

SKRIPSI

**PENGUJIAN SISTEM PENDINGIN *THERMOELECTRIC* DAN
INDIRECT EVAPORATIVE COOLING UNTUK KABIN MOBIL
PICKUP DENGAN VARIASI ALAT PENUKAR KALOR DAN
SISTEM KONTROL**



Intelligentia - Dignitas

MONTE CHRISTO GILBERD

NIM. 1520621012

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2025

LEMBAR PERSETUJUAN UJIAN SKIRPSI

Judul : Pengujian Sistem Pendingin *Thermoelectric* Dan *Indirect Evaporative* untuk Kabin Mobil Pick Up dengan Variasi Alat Penukar Kalor dan Sistem Kontrol
Penyusun : Monte Christo Gilberd
NIM : 1520621012

Disetujui oleh

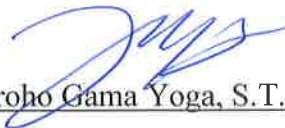
Pembimbing I,

Pembimbing II,



Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM.

NIP. 197902112012121001



Nugroho Gama Yoga, S.T., M.T.

NIP. 197602052006041001

Mengetahui,

Koordinator Program Studi Teknik Mesin



Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM.

NIP. 197902112012121001

LEMBAR PENGESAHAN SKIRPSI

Judul : Pengujian Sistem Pendingin *Thermoelectric* Dan *Indirect Evaporative* untuk Kabin Mobil Pick Up dengan Variasi Alat Penukar Kalor dan Sistem Kontrol

Penyusun : Monte Christo Gilberd

NIM : 1520621012

Tanggal Ujian : Selasa, 29 Juli 2025

Disetujui oleh:

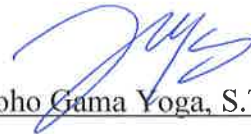
Pembimbing I,



Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM.

NIP. 197902112012121001

Pembimbing II,

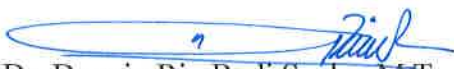


Nugroho Gama Yoga, S.T., M.T.

NIP. 197602052006041001

Pengesahan Panitia Ujian Skripsi:

Ketua Sidang,



Dr. Darwin Rio Budi Syaka, M.T.

NIP. 197604222006041001

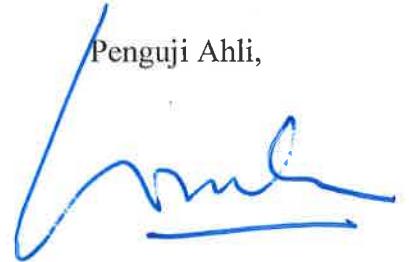
Sekretaris Sidang,



Dr. Eng. I Wayan Sugita, M.T.

NIP. 197911142012121001

Penguji Ahli,



Dr. Dyah Arum Wulandari, M.T.

NIP. 197708012008012006

Mengetahui,

Koordinator Program Studi Teknik Mesin



Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM.

NIP. 197902112012121001

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Monte Christo Gilberd

No. Registrasi : 1520621012

Tempat, tanggal lahir : Jakarta, 6 April 2002

Alamat : Bumi Anggrek Blok R No. 185, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini merupakan Karya asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di Perguruan Tinggi lain.
2. Skripsi ini belum dipublikasikan, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 24 Juli 2025

Yang membuat pernyataan

Me 

Monte Christo Gilberd

No. Reg. 1520621012



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
UPT PERPUSTAKAAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220

Telepon/Faksimili: 021-4894221

Laman: lib.unj.ac.id

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

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Monte Christo Gilberd
NIM : 1520621012
Fakultas/Prodi : S1 Teknik Mesin
Alamat email : montesilalahi@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Disertasi ☐ Lain-lain (... ..)

yang berjudul :

“Pengujian Sistem Pendingin Thermoelectric Dan Indirect Evaporative untuk Kabin Mobil Pickup dengan Variasi Alat Penukar Kalor dan Sistem Kontrol”

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 8 Agustus 2025

Monte

(Monte Christo Gilberd)

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kasih-Nya yang melimpah sehingga Skripsi yang berjudul “Pengujian Sistem Pendingin *Thermoelectric* Dan *Indirect Evaporative* untuk Kabin Mobil Pickup dengan Variasi Alat Penukar Kalor dan Sistem Kontrol” ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan skripsi ini, tanpa adanya bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, penulis akan sangat sulit untuk menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM., selaku dosen pembimbing 1 dan koordinator program studi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta atas kesediaannya dalam memberikan arahan, bimbingan dan dorongan semangat dalam melaksanakan penelitian dan penyusunan skripsi ini.
2. Nugroho Gama Yoga, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing 2 atas kesediaannya dalam memberikan arahan, bimbingan dan dorongan semangat dalam melaksanakan penelitian dan penyusunan skripsi ini.
3. Dr. Darwin Rio Budi Syaka, M.T., selaku ketua sidang skripsi, Dr. I Wayan Sugita, M.T., selaku sekretaris sidang skripsi dan Dr. Dyah Arum Wulandari, M.T., selaku penguji ahli yang telah meluangkan waktunya untuk memberi arahan dan menguji skripsi penulis.
4. Seluruh Staff Program Studi Teknik Mesin yang membantu dalam penyusunan skripsi ini.
5. Danar Hari Krisyono, S.Pd., selaku teknisi laboratorium 3D print yang telah membantu penulis dalam melaksanakan pengambilan dan membuat saluran udara menggunakan 3D printer.

6. Bapak Boin, Bapak Sumardi, Bapak Minadi, Bapak Dani dan Bapak Dayat selaku teknisi laboratorium otomotif dan material atas bantuan dan dukungannya sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian dengan baik.
7. Kedua orang tua yang terus memberikan dukungan dan motivasi sehingga Penulis dapat menyusun skripsi ini dengan baik.
8. Saudara Farhan Adrianto Naufal, Javier Urian Bona Siagian, Kevin Irvansah, Muhammad Rafa Putra Lubis, Naufal Atha dan Thoriq yang memberikan dorongan semangat dalam penyusunan skripsi ini.
9. Serta teman-teman mahasiswa Program Studi Teknik Mesin yang telah turut serta membantu saya dalam segala hal.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis satu persatu yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun akan saya nantikan demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga dengan disusunnya skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang konversi energi khususnya pada teknologi pendinginan termoelektrik.

Penyusun,



(Monte Christo Gilberd)

Pengujian Sistem Pendingin *Thermoelectric* Dan *Indirect Evaporative* untuk Kabin Mobil Pickup dengan Variasi Alat Penukar Kalor dan Sistem Kontrol

Monte Christo Gilberd

**Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM. dan Nugroho Gama
Yoga, S.T., M.T.**

ABSTRAK

Mobil Pickup banyak digunakan di Indonesia dengan penjualan 101.572 unit pada 2019. Beberapa varian tanpa AC menyebabkan peningkatan suhu kabin setelah penggunaan lama yang menyebabkan ketidaknyamanan termal ketika digunakan dalam waktu yang lama. Maka, dibutuhkan suatu alat yang mengontrol temperatur dalam kabin guna meningkatkan kenyamanan. Penelitian ini bertujuan untuk menguji sistem pendingin kabin Pickup menggunakan kombinasi *Thermoelectric Cooler* (TEC) dan *Indirect evaporative cooling* (IEC) yang dilengkapi dengan sistem kontrol temperatur. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan model laboratorium. Data dikumpulkan melalui alat ukur yang terpasang pada model kabin mobil, termasuk termokopel tipe K, anemometer dan sensor lainnya. Sistem kontrol yang menggunakan sensor *infrared* dan suhu juga terbukti efektif dalam mengoptimalkan penggunaan energi dan meningkatkan kenyamanan pengguna kendaraan. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa penggunaan variasi pendinginan *Indirect Evaporative Cooling* 1 lpm dengan *Heat Pipe* menghasilkan pendinginan kabin dengan temperatur $40,5^{\circ}\text{C}$, variasi pendinginan *Indirect Evaporative Cooling* dengan *Water Block* 1 lpm memiliki nilai COP 1,92 dan variasi pendinginan *Indirect Evaporative Cooling* 1 lpm dengan *Heat Pipe* menggunakan daya paling kecil, yaitu sebesar 28,7 Watt.

Kata Kunci: Efisiensi Energi, *Indirect Evaporative Cooling*, Pendinginan Kabin, Pendinginan *Thermoelectric*, Sistem Kontrol Suhu dan Inframerah

Pengujian Sistem Pendingin *Thermoelectric* Dan *Indirect Evaporative* untuk Kabin Mobil Pickup dengan Variasi Alat Penukar Kalor dan Sistem Kontrol

Monte Christo Gilberd

**Advisory Lecturer: Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM. dan Nugroho Gama
Yoga, S.T., M.T.**

ABSTRACT

Pickup trucks are widely used in Indonesia, with sales reaching 101,572 units in 2019. Several variants lack air conditioning, leading to increased cabin temperatures during prolonged use, which causes thermal discomfort for drivers and passengers. Therefore, a device is needed to control cabin temperature in order to enhance comfort. This study aims to test a pickup truck cabin cooling system utilizing a combination of a Thermoelectric Cooler (TEC) and Indirect Evaporative Cooling (IEC) equipped with a temperature control system. The research employs an experimental method using a laboratory-scale model. Data were collected through measuring instruments installed in the vehicle cabin model, including type-K thermocouples, anemometers, and other sensors. The control system, which uses infrared and temperature sensors, has also proven effective in optimizing energy use and improving user comfort. The results show that the Indirect Evaporative Cooling variation with a flow rate of 1 lpm using a Heat Pipe achieves a cabin temperature of 40.5°C, the variation with a Water Block at 1 lpm reaches a COP of 1.92, and the Indirect Evaporative Cooling with a Heat Pipe at 1 lpm consumes the lowest power at 28.7 Watts.

Keywords: Cabin Cooling, Energy Efficiency, Indirect Evaporative Cooling, Thermoelectric Cooling, Temperature and Infrared Control System

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN UJIAN SKIRPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKIRPSI	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah	4
1.3. Pembatasan Masalah	5
1.4. Perumusan Masalah	5
1.5. Tujuan Penelitian	5
1.6. Kegunaan Penelitian.....	6
BAB II KERANGKA TEORITIK.....	7
2.1. Sistem Pendingin.....	7
2.2. Sistem Pendingin Mobil.....	7
2.3. Termoelektrik.....	8
2.4. Pendinginan Termoelektrik.....	9
2.5. Konfigurasi Pendinginan Termoelektrik.....	11
2.6. <i>Heat Pipe</i> untuk Modul TEC	13
2.7. <i>Water Block</i> untuk Modul TEC	14
2.8. Pendinginan Evaporatif.....	15
2.9. Pendinginan Evaporatif Tidak Langsung.....	15
2.10. Radiator	18
2.11. Perpindahan Kalor.....	18
2.12. Efektivitas Pembuangan Kalor.....	21
2.13. Efektivitas Sistem Pendingin	22

2.14.	Kelembapan Relatif.....	22
2.15.	Sistem Kontrol Temperatur.....	23
2.16.	Sensor <i>Infrared</i>	24
2.17.	Kerangka Berpikir.....	25
2.18.	Penelitian Relevan.....	25
BAB III METODE PENELITIAN		29
3.1.	Metode Penelitian.....	29
3.2.	Tempat dan Waktu Penelitian	33
3.3.	Teknik Pengumpulan Data Penelitian.....	33
3.4.	Desain Sistem Pendingin	33
3.5.	Variasi Sistem Pendingin	37
3.6.	Rancangan Sistem Pendingin.....	40
3.7.	Prinsip Kerja	43
3.8.	Skematis Pengujian	44
3.9.	Rancangan Pengujian	44
3.10.	Teknik Analisis Data.....	46
3.11.	Kalibrasi Sensor	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		50
4.1.	Hasil Pengujian	50
4.2.	Analisa Grafik Perubahan Temperatur.....	51
4.3.	Konsumsi Daya Sistem Pendingin.....	65
4.4.	Kecepatan Udara	67
4.5.	<i>Coefficient of Performance</i>	67
4.6.	Perbandingan Sistem Pendingin.....	69
4.7.	COP Sistem <i>Thermoelectric Cooling</i>	71
4.8.	Efektivitas Sistem <i>Indirect Evaporative Cooling</i>	71
4.9.	Efektivitas Alat Penukar Kalor	72
BAB V KESIMPULAN		73
5.1.	Kesimpulan	73
5.2.	Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA		75
LAMPIRAN.....		79

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
Tabel 2.1	Penelitian Relevan	25
Tabel 3.1	Properti tembaga dan aluminium	35
Tabel 3.2	Ilustrasi Variasi Penelitian	37
Tabel 3.3	Rancangan Pengujian	45
Tabel 4.1	Tabel Perbandingan Konsumsi Daya	66
Tabel 4.2	Kecepatan udara	67
Tabel 4.3	Properti Udara dan Perhitungan COP	68
Tabel 4.4	Tabel Perbandingan Data antara Variasi Sistem Pendingin.....	69
Tabel 4.5	COP sistem <i>thermoelectric cooling</i>	71
Tabel 4.6	Efektivitas sistem <i>indirect evaporative cooling</i>	71
Tabel 4.7	Efektivitas <i>heat pipe</i>	72
Tabel 4.8	COP <i>water block</i>	72



Intelligentia - Dignitas

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
Gambar 2.1	Diagram P-H siklus refrigerasi	8
Gambar 2.2	Modul TEC	9
Gambar 2.3	<i>Thermoelectric Cooling</i>	10
Gambar 2.4	Modul TEC Tunggal	12
Gambar 2.5	Modul TEC Bertingkat	12
Gambar 2.6	<i>Heat Pipe</i>	14
Gambar 2.7	<i>Water Block</i>	14
Gambar 2.8	Skema <i>indirect evaporative cooling</i> [26]	15
Gambar 2.9	Skematis Alat Penukar Kalor <i>Crossflow</i> [27].....	16
Gambar 2.10	Radiator.....	18
Gambar 2.11	Diagram Blok Perancangan <i>Hardware</i> [33]	23
Gambar 2.12	Desain Sistem Kontrol Temperatur [34]	24
Gambar 2.13	Sensor <i>Infrared</i>	24
Gambar 2.14	Kerangka Berpikir	25
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 3.2	Komponen Modul TEC dengan <i>Heat Pipe</i>	34
Gambar 3.3	Konfigurasi Rangkaian TEC	34
Gambar 3.4	<i>Water Block</i>	35
Gambar 3.5	Komponen Saluran Pendingin.....	35
Gambar 3.6	Desain sistem pendingin terdahulu [20]	36
Gambar 3.7	Komponen Sistem Pendingin Secara Keseluruhan.....	36
Gambar 3.8	Tampak samping replika kabin dan sistem pendingin.....	41
Gambar 3.9	Tampak depan replika kabin dan sistem pendingin.....	41
Gambar 3.10	Tampak belakang replika kabin dan sistem pendingin.....	42
Gambar 3.11	Tampak samping saluran sistem pendingin.....	42
Gambar 3.12	Tampak atas saluran sistem pendingin	43
Gambar 3.13	Tampak depan saluran sistem pendingin.....	43
Gambar 3.14	Skematis prinsip kerja sistem pendingin	44
Gambar 3.15	Skematis eksperimen dan pengambilan data	44
Gambar 3.16	Diagram psikometri [40].....	49

Gambar 3.17 Kalibrasi sensor voltase dengan multimeter	49
Gambar 3.18 Kalibrasi sensor ACS712-30A dengan multimeter	49
Gambar 4.1 Profil Temperatur dan Kelembapan tanpa sistem pendingin.....	51
Gambar 4.2 Profil Temperatur dan Kelembapan sistem TEC.....	52
Gambar 4.3 Profil Temperatur dan Kelembapan sistem TEC.....	53
Gambar 4.4 Profil Temperatur dan Kelembapan sistem TEC dengan	54
Gambar 4.5 Profil Temperatur dan Kelembapan sistem IEC 1 lpm.....	55
Gambar 4.6 Profil Temperatur dan Kelembapan sistem IEC 2 lpm.....	56
Gambar 4.7 Profil Temperatur dan Kelembapan sistem IEC	57
Gambar 4.8 Profil Temperatur dan Kelembapan sistem IEC	58
Gambar 4.9 Profil Temperatur dan Kelembapan sistem TEC dan IEC.....	59
Gambar 4.10 Profil Temperatur dan Kelembapan sistem TEC dan IEC.....	60
Gambar 4.11 Profil Temperatur dan Kelembapan sistem TEC dan IEC.....	61
Gambar 4.12 Profil Temperatur dan Kelembapan sistem TEC dan IEC.....	62
Gambar 4.13 Profil Temperatur dan Kelembapan sistem TEC dan IEC.....	63
Gambar 4.14 Profil Temperatur dan Kelembapan sistem TEC dan IEC.....	64
Gambar 4.15 Grafik perbandingan konsumsi daya	66
Gambar 4.16 Grafik perbandingan COP tiap variasi.....	68
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan ΔT_{avg} terhadap COP.....	70

Intelligentia - Dignitas

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Setting</i> liter per menit (lpm) Indirect Evaporative Cooling	79
Lampiran 2 <i>Setting</i> Arduino Pengambilan Data	79
Lampiran 3 <i>Setting</i> Data Logger Pengambilan Data.....	80
Lampiran 4 Dokumentasi Pengambilan Data.....	80
Lampiran 5 Perhitungan COP Sistem Pendingin	81
Lampiran 6 Perhitungan COP <i>Thermoelectric Cooling</i>	82
Lampiran 7 Perhitungan Efektivitas <i>Indirect Evaporative Cooling</i>	82
Lampiran 8 Perhitungan Efektivitas <i>Heat Pipe</i>	84
Lampiran 9 Perhitungan COP <i>Water Block</i>	84
Lampiran 10 Diagram Psikometri Variasi Tanpa Pendinginan.....	86
Lampiran 11 Diagram Psikometri Variasi TEC HP	86
Lampiran 12 Diagram Psikometri Variasi IEC 1 LPM HP.....	87
Lampiran 13 Diagram Psikometri Variasi IEC 2 LPM HP	87
Lampiran 14 Diagram Psikometri Variasi TEC dan IEC 1 LPM HP	88
Lampiran 15 Diagram Psikometri Variasi TEC dan IEC 2 LPM HP	88
Lampiran 16 Diagram Psikometri Variasi TEC WB 1 LPM	89
Lampiran 17 Diagram Psikometri Variasi TEC WB 2 LPM	89
Lampiran 18 Diagram Psikometri Variasi IEC WB 1 LPM	90
Lampiran 19 Diagram Psikometri Variasi IEC WB 2 LPM	90
Lampiran 20 Diagram Psikometri Variasi TEC dan IEC WB 1 LPM	91
Lampiran 21 Diagram Psikometri Variasi TEC dan IEC WB 2 LPM	91
Lampiran 22 Diagram Psikometri Variasi TEC dan IEC HP WB 1 LPM.....	92
Lampiran 23 Diagram Psikometri Variasi TEC dan IEC HP WB 2 LPM.....	92

Intelligentia - Dignitas