

SKRIPSI

**ANALISIS VARIASI GEOMETRI DAN *FILLING RATIO*
WICKLESS HEAT PIPE TERHADAP KINERJA SISTEM
THERMOELECTRIC GENERATOR PADA KNALPOT MOBIL**



Intelligentia - Dignitas

Disusun Oleh:

Farhan Andrianto Naufal

NIM : 1520621009

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2025

LEMBAR PENGESAHAN (1)

Judul : Analisis Variasi Geometri dan *Filling Ratio Wickless Heat Pipe*
Terhadap Kinerja Sistem *Thermoelectric Generator* Pada
Knalpot Mobil

Penyusun : Farhan Andrianto Naufal

NIM : 1520621009

Tanggal Ujian : 29 Juli 2025

Disetujui oleh :

Pembimbing I,



Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM.
NIP. 197902112012121001

Pembimbing II,



Dr. Imam Basori, M.T.
NIP. 197906072008121003

Mengetahui,

Koordinator Program Studi Teknik Mesin



Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM.
NIP. 197902112012121001

LEMBAR PENGESAHAN (2)

Judul : Analisis Variasi Geometri dan *Filling Ratio Wickless Heat Pipe*
Terhadap Kinerja Sistem *Thermoelectric Generator* Pada
Knalpot Mobil

Penyusun : Farhan Andrianto Naufal

NIM : 1520621009

Tanggal Ujian : 29 Juli 2025

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



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

NIP. 197902112012121001



Dr. Imam Basori, M.T.

NIP. 197906072008121003

Pengesahan Panitia Ujian Skripsi :

Ketua Penguji,

Sekretaris Penguji,

Dosen Ahli



Dr. Darwin Rio Budi Syaka, M.T.

197604222006041001



Nugroho Gama Yoga, M.T.

197602052006041001



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

197911142012121001

Mengetahui,

Koordinator Program Studi Teknik Mesin



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

NIP. 197902112012121001

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Farhan Andrianto Naufal
No. Registrasi : 1520621009
Tempat, tanggal lahir : Jakarta, 25 Agustus 2003
Alamat : Jl. Kemang Amarilis 2 Kemang Pratama 2, Kota
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 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, 4 Agustus 2025
Yang membuat pernyataan,



Farhan Andrianto Naufal



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 : Farhan Andrianto Naufal
NIM : 1520621009
Fakultas/Prodi : S1 Teknik Mesin
Alamat email : farhan.andrianto25@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 :

“ANALISIS VARIASI GEOMETRI DAN FILLING RATIO WICKLESS HEAT PIPE TERHADAP KINERJA SISTEM THERMOELECTRIC GENERATOR PADA 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

(Farhan Andrianto Naufal)

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kasih-Nya yang melimpah sehingga Skripsi yang berjudul Analisis Variasi Geometri dan *Filling Ratio Wickless Heat Pipe* Terhadap Kinerja Sistem *Thermoelectric Generator* Pada Knalpot Mobil.

Selama penyusunan skripsi ini penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan selama proses penyusunan skripsi. Penulis akan menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM. selaku Dosen Pembimbing 1 dan Koordinator Program studi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta atas kesediannya dalam memberikan arahan, bimbingan, dan dorongan semangat dalam melaksanakan penelitian dan penyusunan skripsi ini.
2. Dr. Imam Basori, M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 atas kesediannya 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. Monte Christo Gilberd dan Javier Urian Bona Siagian yang telah turut serta membantu saya dalam pengerjaan penelitian ini.
5. Serta teman-teman mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin yang telah turut serta membantu saya dalam segala hal.
6. 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 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.

Jakarta, 25 Juli 2025

Penyusun,



Farhan Andrianto Naufal

ANALISIS VARIASI GEOMETRI DAN *FILLING RATIO* *WICKLESS HEAT PIPE* TERHADAP KINERJA SISTEM *THERMOELECTRIC GENERATOR* PADA KNALPOT MOBIL

Farhan Andrianto Naufal

Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM. & Dr. Imam Basori, M.T.

ABSTRAK

Pada kendaraan seperti mobil menghasilkan limbah panas yang signifikan dari knalpot, yang sebagian besar terbuang sia-sia. Teknologi *Thermoelectric Generator* (TEG) dapat mengubah panas ini menjadi energi listrik. Daya yang dihasilkan oleh sistem TEG dipengaruhi oleh konfigurasi dan perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin. Karena itu temperatur pada sisi panas knalpot harus tinggi dan sisi dingin harus jauh lebih rendah dibandingkan sisi panas, hal tersebut akan dibantu oleh sistem pendingin tambahan seperti *Heat Pipe*, *Heatsink*, dan Kipas.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan menentukan rasio fluida dan bentuk *Heat Pipe* wickless yang optimal pada sistem TEG. Untuk rasio pengisian fluida kerjanya akan divariasikan yaitu 40%, 50% dan 60% yang menggunakan fluida kerja berupa Deionized Water. Bentuk dari *Heat Pipe* akan menggunakan bentuk lurus dan L. Pada sisi panas dari knalpot akan divariasikan yaitu sebesar 150°C, 160°C, 170°C, dan 180°C.

Hasil dari penelitian mendapatkan bahwa *Heat Pipe* bentuk lurus dengan rasio pengisian fluida 50% mendapatkan resistansi termal terendah yaitu 1,57 °C/W. *Heat Pipe* bentuk L dengan rasio pengisian 50% mendapatkan resistansi termal terendah 1,28 °C/W. Hasil pengujian sistem TEG dengan *Heat Pipe* lurus dan rasio pengisian 50% menghasilkan daya sebesar 0.51 W ditemperatur knalpot 180°C dan *Heat Pipe* L dengan rasio pengisian 50% menghasilkan daya sebesar 0.57 W ditemperatur knalpot 180°C.

Kata Kunci: Panas Knalpot, TEG, *Heat Pipe*, Daya Listrik

Analysis of Geometry Variation and Filling Ratio of Wickless Heat Pipe on the Performance of a Thermoelectric Generator System in Car Exhaust Applications

Farhan Andrianto Naufal

Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM. & Dr. Imam Basori, M.T.

ABSTRACT

Vehicles such as cars produce a significant amount of waste heat from the exhaust system, most of which is dissipated unused. Thermoelectric Generator (TEG) technology can convert this waste heat into electrical energy. The power output of a TEG system is influenced by its configuration and the temperature difference between the hot and cold sides. Therefore, the exhaust side must reach a high temperature, while the cold side should remain significantly lower. This temperature gradient can be supported by additional cooling systems such as *Heat Pipes*, heatsinks, and fans.

This study uses an experimental method to determine the optimal working fluid ratio and the most effective wickless *Heat Pipe* shape in a TEG system. The working fluid used is deionized water, with filling ratios of 40%, 50%, and 60%, and two *Heat Pipe* shapes: straight and L-shaped. The hot side (exhaust) temperature is varied at 150°C, 160°C, 170°C, and 180°C.

The results show that the straight *Heat Pipe* with a 50% fluid filling ratio achieved the lowest thermal resistance of 1.57 °C/W, while the L-shaped *Heat Pipe* with a 50% filling ratio achieved an even lower thermal resistance of 1.28 °C/W. The TEG system test showed that the straight *Heat Pipe* with 50% filling ratio produced a power output of 0.51 W at an exhaust temperature of 180°C, while the L-shaped *Heat Pipe* with the same filling ratio produced a slightly higher output of 0.57 W at the same temperature.

Keywords: Exhaust Heat, TEG, *Heat Pipe*, Electrical Power

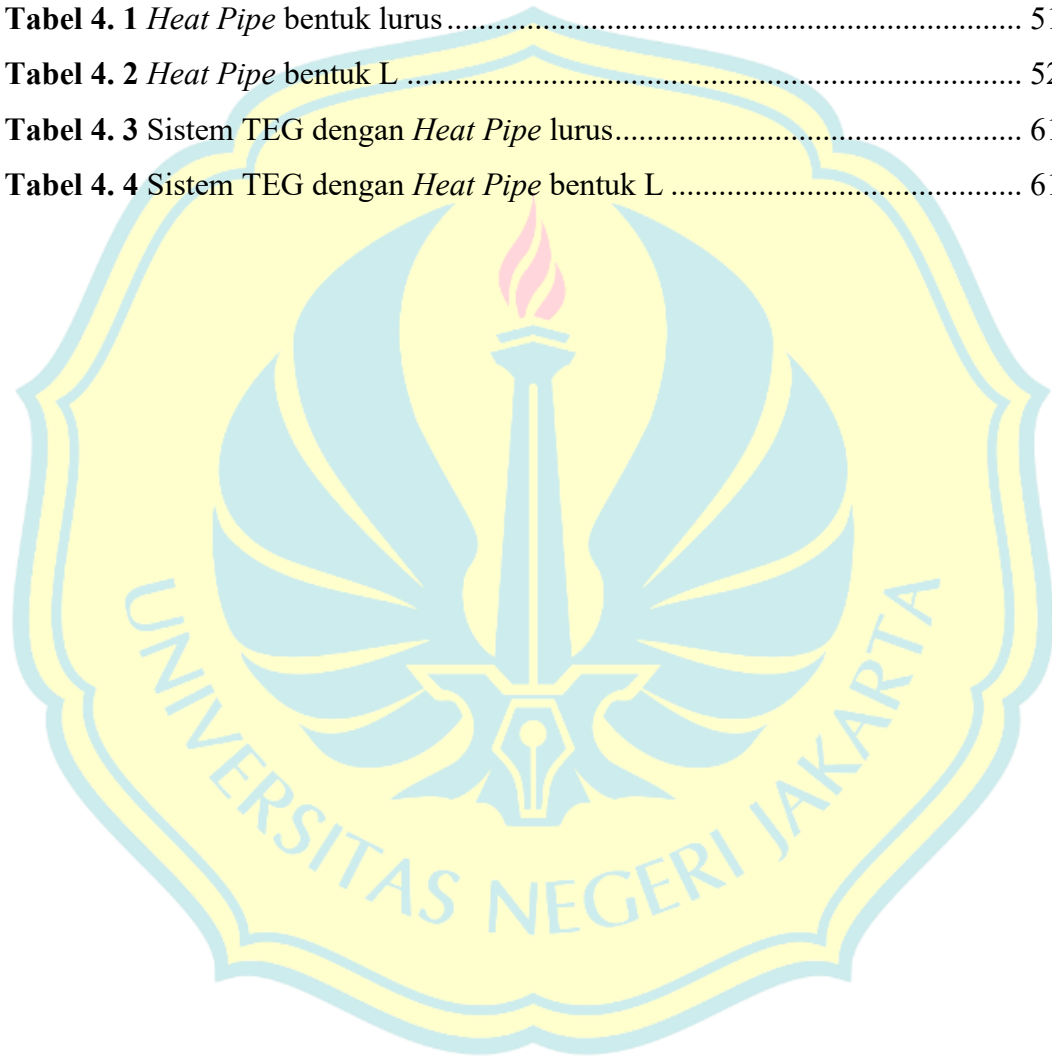
DAFTAR ISI

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.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Identifikasi Masalah	4
1.3. Pembatasan Masalah.....	5
1.4. Perumusan Masalah.....	5
1.5. Tujuan Penelitian.....	5
1.6. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II KERANGKA TEORITIK.....	7
2.1. Motor Bakar.....	7
2.2. Panas Buang Knalpot.....	8
2.3. Dasar Perpindahan Panas.....	9
2.3.1. Konduksi	9
2.3.2. Konveksi.....	9
2.3.3. Radiasi.....	10
2.4. <i>Thermoelectric Generator</i>	10
2.4.1. Konfigurasi <i>Thermoelectric Generator</i>	11
2.5. <i>Heat Pipe</i>	13
2.5.1. Komponen <i>Heat Pipe</i>	14
2.5.2. Kinerja <i>Heat Pipe</i>	16
2.5.3. Batasan Kinerja <i>Heat Pipe</i>	17
2.6. <i>Heatsink</i>	19
2.7. Penelitian Sebelumnya	20

2.8. Hipotesis Penelitian	22
2.9. Kerangka Berpikir	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	24
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	24
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	24
3.3. Diagram Alir Penelitian.....	25
3.4. Gambar Desain Sistem TEG.....	26
3.4.1 Alat Penukar Kalor Sisi Dingin.....	26
3.4.2 Spesifikasi Modul TEG	28
3.4.3 Desain Blok Dudukan Sistem TEG.....	30
3.5. Matriks Penelitian.....	32
3.6. Skematik Pengujian	33
3.6.1. Skematik Pengujian <i>Heat Pipe</i>	33
3.6.2. Skematik Pengujian Sistem TEG	37
3.7. Analisis Data Hasil Penelitian	38
3.7.1. Tahanan Termal.....	39
3.7.2. Daya pada sistem TEG	39
3.8. Kalibrasi Sensor.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1. Kinerja Termal <i>Heat Pipe</i>	41
4.1.1. <i>Heat Pipe</i> Lurus	41
4.1.2. <i>Heat Pipe</i> Bentuk L.....	45
4.1.3. <i>Energy Balance Heat Pipe</i>	49
4.1.4. Matriks Hasil Penelitian <i>Heat Pipe</i>	51
4.2. Profil Temperatur Sistem TEG	55
4.2.1. Sistem TEG Dengan <i>Heat Pipe</i> Lurus	55
4.2.2. Sistem TEG Dengan <i>Heat Pipe</i> Bentuk L.....	56
4.3. Hasil Penelitian.....	58
4.5.1. Matriks Hasil Penelitian Sistem TEG	61
BAB V PENUTUP.....	63
5.1. Kesimpulan.....	63
5.2. Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Konstruksi TEG peneliti sebelumnya	20
Tabel 3. 1 Spesifikasi Modul TEG SP1848-27145 SA	29
Tabel 3. 2 Matriks Pengujian <i>Heat Pipe</i>	32
Tabel 3. 3 Matriks Pengujian Sistem TEG	33
Tabel 4. 1 <i>Heat Pipe</i> bentuk lurus	51
Tabel 4. 2 <i>Heat Pipe</i> bentuk L	52
Tabel 4. 3 Sistem TEG dengan <i>Heat Pipe</i> lurus.....	61
Tabel 4. 4 Sistem TEG dengan <i>Heat Pipe</i> bentuk L	61



Intelligentia - Dignitas

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses kerja motor bakar 4 langkah.....	7
Gambar 2. 2 Proses kerja motor bakar 2 langkah.....	7
Gambar 2. 3 Temperatur pada knalpot mobil.....	8
Gambar 2. 4 Thermoelectric Generator.....	11
Gambar 2. 5 Modul TEG tunggal.....	12
Gambar 2. 6 Modul TEG bertingkat.....	12
Gambar 2. 7 <i>Heat Pipe</i>	13
Gambar 2. 8 Cara Kerja <i>Heat Pipe</i>	14
Gambar 2. 9 Fluida Kerja <i>Heat Pipe</i>	15
Gambar 2. 10 Batasan untuk transfer panas pada <i>Heat Pipe</i>	17
Gambar 2. 11 Heatsink	19
Gambar 3. 1 Diagram Alir.....	25
Gambar 3. 2 Letak sistem TEG	26
Gambar 3. 3 <i>Heat Pipe</i> bentuk lurus	27
Gambar 3. 4 <i>Heat Pipe</i> bentuk L.....	27
Gambar 3. 5 Heatsink	27
Gambar 3. 6 Kipas	28
Gambar 3. 7 Modul TEG SP1848-27145 SA.....	28
Gambar 3. 8 Tampak Depan Blok <i>Heat Pipe</i> dan TEG	30
Gambar 3. 9 Tampak Samping Blok <i>Heat Pipe</i> dan TEG.....	31
Gambar 3. 10 3D sistem TEG dengan <i>Heat Pipe</i> lurus.....	31
Gambar 3. 11 3D sistem TEG dengan <i>Heat Pipe</i> bentuk L	32
Gambar 3. 12 <i>Heat Pipe</i> Lurus.....	33
Gambar 3. 13 <i>Heat Pipe</i> L.....	33
Gambar 3. 14 Proses Vacuum <i>Heat Pipe</i>	34
Gambar 3. 15 Proses Filling <i>Heat Pipe</i>	35
Gambar 3. 16 Skematik Pengujian <i>Heat Pipe</i>	35
Gambar 3. 17 Pengujian <i>Heat Pipe</i>	36
Gambar 3. 18 Skematik alat uji	37
Gambar 4. 1 Set Up pengambilan data <i>Heat Pipe</i> lurus.....	41
Gambar 4. 2 Profil temperatur <i>Heat Pipe</i> lurus 40%	42

Gambar 4. 3 Profil temperatur <i>Heat Pipe</i> lurus 50%	43
Gambar 4. 4 Profil temperatur <i>Heat Pipe</i> lurus 60%	44
Gambar 4. 5 Grafik tahanan termal <i>Heat Pipe</i> lurus	45
Gambar 4. 6 Set Up pengambilan data <i>Heat Pipe</i> bentuk L.....	45
Gambar 4. 7 Profil temperatur <i>Heat Pipe</i> bentuk L 40%	46
Gambar 4. 8 Profil temperatur <i>Heat Pipe</i> bentuk L 50%	47
Gambar 4. 9 Profil temperatur <i>Heat Pipe</i> bentuk L 60%	48
Gambar 4. 10 Grafik tahanan termal <i>Heat Pipe</i> bentuk L.....	49
Gambar 4. 11 Grafik efektivitas kondenser <i>Heat Pipe</i> lurus.....	50
Gambar 4. 12 Grafik efektivitas kondenser <i>Heat Pipe</i> bentuk L	50
Gambar 4. 13 Set Up pengambilan data sistem TEG HP lurus.....	55
Gambar 4. 14 Profil temperatur sistem TEG HP lurus.....	55
Gambar 4. 15 Set Up pengambilan data sistem TEG HP bentuk L.....	56
Gambar 4. 16 Profil temperatur sistem TEG HP L	57
Gambar 4. 17 Tegangan sistem TEG.....	58
Gambar 4. 18 Arus sistem TEG	59
Gambar 4. 19 Daya sistem TEG	60

Intelligentia - Dignitas

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pembuatan Alat Vacuum dan Filling <i>Heat Pipe</i>	69
Lampiran 2 Proses Vacuum <i>Heat Pipe</i>	69
Lampiran 3 Proses pengisian <i>Heat Pipe</i> dengan fluida.....	69
Lampiran 4 Kalibrasi sensor tegangan	70
Lampiran 5 Kalibrasi sensor arus	70
Lampiran 6 Pengujian <i>Heat Pipe</i> bentuk L	71
Lampiran 7 Kecepatan angin kipas	71
Lampiran 8 Pengujian <i>Heat Pipe</i> lurus	71
Lampiran 9 Setting alat pengujian sistem TEG.....	72
Lampiran 10 Pengujian sistem TEG <i>Heat Pipe</i> bentuk L	72
Lampiran 11 Pengujian sistem TEG <i>Heat Pipe</i> lurus	72
Lampiran 12 Pengisian fluida kerja HP lurus 50%	73
Lampiran 13 Pengisian fluida kerja HP L 40%.....	74
Lampiran 14 Daya pemanasan evaporator pengujian HP	75
Lampiran 15 Perhitungan resistansi termal <i>Heat Pipe</i>	76
Lampiran 16 Perhitungan efektivitas pembuangan panas kondenser	77
Lampiran 17 Perhitungan daya	78

Intelligentia - Dignitas