

TUGAS AKHIR

STUDI EXPERIMENTAL PENGARUH VARIASI PANJANG KATUP EXPANSI REFRIGERASI *LOW STAGE* R404A DAN REFRIGERASI R32 *HIGH STAGE* DENGAN *HEAT EXCHANGER* TIPE *CONCENTRIK TUBE* TERHADAP KINERJA SISTEM REFRIGERASI *CASECADE*



Disusun Oleh :

MUHAMMAD BETRAN

1422200056

MOCHAMMAD GHIFARI MAULANA

1422200032

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA**

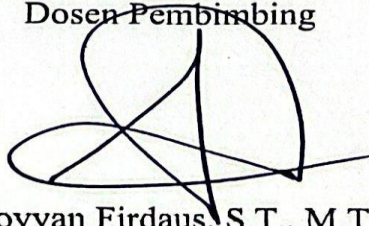
2026

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

NAMA : MUHAMMAD BETRAN
NBI : 1422200056
PROGRAM STUDI : TEKNIK MESIN
FAKULTAS : TEKNIK
JUDUL : STUDI EXPERIMENTAL PENGARUH
VARIASI PANJANG KATUP EXPANSI
REFIGERASI *LOW STAGE* R404A DAN
REFIGERASI R32 *HIGH STAGE* DENGAN
HEAT EXCHANGER TIPE *CONCENTRIK TUBE*
TERHADAP KINERJA SISTEM REFIGERASI
CASECADE

Mengetahui/Menyetujui
Dosen Pembimbing



Royyan Firdaus, S.T., M.T
NPP: 20420.19.0819

Mengetahui

Dekan
Fakultas Teknik



Ir. Ar. R. A. Retno Hasti/anti, M.T., IPU., IAI., APEC Eng
NPP. 20440.91.0218

Ketua Program Studi
Teknik Mesin



Ir. Moh. Nor Ali Aziz, S.T., M.T
NPP: 20420.20.0826

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : MUHAMMAD BETRAN
Nim : 1422200056
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi/tugas akhir dengan judul:

**"STUDI EXPERIMENTAL PENGARUH VARIASI PANJANG KATUP
EXPANSI REFIGERASI *LOW STAGE* R404A DAN REFIGERASI R32 *HIGH
STAGE* DENGAN *HEAT EXCHANGER* TIPE *CONCENTRIK TUBE*
TERHADAP KINERJA SISTEM REFIGERASI *CASECADE*"**

Adalah hasil karya saya sendiri. Skripsi/tugas akhir ini tidak mengandung karya orang lain yang telah dipublikasi atau ditulis sebelumnya, Kecuali sebagaimana yang telah disebutkan dalam daftar Pustaka dan sumber kutipan.

Saya bertanggung jawab sepenuhnya atas keaslian isi skripsi/tugas akhir ini. Jika dikemudian hari bukti bahwa skripsi/tugas akhir ini mengandung unsur plagiat, Maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di universitas.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar benarnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Surabaya 6 Juni 2026



Muhammad Betran
1422200056



**UNIVERSITAS
17 AGUSTUS 1945
SURABAYA**

**BADAN PERPUSTAKAAN
JL. SEMOLOWARU 45
SURABAYA
TELP. 031 593 1800 (Ext. 311)
e-mail : perpustakaan@untag-sby.ac.id**

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA
ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMISI**

Sebagai Civitas Akademika Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya,
saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : MUHAMMAD BETRAN
NBI/NPM : 1422200056
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin
Jenis Karya : Tugas Akhir/Tesis/Disertasi/Laporan
Penelitian/Praktek

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk
memberikan kepada Badan Perpustakaan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Nonexclusive Royalty-Free Right*), atas
karya saya yang berjudul:

**“STUDI EXPERIMENTAL PENGARUH VARIASI PANJANG KATUP
EXPANSI REFRIGERASI *LOW STAGE* R404A DAN REFRIGERASI R32
HIGH STAGE DENGAN *HEAT EXCHANGER* TIPE *CONCENTRIK
TUBE* TERHADAP KINERJA SISTEM REFRIGERASI *CASCADE*”**

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Nonexclusive Royalty-Free
Right*), Badan Perpustakaan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya berhak
menyimpan, mengalihkan media atau memformatkan, mengolah dalam bentuk
pangkalan data (*database*), merawat, mempublikasikan karya ilmiah selama
tetap tercantum.

Dibuat di : Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Pada tanggal : 6 Juni 2026

Surabaya, 6 Juni 2026



Muhammad Betran
NBI. 1422200056

Coret yang tidak perlu

LEMBAR PERSEMBAHAN

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan penyertaan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, Tugas Akhir ini penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, atas doa yang senantiasa mengiringi setiap langkah, kasih sayang yang tulus, serta pengorbanan yang tidak ternilai. Dukungan dan motivasi yang diberikan menjadi sumber kekuatan utama bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Royyan Firdaus, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing, yang telah dengan penuh kesabaran memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang konstruktif selama proses penyusunan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, atas ilmu pengetahuan, wawasan, dan pengalaman akademik yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan di bangku perkuliahan
4. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Angkatan 2022, yang telah menjadi rekan belajar, berdiskusi, serta saling memberikan dukungan dan kebersamaan selama masa perkuliahan hingga tahap akhir penyelesaian studi.
5. Terakhir, terima kasih kepada diri saya sendiri, Muhammad Betran Terima kasih atas perjalanan panjang yang telah dilalui sampai sejauh ini, banyak proses yang sudah dilalui, banyak air mata yang sudah dihapus pakai tangan sendiri, banyak lelah dan keluh kesah yang dipendam sendiri, banyak hal yang sudah dijalani, dihadapi, dan diselesaikan sendiri. Sampai detik ini, kuat karena diri sendiri yang selalu mengusahakan semua hal agar terlihat baik-baik saja. Bangga untuk setiap langkah kecilku, meskipun mudah menangis tapi tidak berhenti mencoba dan menyerah. Selamat merayakan kecemasan-kecemasan di tangga berikutnya, selamat berpetualang di level kehidupan selanjutnya, selamat berperang dengan pertanyaan 'kapan' yang tidak ada ujungnya, selamat menjalani fase dimana you not found anyone people can help your life, selamat berjuang sendirian. Tidak ada yang lebih indah dari menyaksikan proses dan pertumbuhan diri sendiri.

ABSTRAK

STUDI EXPERIMENTAL PENGARUH VARIASI PANJANG KATUP EXPANSI REFRIGERASI *LOW STAGE* R404A DAN REFRIGERASI R32 *HIGH STAGE* DENGAN *HEAT EXCHANGER* TIPE *CONCENTRIK TUBE* TERHADAP KINERJA SISTEM REFRIGERASI *CASCADE*

Sistem refrigerasi cascade merupakan salah satu metode pendinginan bertingkat yang efektif untuk mencapai suhu operasi sangat rendah yang tidak dapat dicapai oleh siklus refrigerasi tunggal secara efisien. Pada penelitian ini dilakukan studi eksperimental untuk mengetahui pengaruh variasi panjang pipa kapiler terhadap karakteristik operasi dan kinerja sistem refrigerasi cascade menggunakan refrigeran R32 pada high stage dan R404A pada low stage dengan heat exchanger tipe concentric tube sebagai media perantara pertukaran panas antar kedua tingkat siklus. Variasi pipa kapiler diatur melalui pengaturan kecepatan fan pada kondensor high stage untuk memperoleh perbandingan efek refrigeran yang dihasilkan evaporator dengan kerja kompresor salah satu metode peningkatan kerja dengan memodifikasi alat ekspansi perubahan perpindahan panas, tekanan, dan temperatur pada masing-masing siklus. Pengujian dilakukan pada kondisi steady state tanpa beban pendinginan dan tanpa adanya asumsi kehilangan panas. Parameter yang diamati meliputi temperatur, tekanan kerja, kapasitas pendinginan evaporator, efektivitas heat exchanger, heat rejection ratio (HRR), serta nilai koefisien performa (Coefficient of Performance/COP). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa variasi pipa kapiler pada kondensor high stage menghasilkan penurunan tekanan dan temperatur kondensasi, meningkatkan kerja kompresor dan rasio tekanan jika terlalu panjang pipa kapiler bisa menurunkan kapasitas pendinginan pada low stage. Kondisi ini berdampak pada COP total sistem hingga mencapai kondisi operasi optimum pada variasi pipa kapiler. Secara keseluruhan, konfigurasi refrigeran R32–R404A dalam sistem refrigerasi cascade mampu memberikan performa pendinginan yang baik dan stabil pada suhu rendah. Sistem ini layak diterapkan pada aplikasi industri bersuhu rendah seperti cold storage dan pembekuan cepat, dengan syarat pengontrolan laju pelepasan kalor kondensor dilakukan secara tepat untuk memperoleh efisiensi energi maksimum.

Kata kunci: sistem refrigerasi cascade, kondensor, R32, R404A, concentric tube heat exchanger, kapasitas pendinginan, COP

ABSTRACT

Experimental Study on the Effect of Expansion Valve Length Variations in an R404A Low-Stage and R32 High-Stage Cascade Refrigeration System with a Concentric Tube Heat Exchanger on System Performance

A Cascade refrigeration system is one of the effective multi-stage cooling methods to achieve very low operating temperatures that cannot be achieved by a single refrigeration cycle efficiently. In this study, an experimental study was conducted to determine the effect of variations in the length of the capillary tube on the operating characteristics and performance of the cascade refrigeration system using R32 refrigerant at the high stage and R404A at the low stage with a concentric tube type heat exchanger as an intermediary medium for heat exchange between the two cycle levels. Variations in the capillary tube are regulated by adjusting the fan speed on the high stage condenser to obtain a comparison of the effect of the refrigerant produced by the evaporator with the compressor work. One method of increasing work by modifying the expansion device changes in heat transfer, pressure, and temperature in each cycle. Testing was carried out under steady state conditions without cooling load and without any assumption of heat loss. The parameters observed include temperature, working pressure, evaporator cooling capacity, heat exchanger effectiveness, heat rejection ratio (HRR), and the value of the coefficient of performance (Coefficient of Performance/COP). The experimental results show that variations in the capillary tube in the high stage condenser result in a decrease in condensation pressure and temperature, increasing compressor work and pressure ratio if the capillary tube is too long it can reduce the cooling capacity in the low stage. This condition has an impact on the total COP of the system until it reaches optimum operating conditions on the capillary tube variation. Overall, the configuration of R32–R404A refrigerants in the cascade refrigeration system is able to provide good and stable cooling performance at low temperatures. This system is suitable for low-temperature industrial applications such as cold storage and fast freezing, provided that the condenser heat release rate is controlled properly to obtain maximum energy efficiency.

Keywords: *cascade refrigeration system, R32, R404A, condenser heat rejection rate, concentric tube heat exchanger, COP.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami ucapkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini untuk memenuhi persyaratan meraih gelar sarjana.

Hasil penelitian dari penulisan ini diharapkan dapat digunakan untuk perencanaan mesin pencuci tangan otomatis ,Tugas Akhir ini terselesaikan atas dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak Dr. Harjo Seputro, S.T., M.T. selaku rektor Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
2. Ibu Dr. Ir. Ar. R. A. Retno Hastijanti, M.T., IPU., IAI., APEC Eng. Selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
3. Bapak Ir. Moh. Nor Ali Aziz, S.T., M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
4. Bapak Royyan Firdaus,S.T.,M. Selaku dosen pembimbing yang dengan sabar telah memberikan pengarahan dan bimbingan kepada penulis, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
5. Para Dosen Pengajar Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya yang telah membuka wawasan dan pengetahuan kami selama menempuh masa perkuliahan.
6. Keluarga yang memberikan semangat dan doa.
7. Rekan-rekan seperjuangan yang telah banyak memberikan masukan dan sarannya selama menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari banyaknya kelemahan dan kekurangan dalam penulisan Proposal Tugas Akhir ini, Mudah-mudahan di balik ketidaksempurnaan tugas akhir ini masih dapat memberikan manfaat untuk kajian lebih lanjut.

Surabaya, 6 Juni 2026

(Muhammad Betran)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMISI.....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
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
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Siklus Kompresi Uap	5
2.2 Siklus Refrigerasi <i>ascade</i>	7
2.3 Komponen Sistem Refrigerasi <i>Cascade</i>	8
2.4 Refrigeran.....	11
2.4.1 Klasifikasi Refrigeran.....	11
2.4.2 Pemilihan Refrigeran.....	12
2.5 Persamaan Yang Digunakan Dalam Sistem Cascade	14
2.5.1 Perpindahan Panas Konduksi	14
2.5.2 Perpindahan Panas Konveksi.....	15
2.5.3 Perpindahan Panas Radiasi.....	16
2.6 Penelitian Terdahulu	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Metode Penelitian.....	25
3.2 Diagram Alir	26
3.3 Skema Peralatan Sistem Pendingin Cascade.....	27
3.4 Langkah Penelitian	32
3.4.1 Mulai	32
3.4.2 Studi Literatur	32
3.4.3 Pembuatan Alat Pengujian.....	32

4.4.4 Pengujian Mesin Pendingin	32
4.4.5 Penganbilan Data.....	32
4.4.6 Prosedur Pengujin.....	34
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Data Hasil Pengujian	35
4.2 Perhitungan Pipa Kapiler 50cm.....	39
4.2.1 Analisa Termodinamika Sisi Low Stage (R-404A)	40
4.2.2 Titik 1 - Keluar evaporator (Saturated vapor).....	41
4.2.3 Analisis Termodinamika Sisi High Stage (R 32)	45
Titik 5 - Keluar evaporator (Saturated vapor).....	46
4.3 Tabel Rekapulasi Hasil Perhitungan Termodinamika.....	49
4.3.1 Diagram tekanan-Enthalpi (P-H) Sistem Refrigerasi.....	50
4.3.2 Pembahasan Tekanan Enthalphi (p-H) Siatem Refrigerasi Low Satge	51
4.3.3 Pembahasan Tekanan Enthalpi (p-H) Siatem Refrigerasi High Satge	52
4.3.4 Pembahasan Hasil Perhitungan Performa Siatem	53
4.4 Analisa Grafik dan Interpretasi Hasil Perhitungan	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap	5
Gambar 2.2 (a) P-h Diagram Siklus Kompresi Uap	6
Gambar 2.3 Siklus Kompresi Uap Aktual Dibanding Siklus Kompresi Uap Ideal..	7
Gambar 2.4 Rangkaian sistem refrigerasi cascade	7
Gambar 2.5 p-h Diagram Refrigerasi Casecade	8
Gambar 2.6 Kompresor Refigeran	8
Gambar 2.10 Skema Rangkain sistem refrigerasi cascade.....	14
Gambar 2.11 Perpindahan Panas Konduksi.....	15
Gambar 2.12 Perpindahan Panas Konveksi.....	15
Gambar 2.13 Perpindahan Panas Radiasi	16
Gambar 2.14 Gambar sistem kompresi isentropis	16
Gambar 2.15 Sistem pada kondensor	18
Gambar 2.16 Gambar sistem pada evaporator.....	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	26
Gambar 3.2 Skema peralatan sistem pendingin Cascade.....	27
Gambar 4.1 p-h Diagram.....	35
Gambar 4.2 P-h Diaghram Hs-Ls.....	39
Gambar 4.3 P-h Diagram Low stage	40
Gambar 4.4 p-h Diagram High stage.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 keterangan pada gambar 3.2	27
Tabel 3. 2 Komponen Cascade	28
Tabel 3. 3 Tabel Data Pengujian	33
Tabel 4. 1 Tabel Hasil Data Pengujian	36
Tabel 4. 2 Tabel Tekanan Panjang Pipa Kapiler 50cm.....	36
Tabel 4. 3 Data Tekanan Panjang Pipa Kapiler 80cm	37
Tabel 4. 4 Data Tekanan Panjang Pipa Kapiler 110cm	38
Tabel 4. 5 Temperatur Keluar Masuk Kondensor(p) Densitas(Cp) SpesifikHeat..	38
Tabel 4. 6 Interpolasi Low Stage R404 Saturation Properties	41
Tabel 4. 7 Interpolasi Low Stage R404 Superheated Properties	42
Tabel 4. 8 Interpolasi Low Stage R404 Saturation Properties	44
Tabel 4. 9 Interpolasi Low Stage R404 Saturation Properties	46
Tabel 4. 10 Interpolasi Low Stage R404 Superheated Properties	47
Tabel 4. 11 Interpolasi Low Stage R404 Saturation Properties	48
Tabel 4. 12 Rekapitasi Hasil Perhitungan.....	49
Tabel 4. 13 Kerja Nyata(KW) pada Variasi Panjang Pipa Kapiler Low Stage	56
Tabel 4. 14 Kerja Nyata(KW) pada Variasi Panjang Pipa Kapiler High Stage	56
Tabel 4. 15 Kerja Nyata(KW) pada Variasi Panjang Pipa Kapiler High Stage	57
Tabel 4. 16 Laju Kondensor High Stage	57
Tabel 4. 17 Kalor Diserap Evaporator Low Stage	58
Tabel 4. 18 Hitung Heat Rejection Ratio (HRR)	58
Tabel 4. 19 Coefficient of Performance (COP)	59