

SKRIPSI
PENGEMBANGAN SISTEM *THERMAL ENERGI STORAGE*
UNTUK APLIKASI DINAMIS DENGAN MEMANFAATKAN
PANAS BUANG KNALPOT MOBIL



Intelligentia - Dignitas

Disusun Oleh:

Javier Urian Bonara Siagian

NIM: 1520621028

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2025

LEMBAR PENGESAHAN (1)

Judul : Pengembangan Sistem *Thermal Energy Storage* Untuk
Aplikasi Dinamis Dengan Memanfaatkan Panas
Buang Knalpot Mobil
Penyusun : Javier Urian Bonara Siagian
NIM : 1520621028
Tanggal Ujian : 29 Juli 2025

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



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

NIP 19790211201202001

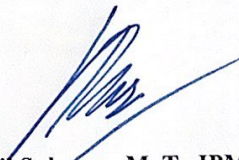


Dr. Darwin Rio Budi Syaka, M.T.

NIP 197604222006041001

Mengetahui,

Koordinator Program Studi Teknik Mesin



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

NIP 19790211201202001

LEMBAR PENGESAHAN (2)

Judul : Pengembangan Sistem *Thermal Energy Storage* Untuk
Aplikasi Dinamis Dengan Memanfaatkan Panas
Buang Knalpot Mobil
Penyusun : Javier Urian Bonara Siagian
NIM : 1520621028
Tanggal Ujian : 29 Juli 2025

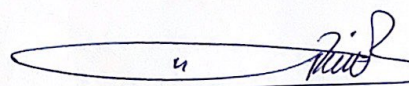
Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,


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

NIP 19790211201202001


Dr. Darwin Rio Budi Syaka, M.T.

NIP 197604222006041001

Pengesahan Panitia Ujian Skripsi

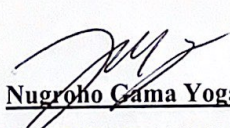
Ketua Penguji,

Sekretaris Penguji,

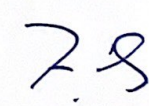
Dosen Ahli


Dr. Imam Basori, M.T.

197906072008121003


Nugroho Cama Yoga, M.T.

197602052006041001


Dr. Rivadi, M.T.

196304201992031002

Mengetahui,

Koordinator Program Studi Teknik Mesin


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

NIP 19790211201202001

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Javier Urian Bonara Siagian

No. Registrasi : 1520621028

Tempat, tanggal lahir : Jakarta, 19 September 2003

Alamat : Jl. Padurenan, Pabuaran, Cibinong, Kabupaten
Bogor, 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 ketidakbenaran, 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, 28 Juli 2025



Javier Urian Bonara Siagian



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 : Javier Urian Bonara Siagian
NIM : 1520621028
Fakultas/Prodi : SI Teknik Mesin
Alamat email : javiersiagian03@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 :

“PENGEMBANGAN SISTEM THERMAL ENERGI STORAGE UNTUK APLIKASI DINAMIS DENGAN MEMANFAATKAN PANAS BUANG KNALPOT MOBIL”

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, 5 Agustus 2025

(Javier Urian Bonara Siagian)

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kasih-Nya yang melimpah sehingga Skripsi yang berjudul “Pengembangan Sistem *Thermal Energy Storage* Untuk Aplikasi Dinamis Dengan Memanfaatkan Panas Buang Knalpot Mobil” ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya.

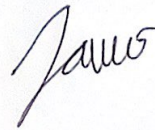
Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan skripsi ini, tanpa adanya bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak sangatlah sulit untuk menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. 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. Dr. Darwin Rio Budi Syaka, 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. Serta kedua orang tua dan keluarga saya yang serta membantu saya dalam segala hal.
4. Seluruh Staff Program Studi Teknik Mesin yang membantu dalam penyusunan skripsi ini.
5. Saudara Farhan Adrianto Naufal, Monte Christo Gilberd, Kevin Irvansah, Naufal Atha, dan yang memberikan dorongan semangat dalam penyusunan skripsi ini.
6. Serta teman-teman mahasiswa Program Studi Teknik Mesin yang telah turut serta membantu saya dalam segala hal.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis satu persatu yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan Penelitian ini.

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

Jakarta, 28 Juli 2025

Penyusun,



Javier Urian Bonara Siagian

**PENGEMBANGAN SISTEM *THERMAL ENERGY STORAGE* UNTUK
APLIKASI DINAMIS DENGAN MEMANFAATKAN PANAS BUANG
KNALPOT MOBIL**

Javier Urian Bonara Siagian

Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM. dan Dr. Darwin Rio

Budi Syaka, S.T., M.T

ABSTRAK

Permasalahan efisiensi energi dan emisi gas buang kendaraan bermotor menjadi tantangan utama dalam sektor transportasi modern. Sekitar 40% energi dari bahan bakar kendaraan hilang sebagai panas buang melalui knalpot tanpa dimanfaatkan lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem *Thermal Energy Storage* (TES) berbasis *Phase Change Material* (PCM) menggunakan minyak kanola sebagai media penyimpan panas dari knalpot kendaraan, dan mengalirkannya kembali ke air melalui pipa tembaga sebagai fluida kerja. Sistem ini dirancang untuk menyerap panas buang knalpot dengan temperatur bervariasi (100°C , 150°C , 200°C), menyimpannya dalam TES, dan kemudian mengalirkan panas tersebut ke air yang bergerak dalam laju alir 0,6; 1; dan 2 liter per menit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi temperatur knalpot dan laju alir air berpengaruh signifikan terhadap efektivitas transfer panas. Pada kondisi optimal (temperatur knalpot 200°C dan laju aliran air 0,6 lpm), sistem mampu meningkatkan temperatur air hingga lebih dari 100°C dengan efektivitas perpindahan panas mendekati 55%. Penelitian ini membuktikan bahwa sistem TES berbasis PCM berpotensi besar untuk meningkatkan efisiensi termal kendaraan dan mengurangi emisi energi terbuang melalui pemanfaatan panas buang.

Kata Kunci: Thermal Energy Storage, panas buang, knalpot, phase change material, efisiensi energi.

**PENGEMBANGAN SISTEM *THERMAL ENERGI STORAGE* UNTUK
APLIKASI DINAMIS DENGAN MEMANFAATKAN PANAS BUANG
KNALPOT MOBIL**

Javier Urian Bonara Siagian

Advisory Lecturer: Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM. dan Dr. Darwin Rio

Budi Syaka, S.T., M.T

ABSTRACT

Energy efficiency and exhaust gas emissions from motor vehicles are among the main challenges in modern transportation. Approximately 40% of the energy from vehicle fuel is lost as exhaust heat through the tailpipe without being utilized. This study aims to develop a Thermal Energy Storage (TES) system using a Phase Change Material (PCM), specifically canola oil, as a heat storage medium to capture waste heat from vehicle exhaust and transfer it to water through copper pipes as the working fluid. The system is designed to absorb exhaust heat at varying temperatures (100°C, 150°C, 200°C), store it in the TES unit, and then release the heat into water flowing at different rates of 0,6, 1, and 2 liters per minute. Experimental results show that both exhaust temperature and water flow rate significantly affect the heat transfer effectiveness. Under optimal conditions (200°C exhaust temperature and 0,6 lpm water flow), the system successfully raises the water temperature to over 100°C, achieving a heat transfer effectivity of up to 55%. This study demonstrates that PCM-based TES systems hold significant potential for enhancing vehicle thermal efficiency and reducing wasted energy through the recovery of exhaust heat.

Keywords: Thermal Energy Storage, exhaust heat, tailpipe, phase change material, energy efficiency.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN (1).....	i
LEMBAR PENGESAHAN (2).....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah	4
1.3. Pembatasan Masalah	4
1.4. Perumusan Masalah	4
1.5. Tujuan Penelitian	5
1.6. Kegunaan Penelitian.....	5
BAB II KERANGKA TEORITIK.....	6
2.1 Kerangka Teoritik	6
2.2 Penelitian yang Relevan.....	17
2.3 Kerangka Berpikir.....	19
2.4 Hipotesis Penelitian.....	20
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	21
3.3. Diagram Alur Penelitian	23
3.4. Prosedur Penelitian.....	25
3.5. Matriks Penelitian	27
3.6. Skematik Alat.....	28
3.7. Analisis Data Hasil Penelitian.....	29
BAB IV	32
4.1 Waktu Pemanasan.....	33

4.2 Hasil Pengujian.....	34
4.3 Analisa Grafik Pengujian.....	35
4.4 Perbedaan Temperatur Fluida.....	44
4.5 Analisa Perpindahan Panas.....	44
4.6 Analisa Perpindahan Panas Saat <i>Steady State</i>	48
4.7 Efektivitas Sistem.....	51
BAB V.....	58
5.1 Kesimpulan.....	58
5.2 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA.....	59
DAFTAR LAMPIRAN.....	62



DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
2.1	Jenis-jenis PCM	14
2.2	Penelitian Terkait	18
3.1	Matriks Penelitian	28
3.2	Data Awal Perhitungan	31



Intelligentia - Dignitas

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
2.1	Distribusi Perpindahan Panas Knalpot Pada 200 RPM	10
2.2	Struktur Umum Sistem Penyimpanan Energi Termal	12
2.3	Klasifikasi Teknologi Penyimpanan Energi Termal	12
2.4	Klasifikasi PCM	15
2.5	Siklus Refrigerasi Absorpsi	16
3.1	Diagram Alur Penelitian	24
3.2	Mobil	26
3.3	Ukuran <i>Thermal Energi Storage</i>	27
3.4	Konfigurasi <i>Thermal Energi Storage</i>	27
3.5	<i>Thermal Energi Storage</i>	27
3.6	Heater	28
3.7	Pipa Tembaga	28
3.8	Skematik Alat Penelitian	29
4.1	Waktu Pemanasan TES dengan PCM	33
4.2	Waktu Pemanasan TES tanpa PCM	34
4.3	Variasi Temperatur 100°C dengan Laju Aliran Air 0,6 lpm	35
4.4	Variasi Temperatur 100°C dengan Laju Aliran Air 1 lpm	36
4.5	Variasi Temperatur 100°C dengan Laju Aliran Air 2 lpm	37
4.6	Variasi Temperatur 150°C dengan Laju Aliran Air 0,6 lpm	38
4.7	Variasi Temperatur 150°C dengan Laju Aliran Air 1 lpm	39
4.8	Variasi Temperatur 150°C dengan Laju Aliran Air 2 lpm	40

4.9	Variasi Temperatur 200°C dengan Laju Aliran Air 0,6 lpm	41
4.10	Variasi Temperatur 200°C dengan Laju Aliran Air 1 lpm	42
4.11	Variasi Temperatur 200°C dengan Laju Aliran Air 2 lpm	43
4.12	Perbedaan Temperatur Fluida	43
4.13	Nilai Perpindahan Panas Konduksi Variasi Temperatur 100°C	44
4.14	Nilai Perpindahan Panas Konduksi Variasi Temperatur 150°C	44
4.15	Nilai Perpindahan Panas Konduksi Variasi Temperatur 200°C	45
4.16	Nilai Perpindahan Panas Konveksi Variasi Temperatur 100°C	46
4.17	Nilai Perpindahan Panas Konveksi Variasi Temperatur 150°C	47
4.18	Nilai Perpindahan Panas Konveksi Variasi Temperatur 200°C	48
4.19	Waktu Memasuki <i>Steady State</i> Variasi Temperatur Knalpot 100°C	48
4.20	Waktu Memasuki <i>Steady State</i> Variasi Temperatur Knalpot 150°C	48
4.21	Waktu Memasuki <i>Steady State</i> Variasi Temperatur Knalpot 200°C	49
4.22	Nilai Perpindahan Panas Konduksi Pada Fase <i>Steady State</i> Variasi Temperatur Knalpot 100°C	50
4.23	Nilai Perpindahan Panas Konduksi Pada Fase <i>Steady State</i> Variasi Temperatur Knalpot 150°C	50
4.24	Nilai Perpindahan Panas Konduksi Pada Fase <i>Steady State</i> Variasi Temperatur Knalpot 200°C	51

4.25	Nilai Perpindahan Panas Konveksi Pada Fase <i>Steady State</i> Variasi Temperatur Knalpot 100°C	52
4.26	Nilai Perpindahan Panas Konveksi Pada Fase <i>Steady State</i> Variasi Temperatur Knalpot 150°C	52
4.27	Nilai Perpindahan Panas Konveksi Pada Fase <i>Steady State</i> Variasi Temperatur Knalpot 200°C	53
4.28	Efektivitas Sistem Variasi Temperatur Knalpot 100°C	54
4.29	Efektivitas Sistem Variasi Temperatur Knalpot 150°C	54
4.30	Efektivitas Sistem Variasi Temperatur Knalpot 200°C	55
4.31	Efektivitas Sistem Pada Fase <i>Steady State</i> Variasi Temperatur Knalpot 100°C	56
4.32	Efektivitas Sistem Pada Fase <i>Steady State</i> Variasi Temperatur Knalpot 150°C	56
4.33	Efektivitas Sistem Pada Fase <i>Steady State</i> Variasi Temperatur Knalpot 200°C	57



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul Lampiran	Halaman
1	Perhitungan Nilai Perpindahan Panas Konduksi	62
2	Perhitungan Nilai Perpindahan Panas Konduksi	62
3	Perhitungan <i>Steady State</i>	63
4	Perhitungan Efektivitas Sistem	63
5	Pemasangan Isolasi	64
6	Proses Pemasangan Heater	64
7	Proses Setup Alat	65
8	Setup Thermocouple	65
9	Setup Pengambilan Data	66
10	Hasil Pengambilan Data	66



Intelligentia - Dignitas