

**PENGUKURAN KOEFISIEN PERPINDAHAN KALOR
EVAPORASI REFRIGERAN R-134a
PADA SALURAN HALUS VERTIKAL DENGAN
VARIASI KUALITAS UAP**

SKRIPSI

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Mencapai Derajat Strata-1 Pada
Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun Oleh:

ANIS KURNIAWAN

20130130206

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2017

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini adalah asli hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 03 Agustus 2017

Anis Kurniawan
20130130206

PERSEMBAHAN

Yang Utama Dari Segalanya...

Sembah sujud serta syukur hambamu ini kepadamu Ya Allah S.W.T. Jaburan cinta dan kasih sayang-Mu telah memberikanku kekuatan, membekaliku dengan ilmu serta memperkenalkanku dengan cinta. Atas karunia serta kemudahan yang Engkau berikan akhirnya skripsi yang sederhana ini dapat terselesaikan. Shalawat beserta salam senantiasa selalu tucurahkan kepada junjungan kita Nabi Agung Muhammad S.A.W., kepada keluarganya, para sahabatnya, hingga kepada ummatnya hingga akhir zaman, amin.

Kupersembahkan karya sederhana ini kepada orang yang sangat kukasihi dan kusayangi...

Ibunda (Suratinah) dan Bapak (Nur Marzuki) Jercinta...

Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih yang tiada terhingga kupersembahkan karya kecil ini kepada Ibu dan Bapak yang telah memberikan kasih sayang, segala dukungan, dan cinta kasih yang tiada terhingga yang tiada mungkin dapat kubalas hanya dengan selembar kertas yang bertuliskan kata cinta dan persembahan. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat Ibu dan Bapak bahagia karena ku sadar, selama ini belum bisa berbuat yang lebih.

Untuk Ibu dan Bapak yang selalu membuatku termotivasi dan selalu menyirami kasih dan sayang, selalu mendoakanku yang tiada henti untuk kesuksesan ku, karena tiada kata seindah lantunan do'a dan tiada do'a yang paling khusuk selain do'a yang terucap dari orang tua dan selalu menasehatiku menjadi lebih baik,

Jerima Kasih Ibu.... Jerima Kasih Bapak....

MOTTO

يُحِبُّ اللَّهُ الْعَامِلَ إِذَا عَمِلَ أَنْ تُحْسِنَ. رواه الطز ان نى

“Allah mencintai pekerjaan yang apabila bekerja ia menyelesaikannya dengan baik”. (HR. Thabrani)

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِذَا قِيلَ لَكُمْ تَفَسَّحُوا فِي الْمَجَالِسِ فَافْسَحُوا يَفْسَحِ اللَّهُ لَكُمْ، وَإِذَا قِيلَ انشُرُوا فَانشُرُوا يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ، وَالَّذِينَ أَتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ، وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ (المجادله: ١١)

“Hai orang-orang yang beriman, apabila dikatakan kepadamu: “berlapang-lapanglah kamu dalam majelis”, maka lapangkanlah. Niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Dan apabila dikatakan: “berdirilah kamu”, maka berdirilah, niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan”. (Q.S. Al-Mujadalah, 58: 11)

فَتَعَالَى اللَّهُ الْمَلِكُ الْحَقُّ وَلَا تَعْجَلْ بِالْقُرْآنِ مِنْ قَبْلِ أَنْ يُقْضَىٰ إِلَيْكَ وَحْيُهُ وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا (١١٤)

Maka Maha Tinggi Allah raja yang sebenar-benarnya, dan janganlah kamu tergesa-gesa membaca Al-Qur'an sebelum disempurnakan mewahyukannya kepadamu, dan Katakanlah: “Ya Tuhanku, tambahkanlah kepadaku ilmu pengetahuan.” (Q.S. Thaha: 114)

~ Harus konsisten dalam menekuni bidang disiplin ilmu yang anda pelajari.

Karena konsisten anda bisa seperti saya (Habibie) ~

“Without love, intelligence is dangerous and without intelligence, love is not enough.”

- B.J. Habibie -

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji syukur hanya untuk Allah SWT atas segala rahmat serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Skripsi ini dengan baik dan lancar. *Shalawat* beserta salam senantiasa selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Agung Muhammad SAW, kepada keluarganya, para sahabatnya, hingga kepada ummatnya hingga akhir zaman. Semoga kita termasuk ummat yang mendapatkan syafaatnya, amin.

Penyusunan Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Judul yang diajukan penyusun adalah "PENGUKURAN KOEFISIEN PERPINDAHAN KALOR EVAPORASI REFRIGERAN R-134a PADA SALURAN HALUS VERTIKAL DENGAN VARIASI KUALITAS UAP". Pengukuran ataupun perhitungan koefisien perpindahan kalor evaporasi refrigeran merupakan aspek yang penting untuk menentukan berapa kalor yang ditransfer dalam proses penguapan pada aliran refrigeran. Nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi adalah salah satu sifat yang penting dalam perancangan desain evaporator.

Dari keterbatasan waktu, tenaga, dan keterbatasan lainnya sehingga banyak kekurangan dalam penyajian. Demi perbaikan selanjutnya, saran dan kritik yang membangun akan penyusun terima dengan senang hati. Akhirnya, hanya kepada Allah SWT penulis serahkan segalanya, mudah-mudahan hasil Skripsi ini bermanfaat bagi penyusun sendiri, bagi pembaca pada umumnya serta mahasiswa Teknik Mesin pada khususnya.

Wassalamu'allaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 03 Agustus 2017

Anis Kurniawan
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
PERSEMBAHAN	iv
MOTTO	v
INTISARI	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori.....	9
2.2.1 Sistem Refrigerasi Siklus Kompresi Uap.....	9
2.2.2 Komponen-komponen Utama Sistem Refrigerasi	11
2.2.2.1 Kompresor.....	11
2.2.2.2 Kondensor	11
2.2.2.3 Katup Ekspansi	12
2.2.2.4 Evaporator	13

2.2.2.5 Filter Drier.....	14
2.2.2.6 Refrigeran (Media Pendingin)	15
2.2.3 Perpindahan Kalor	16
2.2.3.1 Konduksi	17
2.2.3.2 Konveksi	20
2.2.3.3 Radiasi.....	22
2.2.4 Perpindahan Kalor Konveksi Bebas.....	22
2.2.5 Perpindahan Kalor Evaporasi.....	23
2.5.5.1 Didih Alir	26
2.5.5.2 Didih Kolam	27
2.2.5.3 Pola Aliran	28
2.2.6 Penukar Kalor (<i>Heat Exchanger</i>).....	31
2.2.7 <i>Overall Heat Transfer Coefficient (U)</i>	33
2.2.8 Laju Perpindahan Kalor	34
2.2.9 Beda Temperatur Rata-rata Logaritmik (LMTD)	34
2.2.10 Metode <i>Effectiveness</i> ϵ -NTU.....	37
2.2.11 Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi	39
BAB III METODE PENELITIAN.....	41
3.1 Diagram Alir Penelitian	41
3.1.1 Bahan	41
3.1.2 Alat.....	43
3.2 Skematik Alat Uji.....	56
3.3 Metode Penelitian.....	61
3.3.1 Diagram Alir Penelitian	61
3.3.2 Kalibrasi Termokopel	64
3.3.3 Kalibrasi <i>Orifice</i>	65
3.3.4 Kalibrasi Pemanas Listrik (<i>Heater</i>)	70
3.3.5 Tes Kebocoran	72
3.3.6 Pengisian Refrigeran.....	72
3.3.7 Jalannya Penelitian.....	73
3.3.7.1 Persiapan.....	73

3.3.7.2 Tahap Pengujian	74
3.3.7.3 Tahap Pengambilan Data	75
3.3.7.4 Parameter yang Digunakan dalam Perhitungan.....	75
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	78
4.1. Hasil Penelitian	78
4.1.1 Pengolahan Data	78
4.1.1.1 Perhitungan Laju Aliran Massa Refrigeran R-134a	78
4.1.1.2 Perhitungan Kualitas Uap	79
4.1.1.3 Perencanaan Voltase dan Arus untuk Penelitian pada Perangkat Pemanas Listrik (<i>Heater</i>).....	80
4.1.1.4 Nilai Kualitas untuk tiap Kenaikan Voltase	81
4.1.1.5 Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi	85
4.3. Pembahasan	90
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	94
5.1. Kesimpulan.....	94
5.2. Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA	97
LAMPIRAN	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Grafik efek fluks massa terhadap variasi koefisien perpindahan panas dengan kualitas rata-rata uap (Yan, 1997)	6
Gambar 2.2. Grafik hubungan antara HTC-x (Anwar, 2013)	7
Gambar 2.3. Grafik $h-x_{avg}$, saluran halus vertikal aliran ke bawah dan fluks massa 200 dan 300 kg/m ² s (Dalkilic, 2016).....	8
Gambar 2.4. Sistem refrigerasi siklus kompresi uap standar (Stoecker, 1996).....	9
Gambar 2.5. Diagram P-h siklus Kompresi uap dengan refrigeran R-134a (Diarra, 2017)	10
Gambar 2.6. Kompresor AC mobil merk Nippon Denso 10P 15C	11
Gambar 2.7. Kondensor bersirip dengan pendingin air	12
Gambar 2.8. Katup ekspansi (Sugiarto, 2017)	13
Gambar 2.9. Evaporator (Lika, 2017)	14
Gambar 2.10. Filter drier	15
Gambar 2.11. Refrigeran HFC-134a produk KLEA	16
Gambar 2.12. Perpindahan kalor (Cengel, 2003).....	17
Gambar 2.13. Perpindahan kalor konduksi (Incropera and Dewitt, 2002)	18
Gambar 2.14. Konduksi pada silinder berongga (Incropera, 2011)	18
Gambar 2.15. Perpindahan kalor konveksi (Incropera dan Dewitt, 2011).....	20
Gambar 2.16. Perpindahan kalor radiasi	22
Gambar 2.17. Proses didih (Cengel, 2003)	24
Gambar 2.18. Evaporasi (Cengel, 2003)	24
Gambar 2.19. Diagram P-h siklus kompresi uap (Ajiwiguna, 2010)	25
Gambar 2.20. Proses pola aliran didih alir 1 ATM (Hestroni, 1982).....	26
Gambar 2.21. Kurva pendidihan air pada tekanan 1 ATM (Incropera, 2011)	27
Gambar 2.22. Daerah perpindahan kalor dalam pendidihan konvektif pada tabung vertikal aliran ke atas (Collier dan Thome, 1994)	29
Gambar 2.23. <i>Boiling map</i> (Collier and Thome, 1994)	30
Gambar 2.24. Daerah perpindahan kalor dalam pendidihan konvektif pada	

tabung vertikal aliran ke bawah (Bhagwat, 2011)	31
Gambar 2.25. Skema <i>overall heat transfer coefficient</i>	33
Gambar 2.26. Skema temperatur aliran berlawanan (<i>counter flow</i>) (Incropera, 2011).....	36
Gambar 2.27. Skema temperatur aliran searah (<i>parallel flow</i>) (Incropera, 2011).....	36
Gambar 2.28. Grafik faktor koreksi (F) untuk <i>single-pass</i> aliran silang dengan satu fluida campuran dan tidak campuran (Cengel, 2003).....	37
Gambar 2.29. Kurva $\epsilon - NTU$ (a) counter flow dan (b) parallel flow.....	38
Gambar 2.29. Kurva $\epsilon - NTU$ single-pass aliran silang dengan satu fluida campuran dan tidak campuran.....	39
Gambar 2.30. Skema koefisien perpindahan kalor evaporasi	39
Gambar 3.1. Inverter 3 Phase merk CHINT.....	43
Gambar 3.2. Motor listrik.....	44
Gambar 3.3. Kompresor NIPPONDENSO 10P15C	44
Gambar 3.4. Kondensor	45
Gambar 3.5. Filter drier	45
Gambar 3.6. <i>Sight glass</i>	46
Gambar 3.7. <i>Orifice</i>	46
Gambar 3.8. Manometer air raksa	47
Gambar 3.9. Katup ekspansi	48
Gambar 3.10. <i>Heater</i> dan seksi uji.....	49
Gambar 3.11. Evaporator	50
Gambar 3.12. (a) <i>Pressure gauge high pressure</i> dan (b) <i>pressure gauge</i> <i>low pressure</i>	50
Gambar 3.13. Rotameter air	51
Gambar 3.14. Pompa air.....	52
Gambar 3.15. <i>Manifold</i>	52
Gambar 3.16. <i>Thermoreader</i>	53

Gambar 3.17. <i>Anemometer</i>	53
Gambar 3.18. <i>Voltage regulator</i>	54
Gambar 3.19. Multimeter digital.....	54
Gambar 3.20. Digital tang ampere	55
Gambar 3.21. <i>Blower</i>	55
Gambar 3.22. Pipa tembaga	56
Gambar 3.23. Pipa PVC	56
Gambar 3.24. Skema alat uji.....	57
Gambar 3.25. Foto alat uji.....	59
Gambar 3.26. Seksi uji	60
Gambar 3.27. Diagram alir penelitian.....	61
Gambar 3.28. Skema <i>orifice</i>	65
Gambar 3.29. Skema manometer	68
Gambar 3.30. Grafik hubungan beda tekanan <i>orifice</i> terhadap bilangan <i>Re</i>	69
Gambar 3.31. Grafik hubungan bilangan <i>Re</i> terhadap koefisien curah (<i>C</i>).....	69
Gambar 3.32. Grafik hubungan kalor yang diterima air dengan voltase untuk masing-masing <i>heater</i>	70
Gambar 3.33. Grafik hubungan antara arus dengan voltase (a) <i>heater</i> 1, (b) <i>heater</i> 2, dan (c) <i>heater</i> 3.....	71
Gambar 4.1. Diagram P-h siklus kompresi uap	80
Gambar 4.2. Perpindahan kalor konveksi dan radiasi bebas.....	82
Gambar 4.3. Grafik hubungan antara koefisien perpindahan kalor evaporasi (h_{evap}) dengan kualitas uap (x) pada berbagai frekuensi dan laju aliran massa konstan	91
Gambar 4.4. Hubungan koefisien perpindahan kalor evaporasi terhadap beda temperatur jenuh	92

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbandingan tipe freon (Febriansyah, 2012)	15
Tabel 2.2. Nilai konduktivitas material (Incropera, 2011)	19
Tabel 2.3. Nilai koefisien perpindahan kalor berdasarkan jenis fluida dan aliran (Kharagpur, 2008)	21
Tabel 3.1. Sifat-sifat dari refrigeran R-134a (PT. Polarin Xinindo, 2017)	41
Tabel 3.2. Sifat fisik dan termodinamik R-134a, R-12, dan R-22, (Fitriandi, 2017)	42
Tabel 4.1. Nilai kualitas uap pada beberapa frekuensi inverter	84
Tabel 4.2. Nilai Q_{evap} (perpindahan kalor yang diterima udara) pada beberapa kualitas uap	86
Tabel 4.3. Data input perhitungan $T_{\text{wi}}-T_{\text{sat}}$	88
Tabel 4.4. Hasil perhitungan nilai koefisien perpindahan kalor evaporasi	89
Tabel 4.5. Nilai kualitas uap dengan koefisien perpindahan kalor evaporasi pada variasi frekuensi inverter	90

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram P-h R-134a (Cengel, 2003)	100
Lampiran 2. Kalibrasi Termokopel	102
Lampiran 3. Kalibrasi <i>Orifice</i>	104
Lampiran 4. Kalibrasi <i>Heater</i>	105
Lampiran 5. Nilai Regresi Linier Q_{loss} (Energi yang Terlepas dari <i>Heater</i>)	107
Lampiran 6. Tabel Propertis Udara A-4 (Incropera dan Dewitt, 2011)	108
Lampiran 7. Data Pengujian-Perhitungan Nilai X (Kualitas) dan h_{evap} (Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi)	110

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

\dot{Q}_x	= Laju perpindahan kalor konduksi (W)
K	= Konduktivitas termal material (W/m.°C)
A	= Luas penampang dialiri oleh kalor secara konduksi diukur tegak lurus arah aliran (m ²)
$\frac{dT}{dx}$	= Gradien temperatur di arah x (°C/m)
\dot{Q}	= Laju perpindahan kalor konveksi (W)
h atau \check{h}	= Koefisien perpindahan kalor konveksi (W/m ² .K)
ΔT	= Beda temperatur antara T [∞] (fluida, °C) dengan Ts (permukaan, °C)
T	= Temperatur
Gr	= <i>Grashof number</i>
Ra	= <i>Rayleigh number</i>
Nu	= <i>Bilangan Nusselt</i>
L	= Panjang geometri, m
g	= Kecepatan gravitasi bumi, kg/s
β	= Kekuatan daya apung, K ⁻¹
Pr	= <i>Bilangan Prandtl</i>
ν	= Viskositas kinematik fluida, m ² /s
α	= <i>Thermal diffusivity</i> , m ² /s
\dot{Q}_{konv}	= Perpindahan kalor konveksi (W)
\dot{Q}_{rad}	= Perpindahan kalor radiasi (W)
A _s	= Luas permukaan geometri (m ²)
T _s	= Temperatur permukaan (°C)
T _{sur}	= Temperatur lingkungan (°C)
\dot{Q}_{loss}	= Energi yang tidak diserap refrigeran, Watt
\dot{Q}_{ref}	= Energi yang diserap refrigeran, Watt
P _{heater}	= Daya yang diberikan dari heater
x ₄	= Kualitas uap (x ₀)
h ₄	= <i>Enthalpy</i> fluida jenuh terkompresi (kJ/kg)
h _f	= <i>Enthalpy</i> pada sturasi liquid (kJ/kg)

h_g = *Enthalpy* pada saturasi uap (kJ/kg)
 h_x = *Enthalpy* tiap kenaikan kualitas
 x = Kualitas uap
 $h_{TP, h_{evap}}$ = Koefisien perpindahan kalor evaporasi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
 $T_{w,i}$ = Temperatur dinding dalam saluran ($^\circ C$)
 T_{sat} = Temperatur jenuh fluida di tengah saluran ($^\circ C$)
 \dot{m}_{wtr} = Laju aliran massa air (kg/s)
 $\rho_{wtr.1}$ = Massa jenis air pada aliran pipa tembaga (kg/m^3)
 $\rho_{wtr.2}$ = Massa jenis air pada aliran orifice (kg/m^3)
 A_2 = Luas penampang orifice (m^2)
 A_1 = Luas penampang pipa tembaga (m^2)
 v_1 = Kecepatan alir fluida pada pipa tembaga (m/s)
 v_2 = Kecepatan alir fluida pada orifice (m/s)
 $P_1 - P_2$ = Beda tekanan pada sisi masuk dan keluar *orifice* (Pa)
 ρ_{wtr} = Massa jenis air (kg/m^3)
 C = Koefisien curah
 \dot{V}_{ideal} = Laju aliran volume ideal
 \dot{V}_{aktual} = Laju aliran volume aktual
 Re = Bilangan *Reynolds*
 D = Diameter geometri, m
 ρ_{Hg} = Massa Jenis air raksa ($13.600 kg/m^3$)
 g = Percepatan gravitasi bumi ($9,81 m/s^2$)
 h_1-h_2 = Beda level fluida pada sisi masuk dan keluar (m)
 $\dot{Q}_{evap,SU}$ = Perpindahan kalor yang diberikan udara, Seksi Uji
 T_{wo} = Temperatur dinding luar seksi uji ($^\circ C$)
 r_2 = Diameter luar seksi uji (m)
 r_1 = Diameter dalam seksi uji (m)