

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul **“Pengukuran Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi Saluran Halus Pipa Vertikal dengan Variasi Laju Aliran Massa Refrigeran R-134a”** merupakan 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, 23 Desember 2017

SAHLAN HARYONO

20130130076

## **PERSEMBAHAN**

Kepada Tuhan yang Maha Esa, sujud syukur hamba kepada-Mu Ya Allah SWT yang telah mengabulkan berbagai do'a dan memberi keyakinan untuk selalu berusaha, serta karunia-Mu yang luar biasa hebatnya. Shalawat serta salam senantiasa bagi junjungan Nabi Muhammad S.A.W, keluarga, para sahabat, hingga umatnya hingga akhir zaman, aamiin. Tiada henti bersyukur atas keyakinan dan kekuatan yang telah diberikan sehingga pada akhirnya dapat terselesaikan Tugas Akhir ini sesuai dengan harapan.

Saya persembahkan hasil dari pembelajaran dalam masa kuliah ini kepada kedua orang tua yang saya sayangi, Bapak Martam dan Ibu Sudilah yang selama hidup saya, selalu penuh dukungan, penyemangat, pemberi contoh yang baik, serta kasih penuh sayang terhadap saya. Sebuah kebahagiaan rasanya dimana orang tua selalu ada untuk memotivasi, dan tempat untuk kembali. Hingga sampai Tugas Akhir ini terselesaikan, adalah berkat do'a dan dukungan kedua orang tua saya. Saya berharap dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini, bertambah kebahagiaan untuk kedua orang tua saya. Saya juga berdo'a semoga banyak kebahagiaan yang akan muncul bagi kedua orang tua saya.

Terima kasih saya ucapkan untuk kedua orang tua saya, terkhususkan pada penyelesaian Tugas Akhir ini, dan akan banyak terima kasih lagi di kemudian hari...

Terima kasih Ibu dan Bapak...

## MOTTO

**"Pendidikan merupakan senjata paling ampuh yang bisa kamu gunakan untuk merubah dunia"**

(Nelson Mandela)

**"Jika seseorang bepergian dengan tujuan mencari ilmu, maka Allah akan menjadikan perjalanannya seperti perjalanan menuju surga"**

(Nabi Muhammad SAW)

***"The one real object of education is to have a man in the condition of continually asking questions"***

(Bishop Mandell Creighton)

**"Jika kamu tidak mengejar apa yang kamu inginkan, maka kamu tidak akan mendapatkannya. Jika kamu tidak bertanya maka jawabannya adalah tidak. Jika kamu tidak melangkah maju, kamu akan tetap berada di tempat yang sama"**

(Nora Roberts)

**"Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhan-mu yang Menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhan-mulah yang maha Mulia. Yang mengajar (manusia) dengan pena. Dia mengajarkan manusia apa yang tidak diketahuinya"**

(QS. Al 'Alaq 1-5)

**"Karena hanya dengan berusaha sebaik mungkin tidak menjamin suatu kepuasan tanpa do'a yang menyertai"**

(Penulis)

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>v</b>
<b>INTISARI .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1    Latar Belakang .....	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
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1    Tinjauan Pustaka .....	5
2.2    Dasar Teori .....	8
2.2.1    Prinsip Kerja Sistem Refrigerasi .....	8
2.2.2    Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Standar .....	9
2.2.3    Komponen Sistem Refrigerasi Kompresi Uap.....	12
2.2.4    Perpindahan Kalor.....	19
2.2.5    Perpindahan Kalor Konduksi <i>Steady</i> Satu Dimensi.....	24
2.2.6    Analisis Perpindahan Kalor Pada <i>Heat Exchanger</i> .....	26
2.2.7    Beda Temperatur Rata-rata Logaritmik (LMTD) .....	27
2.2.8    Perpindahan Kalor Konveksi Bebas .....	30
2.2.9    Kualitas Uap Refrigeran.....	32

2.2.10	Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi .....	33
2.2.11	Pola Aliran .....	34
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>38</b>
3.1	Bahan yang Digunakan .....	38
3.2	Alat yang digunakan.....	38
3.3	Diagram Alir Penelitian.....	57
3.4	Kalibrasi <i>Thermocouple</i> .....	60
3.5	Kalibrasi <i>Orifice</i> .....	60
3.6	Kalibrasi <i>Heater</i> (Pemanas Listrik).....	65
3.7	Tes Kebocoran Alat.....	67
3.8	Pengisian Refrigeran .....	67
3.9	Prosedur Penelitian.....	68
3.8.1	Persiapan .....	68
3.8.2	Tahapan Pengujian Awal .....	69
3.8.3	Tahap Pengambilan Data .....	70
3.8.4	Parameter yang digunakan pada perhitungan .....	70
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>75</b>
4.1	Data Hasil Penelitian .....	75
4.1.1	Perhitungan Laju Aliran Massa Refrigeran ( $\dot{m}$ ).....	75
4.1.2	Perhitungan Nilai Kualitas Uap Awal ( $X_0$ ).....	79
4.1.3	Perencanaan voltase dan arus pada perangkat <i>Heater</i> .....	79
4.1.4	Nilai kualitas uap pada setiap Frekuensi .....	82
4.1.5	Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi ( $h_{evap}$ ) .....	86
4.2	Pembahasan .....	93
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>		<b>99</b>
5.1	Kesimpulan.....	99
5.2	Saran.....	100
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>101</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>103</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Koefisien Perpindahan Panas Rata-Rata Dengan Laju Aliran Massa Refrigeran (Basri, 2011). .....	5
Gambar 2.2 Skema Pengaturan Alat Eksperimental .....	6
Gambar 2.3 Variasi eksperimental koefisien perpindahan kalor konveksi dengan kualitas uap rata-rata, (a) saluran halus vertikal, (b) saluran halus horisontal (Dalkilic dkk, 2016) .....	6
Gambar 2.4 Variasi koefisien perpindahan kalor lokal dengan fluks massa dan kualitas uap (Lee dkk, 2013) .....	7
Gambar 2.5 Pengukuran koefisien perpindahan kalor satu fasa HFC-134a dan CFC-12 (Eckels dan Pate, 1990) .....	8
Gambar 2.6 Sistem Pendingin Siklus Kompresi Uap Standar (Hasan, 2013). .....	9
Gambar 2.7 Tipe-tipe kompresor (Dincer dan Kanoglu, 2010) .....	12
Gambar 2.8 Kondensor tipe <i>Shell and Tube</i> (Hundy, 2008) .....	13
Gambar 2.9 Katup ekspansi elektronik (Dincer dan Kanoglu, 2010). .....	15
Gambar 2.10 Evaporator tipe <i>Shell and Tube</i> (Bejan, 2004). .....	15
Gambar 2.11 Perpindahan kalor Konduksi (Incropera, 2011) .....	19
Gambar 2.12 Perpindahan kalor Konveksi (Cengel, 2003). .....	21
Gambar 2.13 (a) Konveksi Paksa dan (b) Konveksi Bebas (Cengel, 2003). .....	22
Gambar 2.14 Perpindahan kalor pada dinding datar (Bayu, 2007) .....	24
Gambar 2.15 Perpindahan kalor pada pipa silinder (pipa) (Bayu, 2007) .....	25
Gambar 2.16 Profil temperatur aliran berlawanan ( <i>counter flow</i> ) (Incropera, 2011) .....	29
Gambar 2.17 Profil temperatur aliran searah ( <i>parallel flow</i> ) (Incropera, 2011) ..	29
Gambar 2.18 Grafik faktor koreksi (F) untuk 1 <i>shell pass</i> dan 2 atau kelipatan <i>tube pass</i> (Cengel, 2003) .....	30
Gambar 2.19 Diagram P-h Siklus refrigerasi kompresi uap (Dincer dan kanoglu, 2010) .....	32
Gambar 2.20 Skema laju Perpindahan Kalor Evaporasi .....	33

Gambar 2.21 Konfigurasi pipa vertikal dengan arah aliran kebawah (Ghajar, 2012) .....	35
Gambar 2.22 Konfigurasi pipa vertikal dengan arah aliran keatas (Incropera dkk, 2011) .....	36
Gambar 2.23 Distribusi pola aliran saluran pipa horisontal (Collier, 1994).....	37
Gambar 3.1 Kompresor NIPPONDENSO 10P15C. ....	39
Gambar 3.2 Motor Listrik. ....	40
Gambar 3.3 Kondensor AC mobil Toyota Kijang Grand R12. ....	40
Gambar 3.4 Katup ekspansi DANFOSS TX 2.....	40
Gambar 3.5 Seksi uji dan Heater.....	42
Gambar 3.6 Inverter CHINT. ....	43
Gambar 3.7 <i>Filter Dryer</i> . ....	43
Gambar 3.8 <i>Orifice</i> .....	44
Gambar 3.9 Evaporator. ....	44
Gambar 3.10 (a) <i>Pressure gauge High Pressure</i> dan (b) <i>Pressure gauge Low Pressure</i> .....	45
Gambar 3.11 Rotameter air. ....	45
Gambar 3.12 <i>Manometer U</i> .....	46
Gambar 3.13 Pompa Air Listrik.....	47
Gambar 3.14 <i>Thermoreader</i> .....	47
Gambar 3.15 <i>Anemometer</i> .....	48
Gambar 3.16 <i>Voltage Regulator</i> . ....	49
Gambar 3.17 <i>Multimeter</i> . ....	50
Gambar 3.18 Manometer Air Raksa. ....	50
Gambar 3.19 <i>Blower</i> . ....	51
Gambar 3.20 Pipa Tembaga.....	51
Gambar 3.21 Pipa PVC.....	52
Gambar 3.22 <i>Manifold</i> . ....	52
Gambar 3.23 <i>Sight Glass</i> . ....	53
Gambar 3.24 <i>Miniature Circuit Breaker (MCB)</i> . ....	53
Gambar 3.25 <i>Heater</i> dan Seksi Uji .....	54

Gambar 3.26 Skema Alat Uji.....	55
Gambar 3.27 Foto Alat Uji .....	56
Gambar 3.28 Diagram Alir Penelitian .....	57
Gambar 3.29 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan).....	58
Gambar 3.30 Skema <i>Manometer</i> U.....	60
Gambar 3.31 Grafik hubungan beda tekanan orifice dengan bilangan <i>Re</i> . .....	63
Gambar 3.32 Grafik hubungan bilangan <i>Re</i> dengan koefisien curah ( <i>C</i> ). .....	64
Gambar 3.33 Grafik hubungan kalor yang diterima pada air dengan <i>voltase</i> untuk setiap <i>heater</i> . .....	65
Gambar 3.34 Grafik hubungan arus dengan <i>voltase</i> (a) <i>heater</i> 1, (b) <i>heater</i> 2, (c) <i>heater</i> 3. ....	66
Gambar 3.35 Diagram P-h Siklus Kompresi Uap (Stoecker dan Jones, 1982).....	71
Gambar 4.1 Grafik hubungan fluks kalor udara ( $q''$ ) terhadap kualitas uap refrigeran ( $x$ ) saluran pipa halus vertikal. ....	93
Gambar 4.2 Grafik hubungan temperatur dinding pipa dalam refrigeran pada seksi uji ( $T_{wi}$ ) terhadap kualitas uap refrigeran ( $x$ ) saluran pipa halus vertikal. ....	94
Gambar 4.3 Grafik hubungan beda temperatur ( $T_{wi} - T_{sat}$ ) terhadap kualitas uap refrigeran ( $x$ ) saluran pipa halus vertikal. ....	95
Gambar 4.4 Grafik hubungan koefisien perpindahan kalor evaporasi ( $h_{eva}$ ) terhadap kualitas uap refrigeran ( $x$ ) saluran pipa halus vertikal. ....	96



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat fisika dan termodinamika refrigeran (Agus, 2007) .....	18
Tabel 2.2 Konduktivitas termal beberapa material (Cengel, 2003) .....	21
Tabel 2.3 Emisivitas material pada suhu 300 °K (Cengel, 2003). .....	24
Tabel 3.1 Spesifikasi Refrigeran 134a (Agus, 2007). .....	38
Tabel 4.1 Hasil perhitungan $m_{ref}$ aktual beberapa frekuensi <i>inverter</i> pada kualitas uap tertentu. ....	78
Tabel 4.2 Tabel perencanaan <i>voltase</i> dan arus <i>heater</i> berbagai frekuensi pada kualitas uap $\Delta x = 0$ sampai 0,5. ....	81
Tabel 4.3 Tabel nilai kualitas uap <i>heater</i> terhadap berbagai frekuensi.....	85
Tabel 4.4 Hasil perhitungan $Q_{eva}$ pada beberapa frekuensi <i>inverter</i> pada kualitas uap tertentu. ....	88
Tabel 4.5 Data input temperatur dinding sisi masuk dan keluar seksi uji pada beberapa frekuensi <i>inverter</i> pada kualitas uap tertentu. ....	90
Tabel 4.6 Hasil perhitungan $h_{evap}$ pada beberapa frekuensi <i>inverter</i> pada kualitas uap tertentu. ....	92

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Diagram P-h refrigeran R134a .....	104
Lampiran 2 Tabel Kalibrasi <i>Orifice</i> .....	105
Lampiran 3 Data rencana pengujian <i>Heater</i> .....	106
Lampiran 4 Data aktual pengujian <i>Heater</i> .....	108
Lampiran 5 Data hasil pengujian .....	110
Lampiran 6 Pembacaan data pada tabel diagram P-h .....	118
Lampiran 7 Tabel perhitungan Laju Aliran Massa Refrigeran R134a.....	120
Lampiran 8 Tabel Perhitungan Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi. ....	122
Lampiran 9 Tabel Perhitungan $Q_{loss}$ pada <i>heater</i> .....	124
Lampiran 10 Tabel Perhitungan Nilai Kualitas Uap Refrigeran.....	126
Lampiran 11 Tabel Properti Udara (Incropera, 2002) .....	128

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$\dot{q}_x$	= Fluks kalor (laju perpindahan kalor konduksi) ( $W/m^2$ )
$K$	= Konduktivitas termal material ( $W/m \cdot ^\circ C$ )
$A$	= Luas penampang dialiri oleh kalor secara konduksi diukur tegak lurus arah aliran ( $m^2$ )
$\frac{dT}{dx}$	= Gradien temperatur di arah x ( $^\circ C/m$ )
$\dot{q}$	= Laju perpindahan kalor konveksi ( $W/m^2$ )
$h / \tilde{h}$	= Koefisien perpindahan kalor konveksi ( $W/m^2 \cdot K$ )
$\Delta T$	= Beda temperatur antara $T_\infty$ (fluida, $^\circ C$ ) dengan $T_s$ (permukaan, $^\circ C$ )
$T$	= Temperatur ( $^\circ C$ )
$Gr$	= <i>Grashof number</i>
$Ra$	= <i>Rayleigh number</i>
$Nu$	= <i>Nusselt number</i>
$L$	= Panjang geometri, ( $m$ )
$g$	= Kecepatan gravitasi bumi, ( $kg/s^2$ )
$\beta$	= Kekuatan daya apung, $K^{-1}$
$Pr$	= <i>Prandtl number</i>
$\nu$	= Viskositas kinematik fluida, ( $m^2/s$ )
$\alpha$	= <i>Thermal diffusivity</i> , ( $m^2/s$ )
$q_{konv}$	= Perpindahan kalor konveksi ( <i>Watt</i> )
$q_{rad}$	= Perpindahan kalor radiasi ( <i>Watt</i> )
$A_s$	= Luas Permukaan Geometri ( $m^2$ )
$T_s$	= Temperatur permukaan ( $^\circ C$ )
$T_{sur}$	= Temperatur lingkungan ( $^\circ C$ )
$Q_{loss}$	= Energi yang tidak diserap refrigeran, ( <i>Watt</i> )
$Q_{ref}$	= Energi yang diserap refrigeran, ( <i>Watt</i> )
$P_{heater}$	= Daya yang diberikan dari <i>heater</i>
$x_4$	= Kualitas uap ( $x_0$ )
$h_4$	= Entalpi fluida jenuh terkompresi ( $kJ/kg$ )