

**PENGUKURAN KOEFISIEN PERPINDAHAN KALOR  
EVAPORASI REFRIGERAN R-134a DI DALAM SALURAN  
HALUS HORIZONTAL DENGAN VARIASI KUALITAS UAP**

**TUGAS AKHIR**

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



**Disusun Oleh:  
WARSITO KABUL SUYONO  
20130130223**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA  
2017**

## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi dan sepengetahuan 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, 12 Juni 2017

Warsito Kabul Suyono

## **KATA PENGANTAR**

Assalamuallaikum Wr, Wb

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahman dan rahim-Nya kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini. Selawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi besar Muhammad SAW yang kita tunggu syafaatnya di yaumul akhir nanti.

Penulisan tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Pada kesempatan ini penulis melakukan penelitian yang berjudul “PENGUKURAN KOEFISIEN PERPINDAHAN KALOR EVAPORASI REFRIGERAN R-134a DI DALAM SALURAN HALUS HORIZONTAL DENGAN VARIASI KUALITAS UAP”.

Pada kesempatan ini penulis juga ingin mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan perhatian selama melakukan penelitian ini. Rasa terima kasih penulis haturkan kepada:

1. Bapak Tito Hadji Agung Santosa, S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing utama tugas akhir yang telah memberikan bimbingan dan arahan yang sangat bermanfaat,
2. Bapak Thoharudin, S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing pendamping tugas akhir yang telah memberikan arahan teknis dan koreksi yang sangat bermanfaat,
3. Bapak Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.M., M.Eng.Sc, Ph.D. Selaku dosen penguji Pendadaran Tugas Akhir. Terima kasih atas bimbingan dan masukan-masukannya
4. Bapak Mujiarto, Bapak Mujiono, dan Bapak Joko selaku penanggung jawab laboratorium teknik mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, atas dipermudahkannya penggunaan laboratorium dan peminjaman alat laboratorium yang digunakan selama pembuatan alat hingga sampai pengambilan data selesai,

5. Bapak dan Ibu tercinta dan saudara penulis yang telah membantu baik dari segi moril, materiil, maupun spirituil yang selalu mendoakan penulis sehingga diberi kelancaran dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini,
6. Rekan satu *team* dan satu perjuangan dalam penelitian ini (Arif Burhanudin L, Anis Kurniawan, Muh Akhid R, Moh. Nala C.P , Arya Yuda H, Sahlan, dan Erjati Pitaloka) yang selalu solid, *team work* dalam penelitian ini,
7. Oma Wage, Amin Rais, Habibi, Diego, Mohamad Yuzdhie, Khamdan yang telah memberikan tempat peristirahatan sementara (*shelter*) selama menempuh perkuliahan,
8. Rekan-rekan S-1 Teknik atas ide, pikiran dan bantuannya,
9. Dan semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga dapat terselesainya penelitian ini.

Semoga Allah memberikan rahmat dan hidayah kepada mereka semua.

Aamiin.

Setelah melalui proses yang panjang dan penuh tantangan, akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang tentunya penulis juga menyadari bahwa tugas akhir ini belum sempurna, baik dari segi materi maupun penyajiannya. Untuk itu saran dan kritik yang sifatnya membangun sangat diharapkan dalam penyempurnaan tugas akhir ini.

Akhirnya penulis menghaturkan karya yang sederhana ini, semoga karya ini dapat menjadi sumbangan pemikiran bagi perkembangan ilmu dan teknologi tentang perpindahan kalor khususnya dan bidang pendidikan pada umumnya.

Aamiin.

Yogyakarta, Agustus 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
INTISARI.....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika penulisan.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori .....	9
2.2.1. Sistem Refrigerasi Uap.....	9
2.2.2. Komponen Utama Sistem Refrigerasi Uap .....	13
1) Kompresor .....	13
2) Kondensor.....	14
3) Katup ekspansi.....	14
4) Evaporator .....	15
2.2.3. Refrigeran .....	16
2.2.4. Modus Perpindahan Kalor.....	18

1) Konduksi.....	18
2) Konveksi.....	21
3) Radiasi .....	23
2.2.5. Aliran Dua Fasa .....	24
1) Didih Kolam .....	24
2) Didih Alir.....	26
2.2.6. Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi .....	27
2.2.7. Kualitas Uap ( $x$ ).....	30
2.2.8. Alat Penukar Kalor .....	31
2.2.9. Tipe-Tipe Alat Penukar Kalor .....	31
1) <i>Recuperative Heat Exchanger</i> .....	32
a. <i>Coaxial Tube Heat Exchanger</i> .....	32
b. <i>Cross Flow Heat Exchanger</i> .....	33
c. <i>Multi Pass Shell and Tube</i> .....	34
2) <i>Regenerative Heat Exchanger</i> .....	35
3) <i>Direct Contract Heat Exchanger</i> .....	36
2.2.10. Analisis Perpindahan Kalor pada <i>Heat Exchanger</i> .....	36
1) Modus Simulasi .....	36
2) Modus Desain .....	37
2.2.11. Beda Temperatur Rata-Rata Logaritmik (LMTD).....	37
2.2.12. <i>Overall Heat Transfer Coeficient (U)</i> .....	40
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>43</b>
3.1 Bahan.....	43
3.2 Alat .....	43
3.2.1. Skema Alat Uji .....	43
3.2.2. Peralatan Pengujian .....	47
3.3 Jalannya Penelitian .....	61
3.3.1. Diagram Alir Penelitian.....	61
3.3.2. Kalibrasai <i>Thermocouple</i> .....	64
3.3.3. Kalibrasai <i>Orifice</i> .....	64

3.3.4. Kalibrasi <i>Heater</i> .....	69
3.3.5. Tes Kebocoran.....	71
3.3.6. Pengisian Refrigeran .....	72
3.4. Prosedur Penelitian.....	73
3.4.1 Tahap Persiapan.....	73
3.4.2 Tahap Pengambilan Data.....	74
3.5. Parameter Yang Digunakan Dalam Perhitungan.....	75
3.5.1. Laju Aliran Massa Refrigerant ( $\dot{m}_{refrigerant}$ ) .....	75
3.5.2. Koefisien Evaporasi ( $h_{evaporasi}$ ) .....	76
3.5.3. Kualitas Uap Refrigeran ( $x$ ) .....	76
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>77</b>
4.1. Hasil Penelitian.....	77
4.1.1 Hasil Kalibrasi Termokopel .....	77
4.2. Data Hasil Penelitian .....	79
4.3. Pengolahan Data .....	81
4.3.1 Perhitungan Laju Aliran Massa Refrigeran ( $\dot{m}_{R-134a}$ ).....	81
4.3.2 Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi ( $h_{evaporasi}$ ) ..	83
4.3.3 Perhitungan Menentukan Kualitas 0 pada titik 4 ( $x_0$ ).....	86
4.3.4 Perhitungan Kalor Yang Hilang ( $\dot{Q}_{loss}$ ) Secara Konveksi .....	89
4.3.5 Perhitungan Kalor Yang Hilang ( $\dot{Q}_{loss}$ ) Secara Radiasi.....	90
4.3.6 Perhitungan $\dot{Q}_{heater}$ Yang Diserap Refrigeran .....	91
4.3.7 Perhitungan Nilai Kualitas Uap ( $x$ ) Jika Ada Masukan Daya Oleh <i>Heater</i> .....	92
4.4. Pembahasan .....	94
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>96</b>
5.1. Kesimpulan.....	96
5.2. Saran .....	96
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>97</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Grafik $h_{TP} - x$ ..... 6 (Rhee dan Young, 1974)	6
Gambar 2.2	Hubungan kualitas uap terhadap koefisien evaporasi pada tekanan evaporasi 55 psi ..... 7 (Santosa, 2003)	7
Gambar 2.3	Hubungan antara koefisien perpindahan kalor konveksi dengan variasi kualitas rata-rata untuk fluks massa 200 dan 300 kg/m <sup>2</sup> s pada saluran halus vertikal ..... 8 (Dalkilic, 2016)	8
Gambar 2.4	Hubungan antara koefisien perpindahan kalor konveksi dengan variasi kualitas rata-rata untuk fluks massa 200 dan 400 kg/m <sup>2</sup> s pada saluran halus horisontal ..... 8 (Dalkilic, 2016)	8
Gambar 2.5	Pengaruh <i>heat flux</i> terhadap koefisien perpindahan kalor aliran dua fasa ..... 9 (Prasetya, 2011)	9
Gambar 2.6	Sistem refrigerasi siklus kompresi uap standar ..... 10 (Stoecker, 1996)	10
Gambar 2.7	(a) Skematik sistem refrigerasi kompresi uap standar ..... 11 (b) Diagram T – s ..... 11 (c) Diagram P – h ..... 11 (Dinçer & Kanoglu, 2010)	11
Gambar 2.8	Siklus kompresi uap nyata dibanding siklus uap standar ..... 12 (Stoecker, 1996)	12
Gambar 2.9	Kompresor torak merek NIPPON DENSO 10P15C ..... 13	13
Gambar 2.10	Kondensor berpendingin air ..... 14	14
Gambar 2.11	Katup ekspansi jenis termostatik ..... 15	15
Gambar 2.12	Skematik katup ekspansi jenis termostatik ..... 15	15
Gambar 2.13	Evaporator ..... 16	16
Gambar 2.14	Refrigeran R-134a merek Klea ..... 18	18
Gambar 2.15	Aliran kalor secara konduksi pada dinding datar ..... 19 (Incopera and Dewitt, 2002)	19
Gambar 2.16	Konduksi pada silinder berongga ..... 21 (Incopera and Dewitt, 2002)	21
Gambar 2.17	Konveksi bebas pada plat datar vertikal dengan $T_s > T_\infty$ ..... 22 (Incopera and Dewitt, 2002)	22
Gambar 2.18	Laju perpindahan kalor secara radiasi antara suatu permukaan dengan permukaan lain yang melingkupinya ..... 23 (Incopera and Dewitt, 2002)	23
Gambar 2.19	Kurva didih kolam ..... 25 (Incopera and Dewitt, 2002)	25



Gambar 2.20	Rejim aliran didih secara konveksi paksa di dalam saluran vertikal arah ke atas dan ke bawah .....	26
	(Incopera and Dewitt, 2002)	
Gambar 2.21	Rejim aliran didih alir di dalam saluran horisontal .....	27
Gambar 2.22	Skema laju perpindahan kalor evaporasi .....	28
Gambar 2.23	Skema aliran udara di seksi uji .....	28
Gambar 2.24	Skema perpindahan kalor pada silinder berlubang .....	29
	(Kurniawan, 2007)	
Gambar 2.25	Diagram P-h siklus refrigerasi .....	30
Gambar 2.26	Skema penukar kalor sederhana .....	32
	(Kurniawan, 2007)	
Gambar 2.27	Alat penukar kalor dengan aliran <i>parallel flow</i> beserta garis distribusi temperatur yang terjadi .....	33
	(Çengel, 1998)	
Gambar 2.28	Alat penukar kalor dengan aliran <i>counter flow</i> beserta garis distribusi temperatur yang terjadi .....	33
	(Çengel, 1998)	
Gambar 2.29	Penukar kalor tipe plat datar yang melukiskan aliran lintang dengan kedua fluidanya tak bercampur .....	34
	(Kurniawan, 2007)	
Gambar 2.30	Pemanas udara aliran melintang yang melukiskan aliran melintang dengan satu fluidanya bercampur dan fluida yang lainya tidak bercampur .....	34
	(Kurniawan, 2007)	
Gambar 2.31	Penukar kalor <i>shell and tube</i> dengan sekat-sekat ( <i>baffles</i> ) .....	35
	(Incopera and Dewitt, 2002)	
Gambar 2.32	<i>Regenerative heat exchanger</i> .....	35
	(Kurniawan, 2007)	
Gambar 2.33	<i>Cooling tower</i> .....	36
	(Kurniawan, 2007)	
Gambar 2.34	Profil temperatur aliran berlawanan ( <i>counter flow</i> ) .....	38
	(Incopera and Dewitt, 2002)	
Gambar 2.35	Profil temperatur aliran searah ( <i>parallel flow</i> ) .....	39
	(Incopera and Dewitt, 2002)	
Gambar 2.36	Grafik faktor koreksi (F) untuk 1 <i>shell pass</i> dan 2 atau kelipatan <i>tube pass</i> .....	40
	(Çengel, 1998)	
Gambar 2.37	Penukar Kalor pipa ganda serta jaringan termal yang terjadi .....	41
	(Kurniawan, 2007)	
Gambar 3.1	Skema Alat Uji .....	44
Gambar 3.2	Skema seksi Uji .....	45
Gambar 3.3	Skema <i>orifice</i> .....	46
Gambar 3.4	Kompresor refrigerasi jenis torak merek NIPPON DENSO <i>Type</i> 10P15C .....	47
Gambar 3.5	Motor listrik 3 <i>phase</i> .....	48
Gambar 3.6	Inverter 3 <i>phase</i> merek CHINT .....	49

Gambar 3.7	Kondensor .....	49
Gambar 3.8	Evaporator .....	50
Gambar 3.9	Katup ekspansi .....	50
Gambar 3.10	Pompa air jenis sentrifugal .....	51
Gambar 3.11	<i>Blower</i> .....	51
Gambar 3.12	<i>Voltage regulator</i> .....	52
Gambar 3.13	<i>Heater</i> dan Seksi Uji .....	53
Gambar 3.14	(a) <i>Pressure gauge high pressure</i> .....	54
	(b) <i>Pressure gauge low pressure</i> .....	54
Gambar 3.15	Rotameter air .....	54
Gambar 3.16	<i>Anemometer</i> .....	55
Gambar 3.17	<i>Thermoreader</i> .....	55
Gambar 3.18	<i>Multimeter digital</i> .....	56
Gambar 3.19	Tang Ampere .....	57
Gambar 3.20	<i>Manifold</i> .....	57
Gambar 3.21	Pompa Vakum .....	58
Gambar 3.22	<i>Filter Dryer</i> .....	58
Gambar 3.23	<i>Sight Glass</i> (Kaca Penduga) .....	59
Gambar 3.24	<i>Orifice</i> .....	59
Gambar 3.25	Manometer U .....	60
Gambar 3.26	<i>Miniature Circuit Breaker</i> (MCB) .....	60
Gambar 3.27	Diagram Alir Penelitian .....	61
Gambar 3.28	Skema Manometer U .....	65
Gambar 3.29	Skema <i>Orifice</i> .....	66
Gambar 3.30	Grafik hubungan $\Delta P$ <i>Orifice</i> terhadap bilangan <i>Reynolds</i> (Re) ..	68
Gambar 3.31	Grafik hubungan bilangan <i>Reynolds</i> (Re) terhadap koefisien curah (C) .....	68
Gambar 3.32	Grafik hubungan kalor yang diserap air dengan <i>voltase</i> .....	70
Gambar 3.33	Grafik hubungan <i>voltase</i> terhadap arus .....	70
	(a) <i>Heater 1</i> .....	70
	(b) <i>Heater 2</i> .....	71
	(c) <i>Heater 3</i> .....	71
Gambar 4.1	Diagram P – h Siklus Refrigerasi .....	87
	(Yoshihiro, 2013)	
Gambar 4.2	Grafik hubungan antara kualitas uap refrigeran ( $x$ ) terhadap koefisien perpindahan kalor evaporasi ( $h_{evap}$ ) .....	94

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan dampak refrigeran terhadap lingkungan .....	16
Tabel 2.2	Sifat fisika dan termodinamika.....	17
Tabel 2.3	Nilai konduktivitas termal .....	20
Tabel 2.4	Nilai emisivitas material.....	24
Tabel 4.1	Kalibrasi termokopel .....	77
Tabel 4.2	Hasil penelitian.....	79

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>LAMPIRAN 1.</b> Diagram P – h refrigeran R-134a.....	99
<b>LAMPIRAN 2.</b> Kalibrasi <i>Orifice</i> .....	100
<b>LAMPIRAN 3.</b> DATA PENGUJIAN.....	101
<b>LAMPIRAN 4.</b> DATA PERHITUNGAN .....	107
<b>LAMPIRAN 5.</b> TABEL SIFAT UDARA.....	119
<b>LAMPIRAN 6.</b> ALAT UJI .....	120