

**PENGUKURAN KOEFISIEN PERPINDAHAN KALOR EVAPORASI
DENGAN VARIASI LAJU ALIRAN MASSA REFRIGERAN R-134a
DI DALAM SALURAN HALUS HORIZONTAL**

***MEASUREMENT OF EVAPORATION HEAT TRANSFER COEFFICIENT
WITH MASS FLOW RATE VARIATION OF REFRIGERANT R-134A IN
A SMOOTH HORIZONTAL PIPE***

TUGAS AKHIR

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



DISUSUN OLEH:

ERJATI PITALOKA

20130130180

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH 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, Agustus 2017

Erjati Pitaloka

PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

“Dengan Nama Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang”

“Perjuangan merupakan pengalaman yang sangat berharga yang dapat menjadikan kita manusia yang berkualitas”

Kupersembahkan karya sederhana ini untuk semua yang sangat saya sayangi dan saya kasahi..

[Ayah Tercinta dan Almarhumah Ibunda]

Sebagai tanda bakti, hormat dan rasa terima kasih yang tiada terhingga kupersembahkan karya kecil ini kepada Ibu dan Ayah yang telah memberikan kasih sayang, segala dukungan dan cinta kasih yang tiada terhingga dan tiada mungkin dapat kubalas hanya dengan selembarnya kata persembahan. Semoga ini menjadi langkah awal untuk Ibu dan Ayah bahagia karena kusadar, selama ini belum bisa berbuat yang lebih. Untuk Ibu dan Ayah yang selalu menyirami kasih sayang, selalu menasehatiku dan mendoakanku untuk menjadi lebih baik.

Terima Kasih Ibu... Terima Kasih Ayah..

[Teknik Mesin D 2013 Broderhood]

Semua sahabat seperjuangan Teknik Mesin D 2013, Aan, Abdi G, Mega, Alpin, Anggit, Ari Fadli, Ari Yulianto, Arief Gombloh, Arya, Ayup, Bayu, Candra, Destik, Dede, Dinta, Edo, Eko, Ekwin, Hima, Ganto, Imam, Ina, Agung, Luji, Lukman, Shidiq, Sigit, Sulis, Tomi, Uman, Wawan, Sony, Afif, Muarif. Kuatkan tekad kalian tuk maju menghadapi rintangan, jangan pernah takut untuk berproses, karena hasil tidak akan pernah mengkhianati proses. So, segera keluar dari zona nyamanmu dan selesaikan tanggung jawabmu yang masih terbengkalai.

Teruslah “Liar” tapi jangan lupa untuk “Ber-iman”

[Dosen Pembimbingku]

Bapak R. Tito Hadji Agung Santoso S.T., M.T. dan Bapak Thoharudin, S.T., M.T selaku dosen tugas akhir saya, terima kasih banyak atas semua bantuan, nasihat, bimbingan dan pelajaran yang telah diberikan.

Saya tidak akan pernah lupa atas bantuan dan kesabaran dari Bapak-bapak semua...

Seluruh dosen dan staff pengajar di Jurusan Teknik Mesin :

Terima kasih banyak untuk semua ilmu, didikan dan pengalaman yang sangat berharga yang telah diberikan kepada kami.

[Yang Terakhir]

Untuk ribuan tujuan yang harus dicapai, untuk jutaan mimpi yang akan dikejar, untuk sebuah pengharapan, agar hidup jauh lebih bermakna. Hidup tanpa mimpi ibarat arus sungai. Mengalir tanpa tujuan. Teruslah belajar, berusaha dan berdoa untuk menggapainya.

Jatuh berdiri lagi. Kalah mencoba lagi. Gagal bangkit lagi

Never give up!

Sampai Allah SWT berkata "waktunya pulang"

Hanya sebuah karya kecil dan untaian kata-kata ini yang dapat kupersembahkan kepada kalian semua. Terima kasih beribu terima kasih kuucapkan.

Atas segala kekhilafan dan kekuranganku, kurendahkan hati serta diri menjabat tangan meminta beribu-ribu kata maaf tercurah.

Tugas Akhir ini kupersembahkan.

Erjati Pitaloka, S.T.

MOTTO

*“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan
maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan)
kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan yang lain)
dan kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap”
(Q.S. Al-Insyiroh :6-8)*

*“Bila kau tak tahan lelahnya belajar, maka kau harus tahan menanggung
kebodohan”
(Imam Syafi’i)*

*“Bekerjalah untuk duniamu seakan-akan akan hidup selamanya
dan
Bekerjalah untuk akhiratmu seakan-akan esok hari kau tiada”
(Rasulullah Muhammad SAW)*

*“Urip Iku Urup”
(Sunan Kalijogo)*

*“Jika engkau takut disalahpahami sebaiknya do nothing,
say nothing & be nothing”
(Anonim)*

*Ojo Adigang Adigung Adiguno
(Sunan Kalijogo)*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	1
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN	2
PERSEMBAHAN	2
<i>MOTTO</i>	5
INTISARI	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR TERIMA KASIH	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR ISI.....	6
DAFTAR GAMBAR.....	8
DAFTAR TABEL.....	11
DAFTAR LAMPIRAN.....	12
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	13
BAB 1	Error! Bookmark not defined.
1.1 Latar Belakang	Error! Bookmark not defined.
1.2 Rumusan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.3 Batasan Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.4 Tujuan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
1.5 Manfaat Penelitian	Error! Bookmark not defined.
1.6 Sistematika Penulisan	Error! Bookmark not defined.
BAB II	Error! Bookmark not defined.
2.1 Tinjauan Pustaka.....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Dasar Teori.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 Termodinamika Sistem Refrigerasi.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.2 Perpindahan Kalor.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.3 Konduksi	Error! Bookmark not defined.
2.2.4 Radiasi.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.5 Konveksi	Error! Bookmark not defined.
2.2.6 Prinsip Dasar Alat Penukar Kalor.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.7 Beberapa Tipe Alat Penukar Kalor	Error! Bookmark not defined.
2.2.8 Analisis Penukar Kalor (<i>Heat Exchanger</i>).....	Error! Bookmark not defined.

2.2.9	Laju Perpindahan Kalor	Error! Bookmark not defined.
2.2.10	Beda Temperatur Rata-Rata Logaritmik (LMTD)	Error! Bookmark not defined.
2.2.11	Metode <i>Effectiveness</i> (ϵ) – NTU	Error! Bookmark not defined.
2.2.12	Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi	Error! Bookmark not defined.
2.2.13	Pola Aliran	Error! Bookmark not defined.
2.2.14	Komponen Utama Sistem Refrigerasi.....	Error! Bookmark not defined.
BAB III.....		Error! Bookmark not defined.
3.1	Bahan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2	Alat.....	Error! Bookmark not defined.
3.2.1	Skema Alat Uji.....	Error! Bookmark not defined.
3.2.2	Peralatan Uji.....	Error! Bookmark not defined.
3.3	Jalanya Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.1	Diagram Alir Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.4	Kalibrasi Termokopel	Error! Bookmark not defined.
3.5	Kalibrasi <i>Orifice</i>	Error! Bookmark not defined.
3.6	Tes Kebocoran	Error! Bookmark not defined.
3.7	Pengisian Refrigeran.....	Error! Bookmark not defined.
3.8	Prosedur Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.8.1	Persiapan	Error! Bookmark not defined.
3.8.2	Tahapan Pengujian.....	Error! Bookmark not defined.
3.8.3	Tahap Pengambilan Data	Error! Bookmark not defined.
3.8.4	Parameter yang digunakan dalam perhitungan	Error! Bookmark not defined.
BAB IV		Error! Bookmark not defined.
4.1	Hasil Penelitian	Error! Bookmark not defined.
4.2	Perhitungan	Error! Bookmark not defined.
4.2.1.	Perhitungan Laju Aliran Massa Refrigeran (\dot{m}).....	Error! Bookmark not defined.
4.2.2	Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi (h_{evap}).....	Error! Bookmark not defined.
4.3	Pembahasan.....	Error! Bookmark not defined.

BAB V	Error! Bookmark not defined.
5.1 Kesimpulan	Error! Bookmark not defined.
5.2 Saran	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA.....	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubungan antara laju aliran massa terhadap koefisien perpindahan kalor rata-rata.....	6
Gambar 2.2 Skema alat uji.....	6
Gambar 2.3 Perbedaan antara perhitungan koefisien perpindahan panas dengan eksperimental dengan R12 pada temperatur 27,5°	7
Gambar 2.4 Perbedaan antara perhitungan koefisien perpindahan panas dengan eksperimental dengan R-134a pada temperatur.....	7
Gambar 2.5 Skema rata-rata koefisien perpindahan kalor evaporasi terhadap laju aliran massa refrigeran HC-600a.....	8
Gambar 2.6 Siklus Ideal Refrigerasi Kompresi Uap.....	9
Gambar 2.7 Contoh Berbagai Perpindahan kalor (Cengel, 2002).....	11
Gambar 2.8 Proses perpindahan kalor konduksi pada dinding datar.....	12
Gambar 2.9 Konduksi pada pipa berongga.....	13
Gambar 2.10 Perpindahan kalor radiasi.....	15
Gambar 2.11 Perpindahan kalor konveksi.....	16
Gambar 2.12 Diagram penukar kalor sederhana.....	18
Gambar 2.13 Penukar kalor tipe plat datar yang melukiskan aliran lintang dengan kedua fluidanya tak bercampur.....	19
Gambar 2.14 Pemanas udara aliran lintang yang melukiskan aliran lintang dengan satu fluidanya barcampur dan fluida lainnya tak bercampur.....	20
Gambar 2.15 Penukar kalor <i>shell and tube</i> dengan sekat-sekat (<i>baffles</i>) segmen.....	20
Gambar 2.16 <i>Regenerative heat exchanger</i>	21

Gambar 2.17 <i>Cooling Tower</i>	21
Gambar 2.18 Skema <i>overall heat tranfer coefficient</i>	23
Gambar 2.19 Profil temperatur aliran berlawanan (<i>counter flow</i>).....	26
Gambar 2.20 Profil temperatur aliran searah (<i>parallel flow</i>).....	26
Gambar 2.21 Grafik faktor koreksi (F) untuk1 <i>shell pass</i> dan 2 atau kelipatan <i>tubepass</i>	27
Gambar 2.22 Skema perpindahan Kalor Evaporasi(Cengel, 2003).....	29
Gambar 2.23 Pola Aliran Horisontal.....	31
Gambar 2.24 Pola Aliran Vertikal.....	31
Gambar 2.25 Kompresor(Sejahtera, 2014).....	32
Gambar 2.26 Kondensor(Sejahtera, 2014).....	33
Gambar 2.27 Katup Ekspansi.....	34
Gambar 2.28 Skema Katup Ekspansi(Ngendhi, 2010).....	34
Gambar 2.29 Evaporator(Raharja, 2016).....	35
Gambar 2.30 Refrigeran R-134a(Setiawan, 2013).....	36
Gambar 3.1 Skema Alat Pengujian.....	40
Gambar 3.2 Foto Alat Uji.....	41
Gambar 3.3 Kompresor NIPPONDENSO 10P15C.....	42
Gambar 3.4 Motor Listrik.....	43
Gambar 3.5 Inverter 3 fasa.....	44
Gambar 3.6 (a) <i>Pressure gauge high pressure</i> dan (b) <i>Pressure gauge low pressure</i>	44
Gambar 3.7 Rotameter Air.....	45
Gambar 3.8 Skema Katup Ekspansi.....	45
Gambar 3.9 <i>Filter Dryer</i>	46
Gambar 3.10 Pompa Air.....	47
Gambar 3.11 <i>Manifold</i>	48
Gambar 3.12 <i>Sight Glass</i>	48
Gambar 3.13 <i>MCB (Mininiature Circuit Breaker)</i>	49
Gambar 3.14 <i>Thermoreader</i>	49
Gambar 3.15 <i>Anemometer</i>	50

Gambar 3.16 <i>Voltage Regulator</i>	51
Gambar 3.17 <i>Blower</i>	51
Gambar 3.18 <i>Orifice</i>	52
Gambar 3.19 Skema <i>Orifice</i>	52
Gambar 3.20 Manometer Air Raksa.....	53
Gambar 3.21 Manometer Air Raksa.....	54
Gambar 3.22 Manometer Air Raksa.....	54
Gambar 3.24 Manometer Air Raksa.....	55
Gambar 3.25 Multimeter.....	56
Gambar 3.27 <i>Heater</i> dan Seksi Uji.....	58
Gambar 3.28 <i>Heater</i> dan Seksi Uji.....	59
Gambar 3.29 Diagram Alir Penelitian.....	60
Gambar 3.30 Diagram Alir Penelitian (lanjutan).....	61
Gambar 3.31 Diagram Alir Penelitian(lanjutan).....	62
Gambar 3.32 Skema Manometer U.....	63
Gambar 3.33 Grafik hubungan beda tekanan orifice dengan bilangan Re.....	66
Gambar 3.34 Grafik hubungan bilangan Re dengan koefisien curah (C).....	67
Gambar 3.35 Diagram P-h Siklus Kompresi Uap(Ajiwiguna, 2010).....	72
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan antara laju aliran massa refrigeran (\dot{m}) terhadap Koefisien Perpindahan kalor evaporasi (h_{evap}).....	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai konduktifitas thermal pada material.(Cengel, 2003).....	14
Tabel 2.2 Nilai koefisien perpindahan kalor berdasarkan jenis fluida dan aliran.	17
Tabel 3.1 Sifat-sifat Refrigeran R-134a(PT. Polarin Xinindo, 2017).....	38
Tabel 4.1 Hasil Pengamatan untuk mencari nilai m	74
Tabel 4.2 Hasil Pengamatan untuk mencari nilai hevap.....	75

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Diagram P-h.....	86
LAMPIRAN 2. Kalibrasi Orifice.....	87
LAMPIRAN 3. Kalibrasi Termokopel.....	88
LAMPIRAN 4. Data Pengujian.....	90

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

\dot{q}_x	= Fluks kalor (laju perpindahan kalor konduksi) (W/m^2)
K	= Konduktivitas termal material ($\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$)
A	= Luas penampang dialiri oleh kalor secara konduksi diukur tegak lurus arah aliran (m^2)
$\frac{dT}{dx}$	= Gradien temperatur di arah x ($^\circ\text{C}/\text{m}$)
\dot{q}	= Laju perpindahan kalor konveksi (W/m^2)
h atau \bar{h}	= Koefisien perpindahan kalor konveksi ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)
ΔT	= Beda temperatur antara T_∞ (fluida, $^\circ\text{C}$) dengan T_s (permukaan, $^\circ\text{C}$)
T	= Temperatur
Gr	= <i>Grashof number</i>
Ra	= <i>Rayleigh number</i>
Nu	= Bilangan <i>Nusselt</i>
L	= Panjang geometri, m
g	= Kecepatan gravitasi bumi, kg/s
β	= Kekuatan daya apung, K^{-1}
Pr	= Bilangan <i>Prandtl</i>
ν	= Viskositas kinematik fluida, m^2/s
α	= <i>Thermal diffusivity</i> , m^2/s
q_{konv}	= Perpindahan kalor konveksi (Watt)
q_{rad}	= Perpindahan kalor radiasi (Watt)
A_s	= Luas Permukaan Geometri (m^2)
T_s	= Temperatur permukaan ($^\circ\text{C}$)
T_{sur}	= Temperatur lingkungan ($^\circ\text{C}$)
h_4	= <i>Enthalpy</i> fluida jenuh terkompresi (kJ/kg)

h_f	= <i>Enthalpy</i> pada sturasi liquid (kJ/kg)
h_g	= <i>Enthalpy</i> pada saturasi uap (kJ/kg)
h_x	= <i>Enthalpy</i> tiap kenaikan kualitas
x	= Kualitas Uap
h_{TP} atau h_{evap}	= Koefisien perpindahan kalor evaporasi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
\dot{q}	= Fluks kalor (W/m^2)
$T_{w,i}$	= 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 <i>orifice</i> (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 <i>Reynolds</i>
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)
$Q_{evap,SU}$	= 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)