan korosi pada material isolator listrik utamanya untuk kompresor hermatik.

8. Refrigeran hendaknya stabil dan tidak bereaksi dengan material yang dipakai, sehingga tidak menyebabkan korosi

9. Refrigeran tidak boleh beracun dan berbau merangsang

10. Volume spesifik (terutama dalam fasa gas) yang cukup kecil.

11. Refrigeran harus mudah dideteksi, jika terjadi kebocoran

12. Ramah lingkungan.

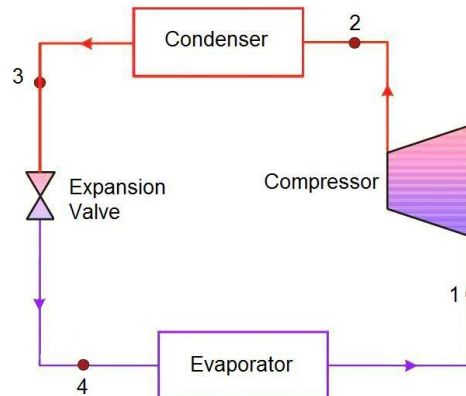
G. Siklus Refrigerasi Kompresi Uap

Siklus refrigerasi kompresi mengambil keuntungan dari kenyataan bahwa fluida yang bertekanan tinggi pada suhu tertentu cenderung menjadi lebih dingin jika dibiarkan mengembang. Jika perubahan tekanan cukup tinggi, maka gas yang ditekan akan menjadi lebih panas daripada

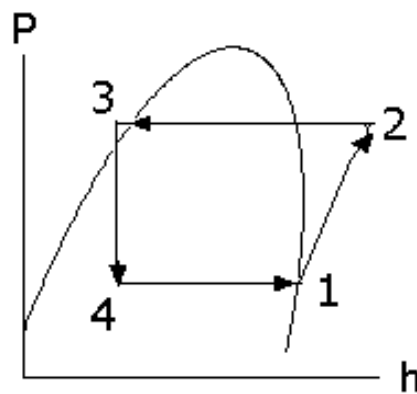
sumber dingin diluar (contoh udara diluar) dan gas yang mengembang akan menjadi lebih dingin daripada suhu dingin yang dikehendaki. Dalam kasus ini, fluida digunakan untuk mendinginkan lingkungan bersuhu rendah dan membuang panas ke lingkungan yang bersuhu tinggi.

Siklus refrigerasi kompresi uap memiliki dua keuntungan. Pertama, sebagian besar energy panas diperlukan untuk merubah cairan menjadi uap, dan oleh karena itu banyak panas yang dapat dibuang dari ruang yang dikondisikan. Kedua, sifat-sifat isothermal penguapan membolehkan pengambilan panas tanpa menaikkan suhu fluida kerja ke suhu berapapun didinginkan. Hal ini berarti bahwa laju perpindahan panas menjadi tinggi, sebab semakin dekat suhu fluida kerja mendekati suhu sekitarnya akan semakin rendah laju perpindahan panasnya.

Komponen utama dari sebuah siklus kompresi uap adalah kompresor, evaporator, kondensor dan katup ekspansi. Pada siklus kompresi uap, di evaporator refrigeran akan menyerap panas dari lingkungan sehingga panas tersebut akan menguapkan refrigeran. Kemudian uap refrigeran akan dikompres oleh kompresor hingga mencapai tekanan kondensasi, dalam kondensor uap refrigeran dikondensasikan dengan cara membuang panas dari uap refrigeran ke lingkungannya. Kemudian refrigeran akan kembali di teruskan ke dalam evaporator.



Gambar 1. Skema siklus kompresi uap



Gambar 2. Diagram P-H siklus kompresi uap

Proses-proses yang terjadi pada siklus kompresi uap seperti pada gambar.1 adalah sebagai berikut :

1. Proses kompresi (1-2)

Proses ini dilakukan oleh kompresor dan berlangsung secara isentropik. Kondisi awal refrigeran pada saat masuk ke dalam kompresor adalah uap jenuh bertekanan rendah, setelah mengalami kompresi refrigeran akan menjadi uap dipanaskan lanjut bertekanan tinggi. Karena proses ini berlangsung secara isentropik,

maka temperatur ke luar kompresor pun meningkat. Besarnya kerja kompresi per satuan massa refrigeran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$w_c = h_2 - h_1$$

Dimana : w_c = Besarnya kerja kompresor (kJ/kg)

h_1 = Entalpi refrigeran saat masuk kompresor (kJ/kg)

h_2 = Entalpi refrigeran saat keluar kompresor (kJ/kg)

Dalam diagram P-h siklus kompresi uap ideal dapat dilihat dalam gambar berikut ini.

2. Proses kondensasi (2-3)

Proses ini berlangsung didalam kondensor. Refrigeran yang bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi yang berasal dari kompresor akan membuang kalor sehingga fasanya berubah menjadi cair. Hal ini berarti bahwa di dalam kondensor terjadi pertukaran kalor antara refrigeran dengan lingkungannya (udara), sehingga panas berpindah dari refrigeran ke udara pendingin yang menyebabkan uap refrigeran mengembun menjadi cair. Besar panas per satuan massa refrigeran yang dilepaskan di kondensor dinyatakan sebagai:

$$Q_c = \dot{m}_{ref} (h_2 - h_3)$$

dimana : Q_c = Besarnya panas dilepas di kondensor (kJ/kg)

\dot{m}_{ref} = Laju aliran massa refrigeran (kg/s)

h_2 = Entalpi refrigeran saat masuk kondensor (kJ/kg)

h_3 = Entalpi refrigeran saat keluar kondensor (kJ/kg)

3. Proses ekspansi (3-4)

Proses ekspansi ini berlangsung secara isoentalpi. Hal ini berarti tidak terjadi perubahan entalpi tetapi terjadi drop tekanan dan penurunan temperatur, atau dapat dituliskan dengan:

$$h_3 = h_4$$

Proses penurunan tekanan terjadi pada katup ekspansi yang berbentuk pipa kapiler atau orifice yang berfungsi untuk mengatur laju aliran refrigeran dan menurunkan tekanan.

5. Proses evaporasi (4-1)

Proses ini berlangsung secara isobar isothermal (tekanan konstan, temperatur konstan) di dalam evaporator. Panas dari lingkungan akan diserap oleh cairan refrigeran yang bertekanan rendah sehingga refrigeran berubah fasa menjadi uap bertekanan rendah. Kondisi refrigeran saat masuk evaporator sebenarnya adalah campuran cair dan uap, seperti pada titik 4 dari gambar diatas. Besarnya kalor yang diserap oleh evaporator adalah:

$$Q_e = \dot{m}_{ref} (h_1 - h_4)$$

Dimana : Q_e = Besarnya panas yang diserap di evaporator (kJ/kg)

h_1 = Entalpi refrigeran saat keluar evaporator (kJ/kg)

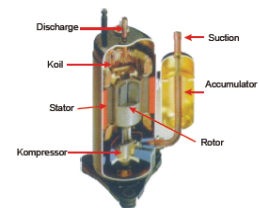
h_4 = Entalpi refrigeran saat masuk evaporator (kJ/kg)

Selanjutnya, refrigeran kembali masuk ke dalam kompresor dan bersirkulasi lagi. Begitu seterusnya sampai kondisi yang diinginkan tercapai. Untuk menentukan harga entalpi pada masing-masing titik dapat dilihat dari tabel sifat-sifat refrigeran atau dengan bantuan software Refrop

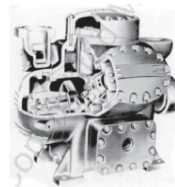
H. Komponen Utama Sistem Pengkondisian Udara

1. Kompresor

Kompresor berfungsi sebagai alat untuk mensirkulasikan refrigeran sekaligus menaikkan tekanannya



Kompresor Hermetik (antara mekanik dan elektriknya jadi satu) : banyak digunakan untuk AC-Split, Window, Cassete dll.



Semi hermetik : dimana antara mekanik dan elektriknya terpisah

Gambar 3. Kompresor

2. Kondensor

Kondensor berfungsi sebagai alat pembuang panas dengan melalui proses kondensasi



Gambar 4. Kondensor

3. Katup Ekspansi

Katup Ekspansi atau pipa kapiler berfungsi untuk menurunkan tekanan dan di sini refrigeran di kabutkan

4. Evaporator

Evaporator berfungsi sebagai alat penyerap kalor/panas ruangan yang didinginkan dengan melalui proses evaporasi (penguapan)



Gambar 5. Evaporator

I. Karakteristik Refrigeran

Refrigeran harus memiliki jumlah minimum karakteristik penting yang menguntungkan, di antaranya yang paling signifikan adalah: kepadatan rendah dalam fase cair, panas laten penguapan yang tinggi, volume spesifik rendah dalam fasa uap dan panas jenis yang rendah dalam fasa cair. Karakteristik ini akan dievaluasi dan dibandingkan antara cairan tersebut, seperti yang direkomendasikan oleh Poggi dkk.

1. Laju aliran massa udara evaporator

$$\dot{m}_{ud\ evap} = \rho_{udara} \times A \times V$$

dimana :

$\dot{m}_{ud\text{evap}}$: Laju aliran massa udara evaporator (kg/s)

ρ : Massa jenis udara kg/m³

A : Luas penampang hembusan evaporator m²

V : Kecepatan udara melalui saluran udara evaporator m/s

2. *Laju aliran kalor udara evaporator*

$$Q_{udara} = \dot{m}_{ud\text{evap}} \times c_p \times (T_{in} - T_{out})$$

dimana :

Q_{udara} : Laju aliran kalor udara evaporator (kW)

$\dot{m}_{ud\text{evap}}$: Laju aliran massa udara evaporator (kg/s)

c_p : kalor spesifik (kJ/kg.K)

T_{in} : temperatur udara pada sisi masuk evaporator dan dikoreksi pada temperatur T_{wb} ruang (kJ/kg)

T_{out} : temperatur udara pada sisi keluar evaporator dan dikoreksi pada temperatur T_{wb} ruang (kJ/kg)

3. *Daya kompresi*

$$W_c = V \times I$$

dimana :

W_c : Daya kompresi (kJ/kg)

V : Voltase (Volt)

I : Arus (A)

4. *Kerja kompresi*

$$w_c = h_2 - h_1$$

dimana :

w_c : Kerja kompresor (kJ/kg)

h_2 : Entalpi keluar kompresor (kJ/kg)

h_1 : Entalpi masuk kompresor (kJ/kg)

5. *Laju aliran massa refrigeran*

$$\dot{m}_{ref} = W_c / w_c$$

dimana :

\dot{m}_{ref} : laju aliran massa refrigeran (kg/s)

W_c : Daya kompresi

w_c : Kerja kompresor (kJ/kg)

6. *Perhitungan laju pelepasan kalor evaporator (Qe)*

$$Q_e = \dot{m}_{ref} (h_1 - h_4) \text{ kJ/kg}$$

dimana :

Q_{evap} : besarnya laju aliran kalor evaporasi (kW)

\dot{m}_{ref} : laju aliran massa refrigeran (kg/s)

h_1 : entalpi refrigeran pada titik 1 (kJ/kg)

h_2 : entalpi refrigeran pada titik 2 (kJ/kg)

7. *Perhitungan laju pelepasan kalor evaporator (Qc)*

$$Q_c = \dot{m}_{ref} (h_2 - h_3) \text{ kJ/kg}$$

dimana :

Q_c : besarnya laju aliran kalor kondensasi (kW)

\dot{m}_{ref} : laju aliran massa refrigeran (kg/s)

h_2 : entalpi refrigeran pada titik 2 (kJ/kg)

h_3 : entalpi refrigeran pada titik 3 (kJ/kg)

8. *Coefisien of performance (COP)*

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{\text{efek refrigerasi}}{\text{kerja kompresi}} \\ &= \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \end{aligned}$$

dimana :

h_1 : Entalpi refrigeran pada titik 1 (kJ/kg)

h_2 : entalpi refrigeran pada titik 2 (kJ/kg)

h_3 : entalpi refrigeran pada titik 3 (kJ/kg)

h_4 : entalpi refrigeran pada titik 4 (kJ/kg)