



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA PENGGUNAAN HEAT PIPE PADA  
THERMOELECTRIC GENERATOR**

**SKRIPSI**

**RIO WIRAWAN**

**0806330472**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA PENGGUNAAN HEAT PIPE PADA  
THERMOELECTRIC GENERATOR**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**RIO WIRAWAN**

**0806330472**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
KEKHUSUSAN TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JUNI 2012**

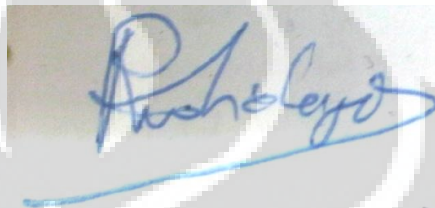
## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Rio Wirawan

NPM : 0806330472

Tanda Tangan :



Tanggal : 18 Juni 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Rio Wirawan  
NPM : 0806330472  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Analisa Penggunaan *Heat pipe* pada *Thermoelectric Generator*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr.-Ing Ir. Nandy Setiadi Djaya Putra (  )

Penguji : Dr. Agus Pamitran, ST., MEng. (  )

Penguji : Dr. Ir. Danardono AS. DEA (  )

Penguji : Prof. Dr. Ir. Raldi Artono Koestoer, DEA (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 18 Juni 2012

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya hanturkan kepada Yesus Kristus, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr,-Ing Ir. Nandy Setiadi Djaya Putra selaku pembimbing skripsi yang telah memberikan ilmu, bantuan, serta sumbang sarannya yang sangat mambantu saya;
  2. Orang tua penulis, Widadi Hidajat, dan Grace Tjahjadi yang telah memberikan bantuan dukungan yang tak terkira selama seumur hidup penulis hingga bisa sampai ke tahap ini;
  3. Kakak penulis, Vania Listiani Hidajat yang senantiasa terus mendukung penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
  4. Cininta Setyami Setyadita, atas setiap waktu yang dihabiskan penulis bersamanya, dan tindakannya terhadap penulis mendorong penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
  5. Bimo Sakti Wirayudha yang dengan caranya yang berbeda, secara langsung membantu penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dengan memberikan input yang sangat berguna.
  6. Retsa Anugrah, Gerry Julian, Ary Maulana, Ashar Okta Dwiputra, Zein Hamid, dan Annisa Nurulianthy beserta Applied Heat Transfer Research Group DTM UI yang terus mensupport penulis dalam berbagai bentuk.
  7. rekan-rekan kuliah DTM UI yang tidak bisa dilupakan penulis : berlan, ami, hudi, edwin, abib, randy, stanley, agung, akbar, satrio, ijul.
  8. rekan rekan kuliah UI yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu
- Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan *Thermoelement* di masa depan.

Depok, Juni 2012

Penulis

## **HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rio Wirawan  
NPM : 0806330472  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

### **ANALISA PENGGUNAAN HEAT PIPE PADA THERMOELECTRIC GENERATOR**

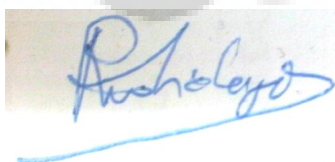
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok

Pada tanggal : 18 Juni 2012

Yang menyatakan



(Rio Wirawan)

## Abstrak

Nama : Rio Wirawan

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Analisa Penggunaan *Heatpipe* pada *Thermoelectric Generator*

Meningkatnya populasi manusia di dunia yang menyebabkan permintaan kebutuhan akan energi akan terus meningkat, dan dengan semakin menipisnya sumber energi fosil, dibutuhkan alternatif energi yang baru dengan meningkatkan efisiensi sumber energi yang ada. Termoelemen merupakan salah satu sumber energi alternatif yang baru, *thermoelectric generator* merupakan modul yang dapat merubah energi panas menjadi energi listrik yang menggunakan efek *seebeck* dan efek *peltier* sebagai dasar dari prinsip kerjanya. Fokus pada penelitian ini adalah menggunakan *direct contact heatpipe* dengan *fan* pada sisi dingin dari modul termoelektrik dengan melakukan simulasi memanaskan balok aluminium yang ditempelkan pada sisi panas dari modul termoelektrik. Dengan melakukan variasi input tegangan pada *heater* sebesar 160,190, dan 220 volt, didapatkan tegangan keluaran dari 8 buah modul *peltier* yang dirangkai seri sebesar 15,6 volt maksimal, dengan  $\Delta T$  maksimal sebesar 81,7 °C yang menghasilkan daya sebesar 2,4 watt.

Kata kunci :

*Thermoelectric Generator*, Semikonduktor, *Direct Contact Heatpipe*, *Thermoelectric Cooling*

## Abstract

Name : Rio Wirawan  
Study Program/ major: Mechanical Engineering  
Title : Analysis of Heat Pipe Usage in Thermoelectric Generator

The developing growth of human population in the world has cause an increase in the needs of energy sources, and with the decreasing and limited fossil energy sources, a new alternative energy is in demand by increasing the efficiency of existed energy sources. Thermoelements is one of many new alternative energy source. *Thermoelectric generator* is a module that can convert heat energy source into electrical energy by using the principles of seebeck effects and peltier effects as its basic work principles. The focus on this experiment is to use the direct contact heatpipe equipped with fan on the cold side of the thermoelectric modules, and engage a simulation by heating an aluminium bar in which the hot side of the termoelectric module is positioned. Doing the input variation of voltage given to the heater by 160,190, and 220 volt, the experiment results of 8 peltier modules connected in series are, the voltage output is 15.6 volt maximum, with  $\Delta T$  of  $81.7^{\circ}\text{C}$  maximum, and by this, generate power up to 2.4 watt.

Key words :

Thermoelectric Generator, Semiconductors, direct contact heatpipe, thermoelectric cooling



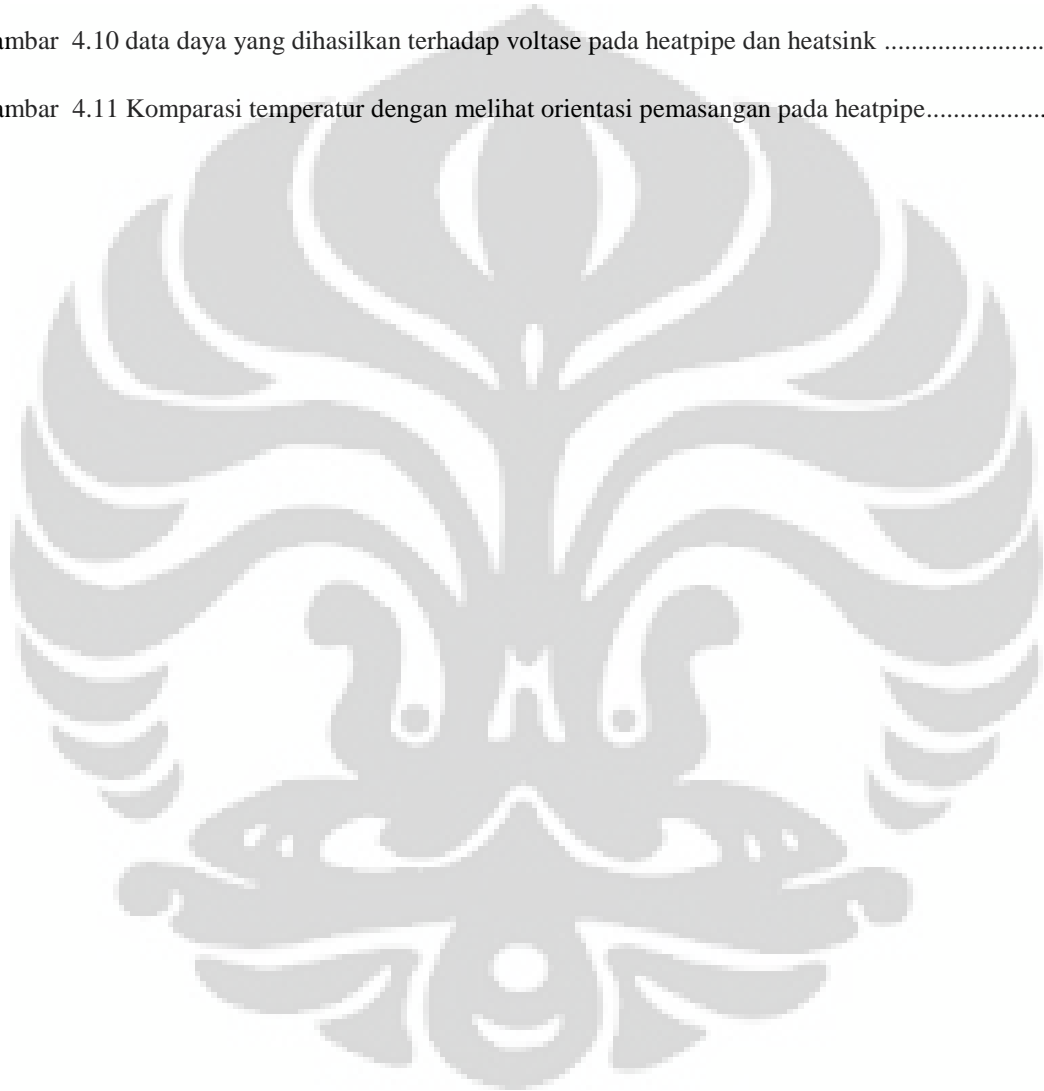
## Daftar Isi

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
Daftar Isi	
BAB 1 .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Pembatasan Masalah .....	4
1.5 Metodologi Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	6
BAB 2 .....	8
DASAR TEORI .....	8
2.1 Efek Termoelektrik .....	8
2.1.1 Efek Seebeck.....	8
2.1.2 Efek Peltier.....	10
2.1.3 Elemen Termoelektrik .....	12
2.1.4 Termoelektrik Generator.....	15
2.1.5 Efisiensi Termoelektrik Generator (pembangkit termoelektrik).....	21
2.1.6 Heat Pipe .....	22
BAB 3 .....	28
PENGUJIAN ALAT TERMOELEKTRIK GENERATOR .....	28
3.1 Instalasi Alat Pengujian .....	28
3.2 Prosedur Pengujian .....	38
3.3 Variasi Pengujian .....	41
BAB 4 .....	42
HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN TERMOELEKTRIK GENERATOR .....	42
4.1 Pengujian alat Termoelektrik Generator .....	42
4.2 Variasi pengujian alat Termoelektrik Generator.....	42
4.3 Analisa hasil pengujian alat Termoelektrik Generator .....	42
4.4 Perhitungan Teoritis.....	52
BAB 5 .....	57
5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran .....	58
Daftar Pustaka.....	59

## DAFTAR GAMBAR

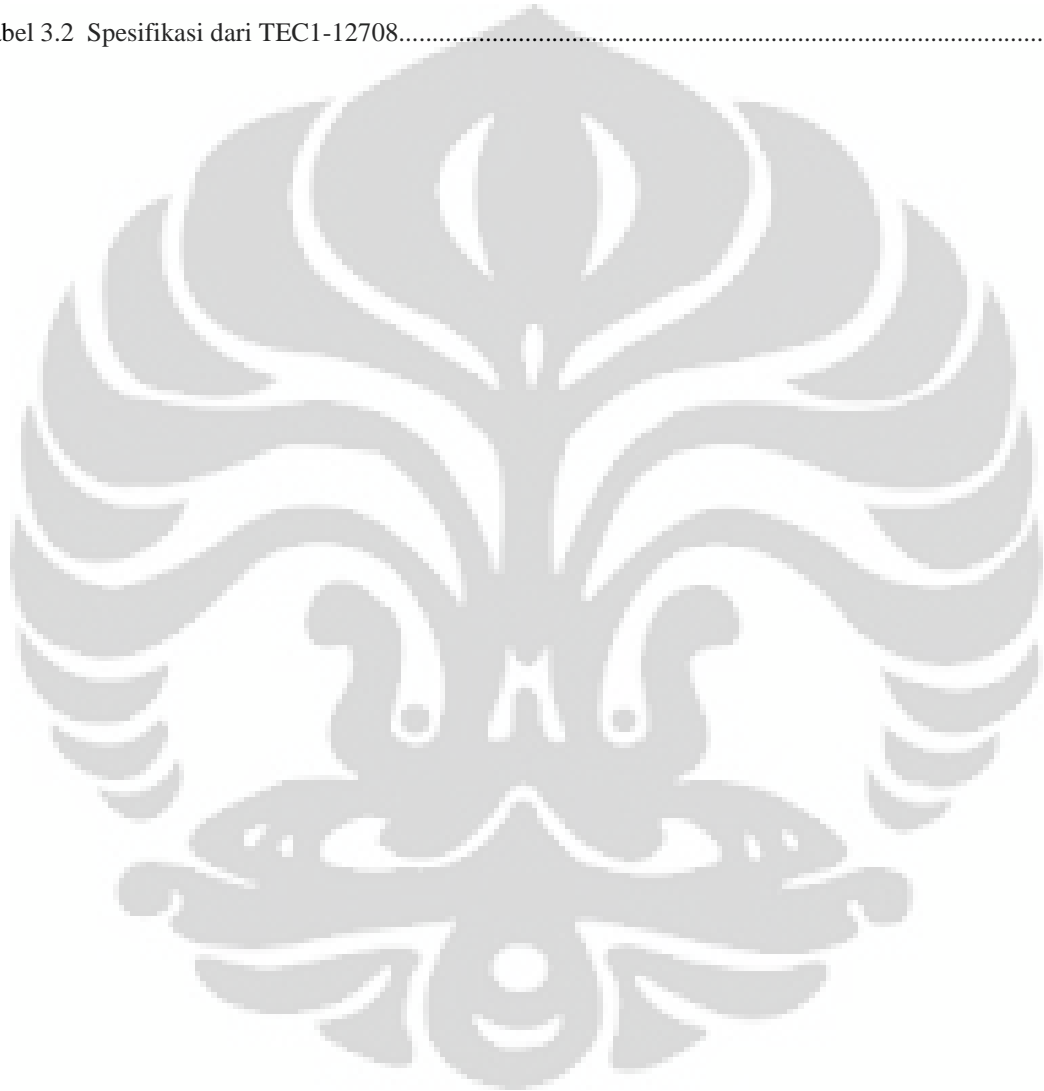
Gambar 1.1 persentase energi panas buang yang termanfaatkan dan yang terbuang .....	2
Gambar 2. 1 sirkuit termoelektrik yang terbuat dari konduktor A dan B dengan temperatur junction T1 dan T2. Z adalah koordinat sepanjang konduktor yang menggabungkan ujung a dan b dari voltmeter. ....	9
Gambar 2.2 ketergantungan temperatur terhadap daya termoelektrik dari beberapa material.....	9
Gambar 2.3 ketergantungan temperatur terhadap daya termoelektrik pada material silikon dengan jenis impuritas berbeda. ....	10
Gambar 2.4 pengaturan untuk mengamati efek peltier.....	11
Gambar 2.5 Pergerakan ion ion pada logam.....	12
Gambar 2.6 modul termoelektrik mengkonversi panas menjadi listrik.....	13
Gambar 2.7 Nilai <i>figure of merit</i> dari semikonduktor tipe-p.....	14
Gambar 2.8 Nilai <i>figure of merit</i> dari semikonduktor tipe-n.....	15
Gambar 2.9 skematik pembangkit termoelektrik.....	17
Gambar 2.10 Komponen <i>termoelektrik generator</i> .....	20
Gambar 2.11 perbandingan efisiensi peltier dengan pembangkit daya lain.....	21
Gambar 3.1 Alat Uji Termoelektrik Generator.....	28
Gambar 3.2 instalasi alat pengujian.....	29
Gambar 3.3 Voltage Regulator.....	30
Gambar 3.4 <i>Direct Contact Heatpipe</i> .....	30
Gambar 3.5 <i>Junction terminal</i> .....	31
Gambar 3.6 <i>DC Power Supply</i> .....	31
Gambar 3.7 Termokopel tipe-k.....	32
Gambar 3.8 <i>National Instruments Data Aquisition</i> .....	33
Gambar 3.9 Tampilan <i>block diagram</i> Labview 8.5.....	34
Gambar 3.10 Tampilan <i>Front Panel</i> Labview 8.5.....	34
Gambar 3.11 tampilan <i>front panel</i> halaman dua pada Labview 8.5.....	35
Gambar 3.12 <i>Termoelektrik Generator Module</i> .....	36
Gambar 3.13 gambar 2 dimensi <i>direct contact heatpipe</i> .....	39
Gambar 3.14 diagram alur pengujian.....	40
Gambar 3.15 pengujian alat termoelektrik generator.....	41
Gambar 4.1 Data temperatur terhadap waktu dengan menggunakan <i>heatpipe</i> .....	44
Gambar 4.2 data perubahan temperatur terhadap waktu dengan menggunakan heatsink .....	45

Gambar 4.3 Data perubahan temperatur terhadap waktu pada voltage regulator 160 volt .....	46
Gambar 4.4 data perubahan temperatur terhadap waktu pada <i>voltage regulator</i> 190 volt .....	47
Gambar 4.5 Data perubahan temperatur terhadap waktu pada voltage regulator 220 volt .....	48
Gambar 4.6 data perubahan voltase terhadap delta temperatur pada voltage regulator 160 volt.....	49
Gambar 4.7 data perubahan voltase terhadap delta temperatur pada voltage regulator 190 volt .....	49
Gambar 4.8 data perubahan voltase terhadap delta temperatur pada voltage regulator 220 volt .....	50
Gambar 4.9 data perubahan voltase terhadap delta temperatur keseluruhan.....	51
Gambar 4.10 data daya yang dihasilkan terhadap voltase pada heatpipe dan heatsink .....	52
Gambar 4.11 Komparasi temperatur dengan melihat orientasi pemasangan pada heatpipe.....	54



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 rentang temperatur kerja beberapa jenis fluida.....	25
Tabel 3.1 Spesifikasi dari TEC1-12706 .....	36
Tabel 3.2 Spesifikasi dari TEC1-12708.....	37



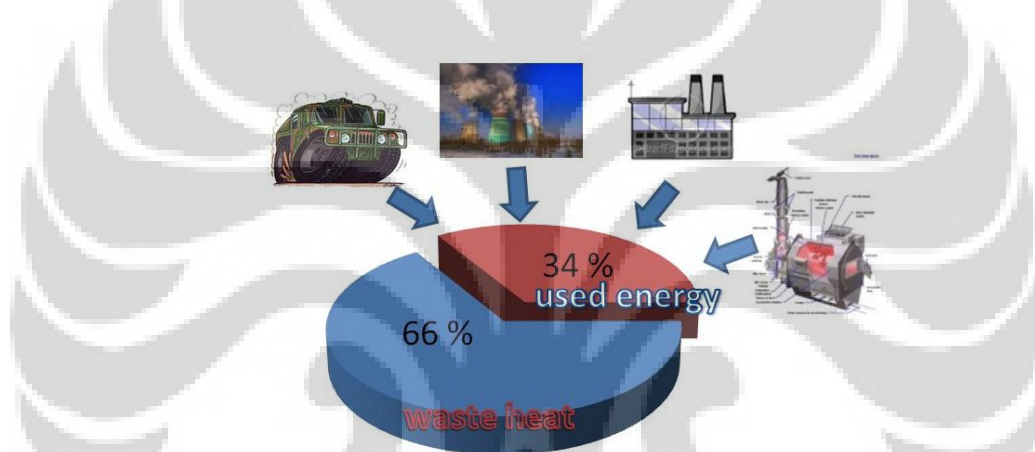
# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dengan semakin meningkatnya populasi manusia di dunia, peningkatan kebutuhan untuk memenuhi suatu tingkat kualitas hidup pada setiap manusia tidak dapat dihindari. Dengan dimulainya revolusi industri sejak satu abad yang lampau. Potensi sumber daya alam yang ada pada bumi kita senantiasa digali untuk memenuhi kebutuhan manusia, kebutuhan dasar manusia akan pangan, sandang dan papan yang selalu dijadikan hak mendasar setiap manusia, tidak akan dapat tercapai apabila manusia tidak mempunyai sumber energi yang menggerakkan segala aktifitas sehari-hari manusia untuk memenuhi segala kebutuhannya, dari hal yang paling mendasar ini, energi dari sumber daya alam terus digali untuk diambil, namun kita tidak bisa selamanya menggantungkan diri pada sumber daya alam sebagai pemenuhan kebutuhan energi dunia, karena sumber daya alam ini sifatnya terbatas dan akan habis apabila kita manfaatkan secara terus menerus, dari dasar pemikiran ini, muncul upaya-upaya untuk menggunakan energi seefisien mungkin, menghemat energi ataupun menggunakan kembali (mendaur ulang) energi yang telah digunakan sebelumnya. Pertimbangan penggunaan energi pada masa sekarang ini pun mencakup banyak hal, apabila pada masa abad 20, penggunaan energi hanya berorientasikan kepada pemanfaatan energi sebesar-besarnya, tanpa memperhatikan efek samping terhadap lingkungan akibat dari pemanfaatan energi tersebut. Mulai dari akhir abad 20 sampai ke masa sekarang ini, pertimbangan penggunaan energi juga mencakup bagaimana memanfaatkan energi tanpa merusak keadaan alam ataupun keberlangsungan ekosistem dunia. Penggunaan energi yang bersih menjadi *concern* yang besar. Konsumsi energi dunia di tahun 2010, telah meningkat 5,5% setelah penurunan kecil konsumsi energi pada tahun 2009, dan telah mencapai 4,5% dari level pre krisis, total konsumsi energi dunia di tahun 2010 sebanyak 12852 juta ton minyak ekuivalen [1]. dengan konsumsi sebanyak ini, efisiensi penggunaan energi dijadikan isu yang signifikan dalam menjaga pasokan energi dunia. Dengan metode konservasi

energi yang tepat, maka masa habisnya sumber energi bahan bakar fosil dapat diperpanjang. Dengan sektor transportasi yang turut membutuhkan sumber energi bahan bakar fosil, efisiensi termal yang ada pada kendaraan bermotor secara umum masih berlangsung cukup rendah, hanya sekitar 34% yang dapat dimanfaatkan, selebihnya merupakan panas buang yang mengalir ke lingkungan. Dengan pemanfaatan panas buang yang besar ke lingkungan ini, energi berupa listrik dapat disalurkan kembali ke berbagai kebutuhan instrumen berdaya listrik pada kendaraan bermotor, tanpa perlu membenani kerja motor bakar, tapi justru menambah tingkat efisiensi kerja dari motor bakar tersebut, dalam suatu penelitian, didapatkan hasil apabila memanfaatkan 6% saja dari panas gas buang kendaraan, maka akan dapat menghemat BBM hingga 10% [2]



**Gambar 1.1** persentase energi panas buang yang dimanfaatkan dan yang terbuang

Pada kendaraan bermotor juga terdapat energi panas hasil dari gas buang pembakaran BBM. Bila kalor ini tidak dimanfaatkan maka akan terbuang ke atmosfer dan menjadi polusi termal. Kalor yang tidak terpakai ini dapat diklasifikasikan menjadi 3 tingkat, yaitu tingkat tinggi, menengah dan rendah. Untuk kisaran tinggi yaitu antara temperatur  $590^{\circ}\text{C}$  dan  $1650^{\circ}\text{C}$ . Tingkat menengah antara  $200^{\circ}\text{C}$  dan  $590^{\circ}\text{C}$  dan untuk kisaran temperatur rendah  $25^{\circ}\text{C}$  dan  $200^{\circ}\text{C}$ . Khusus untuk kendaraan bermotor, limbah kalor dari *manifold* memiliki kisaran temperatur rendah hingga menengah.

Menyadari banyaknya energi termal yang terbuang percuma ke atmosfer inilah, pemanfaatan modul termoelektrik menjadi pilihan dari peneliti untuk mengkonservasi energi termal yang terbuang menjadi energi listrik, dalam perkembangannya, modul termoelektrik sendiri telah diteliti dan diujicobakan

dalam berbagai macam penggunaan, penggunaan modul termoelektrik telah berkembang pesat sejak 10 tahun terakhir ini dalam konservasi energi panas buang. Seperti yang telah dilakukan oleh Rinalde et.al [3] yang membahas tentang mengkonservasi panas buang dari kompor kayu bakar sebagai sarana sumber listrik pada daerah rural. serta studi perbandingan pemanfaatan termoelektrik pada sistem gas buang suatu kendaraan bermotor dengan sistem gas buang dari *stationary compressed natural gas engine generator set* (CNG) yang dilakukan oleh Karri et.al [4] yang menyimpulkan bahwa efek penggunaan termoelektrik pada sistem gas buang dapat menghemat penggunaan bahan bakar sebanyak 1,25% pada kendaraan bermotor. Penggunaan modul termoelektrik untuk mengkonservasi energi panas buang banyak dimanfaatkan karena aplikasinya yang mudah, biaya pengoperasian serta biaya perawatan yang murah, dan usia pakai modul termoelektrik yang panjang, serta ramah lingkungan karena tidak mengemisikan gas buang apapun dalam penggunaannya. Oleh Xiaolong et.al [5] kinerja dari modul termoelektrik dalam mengkonservasi energi panas buang ditentukan oleh besarnya temperatur panas buang, rangkaian seri dari termoelektrik, memperbesar luas area dari *heat sink*, serta meningkatkan kapasitas perpindahan kalor pada sisi dingin dari modul termoelektrik yang digunakan. Melalui pernyataan ini, masih banyak optimalisasi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kinerja dari termoelektrik dalam mengkonservasi energi panas buang. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Nandy et.al [6] yang menggunakan modul termoelektrik sebanyak 12 buah serta metode konveksi natural yang dilakukan untuk mendinginkan sisi dingin dari termoelektrik dengan menggunakan *fin*. Dengan berbagai penelitian yang sudah dilakukan inilah, peneliti merasa optimalisasi kerja dari termoelektrik masih dapat dilakukan dengan mencoba berbagai metode yang akan dibahas pada penelitian ini dengan berdasarkan berbagai penelitian yang telah dipublikasikan sebelumnya.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana pengembangan aplikasi

termoelektrik generator dalam memanfaatkan energi panas buang ( waste heat recovery) yang didapat dari gas buang kendaraan bermotor, dengan melakukan simulasi di laboratorium yang menggunakan heater aluminium yang dipanaskan secara bervariasi untuk mendapatkan berbagai kondisi suhu temperatur seperti pada gas buang kendaraan bermotor. sesuai prinsip kerja modul termoelektrik generator yang membutuhkan perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin dari modul yang akan menghasilkan output berupa tegangan listrik. Dengan sumber panas yang sudah ada untuk memanaskan sisi panas dari termoelektrik generator, juga diaplikasikan penggunaan heat pipe pada sisi dingin dari termoelektrik generator agar didapat perbedaan temperatur yang semakin besar

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun, tujuan penelitian yang diinginkan adalah untuk :

1. Mengetahui besaran energi listrik yang didapatkan dari simulasi modul termoelektrik generator.
2. Mengetahui konsistensi performa dari modul *termoelektrik* yang digunakan

### 1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi :

1. Penggunaan simulasi *heater* pada logam aluminium sebagai simulasi panas gas buang kendaraan bermotor.
2. Menggunakan modul termoelektrik generator sebanyak 4 buah.
3. Menggunakan 6 buah heat pipe yang ditempatkan untuk mendinginkan sisi dingin dari termoelektrik generator.
4. Menggunakan 4 buah *cooling fan* untuk mensimulasikan aliran udara.



5. Penggunaan national instruments data aquisition sebagai alat ukur tegangan output dan perbedaan temperatur yang dihasilkan dari alat termoelektrik generator.
6. Penelitian dilaksanakan sampai pada tahap pengukuran daya listrik yang dihasilkan.

## 1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

### 1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan proses pembelajaran bahan-bahan yang berkaitan dengan materi bahasan yang berasal dari berbagai sumber literatur yang tersedia, seperti dari buku teks, jurnal - jurnal, maupun situs internet.

### 2. Desain Alat Uji

Perancangan simulasi penelitian termoelektrik generator dilakukan untuk memastikan pemilihan material dengan konduktivitas termal yang baik, agar heat transfer dari heater dapat dimanfaatkan secara maksimal pada modul termoelektrik generator, serta pemilihan komponen pendingin yang tepat untuk diaplikasikan pada sisi dingin dari modul termoelektrik generator.

### 3. Pembuatan Prototipe Alat Uji

Pembuatan prototipe dibuat dengan tujuan melakukan simulasi uji yang telah didesain sebelumnya.

### 4. Pengujian Termoelektrik Generator.

Unjuk kerja alat dilakukan dengan melalui proses kalibrasi termokopel yang digunakan untuk pengukuran temperatur, pengambilan data tegangan yang dihasilkan, untuk kemudian mengolah data pengujian yang didapat.

### 5. Analisa dan Kesimpulan Hasil Pengujian

Setelah data pengujian didapat, kemudian dilakukan proses analisa terhadap grafik yang diperoleh. Dari analisa tersebut akan didapat kesimpulan terhadap simulasi uji Termoelektrik Generator yang dilakukan,

untuk kemudian dapat dijadikan referensi pengembangan desain aplikasi termoelektrik generator dalam pemanfaatan energi panas yang terbuang selanjutnya.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan skripsi ini dilakukan menurut urutan bab-bab sebagai berikut :

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bagian ini berisi latar belakang yang melandasi penulisan skripsi, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan teori-teori yang mendasari penelitian ini dan perkembangan teknologi termoelektrik yang kemungkinan bisa diterapkan untuk *termoelektrik generator*. Tinjauan pustaka ini diambil dari beberapa buku, jurnal dan situs-situs internet.

### **BAB III. PENGUJIAN ALAT *TERMOELEKTRIK GENERATOR***

Bab ini berisi penjelasan secara lengkap tentang peralatan-peralatan, instalasi, langkah- langkah, serta jenis pengujian yang dilakukan.

### **BAB IV. HASIL DAN ANALISA**

Data-data hasil pengujian akan diolah menjadi data berupa grafik dan penjelasan mengenai analisa terhadap kinerja alat serta membandingkan dengan literatur yang ada.

### **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bagian ini akan diambil beberapa kesimpulan dari seluruh kegiatan penelitian yang telah dilakukan dengan disertai saran terhadap pengembangan desain selanjutnya.



## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1 Efek Termoelektrik

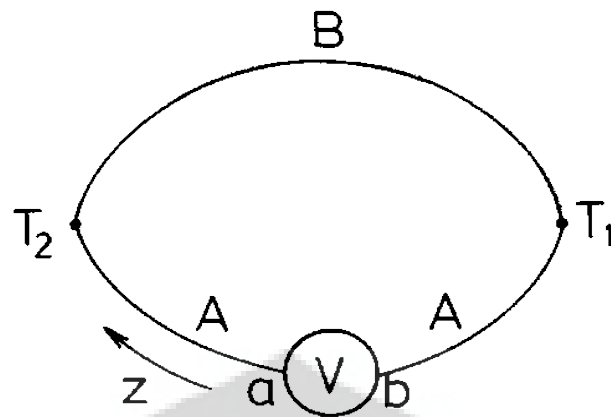
Efek termoelektrik merupakan subjek penting dalam ilmu fisika benda padat. Efek utama yang digunakan adalah *efek seebeck* yang ditemukan oleh Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821 dan *efek peltier* yang ditemukan oleh Jean Charles Athanase Peltier pada tahun 1834. Keduanya mempunyai peranan penting dalam aplikasi praktik.

##### 2.1.1 Efek Seebeck

Pada gambar 2.1 ditunjukkan *junction* penghubung 1 dan 2 dari kabel logam yang terbuat dari material yang berbeda, yaitu material A dan B, dikondisikan dalam temperatur yang berbeda  $T_1$  dan  $T_2$ . Potensial  $U$  diukur dengan menggunakan voltmeter  $V$  dimasukkan ke dalam kabel A yang diberikan menurut :

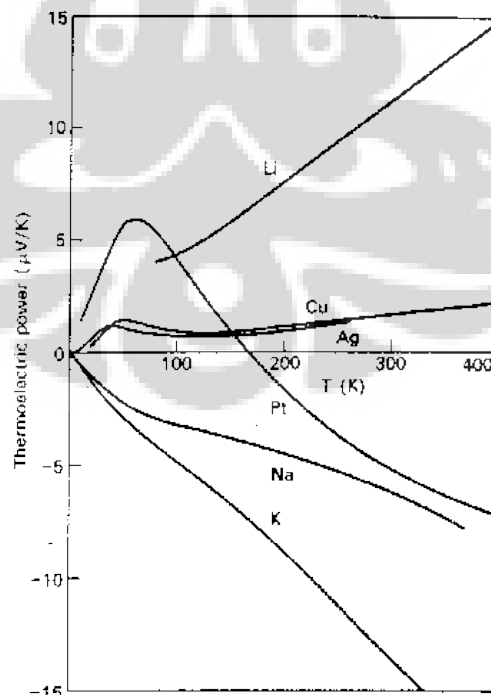
$$U = (Q_A - Q_B)(T_1 - T_2). \quad (2.1)$$

Dimana  $Q_a$  dan  $Q_b$  mewakili koefisien seebeck (daya termoelektrik) dari logam A dan logam B, dimensi dari  $Q$  adalah energi / (beban  $\times$  temperatur). Satuan alami dari thermopower adalah  $v \quad k_B/e \approx 10^{-4} V/K$  . nilai  $Q$  yang umum pada logam adalah lebih rendah dari faktor 10 sampai 100, untuk semikonduktor, umumnya lebih tinggi dibandingkan faktor yang identik, (lihat gambar 2.2 dan 2.3) .

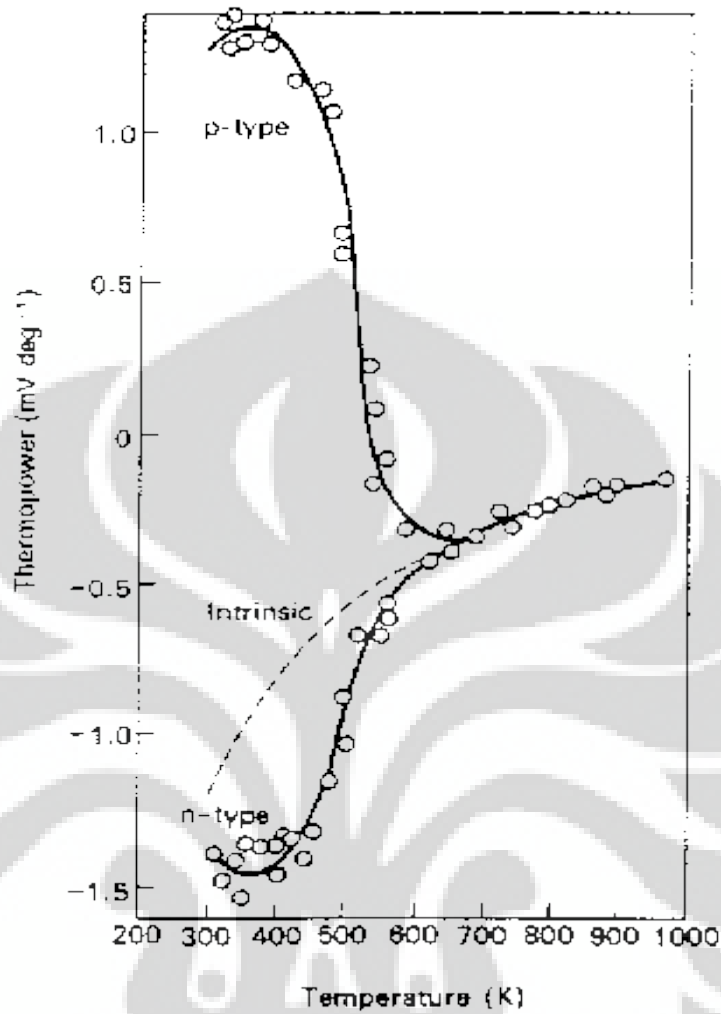


**Gambar 2. 0.1** sirkuit termoelektrik yang terbuat dari konduktor A dan B dengan temperatur junction  $T_1$  dan  $T_2$ . Z adalah koordinat sepanjang konduktor yang menggabungkan ujung a dan b dari voltmeter.

Jika sirkuit pada gambar 1 mengalami hubungan arus pendek dengan memindahkan voltmeter, arus listrik stasioner akan mengalir. Besarnya arus listrik tergantung dari rasio potensial termoelektrik yang diukur dengan voltmeter dan total hambatan dari sirkuit tanpa voltmeter. Bila nilai potensial termoelektrik ini kecil (pada logam dengan ukuran milivolt), *thermocurrent* yang terjadi bisa cukup besar apabila hambatannya kecil.



**Gambar 2.2** ketergantungan temperatur terhadap daya termoelektrik dari beberapa material.



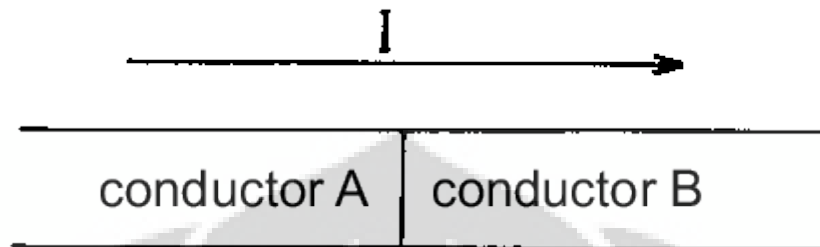
**Gambar 2.3** ketergantungan temperatur terhadap daya termoelektrik pada material silikon dengan jenis impuritas berbeda.

### 2.1.2 Efek Peltier

Arus listrik dengan besar  $I$  sepanjang *junction* dari 2 konduktor yang berbeda A dan B dengan koefisien peltier  $\Pi_A$  dan  $\Pi_B$  menghasilkan kalor dengan tingkat menurut :

$$\dot{W} = (\Pi_A - \Pi_B) \cdot I \quad (2.2)$$

Pada gambar 2.4, nilai  $\dot{W}$  bisa positif ataupun negatif. Nilai negatif menandakan pendinginan dari junction. Berlawanan dengan pemanasan joule, efek peltier sifatnya reversibel dan tergantung dari arah arus listrik.



**Gambar 2.4** pengaturan untuk mengamati efek peltier.

Efek peltier terjadi karena adanya arus listrik yang mempunyai arus kalor dalam konduktor homogen, yang terjadi walaupun temperatur dalam keadaan konstan. Akibat dari arus kalor menurut  $\Pi \cdot I$ . Persamaan kalor peltier adalah keseimbangan dari aliran kalor dari dan menuju *interface*. Arus kalor bersama arus listrik dapat dijelaskan melalui perbedaan kecepatan aliran elektron yang membawa arus listrik. Kecepatan aliran bergantung pada energi dari elektron yang mengalami konduksi. Contoh, apabila kecepatan aliran dari elektron dengan energi lebih dari potensi kimia (energi Fermi) lebih besar dari elektron dengan energi lebih rendah, arus listrik bersama arus kalor dengan arah berlawanan (karena beban listrik negatif). Dalam hal ini, koefisien peltier bernilai negatif. Situasi yang sama akan terjadi untuk  $n$  semikonduktor, dimana arus listrik yang dibawa oleh elektron dalam keadaan ikatan konduksi.

Koefisien *Seebeck* dan *Peltier*  $Q$  dan  $\Pi$  menurut hubungan

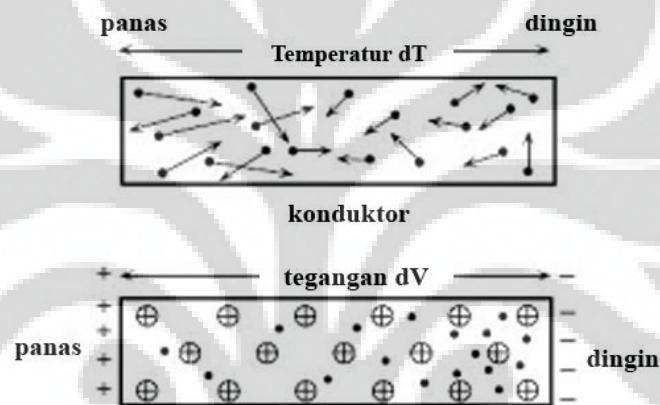
$$\Pi = T \cdot Q, \quad (2.3)$$

Yang sudah ditemukan oleh Lord Kelvin, tapi untuk setiap nilai derivasi yang valid hanya dapat dibuktikan setelah menggunakan teori kinetik dari konduksi elektron atau termodinamika ireversibel. Hubungan kelvin menghubungkan

material untuk 2 efek fisika yang berbeda, dimana efek peltier mempunyai penjelasan yang simpel seperti yang dijelaskan diatas.

### 2.1.3 Elemen Termoelektrik

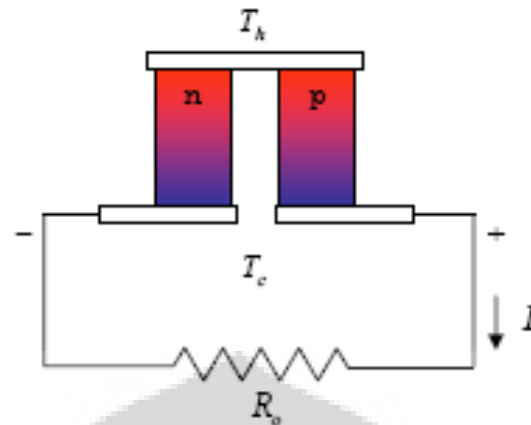
Dari prinsip kedua efek pada termoelektrik tersebut, dapat disimpulkan apabila batang logam dipanaskan dan didinginkan pada 2 kutub batang logam tersebut, elektron pada sisi panas logam akan bergerak aktif dan memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi dingin logam. Dengan kecepatan yang lebih tinggi, maka elektron dari sisi panas akan mengalami difusi ke sisi dingin dan menyebabkan timbulnya medan elektrik pada logam tersebut (gambar 2.5)



**Gambar 2.5** Pergerakan ion ion pada logam.

Elemen termoelektrik yang terdiri dari semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang dihubungkan dalam suatu rangkaian listrik tertutup yang terdapat beban. Maka perbedaan suhu yang ada pada tiap *junction* dari tiap semikonduktor tersebut akan menyebabkan perpindahan elektron dari sisi panas menuju sisi dingin.





**Gambar 2.6** modul termoelektrik mengkonversi panas menjadi listrik.

(Ref.<http://www.egr.msu.edu/~hogant/Group%20Web%20Page/Introduction%20to%20Termoelektriks%201.pdf>)

Dengan adanya perbedaan suhu pada kedua titik *junction* maka akan ada beda potensial diantara kedua titik tersebut, yang dapat ditentukan dengan rumus :

$$\Delta V = \int_{T_1}^{T_2} S_{AB} dT \quad (2.4)$$

Dimana  $S_{AB}$  adalah koefisien seebeck dengan  $T_1 < T_2$ .

Efisiensi dari *power generated* ini dapat diukur dengan menggunakan rasio dari daya listrik ( $P_o$ ) terhadap heat flow ( $Q_h$ ).

$$\eta = \frac{P_o}{Q_h} \quad (2.5)$$

Sedangkan daya yang diperoleh,

$$P_o = I^2 R_o \quad (2.6)$$

*Heat flow* yang terjadi pada sisi panas terdiri dari tiga komponen. *Heat flow* yang melalui material termoelektrik karena sifat konduktivitas dari material tersebut,  $K\Delta T$ . Panas yang terabsorpsi pada *hot side* dari termoelektrik karena

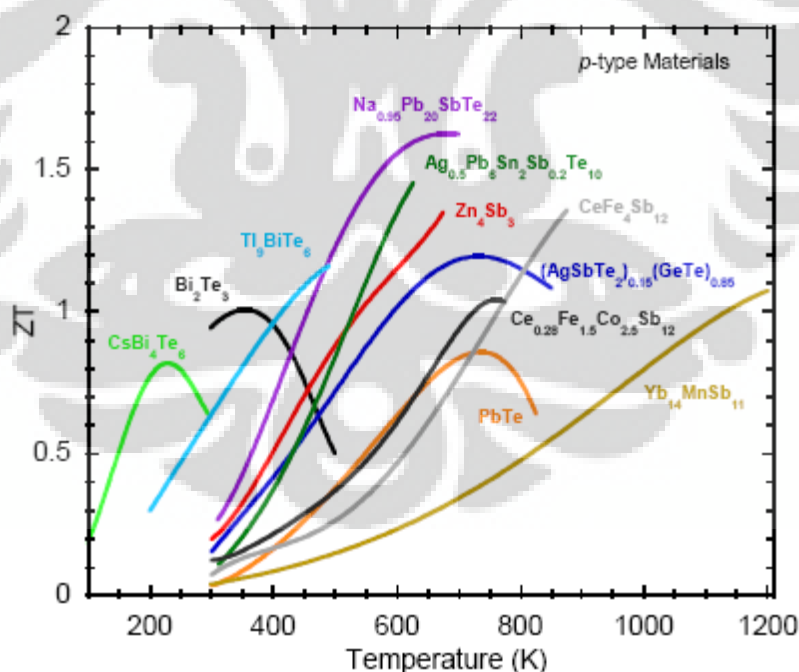
efisiensi peltier, dan panas yang disebabkan oleh daya yang dihasilkan,  $I^2R$ , dengan asumsi setengah panas masuk ke dalam sisi panas, dan setengah masuk pada sisi bagian dingin. Dan R adalah hambatan dari material termoelektrik.

Arus yang melalui modul ini dapat disesuaikan dengan merubah beban dari modul tersebut. Efisiensi optimal dapat diketahui dengan rumus

$$\eta_{opt} = \frac{\frac{\Delta T}{T_h} (\sqrt{1+Z\bar{T}} - 1)}{\sqrt{1+Z\bar{T}} + \frac{T_c}{T_h}} \quad (2.7)$$

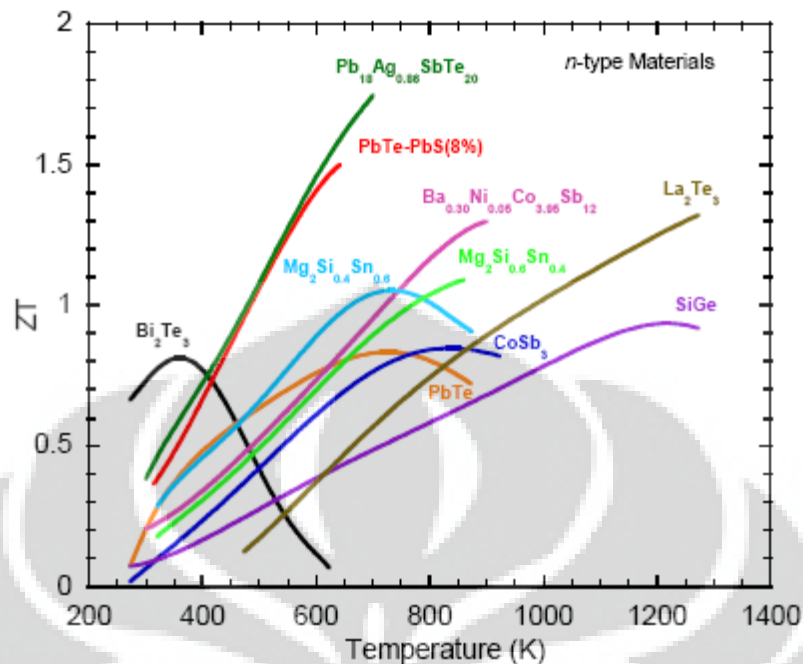
Dengan  $\bar{T} = \frac{T_c + T_h}{2}$  sebagai suhu rata-rata dan  $Z = \frac{S^2\sigma}{\kappa}$  adalah figure of merit.

Semakin tinggi nilai *figure of merit*, maka semakin tinggi nilai efisiensi dari termoelektrik. Gambar berikut adalah grafik jenis-jenis semikonduktor berdasarkan *figure of merit* terhadap satuan temperatur.



**Gambar 2.7** Nilai *figure of merit* dari semikonduktor tipe-p

(Ref. <http://www.egr.msu.edu/~hogant/Group%20Web%20Page/Introduction%20to%20Termoelektriks%201.pdf>)



**Gambar 2.8** Nilai *figure of merit* dari semikonduktor tipe-n

(Ref. <http://www.egr.msu.edu/~hogant/Group%20Web%20Page/Introduction%20to%20Termoelektriks%201.pdf>)

#### 2.1.4 Termoelektrik Generator

Dengan diketahuinya konversi langsung dari energi termal menjadi energi listrik telah diketahui kurang lebih 1 abad yang lalu, hal ini belum terlalu dapat dimanfaatkan sampai ditemukannya teknologi transistor dan riset ekstensif semikonduktor yang dapat memasukkan material yang diperlukan untuk pengembangan pembangkit termoelektrik sebagai sumber praktis energi listrik. Karena kebutuhan dari program antariksa Amerika Serikat ditahun 1950an dan tahun 1960an yang memutuhkan sumber energi listrik yang dapat diandalkan untuk satelit serta kendaraan antariksa [7]. Dengan menggunakan prinsip efek seebeck, pembangkit termoelektrik (termoelektrik generator) mengubah energi termal pada elemen peltier yang add pada termoelektrik, menjadi energi listrik. Dengan perbedaan temperatur antara sisi dingin dan sisi panas pada elemen termoelektrik, pada elemen ini akan mengalir arus sehingga terjadi perbedaan tegangan. Aplikasi pembangkit termoelektrik

digunakan secara luas, terutama dalam berbagai hal yang menggunakan sumber panas sebagai penghasil listrik. Sistem gas buang kendaraan, *burner* dan *furnace* adalah beberapa contoh dari aplikasi pembangkit termoelektrik.

Secara umum, beberapa material pembangkit termoelektrik yang telah diproduksi menggunakan :

1. *Silicon Germanium*
2. *Lead Telluride*
3. *Bismuth Telluride alloys*

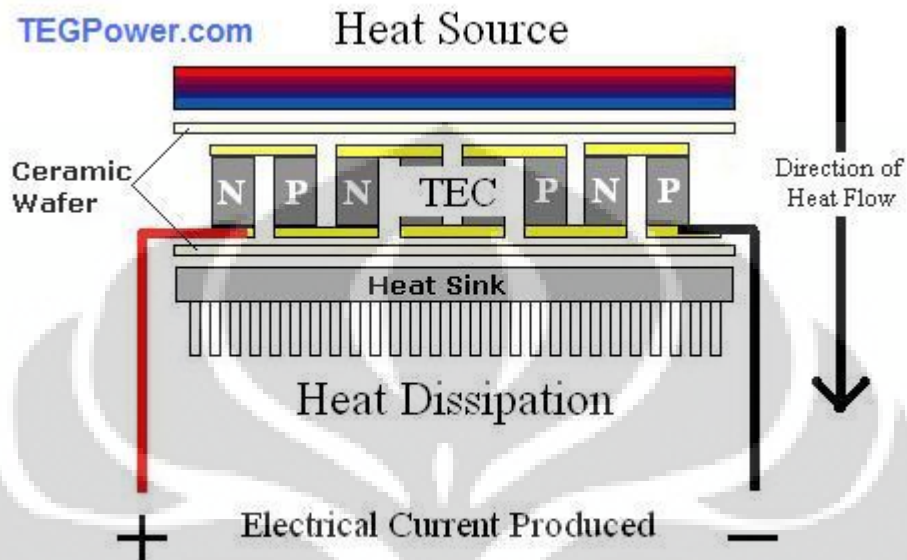
Ketiga material ini terbagi berdasarkan temperatur kerjanya. Untuk material *Silicon Germanium*, temperatur kerja paling tinggi diantara 2 material lainnya. Material ini dapat menyerap panas dalam range temperatur 750<sup>0</sup>C sampai 1000<sup>0</sup>C. Material ini dapat menyerap beda potensial yang lebih tinggi dari material termoelektrik lainnya. Kekurangan dari material ini adalah tingginya harga, sehingga menaikkan ongkos produksinya.

Material *Lead Telluride* merupakan material dengan temperatur kerja menengah, dibawah material *Silicon Germanium*, dan diatas temperatur kerja *Bismuth Telluride alloys*. Material ini mempunyai temperatur kerja dengan rentang antara 400<sup>0</sup>C – 650<sup>0</sup>C.

Material yang paling umum digunakan dalam elemen termoelektrik adalah material *Bismuth Telluride Alloys*. Dengan rentang temperatur kerja hingga 350<sup>0</sup>C, material ini umum dipakai sebagai elemen pendingin pada aplikasi pendinginan, atau kombinasi pendinginan dan pemanasan dengan adanya perbedaan temperatur yang membuat timbulnya daya listrik. . dibandingkan dengan dua material yang lain, daya keluaran serta efisiensi pembangkitan *bismuth telluride* lebih kecil, tetapi dengan tersedianya sumber termal, daya yang diinginkan akan dapat tercapai.

Modul pembangkit termoelektrik mempunyai bentuk dasar dengan dua jenis, antara lain *linear shape module* (bisa dibentuk sesuai penempatannya) dengan biaya produksi yang lebih tinggi dan umumnya memerlukan pesanan

dengan spesifikasi khusus. Dan *Traditional square module* yang dijual secara umum dengan bentuk persegi.



Gambar 2.9 skematik pembangkit termoelektrik

(ref. www.tegpower.com)

Karakteristik dari elemen termoelektrik adalah *internal resistance* ( $\rho$ ), *thermal conductivity* ( $\gamma$ ) dan *termoelektrik power* ( $\alpha$ ), yang merupakan hubungan kecepatan perpindahan elektron valensi pada dua material.

Kalor yang dilepaskan pada sisi dingin sebanding dengan suhu absolut pada sisi tersebut dan sebanding dengan jumlah elektron yang dipindahkan. Jika kedua sisi elemen peltier mempunyai suhu yang berbeda, sejumlah kalor akan berpindah dari sisi panas menuju sisi dingin. Hal ini dapat menyebabkan power loss. Oleh karena itu power loss ini harus dapat dikurangi dengan mengurangi heat capacity dalam peltier [8]. Dapat dikatakan bahwa, kalor yang dipancarkan oleh sisi panas adalah jumlah dari kalor yang diserap oleh sisi dingin dan *electrical power loss*.

*Heat flow* yang dibutuhkan pada sisi panas

$$\dot{Q}_{hot} = \alpha(\tilde{T}_{hot}) \cdot I \cdot \tilde{T}_{hot} - \frac{\tilde{\rho}}{2} \cdot I^2 + \tilde{\kappa}(\tilde{T}_{hot} - \tilde{T}_{cold}) \quad (2.5)$$

Arus yang dapat dihasilkan

$$I = \frac{\alpha \cdot A \cdot dT}{2\rho \cdot L} \quad (2.6)$$

Tegangan yang dapat dibangkitkan

$$U = \alpha(\tilde{T}_{hot}) \cdot \tilde{T}_{hot} - \alpha(\tilde{T}_{cold}) \cdot \tilde{T}_{cold} - \tilde{\rho} \cdot I \quad (2.7)$$

Daya yang dapat dihasilkan

$$P = U \cdot I \quad (2.8)$$

Temperatur kerja efektif

$$\tilde{T}_{hot} = T_{hot} - R_{th,hot} \cdot \tilde{Q}_{hot} \quad (2.9)$$

$$\tilde{T}_{cold} = T_{cold} + R_{th,cold} \cdot (\tilde{Q}_{hot} - P) \quad (2.10)$$

Nilai rata-rata *electric resistance*

$$\tilde{\rho} = \frac{\int_{\tilde{T}_{cold}}^{\tilde{T}_{hot}} \frac{\rho(T)}{\kappa(T)} \cdot dT}{\int_{\tilde{T}_{cold}}^{\tilde{T}_{hot}} \frac{1}{\kappa(T)} \cdot dT} \quad (2.11)$$

Nilai rata-rata *thermal conduction*

$$\tilde{\kappa} = \frac{\int_{\tilde{T}_{cold}}^{\tilde{T}_{hot}} \frac{1}{\kappa(T)} \cdot dT}{\int_{\tilde{T}_{cold}}^{\tilde{T}_{hot}} \frac{1}{\kappa(T)^2} \cdot dT} \quad (2.12)$$

Keterangan:

$T_{\text{hot}}$  : suhu absolute pada sisi panas

$R_{\text{th,hot}}$  : *Thermal resistance* pada sisi panas (lapisan keramik, *thermal compound*, dan lain-lain)

$\tilde{T}_{\text{hot}}$  : Suhu efektif pada sisi panas

$T_{\text{cold}}$  : Suhu absolute dari sisi dingin

$R_{\text{th,cold}}$  : *Thermal resistance* pada sisi dingin (lapisan keramik, *thermal compound*, *heatsink*, dan lain-lain)

$\tilde{T}_{\text{cold}}$  : Suhu efektif pada sisi dingin

$\dot{Q}_{\text{hot}}$  : *Heat flow* yang dibutuhkan pada sisi panas

$U$  : Tegangan yang dibangkitkan oleh elemen

$I$  : Arus yang mengalir dalam elemen

$A$  : Luas modul elemen

$L$  : Panjang elemen

$P$  : Daya yang dihasilkan oleh elemen

$\alpha(T)$  : *corrected thermal force*

$\rho(T)$  : *corrected electrical resistance*

$\kappa(T)$  : *corrected thermal conduction*

$\bar{\rho}$  : *effective electrical resistance of the element*

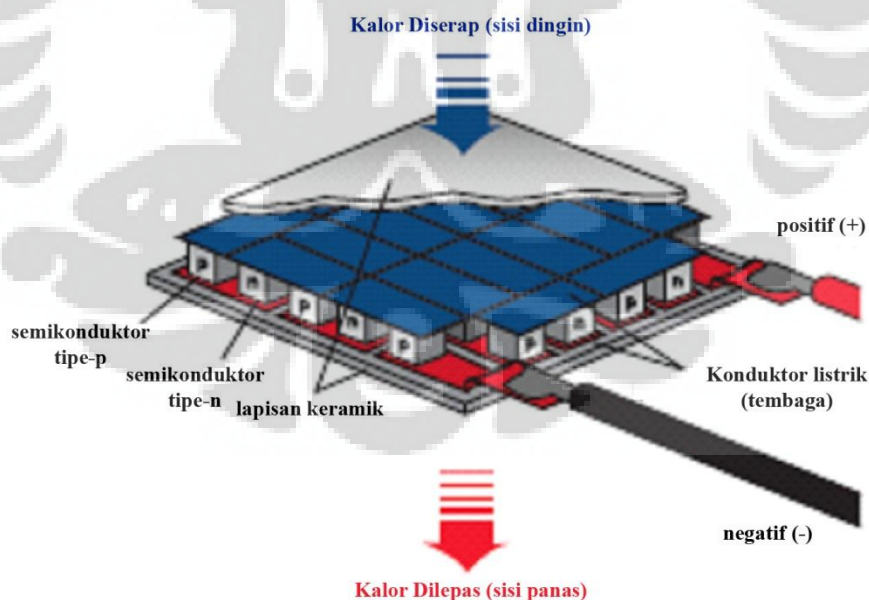
$\bar{\kappa}$  : *effective thermal conduction of the element*

Modul pembangkit termoelektrik tersusun dari dua lapisan keramik pada sisi paling luarnya yang berfungsi sebagai insulator listrik, dengan lapisan yang



berbentuk seperti wafer. Sisi luar pada modul pembangkit termoelektrik berguna sebagai medium perpindahan kalor. Setelah sisi luar keramik, terdapat konduktor listrik pada lapisan bawahnya yang menggunakan material tembaga atau timah, material ini berfungsi sebagai penghubung antara kedua semikonduktor tipe-p dan tipe-n, yang terdapat pada lapisan dibawahnya lagi, yang tersusun secara bergantian. sesuai dengan karakteristik yang dipunyai oleh elemen termoelektrik yang dijelaskan sebelumnya, dimana *internal resistance* atau tahanan dalam dari elemen peltier/elemen termoelektrik adalah tahanan listrik dalam peltier. Kemudian *thermal conductivity* atau konduktivitas termal adalah perpindahan kalor yang terjadi pada material yang satu dengan yang lain dalam elemen termoelektrik.

Hal yang perlu diperhatikan dalam pembangkit termoelektrik adalah menjaga perbedaan temperatur sebesar mungkin, pada umumnya untuk mencapai perbedaan temperatur yang besar, digunakan perangkat untuk mendinginkan sisi dingin dari elemen peltier, berbagai variasi perangkat pendinginan telah digunakan sebelumnya dalam penelitian antara lain penggunaan *heatsink*. Pada penelitian kali ini, peneliti mencoba menggunakan perangkat *Heat pipe* untuk memaksimalkan pelepasan kalor pada sisi dingin elemen peltier.



**Gambar 2.10** Komponen termoelektrik generator

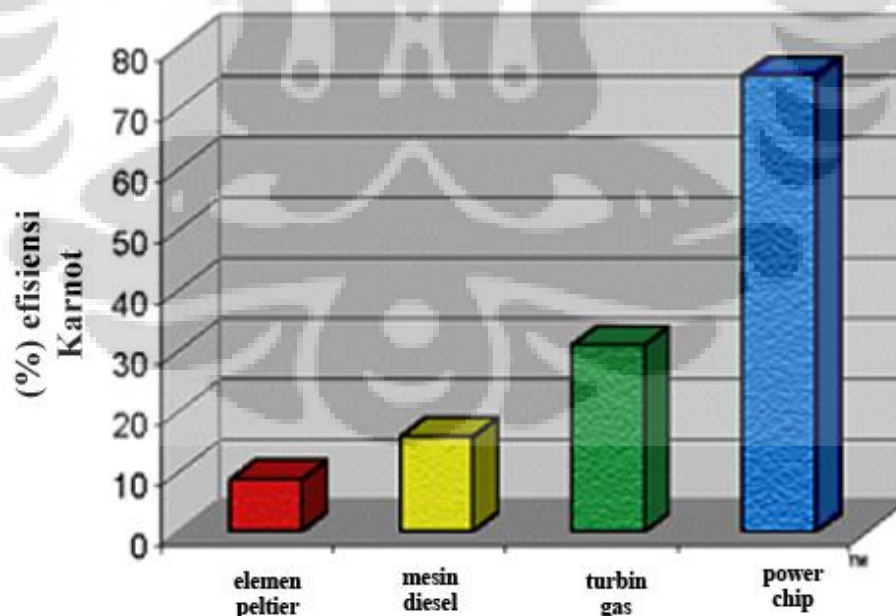
(ref. *Termoelektrik Handbook Melcor ISO 9001:2000*)



### 2.1.5 Efisiensi Termoelektrik Generator (pembangkit termoelektrik)

Dalam pembangkitan daya, efisiensi karnot digunakan sebagai parameter energi, efisiensi karnot merupakan efisiensi dengan perhitungan teoritis, dianggap sebagai keadaan yang paling ideal, maka suatu mesin akan mempunyai efisiensi karnot sebesar 100%. Berbeda dengan efisiensi termal yang hampir selalu lebih kecil dari efisiensi karnot ideal. Dalam hukum kedua termodinamika, yang menyatakan tidak semua kalor dalam suatu mesin kalor akan dapat digunakan untuk melakukan kerja, efisiensi karnot menetapkan nilai batas pada fraksi kalor yang dapat digunakan.

Dibandingkan dengan perangkat pembangkit daya yang lain, efisiensi dari elemen peltier masih rendah, dengan tingkat efisiensi hanya sekitar 5-8% sementara pembangkit daya dengan siklus Rankine, seperti turbin gas, memiliki efisiensi karnot sebesar 30%, pembangkit diesel atau motor bakar memiliki efisiensi sekitar 10-15%, dengan power chip sebagai acuan efisiensi yang cukup baik sekitar 70-80%.



**Gambar 2.11** perbandingan efisiensi peltier dengan pembangkit daya lain.

(ref:www.powerchips.com)

### 2.1.6 Heat Pipe

Heat pipe adalah sebuah teknologi yang pertama kali dikembangkan oleh R.S Gougler pada tahun 1942, pada mulanya heat pipe digunakan sebagai salah satu alat pendingin pada satelit antariksa, namun sekarang umum digunakan sebagai piranti pendingin alat elektronik. penghantaran panas dengan menggunakan pipa berukuran tertentu yang berisi fluida khusus sebagai penghantar panas dari ujung yang panas, yang disebut sebagai evaporator, ke ujung lain sebagai pendingin atau yang disebut sebagai kondensor. Pipa pada heat pipe biasanya terbuat dari bahan aluminium, tembaga atau tembaga berlapis nikel. Pada bagian dalam pipa terdapat *wick* sebagai saluran kembalinya fluida menuju evaporator. Heat pipe mempunyai kemampuan untuk memindahkan kalor melawan gravitasi, dengan adanya siklus evaporasi-kondensasi bertekanan dengan bantuan dari jaringan kapiler berpori yang membentuk *wick*. Dengan adanya *wick* ini, menyebabkan kondensat kembali ke evaporator. Kualitas dan jenis dari *wick* biasanya menentukan performa dari suatu heat pipe, berbagai jenis *wick* digunakan tergantung dari aplikasi yang akan digunakan pada heat pipe.

Pada bagian evaporator, pada umumnya ditempelkan heat blok dari kalor yang akan dibuang. Kemudian fluida kerja akan mengalami pemanasan dan mencapai titik boiling sehingga cairan akan berubah ke dalam bentuk uap. Kemudian tekanan akan mengakibatkan uap mengalir menuju kondenser.

Pada kondensor, terjadi fenomena berupa panas laten dari uap diserap sehingga terjadi proses perubahan fase dari uap menjadi cair. Fluida kerja yang telah kembali dalam bentuk cair mengalir kembali ke evaporator melalui *wick*.

Heat pipe mempunyai tiga komponen utama, yaitu :

- *Container*
- Fluida kerja
- *Wick* / struktur kapiler

## Kontainer

Fungsi dari kontainer adalah untuk mengisolasi fluida kerja dari lingkungan, maka itu kontainer harus bebas bocor, dapat menjaga perbedaan tekanan disepanjang dindingnya, dan dapat memindahkan kalor dari dan ke fluida kerja. pada kontainer biasanya berbentuk logam tube, biasanya terbuat dari tembaga atau aluminium, material pada kontainer memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi. bentuk pipa/tube dapat ditebuk, dipipihkan atau diratakan. Pemilihan material dari kontainer tergantung dari banyak faktor, yaitu :

- Kompabilitas dengan fluida kerja serta lingkungan luar.
- Rasio kekuatan dengan massa material.
- Konduktivitas termal
- Kemudahan fabrikasi, seperti kemudahan untuk *welding*, *machineability* dan *ductility*.
- Porositas
- *Wettability* (kemampuan bekerja dalam kondisi basah)

Rasio kekuatan dengan massa material menjadi penting apabila digunakan untuk aplikasi penerbangan atau antariksa. Material kontainer harus bersifat *non-porous* untuk mencegah difusi pada uap. Konduktivitas termal yang baik memastikan penurunan temperatur yang minimal diantara sumber panas dengan *wick*.

## Fluida kerja

Pertimbangan pertama dalam identifikasi dari fluida kerja yang cocok adalah batasan temperatur kerja uap. Dalam perkiraan batasan temperatur kerja, beberapa fluida kerja mungkin akan cocok, dan variasi karakteristik harus ditinjau untuk menentukan fluida kerja mana yang paling cocok. Fluida kerja pada heat pipe dapat berupa fluida dasar, seperti air, helium, *ethyleneglycol*, *ethanol*, dll atau fluida campuran berupa nano fluida, dan berbagai macam jenis fluida campuran lainnya. Pemakaian fluida campuran harus berupa suatu fluida yang tidak menyebabkan deposit pada bagian dalam heat pipe, karena dapat mengurangi kinerja heatpipe secara keseluruhan. Jenis fluida kerja bergantung dari rentang

temperatur kerja dari aplikasi tersebut. Dalam memilih fluida kerja, berbagai faktor yang menentukan karakter fluida kerja yang akan digunakan antara lain :

- Kompabilitas dengan material heat pipe, terdapat cairan tertentu yang dapat merusak material heat pipe sehingga heat pipe harus didesain untuk menggunakan material tertentu.
- Kestabilan suhu cairan akan mempengaruhi proses penguapan pada fluida tersebut. Pada fluida tertentu menguap pada suhu tertentu juga, pada saat suhu cairan sudah mencapai titik penguapan, maka uap panas tersebut akan mengalir pada bagian pendinginan.
- Keterbatasan dari material pipa dan wick pada heat pipe.
- Tekanan uap yang dihasilkan tidak terlalu tinggi agar cairan tersebut dapat berkerja kembali pada suhu normalnya dan dapat kembali ke bagian penyerapan panas untuk menyerap panas kembali.
- Panas laten yang tinggi.
- Konduktivitas cairan yang tinggi sehingga penyerapan dapat berlangsung cepat dengan aliran uap cairan yang minimal sehingga penyerapan panas oleh cairan dapat berlangsung secara bergantian.
- Viskositas uap
- Tegangan permukaan yang tinggi
- Fluida kerja masuk ke dalam rentang temperatur uap yang diinginkan.
- Rentang temperatur kerja fluida pada heat pipe

Medium	Metling Point (°C)	Boiling Point at Atm. Pressure (°C)	Useful Range (°C)
Helium	-271	-261	-271 to -269
Nitrogen	-210	-196	-203 to -160
Ammonia	-78	-33	-60 to 100
Acetone	-95	57	0 to 120
Methanol	-98	64	10 to 130
Flutec PP2	-50	76	10 to 160
Ethanol	-112	78	0 to 130
Water	0	100	30 to 200
Toluene	-95	110	50 to 200
Mercury	-39	361	250 to 650
Sodium	98	892	600 to 1200
Lithium	179	1340	1000 to 1800
Silver	960	2212	1800 to 2300

**Tabel 2.1** rentang temperatur kerja beberapa jenis fluida

### **Wick (sumbu kapiler)**

Adalah struktur berpori yang terbuat dari material seperti besi, aluminium, nikel atau tembaga dengan variasi ukuran pori. Struktur ini difabrikasi dengan menggunakan *metal foam* dan secara khusus menggunakan *felts* yang lebih sering digunakan. Dengan memvariasikan tekanan pada *felt* variasi ukuran pori dapat dibuat. Dengan menyatukan *removable metal mandrels*, struktur arterial dapat ditempelkan pada felt.

Material berserat seperti keramik juga digunakan secara luas, pada umumnya mempunyai pori yang kecil. Kekurangan dari serat keramik adalah tingkat kekakuan yang rendah dan membutuhkan pendukung secara terus-menerus dari mesh logam. Karena itu, walaupun serat keramik mungkin cocok secara kimiawi dengan fluida kerja, material pendukung malah dapat menimbulkan masalah. Sekarang ini, pengembangan serat karbon sebagai material wick semakin diperhatikan, filamen serat karbon mempunyai permukaan longitudinal yang baik, mempunyai tekanan kapiler yang tinggi dan stabil secara kimiawi. Pada heat pipe yang menggunakan serat karbon sebagai wick, menunjukkan kecenderungan kapabilitas perpindahan kalor yang baik.

Tujuan utama dari wick adalah untuk menghasilkan tekanan kapiler untuk memindahkan fluida kerja dari kondenser ke evaporator. Wick juga harus dapat mendistribusikan fluida di sekitar evaporator ke area manapun dimana kalor diterima oleh heat pipe. Seringkali kedua fungsi membutuhkan wick dengan bentuk berbeda. Pemilihan wick dalam penggunaan pada heat pipe bergantung pada banyak faktor, beberapa diantaranya mirip dengan faktor yang dibutuhkan pada fluida kerja.

Kecepatan perubahan ketinggian yang terjadi pada saat fluida melewati sumbu kapiler akan meningkat dengan menurunnya ukuran pori pori. Permeabilitas dari wick akan meningkat dengan meningkatnya ukuran pori. Fitur lain dari wick yang bisa dioptimalkan adalah ketebalannya. Kemampuan perpindahan kalor dari heat pipe akan meningkat dengan meningkatkan ketebalan wick. Resistansi termal keseluruhan pada evaporator juga bergantung dari

konduktivitas fluida kerja di dalam wick. Faktor penting lain dari wick adalah kompatibilitas dengan fluida kerja serta *wettability*.

Wick yang paling sering digunakan antara lain :

#### *Sintered Powder*

Proses ini akan memberikan gradien temperatur yang rendah, serta gaya kapiler yang tinggi untuk aplikasi yang melawan gravitasi. Dengan struktur ini, tingkat bending yang tinggi dapat dibuat.

#### *Grooved tube*

Gaya kapiler yang kecil terjadi karena permukaan aksial, cukup untuk heat pipe dengan daya rendah apabila dioperasikan secara horizontal, atau dengan bantuan gravitasi. Tabungnya siap untuk dibengkokkan apabila digunakan dengan *screen mesh*, performanya dapat ditingkatkan.

#### *Screen mesh*

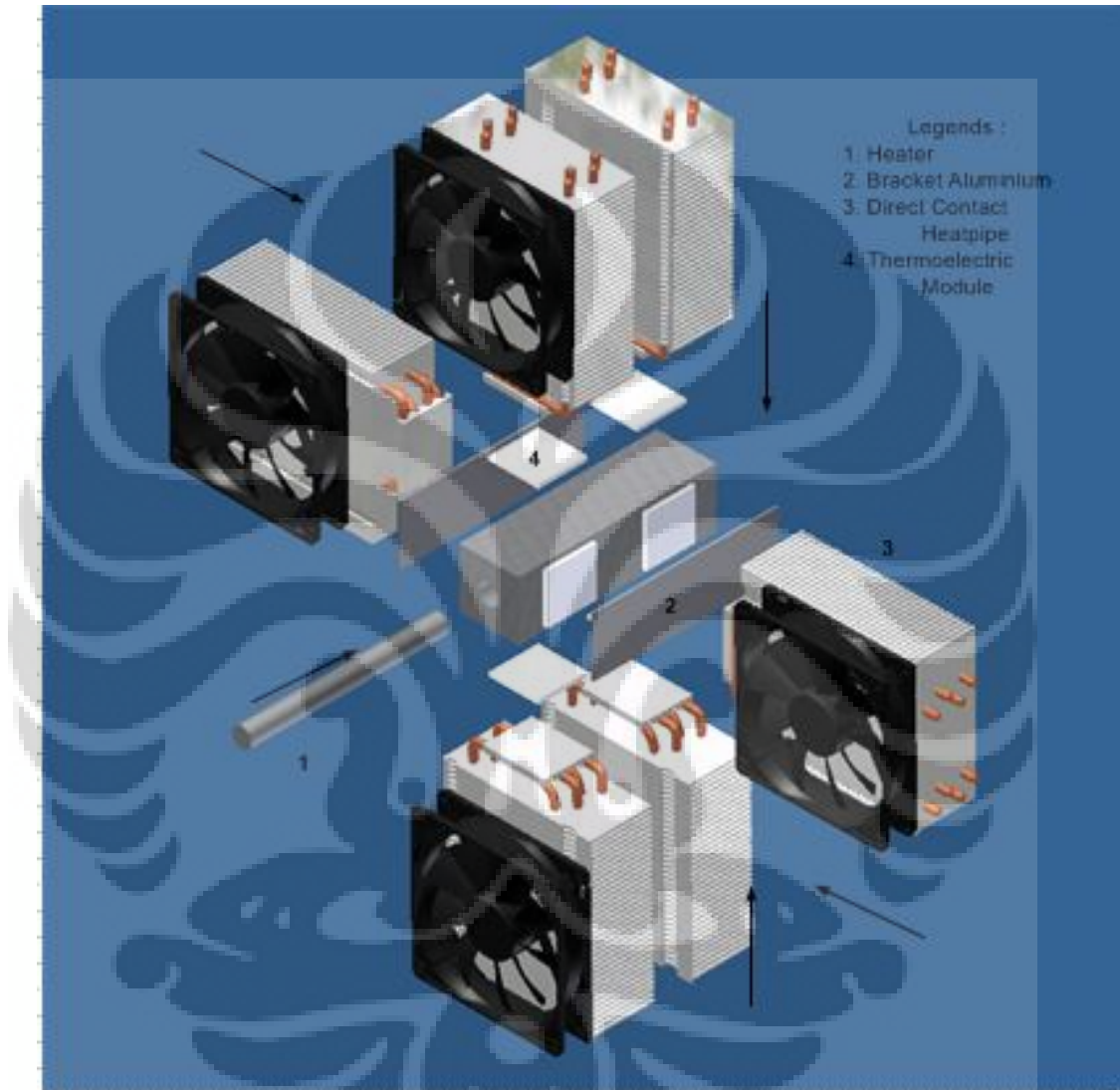
Jenis wick ini digunakan pada mayoritas produk heat pipe, dan menyediakan berbagai variasi karakteristik dalam hal transfer daya, serta sensitivitas orientasi, menurut jumlah lapisan dan hitungan mesh yang digunakan.



## BAB 3

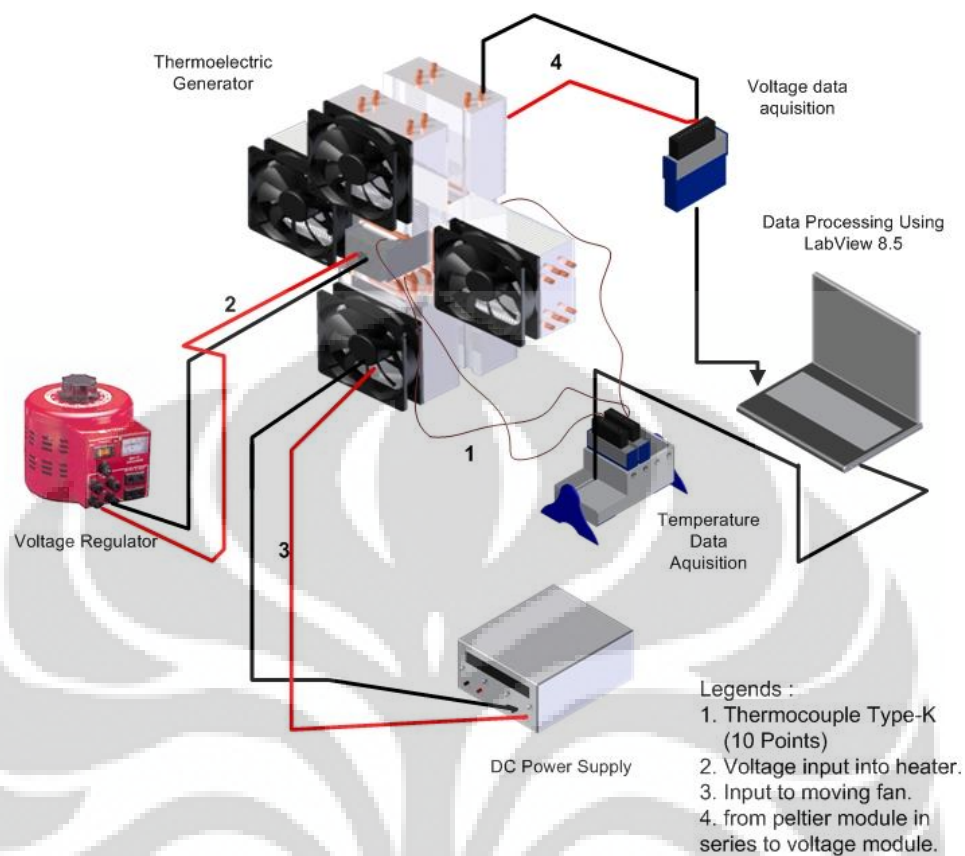
### PENGUJIAN ALAT TERMOELEKTRIK GENERATOR

#### 3.1 Instalasi Alat Pengujian



Gambar 3.1 Alat Uji Termoelektrik Generator





**Gambar 3.2** instalasi alat pengujian

Komponen yang akan digunakan untuk pengujian alat pembangkit termoelektrik adalah sebagai berikut :

1. Balok dengan material aluminium berdimensi 180 x 48 x 48 mm dengan sisi dalam berlubang berbentuk silinder yang akan ditempatkan heater logam berbentuk silinder pada lubang tersebut. Balok dengan pemanas ini disimulasikan sebagai sumber panas pembangkit termoelektrik, menggunakan material aluminium karena balok ini dimodelkan sebagai sistem gas buang kendaraan (exhaust pipe) yang ada pada kendaraan bermotor. Pada balok ini akan ditempatkan modul termoelektrik sebanyak 8 buah dengan setiap sisi ditempatkan 2 buah modul termoelektrik, dari balok ini, modul termoelektrik akan menyerap sumber panasnya.
2. *Heater* untuk memanaskan logam yang berdimensi panjang 165mm x diameter 30 mm dengan daya maksimum 700 watt yang akan dihubungkan ke alat pengatur

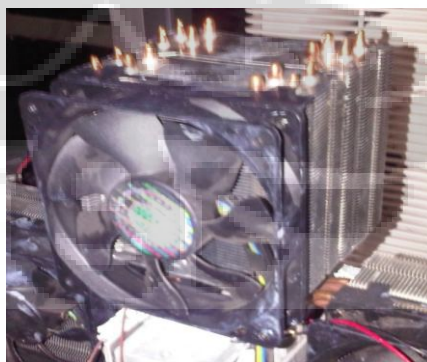
tegangan untuk mendapatkan simulasi temperatur pipa gas buang kendaraan yang diinginkan.

3. *Voltage regulator* yang merupakan alat pengatur variasi tegangan yang akan dihubungkan ke heater logam, sehingga bisa didapatkan temperatur yang sesuai dengan suhu gas buang kendaraan mulai dari kendaraan menyala hingga suhu saat kendaraan berjalan.



**Gambar 3.3** Voltage Regulator

4. Heat pipe dengan heat sink dan fan yang berfungsi sebagai pendingin sisi dingin dari modul termoelektrik, jumlah heat pipe yang digunakan sebanyak 6 unit, dengan masing masing 2 unit heat pipe ditempatkan pada sisi atas dan sisi bawah balok aluminium, dan sisi samping balok aluminium masing masing menggunakan 1 unit heat pipe.



**Gambar 3.4** Direct Contact Heatpipe

5. Pelat aluminium dengan dimensi 180mm x 48mm x 3 mm sebanyak 2 unit untuk ditempatkan pada sisi samping balok aluminium yang akan ditempatkan pada sisi samping balok aluminium sebagai perantara antara heat pipe dengan modul termoelektrik, digunakannya pelat aluminium ini karena keterbatasan jumlah heat

pipe untuk tiap modul termoelektrik. Dengan menggunakan pelat aluminium ini, 2 unit modul termoelektrik dapat didinginkan sisi dinginnya dengan menggunakan 1 unit heat pipe.

6. *Bracket* dengan dimensi 122mm x 12 mm x 3 mm sebanyak 2 unit untuk menyatukan pelat aluminium dengan heat pipe dan kemudian dibautkan ke sisi balok aluminium.

7. *Junction terminal* yang berfungsi untuk menyambungkan kabel modul termoelektrik menjadi suatu rangkaian seri



**Gambar 3.5** *Junction terminal*

8. *Power supply* yang akan dihubungkan untuk menggerakkan fan pada heatpipe untuk mendinginkan *heat sink*.



**Gambar 3.6** *DC Power Supply*

9. Termokopel yang digunakan sebagai sensor pengukur temperatur pada alat uji, termokopel yang digunakan adalah termokopel tipe k yang dipasang pada 10 titik,

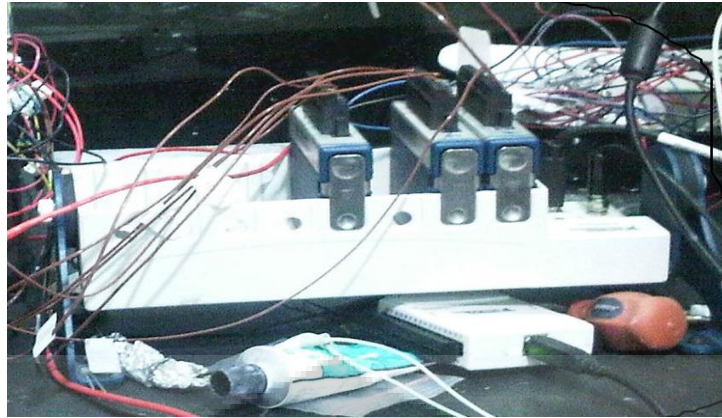
yaitu pada sisi panas modul termoelektrik sebelah kanan (Hot Side kanan), sisi dingin modul termoelektrik sebelah kanan ( Cold Side Kanan), sisi panas modul termoelektrik sebelah kiri (Hot side kiri), sisi dingin modul termoelektrik sebelah kiri (cold side kiri), sisi panas modul termoelektrik bawah (hot side bawah), sisi dingin modul termoelektrik bawah (Cold Side bawah), sisi panas modul termoelektrik bagian atas (Hot side atas), sisi dingin modul termoelektrik bagian atas (Cold side atas), kemudian temperatur pada heater, serta temperatur ambient. Material yang digunakan pada termokopel tipe-k ini adalah kromel (nikel-kromium) dan alumel (Nikel-aluminium). Termokopel menggunakan prinsip efek seebeck dalam pengukuran temperatur, dengan pembangkit tegangan sebagai fungsi dari gradien temperatur. Nilai dan fungsi dari gradien temperatur tersebut bergantung pada jenis komposisi material termokopel yang digunakan.



**Gambar 3.7** Termokopel tipe-k

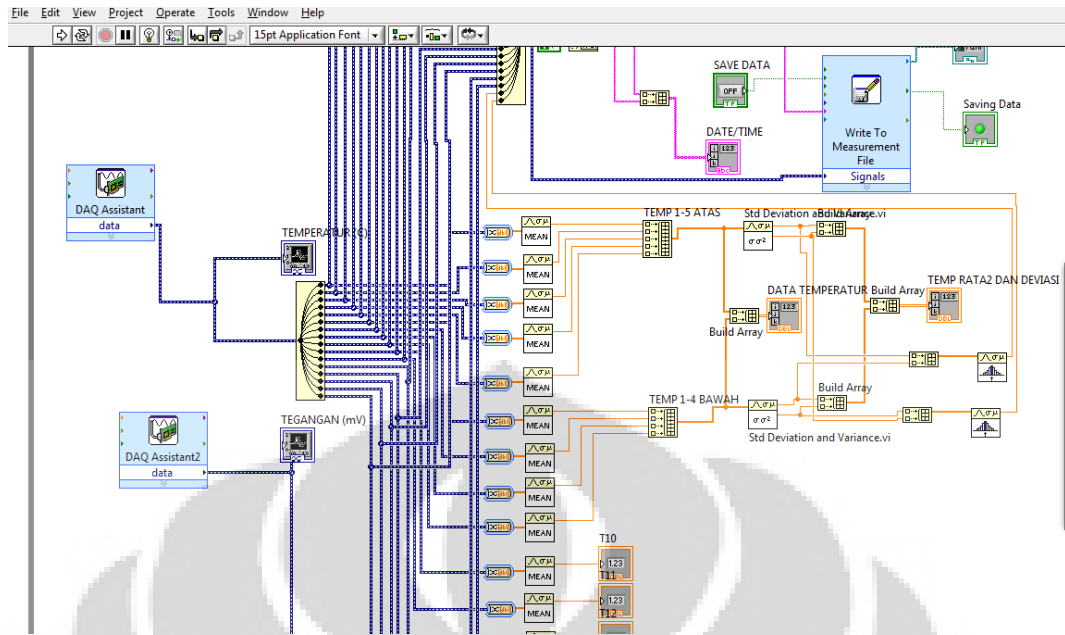
10. Data akuisisi, untuk mengumpulkan data berupa temperatur dan tegangan yang didapatkan, digunakan data akuisisi sebanyak 11 channel, dengan 10 channel yang mengumpulkan data temperatur, dan 1 channel untuk mengumpulkan data tegangan yang didapatkan, tipe data akuisisi (DAQ) yang digunakan adalah *national instrument*, termokopel yang telah ditempatkan pada masing masing titik pengukuran temperatur, dihubungkan dengan *national instrument data acquisition* (NIDAQ) tipe 9213. Dimana pada NIDAQ tipe tersebut telah dipasang pada *casing* NIcDAQ 9172, yang siap untuk dihubungkan ke laptop untuk pengambilan data, dihubungkan dengan menggunakan USB port. Kemudian untuk data akuisisi tegangan yang didapat, dua kabel dihubungkan pada ujung junction terminal dari rangkaian modul termoelektrik, kemudian dihubungkan ke modul tegangan NI-USB 6008, dihubungkan dengan *analog port* pada modul tersebut, dan pada ujung kabel, disertakan resistor 100 ohm sebagai beban. Kemudian dihubungkan dengan usb port ke laptop.





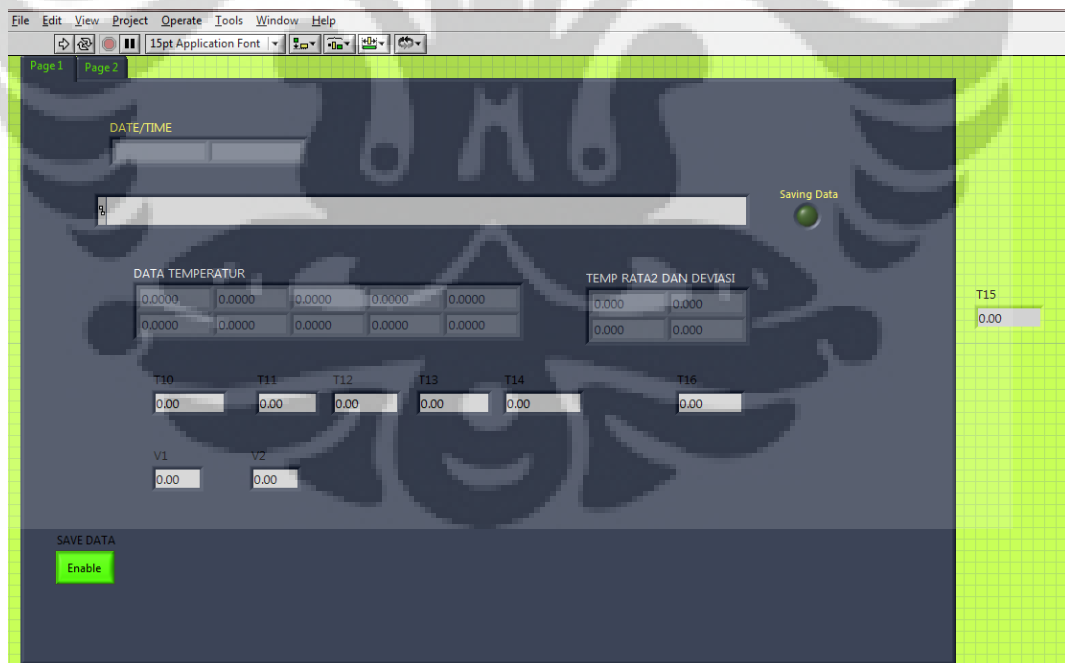
**Gambar 3.8** *National Instruments Data Acquisition*

11. *Stroboscope* yang digunakan untuk mengukur kecepatan putaran fan dalam memberikan pasokan udara pada heatsink pada heatpipe.
12. Perangkat lunak yang digunakan pada komputer untuk mengambil data, digunakan *software* LabView 8.5 dalam penggunaannya, *input* yang digunakan berupa *differential input* yang dapat digunakan untuk mengukur thermometer tahanan listrik dan aplikasi sinyal rendah yang kurang dari 1V. Langkah penggunaan *software* LabView 8.5:
  - Melakukan instalasi program LabView 8.5
  - Setelah instalasi program selesai, menyambungkan DAQ yang sudah tersambung dengan termokopel pada modul input DAQ dengan USB.
  - Memulai program LabView 8.5 builder
  - Setelah program dibuka, membuat block diagram yang akan menampilkan :
    - grafik suhu
    - grafik tegangan
    - tombol *stop and save*
    - fungsi penyimpanan data



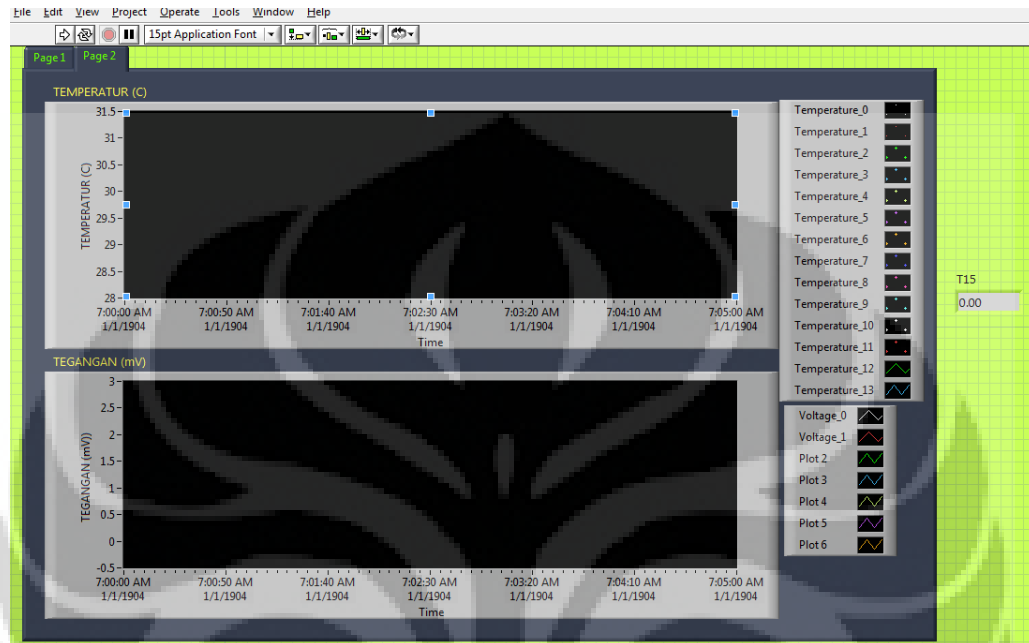
Gambar 3.9 Tampilan *block diagram* Labview 8.5

- Kemudian data akan ditampilkan pada *front panel* di *software* LabView 8.5



Gambar 3.10 Tampilan *Front Panel* Labview 8.5

*Front panel* terdiri dari dua halaman, pada halaman pertama menampilkan data suhu pada tiap titik termokopel serta data tegangan yang dihasilkan dari rangkaian modul peltier. Pada halaman kedua menampilkan grafik berupa suhu yang didapatkan serta grafik tegangan yang didapatkan.



**Gambar 3.11** tampilan *front panel* halaman dua pada Labview 8.5

Berikut merupakan spesifikasi teknis komponen – komponen yang digunakan dalam pengujian :

a. *Peltier module*

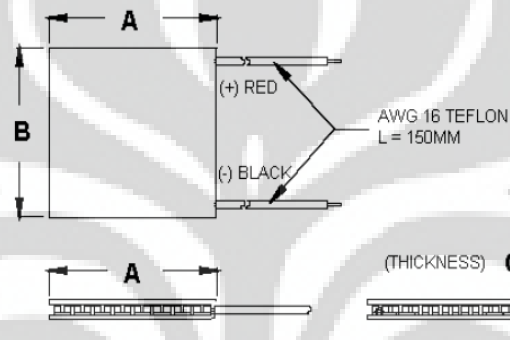
Tipe : TEC1-12706

$\alpha = 0.053 \text{ V/K}$

$K = 0.8 \text{ W/K}$

Hot Side Temperature (° C)	25° C	50° C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax (° C)	66	75
I <sub>max</sub> (Amps)	6.4	6.4
V <sub>max</sub> (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30

Tabel 3.1 Spesifikasi dari TEC1-12706



Gambar 3.12 Termoelektrik Generator Module

Dengan dimensi AxBxC adalah 40 x 40 x 3.8mm.

Digunakan sebanyak 4 buah

Tipe : TEC1-12708

$\alpha = 0.053 \text{ V/K}$

$K = 0.8 \text{ W/K}$



Hot Side Temperature (° C)	25° C	50° C
Qmax (Watts)	71	79
Delta Tmax (° C)	66	75
I <sub>max</sub> (Amps)	8.5	8.4
V <sub>max</sub> (Volts)	15.4	17.5
Module Resistance (Ohms)	1.50	1.80

Tabel 3.2 Spesifikasi dari TEC1-12708

Dimensi 40x40x3,8mm

Digunakan sebanyak 4 buah

b. *Voltage Regulator*

Matsuyama *Slide Regulator*

Type : SD-242.5

Kapasitas : 500 VA

Input : 110v/220v

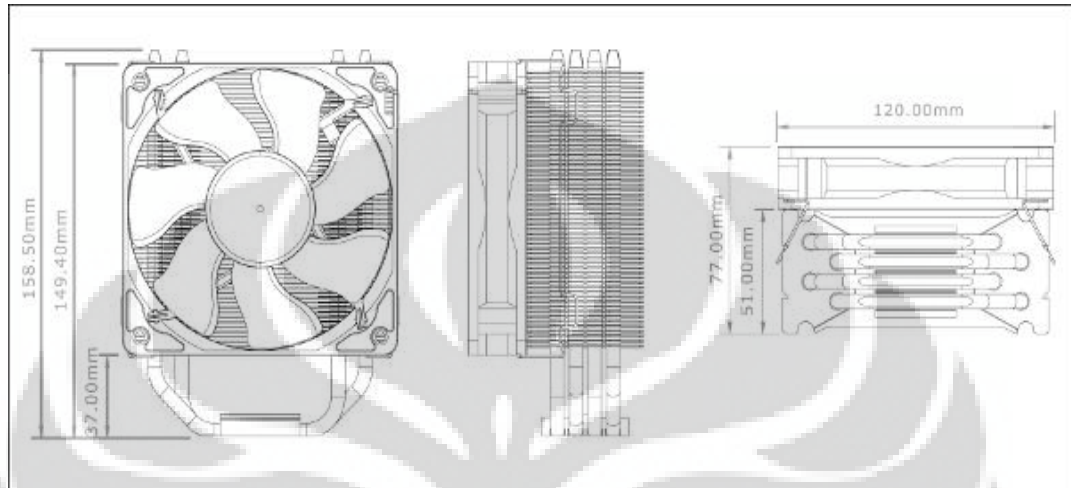
Output : 0-240v

c. *Heatpipe Direct Contact*

Type : Cooler Master Hyper 212 Plus

<b>Dimension</b>	120 x 79.7 x 158.5 mm (L x W x H)
<b>Weight</b>	626g
<b>Heat Sink Material</b>	Aluminum fin / 4 heat pipes
<b>Fan Dimension (W / H / D)</b>	120 x 120 x 25 mm
<b>Fan Speed</b>	600 - 2000 R.P.M. (PWM)
<b>Fan Airflow</b>	21.2 - 76.8 CFM
<b>Fan Air Pressure</b>	0.40 - 3.90 mmH <sub>2</sub> O
<b>Bearing Type</b>	Long life sleeve

<b>Fan Life Expectancy</b>	40,000 hours
<b>Fan Noise Level (dB-A)</b>	13 - 32 dBA

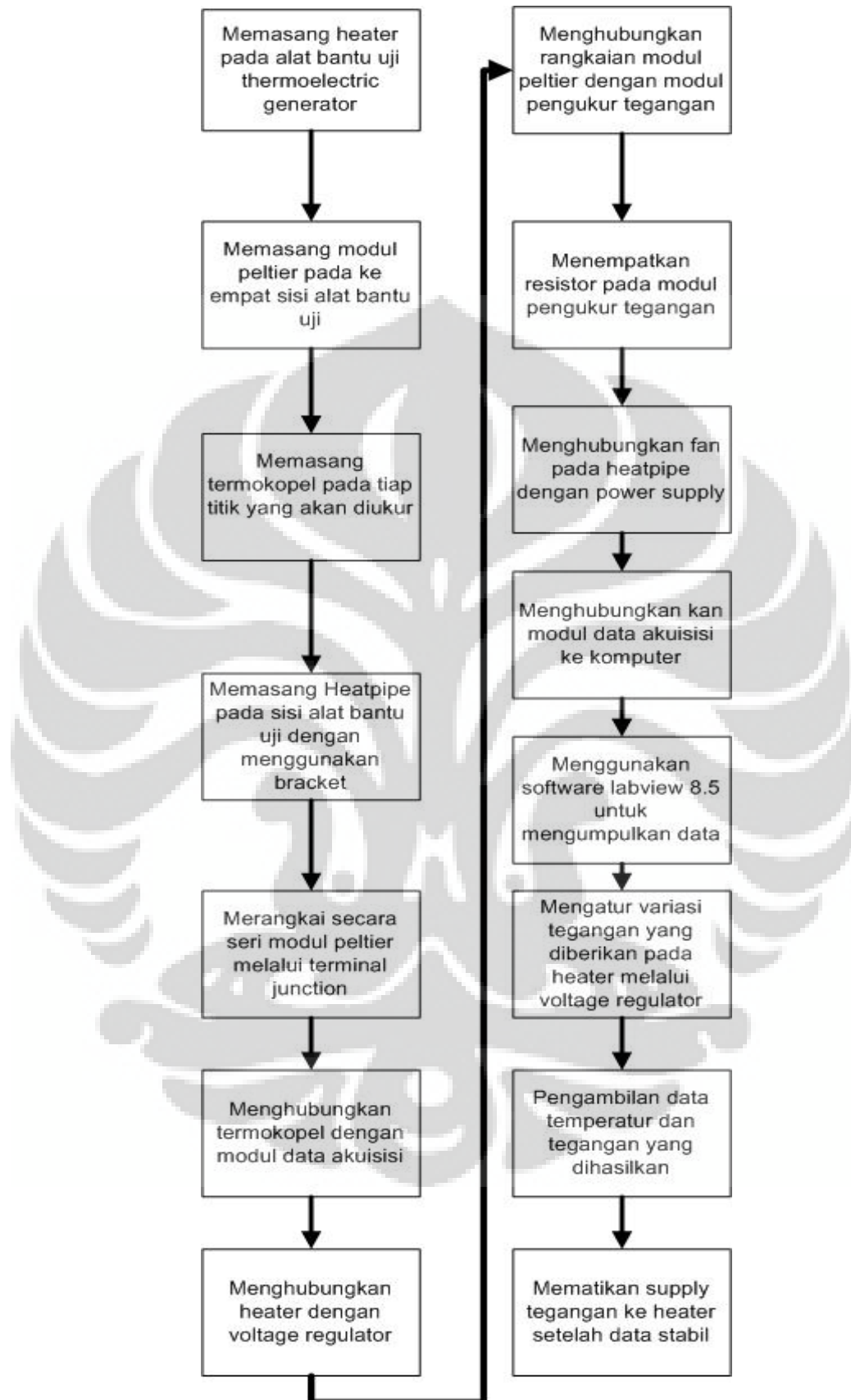


**Gambar 3.13** gambar 2 dimensi *direct contact heatpipe*

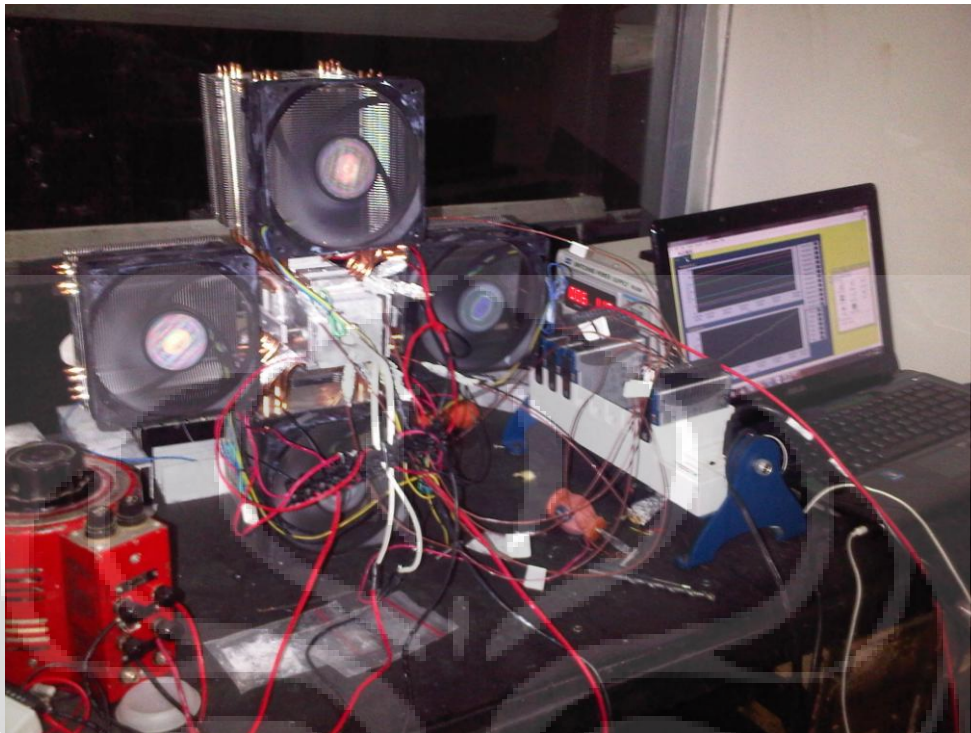
Pada *Heatpipe* yang digunakan dalam pengujian ini merupakan kombinasi dari *Heatpipe*, *heatsink* dan fan berjenis *direct contact* yang biasa digunakan sebagai pendingin mikroprosesor pada komputer. *Heatpipe* jenis ini mendinginkan substansi dengan cara menempelkan permukaannya langsung dengan permukaan yang akan didinginkan, dalam pengujian ini adalah permukaan dari sisi dingin pada modul *peltier*.

### 3.2 Prosedur Pengujian

Setelah semua komponen yang diperlukan untuk pengujian telah didapatkan, maka pengujian dilakukan dengan mengikuti alur yang telah direncanakan sebelumnya, alur pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan proses pengujian yang aman, serta mendapatkan hasil data pengujian yang valid. Adapun alur pengujian yang dilakukan sebagai berikut :



Gambar 3.14 diagram alur pengujian



**Gambar 3.15** pengujian alat termoelektrik generator

Beberapa hal yang harus diperhatikan saat akan melakukan proses pengujian alat pembangkit termoelektrik antara lain.

- Pemasangan peltier modul pada alat bantu uji sesuai dengan karakter tiap sisi modul, sisi panas bertemu dengan alat bantu uji, serta sisi dingin bertemu dengan *heat pipe*
- Pada permukaan modul peltier harus dipastikan tidak ada celah dengan alat uji serta dengan *heatpipe*, sehingga perpindahan kalor yang terjadi berlangsung secara lebih efisien. Penggunaan *thermal paste* pada permukaan yang saling bersentuhan agar perpindahan kalor berlangsung lebih baik lagi.
- Kabel pada modul peltier dilapisi dengan isolator termal agar radiasi panas ataupun konduksi yang terjadi tidak menghanguskan atau mempengaruhi kinerja dari kabel pada modul peltier yang digunakan.
- Pemasangan termokopel pada titik yang akan diukur dipastikan akurasinya dengan mengambil titik kontak pertama pada termokopel dengan permukaan yang diukur temperaturnya, serta pengaturan pemasangan termokopel pada modul data akuisisi diperhatikan akurasinya karena pemasangan termokopel yang kurang baik pada

modul data akuisisi sering kali menyebabkan terjadinya kesalahan pengambilan data.

- Bagian luar termokopel ada baiknya untuk diberi insulator termal agar tidak meleleh apabila tidak sengaja mengalami konduksi panas dari alat bantu uji.
- Memastikan instalasi rangkaian pada empat fan yang digunakan terangkai dengan baik, adanya kesalahan pada rangkaian fan dapat menyebabkan terjadinya hubungan arus pendek pada rangkaian fan dan dapat menyebabkan kebakaran.
- Memastikan pemasangan fan pada *heat pipe* terpasang dengan baik, agar tidak terlepas sewaktu pengujian dilakukan.
- Memastikan performa dari modul peltier yang digunakan sebelum melakukan pengujian, apakah masih dapat berfungsi dengan baik atau tidak, cara untuk memastikannya antara lain dengan menghubungkan tiap-tiap modul peltier dengan *power supply* untuk diuji apakah arus listrik yang mengalir pada modul peltier masih cukup besar atau tidak, biasanya dengan daya 1.5V, arus yang didapatkan pada modul peltier yang berfungsi baik berkisar diantara 0.3- 0.5 ampere.

### 3.3 Variasi Pengujian

Variasi pengujian dilakukan untuk mengetahui besaran tegangan yang dihasilkan dari rangkaian modul peltier dalam berbagai kondisi kerja yang dimodelkan. Variasi pengujian yang dilakukan adalah :

- Variasi tegangan yang diberikan dari *voltage regulator*  
Variasi tegangan dilakukan dengan tujuan untuk melihat pengaruh perbedaan tegangan yang diberikan pada *voltage regulator* kepada *heater* serta pengaruhnya terhadap keluaran tegangan yang dihasilkan rangkaian modul peltier, adapun variasi yang diujikan adalah dengan memberikan tegangan sebesar 160 volt, 190 volt serta 220 volt.
- Perbandingan dengan menggunakan *heatsink* dan *heatpipe* pada sisi dingin modul peltier  
Perbandingan dilakukan untuk membandingkan keluaran tegangan apabila menggunakan *heatsink* pada sisi dingin dengan menggunakan *heatpipe* pada sisi dingin modul peltier.



## BAB 4

### HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN *TERMoeLEKTRIK GENERATOR*

#### 4.1 Pengujian alat Termoelektrik Generator

Pengujian alat *termoelektrik generator* (pembangkit termoelektrik) dilakukan dengan melakukan variasi pada tegangan voltage regulator yang diberikan kepada heater, variasi ini untuk memodelkan variasi temperatur yang dihasilkan pada kendaraan bermotor, baik pada saat putaran mesin rendah, menengah dan putaran mesin tinggi, sehingga bisa dilihat temperatur maksimum yang didapatkan pada berbagai putaran mesin. Pengujian dilakukan sampai mendapatkan temperatur yang stabil.

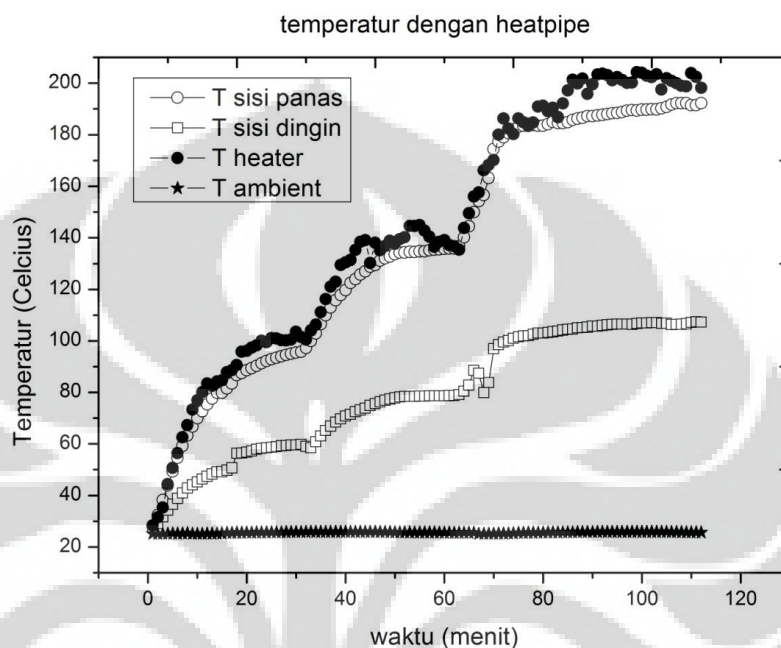
#### 4.2 Variasi pengujian alat Termoelektrik Generator

Pengujian dilakukan dengan melakukan variasi pengujian tegangan untuk mensimulasikan panas yang didapat dari gas buang kendaraan, dengan menggunakan tiga variasi tegangan untuk mendapatkan tiga kondisi temperatur yang berbeda pada setiap pengujian. Variasi yang dilakukan adalah memberikan tegangan input dari *voltage regulator* kepada *heater* sebesar 160 volt, 190 volt dan 220 volt. Kemudian membandingkan tegangan keluaran maksimum yang didapatkan dengan *direct contact heatpipe* pada sisi dingin tegangan keluaran maksimum dengan menggunakan *heatsink* pada sisi dingin.

#### 4.3 Analisa hasil pengujian alat Termoelektrik Generator

Pengujian alat dilakukan sampai data yang didapatkan cenderung stabil dan tidak mengalami kenaikan atau penurunan temperatur yang tegangan, yang dijadikan parameter utama dalam pengambilan data adalah temperatur, karena temperatur pada heater akan mencapai titik puncak tertentu yang bergantung dari tegangan yang diberikan melalui voltage regulator. Apabila titik temperatur puncak pada heater tercapai, temperatur sisi panas yang diterima oleh masing

masing modul peltier juga akan mengalami stagnansi, dengan tidak meningkatnya temperatur pada sisi panas, maka pembuangan kalor pada sisi dingin juga tidak lagi mengalami peningkatan / menjadi stabil, sehingga dicapai temperatur keseluruhan yang stabil.

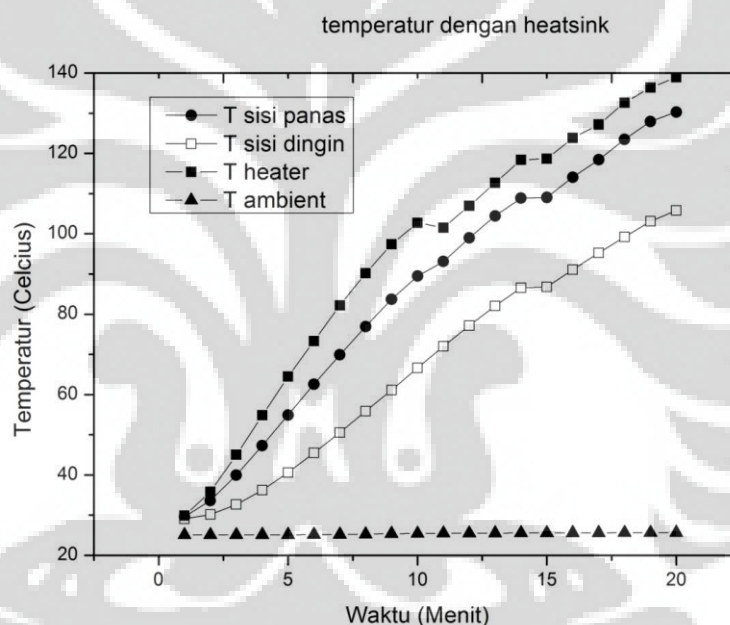


**Gambar 4.1** Data temperatur terhadap waktu dengan menggunakan *heatpipe*

pada gambar 4.1 dapat dilihat perolehan data perubahan temperatur terhadap waktu dengan menggunakan *heatpipe*. pada data ini, temperatur sisi panas dan temperatur sisi dingin yang diperoleh merupakan hasil rata-rata dari temperatur dari tiap titik yang diukur dengan menggunakan termokopel, yaitu rata-rata dari temperatur sisi atas, sisi bawah serta sisi kiri dan sisi kanan. Data ini menunjukkan bahwa temperatur maksimum yang bisa dicapai oleh *heater* sebesar kurang lebih 200 °C. dengan temperatur sebesar itu, maka panas yang dapat diserap oleh sisi panas pada rangkaian modul peltier pada titik pengukuran didapat mendekati temperatur yang sama, dengan temperatur sisi panas maksimal sekitar 180-190°C dan temperatur maksimal yang diperoleh pada titik pengukuran sisi dingin didapatkan sebesar 90-100°C. dengan perbedaan temperatur yang

diperoleh maksimal berkisar antara 80-90<sup>0</sup>C. kondisi ini didapatkan dengan pemberian tegangan sebesar 220volt dari *voltage regulator* kepada *heater*.

sebagai perbandingan juga ditampilkan data perubahan temperatur terhadap waktu pada gambar 4.2 dengan menggunakan *heatsink* pada sisi dingin dari modul peltier. Sebagai catatan, pada pengujian perbandingan dengan menggunakan heatsink ini, tegangan yang diberikan voltage regulator tidak dapat diberikan sebesar tegangan pada heatpipe, karena pembuangan kalor yang jauh lebih lambat dibandingkan dengan heat pipe, maka perbedaan temperatur pada modul peltier jauh lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan heat pipe pada sisi dingin modul peltier.

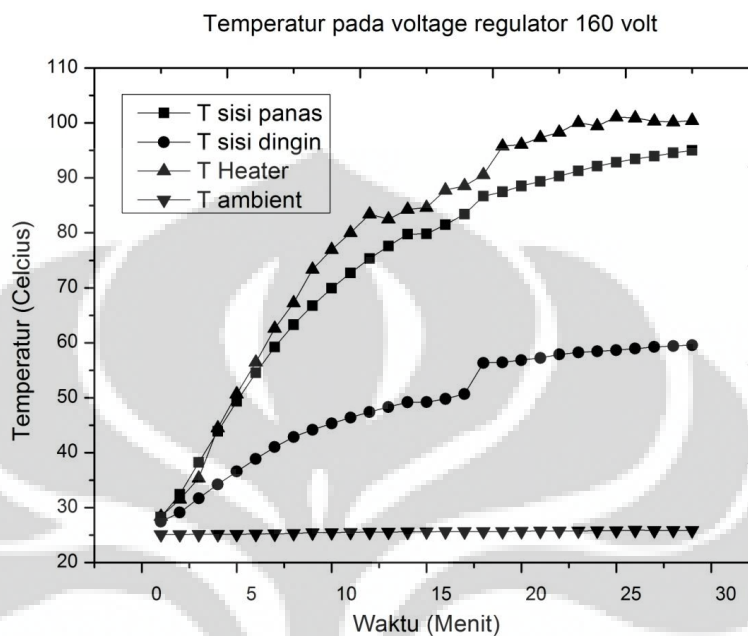


**Gambar 4.2** data perubahan temperatur terhadap waktu dengan menggunakan heatsink

Dari gambar 4.2 menunjukkan perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin dari modul peltier hanya pada kisaran 30<sup>0</sup>C maksimal. Pada grafik ini ,temperatur maksimal yang dapat dicapai hanya sebesar 140<sup>0</sup>C. panas yang diberikan masih dapat terus meningkat, namun karena perbedaan temperatur yang kecil diantara sisi dingin dan sisi panas pada modul peltier, beberapa modul peltier mengalami kerusakan karena suhu kerja yang terlalu tinggi sementara



panas yang dibuang dari sisi dingin sangat rendah. Hal ini membuat performa modul peltier menurun drastis dan menyebabkan kerusakan pada beberapa modul peltier.

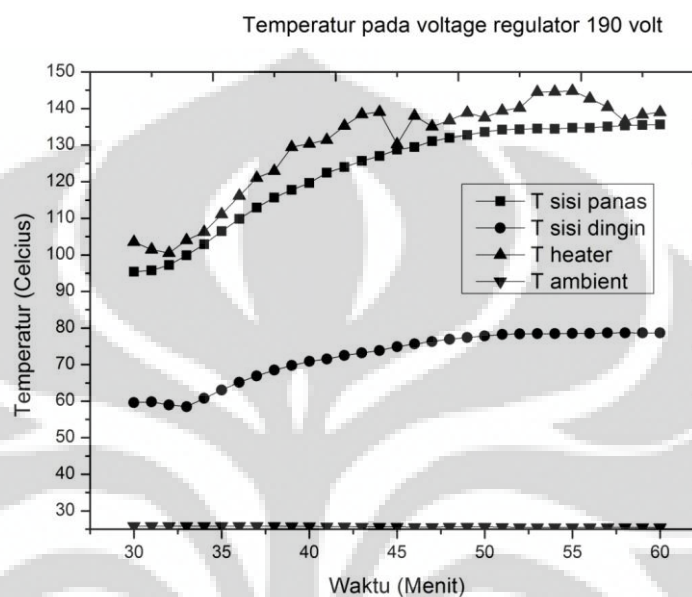


**Gambar 4.3** Data perubahan temperatur terhadap waktu pada voltage regulator 160 volt

Pada gambar 4.3 merupakan data perubahan temperatur terhadap waktu dengan menggunakan heatpipe pada sisi dingin modul peltier. Keadaan stabil pada heater dicapai dalam waktu kurang lebih 30 menit, dengan input tegangan dari voltage regulator sebesar 160 volt, maka temperatur maksimal pada heater berada pada kisaran  $100^{\circ}\text{C}$  dengan delta temperatur yang diperoleh berada pada kisaran  $40\text{-}45^{\circ}\text{C}$ . dapat kita lihat bahwa pada input voltage regulator 160 volt, perbedaan temperatur sisi dingin dan sisi panas yang dihasilkan dengan menggunakan *heatpipe* lebih besar dibandingkan dengan menggunakan *heatsink* saja.

Pada gambar 4.4 merupakan data perubahan temperatur terhadap waktu seperti pada gambar 4.3 dengan variasi *voltage regulator* yang ditingkatkan menjadi 190 volt, pada variasi pengujian ini, dibutuhkan waktu pengambilan data sebesar 30 menit. Temperatur heater mengalami kestabilan pada temperatur

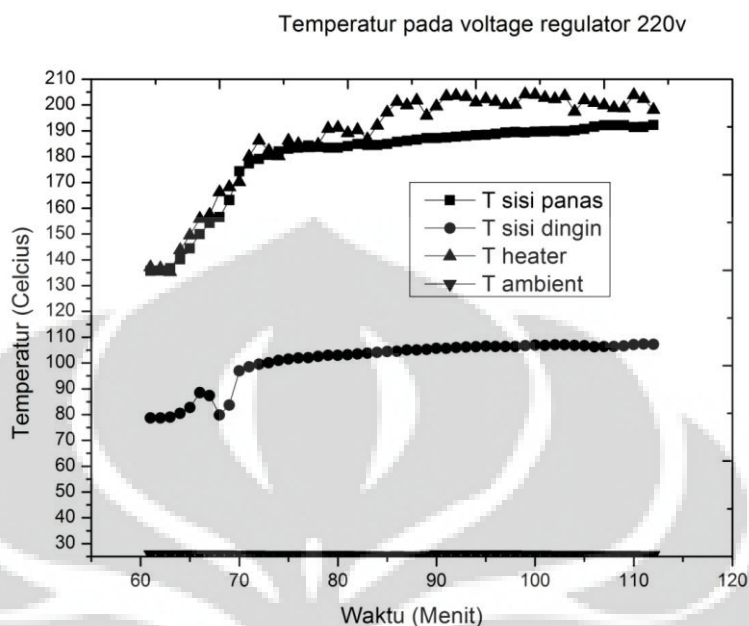
sekitar 140-150<sup>0</sup>C dengan perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin dapat mencapai kisaran 60<sup>0</sup>C. untuk mencapai kondisi stabil, dari peningkatan voltage regulator dibutuhkan waktu sekitar 20 menit. Temperatur dibiarkan pada kondisi stabil selama kurang lebih 10 menit untuk memastikan perbedaan temperatur yang dihasilkan berada pada kisaran yang telah disebut.



**Gambar 4.4** data perubahan temperatur terhadap waktu pada *voltage regulator* 190 volt

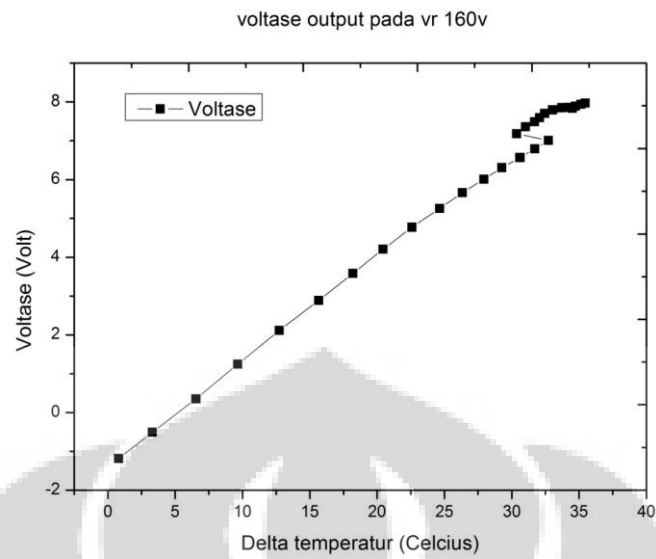
Pada gambar 4.5 merupakan variasi pengujian selanjutnya, memberikan input tegangan dari *voltage regulator* sebesar 220 volt. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kestabilan temperatur pada heater juga berkisar selama 25 menit. Kemudian pengambilan data diteruskan selama 50 – 60 menit kemudian untuk memastikan temperatur maksimal yang dihasilkan tetap berada pada kisaran yang stabil. Dari data dapat dilihat temperatur pada heater stabil di kisaran 200-210<sup>0</sup>C dengan temperatur pada sisi panas yang stabil di kisaran 190<sup>0</sup>C. perbedaan temperatur yang didapat pada kondisi pengujian ini berada pada kisaran 80-90<sup>0</sup>C dari pengujian ini juga dapat dilihat, temperatur yang stabil dalam kurun waktu yang cukup lama. Hal ini dapat dilihat sebagai uji ketahanan dan bagaimana efeknya pada modul peltier apakah mempengaruhi performa dari modul peltier

dalam memberikan output tegangan atau tidak dapat dilihat pada grafik berikutnya.



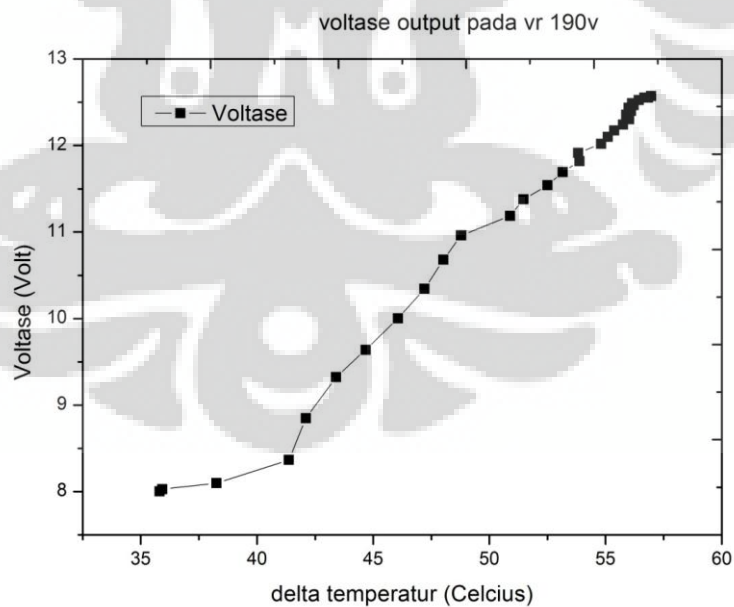
**Gambar 4.5** Data perubahan temperatur terhadap waktu pada voltage regulator 220 volt

pada gambar 4.6 merupakan data perubahan voltase terhadap delta temperatur pada variasi pengujian yang pertama yaitu pemberian tegangan dari voltage regulator sebesar 160 volt. Didapat tegangan maksimum sebesar 8 volt yang didapat dengan delta temperatur pada rangkaian modul peltier yang disusun secara seri sebesar  $35^{\circ}\text{C}$ . grafik yang didapat bersifat linier seperti grafik-grafik sebelumnya. Adanya lekukan yang terjadi pada grafik dapat disebabkan karena tingkat sensitivitas yang tinggi pada modul tegangan.



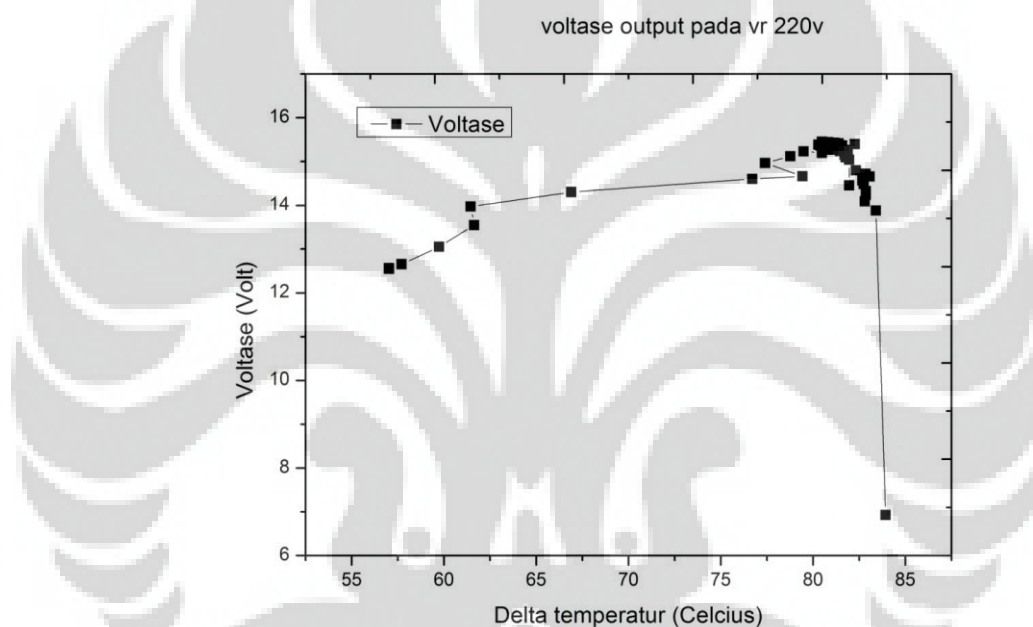
**Gambar 4.6** data perubahan voltase terhadap delta temperatur pada voltage regulator 160 volt

pada gambar 4.7 merupakan data voltase yang dihasilkan dengan kondisi voltage regulator pada 190 volt. Dengan kondisi pengujian seperti ini, didapat voltase pada kisaran 12-13 volt, dengan delta temperatur hampir mendekati  $60^{\circ}\text{C}$ .

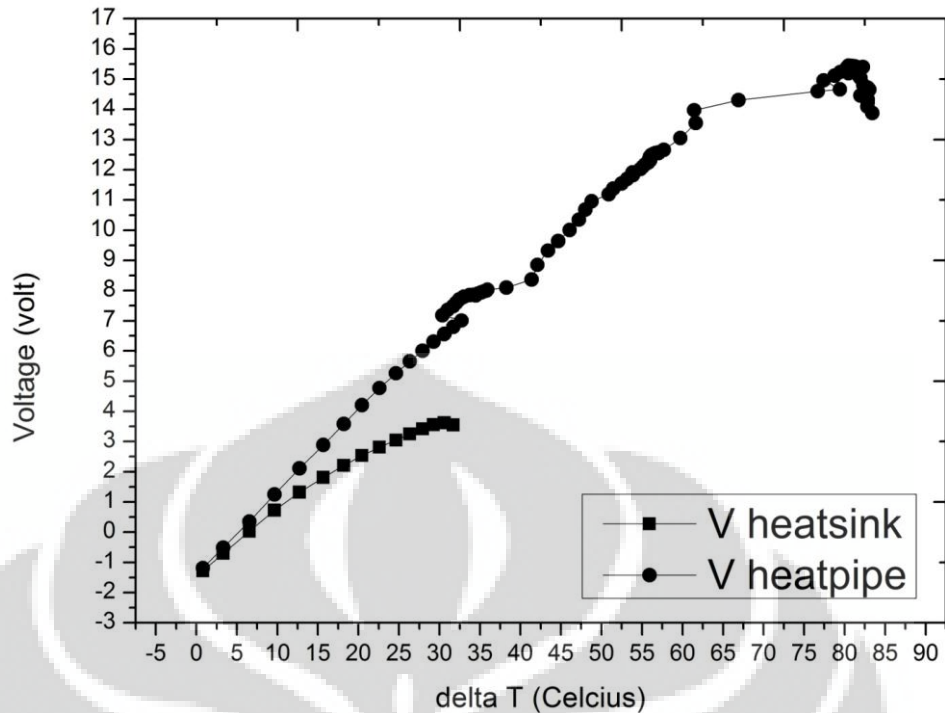


**Gambar 4.7** data perubahan voltase terhadap delta temperatur pada voltage regulator 190 volt

pada gambar 4.8 merupakan data voltase yang dihasilkan dengan variasi pengujian input tegangan dari *voltage regulator* sebesar 220 volt. Dengan perbedaan temperatur maksimum antara sisi dingin dan sisi panas yang berada pada kisaran  $80^{\circ}\text{C}$  didapat voltase yang berada pada kisaran 14-16 volt. Terjadinya penurunan voltase yang signifikan secara tiba-tiba lebih disebabkan karena sensitivitas modul tegangan. Karena pada saat penurunan data tegangan terjadi, lampu yang ada sebagai beban tetap dapat menyala, dan saat diukur dengan menggunakan multimeter, voltase yang dihasilkan tetap berada pada kisaran 14-16 volt.

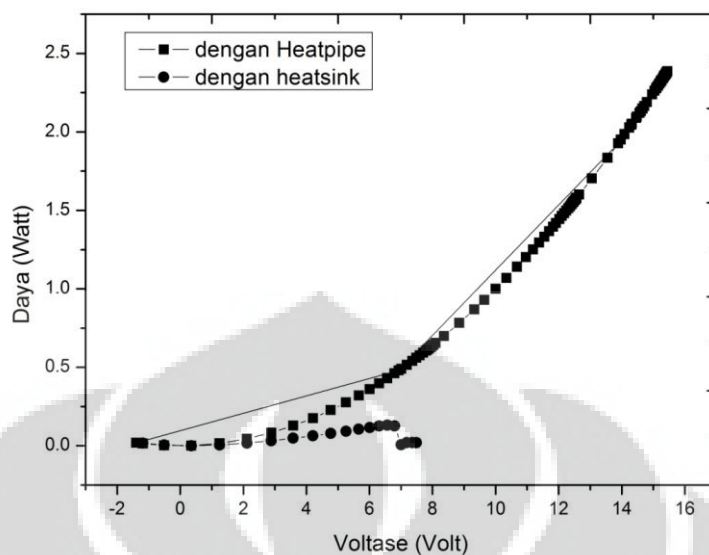


**Gambar 4.8** data perubahan voltase terhadap delta temperatur pada voltage regulator 220 volt



**Gambar 4.9** data perubahan voltase terhadap delta temperatur keseluruhan

pada gambar 4.9 merupakan data perbandingan voltase yang dihasilkan secara keseluruhan dari pembangkit termoelektrik dengan menggunakan heatsink dan dengan menggunakan heatpipe pada sisi dinginnya. Dapat dilihat tegangan yang dihasilkan pada heatsink berkisar pada 3,5 volt dengan perbedaan temperatur maksimum yang didapatkan sebesar 35 °C. sementara dengan menggunakan heatpipe pada sisi dinginnya, didapatkan perbedaan temperatur maksimum sebesar 85 °C dengan voltase yang didapat mendekati 16 volt, dengan temperatur yang stabil, maka tegangan yang didapatkan pada heatpipe akan stabil juga, hal ini ditunjukkan pada saat variasi pengujian dengan voltage regulator 220 volt. Selama hampir 40 sampai 50 menit, tegangan yang dihasilkan stabil berkisar 15 volt.



**Gambar 4.10** data daya yang dihasilkan terhadap voltase pada heatpipe dan heatsink

dengan menggunakan perhitungan rumus daya, dan dengan menggunakan tegangan sebagai input serta resistor 100 ohm sebagai input, dapat diketahui daya yang dihasilkan berdasarkan tegangan yang dihasilkan, dari perhitungan, didapatkan daya yang mendekati 2,5 watt dengan voltase mendekati angka 15 volt. Daya ini didapat dengan menggunakan heatpipe sebagai pendingin pada sisi dingin dari modul peltier. Sementara dengan menggunakan heatsink pada sisi dingin dari modul peltier, didapatkan daya yang sangat kecil, dibawah 0,5 watt, terlihat dari grafik yang ditampilkan.

Rendahnya daya yang dihasilkan dapat disebabkan adanya *electric resistance* dari karakteristik TEG. Dalam sebuah TEG selain dapat membangkitkan suatu daya, TEG juga mempunyai hambatan dalam sistem internal yang menyebabkan daya yang dikeluarkan menjadi lebih rendah. Nilai hambatan dari suatu TEG adalah berbeda-beda pada setiap TEG.

Hal lain yang mempengaruhi pembangkitan daya adalah *thermal force*. *Thermal force* adalah suatu karakteristik dari TEG yang menjelaskan besarnya suhu yang diterima oleh modul TEG dengan perbedaan potensial antara dua

lapisan semikonduktor, yang menyebabkan adanya aliran elektron. Semakin besar *thermal force* maka semakin besar aliran elektron yang dipindahkan. Namun untuk mendapatkan *thermal force* yang maksimal maka diperlukan perpindahan panas dan pelepasan panas pada kedua sisi secara optimal. Jika perpindahan kalor tidak merata maka perpindahan elektron akan menjadi tersendat, karena adanya elektron yang lebih lambat dalam perpindahannya karena perbedaan suhu yang tidak merata pada sisi lain.

#### 4.4 Perhitungan Teoritis

Dengan menggunakan data yang ada, yaitu perbedaan temperatur sisi dingin dan sisi panas dan besarnya tegangan yang didapat, dapat dihitung koefisien seebeck sebagai berikut :

$$S = -\frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{15.4}{80.4} = 0.19 \quad \text{pada heat pipe}$$

$$S = -\frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{3.6}{30.5} = 0.12 \quad \text{pada heatsink}$$

Dimana  $S$  adalah koefisien seebeck yang dicari, dengan  $\Delta V$  sebagai tegangan yang didapatkan, serta  $\Delta T$  sebagai perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin.

Kemudian dengan mengetahui koefisien seebeck, kita dapat menghitung figure of merit ( $Z$ )

Dimana  $Z$  :

$$Z = \frac{\sigma S^2}{k} = \frac{0.053 \times (0.19)^2}{0.8} = 0.0024 \quad \text{pada heatpipe}$$

$$Z = \frac{\sigma S^2}{k} = \frac{0.053 \times (0.12)^2}{0.8} = 0.00095 \quad \text{pada heatsink}$$

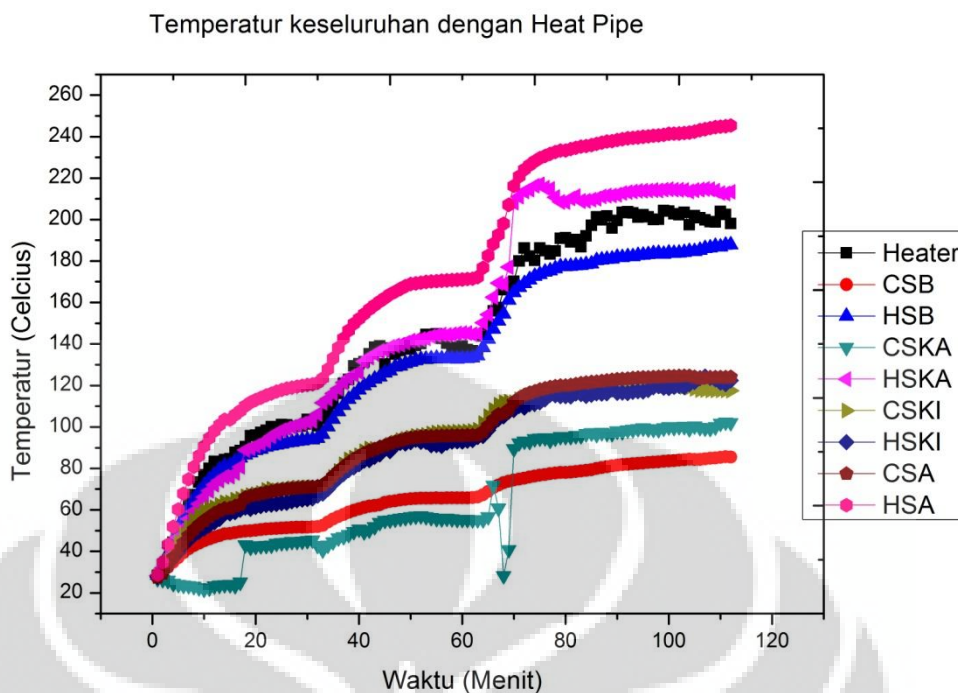
Dengan  $Z$  sebagai figure of merit,  $\sigma$  sebagai konduktivitas elektrik dan  $k$  sebagai konduktivitas termal.



Semakin besar nilai  $Z$  pada pengujian, maka nilai efisiensi termodinamika dari modul peltier yang dijalankan semakin baik nilainya. Namun yang menjadi masalah selama ini dalam pengembangan pemanfaatan pembangkit termoelektrik adalah efisiensi termalnya yang rendah, hanya berkisar 4% [9]

Dalam pengujian juga, output tegangan yang dihasilkan masih bisa ditingkatkan lagi, hal ini dapat dilakukan karena kondisi pengujian yang tidak sempurna, peneliti sempat mendapatkan nilai sebesar 22 volt selama 1 menit, namun pengaturan pengukuran data melalui *software LabView 8.5* yang belum sempurna waktu diambil data membuat tidak ada bukti berupa data yang terekam, karena peneliti pada saat itu hanya menggunakan multimeter untuk mengetes apakah rangkaian modul termoelektrik telah terangkai dengan benar. Faktor dari karakteristik modul termoelektrik yang digunakan juga dapat mempengaruhi besarnya output tegangan yang dihasilkan. Dalam pengujian ini, karena keterbatasan sumber daya, menggunakan dua jenis modul termoelektrik (TEC1-12706 dan TEC1-12708) sehingga hal ini dapat mempengaruhi keluaran tegangan, tingkat reliabilitas dari termoelektrik ini dalam jangka panjang harus diperhatikan dengan penggunaan termoelektrik dengan spesifikasi temperatur kerja yang lebih tinggi. karena dari spesifikasi TEC1-12708, hanya memiliki temperatur kerja sebesar  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sementara pada pengujian ini, modul termoelektrik diuji melebihi suhu temperatur operasinya, dan terbukti masih dapat menghasilkan tegangan yang baik. Menurut nurwayid *et al* dalam penelitiannya juga mengatakan bahwa desain *leg* (panjang pendeknya) dan lebar termoelemen pada tiap modul termoelektrik mempengaruhi kinerja dari modul termoelektrik, semakin pendek *leg* dan semakin lebar termoelemennya, maka mempunyai kinerja yang lebih baik [10]. Dalam performa keluaran tegangan juga dipengaruhi adanya *contact losses* dari modul termoelektrik karena adanya permukaan pada modul yang ditempatkan termokopel untuk pengukuran temperatur, sehingga luas permukaan pada modul untuk memindahkan kalor pun berkurang.

Komparasi hasil berdasarkan orientasi heat pipe yang digunakan



**gambar 4.11** Komparasi temperatur dengan melihat orientasi pemasangan pada heatpipe

berikut merupakan analisa perbandingan orientasi penempatan heatpipe dan pengaruhnya pada output temperatur yang dihasilkan pada setiap modul termoelektrik, dapat dilihat disini bahwa temperatur pada *cold side* bawah serta *hot side* bawah, mempunyai delta temperatur yang lebih kecil dibandingkan dengan sisi kiri dan sisi kanan dari modul termoelektrik, serta sisi atas modul termoelektrik, pada sisi bawah, panas cenderung berkumpul ke bawah, hal ini disebabkan karena adanya gravitasi yang menyebabkan panas bergerak kebawah, sementara perbedaan temperatur yang paling baik dihasilkan oleh sisi samping dari modul termoelektrik yang dipasang di alat bantu aluminium, hal ini disebabkan karena penggunaan *bracket* pada sisi samping sebagai tempat *heatpipe*. mempunyai luas permukaan yang paling besar diantara berbagai sisi pemasangan lainnya (sisi atas serta sisi bawah pada alat bantu uji aluminium.)

dengan variasi pengujian berupa output sebesar 160,190 serta 220volt, dengan arus pln sebesar 1,6 ampere maka daya masukan ekuivalen dengan **352 watt, 418 watt** serta **484 watt**. Dengan perbandingan daya masukan dengan daya yang dihasilkan pada modul termoelektrik, dapat dihitung efisiensi pada uji coba kali ini hanya sebesar 0,005 % saja, efisiensi yang dihasilkan sangat kecil karena

masih banyaknya panas yang terbuang ke lingkungan. Sementara hanya sedikit panas yang dimanfaatkan oleh modul termoelektrik, yang terbatas hanya sebesar luas permukaan modul termoelektrik saja yang dapat dimanfaatkan.





## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data yang ada serta analisa dari data yang didapatkan, maka dalam penelitian ini dapat disimpulkan :

1. *Termoelektrik Generator* dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik dari energi sisa panas buang berbagai sumber panas, misalkan dari sisa panas buang kendaraan bermotor, kompor listrik, pemanas air, dll, dengan catatan instalasi alat harus diperhatikan dengan baik karena pada setiap sumber panas yang akan dimanfaatkan, akan berbeda instalasi alatnya.
2. Dengan simulasi yang dilakukan pada penelitian ini, didapatkan tegangan maksimal sebesar 15,6 volt dengan susunan rangkaian seri 8 buah modul termoelektrik. Dengan daya yang dihasilkan sebesar 2,4 watt dengan menggunakan resistor 100 ohm sebagai beban.
3. Tingkat presisi instalasi alat pengujian akan sangat berpengaruh pada tegangan keluaran yang dihasilkan, begitu juga dengan instalasi pengukuran yang akan digunakan pada alat pengujian, akan sangat berperan dalam menentukan validnya data yang diambil atau tidak.
4. Proses pendinginan pada *termoelektrik generator* akan sangat menentukan besarnya tegangan yang dihasilkan, karena semakin besar  $\Delta T$  yang dihasilkan, semakin besar tegangan keluaran yang didapatkan.
5. Kualitas daya tahan dari modul termoelektrik yang digunakan akan sangat menentukan hasil tegangan yang dikeluarkan.

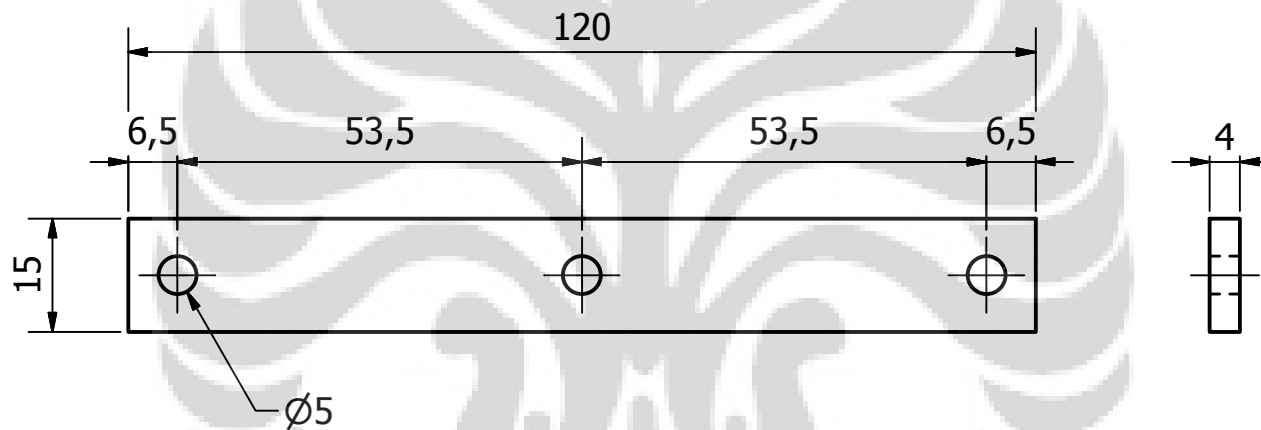
## 5.2 Saran

Dalam penelitian berikutnya, dapat digunakan alternatif lain untuk mendinginkan sisi dingin dari termoelektrik, seperti misalnya penggunaan *water block* ataupun alat penukar kalor lainnya. Kemudian penggunaan modul termoelektrik yang memiliki performa ketahanan panas yang lebih tinggi dari yang peneliti gunakan untuk mendapatkan *range* temperatur yang lebih luas lagi.



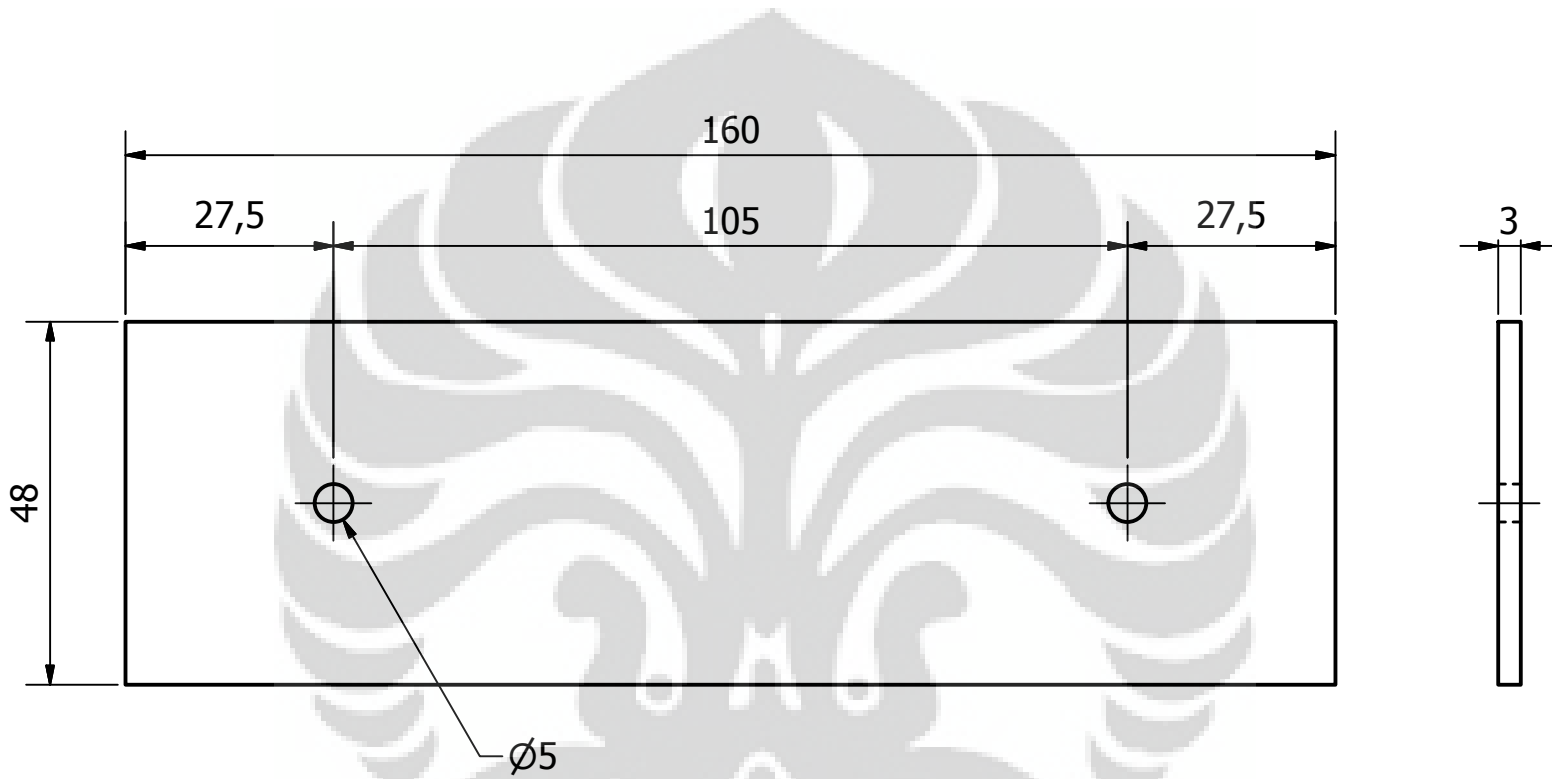
### Daftar Pustaka

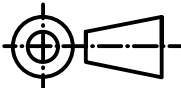
- [1] Miguel A, Bobi S, Palacios R, Arenas A. Vazquez J, "State of the art of termoelektrik generators based on heat recovered from the exhaust gases of the automobiles".
- [2] L.E. Juanico´ b,\*, E. Tagliavolere a, S. Gortari a, M.G. Molina c G.F. Rinalde a, "Development of termoelektrik generators for electrification," *Elsevier*, march 2010.
- [3] E.F. Thacher, B.T. Helenbrook M.A. Karri ↑, "Exhaust energy conversion by termoelektrik generator: Two case studies," *elsevier*, november 2010.
- [4] Heng Xiao \*, Suwen Yang Xiaolong Gou, "Modeling, experimental study and optimization on low-temperature waste heat termoelektrik generator system," *Elsevier*, February 2010.
- [5] Raldi Artono Koestoer, M. Adhitya, Ardian Roekettino, dan Bayu Trianto Nandy Putra\*), "POTENSI PEMBANGKIT DAYA TERMOELEKTRIK UNTUK KENDARAAN HIBRID," *MAKARA, TEKNOLOGI*, , vol. 13, no. 2, pp. 53-58, November 2009.
- [6] <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00107518008210957#preview>.
- [7] *Termoelektrik Generators Seebeck Element. Eureka Messtechnik GmbH. 2007.*
- [8] Gregory S. Jackson Douglas T. Crane, "Optimization of cross flow heat exchangers," *Energy Conversion and Management 45 (2004) 1565–1582 Elsevier*, 2003.
- [9] \*, D.M. Rowe b, G. Min b R.Y. Nuwayhid a, "Low cost stove-top termoelektrik generator for regions with unreliable electricity supply," *Renewable Energy 28 (2003) 205–222 elsevier*, 25 January 2002.
- [10] <http://yearbook.enerdata.net/#/2010-energy-consumption-data.html>.

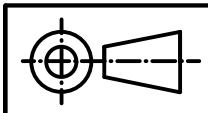
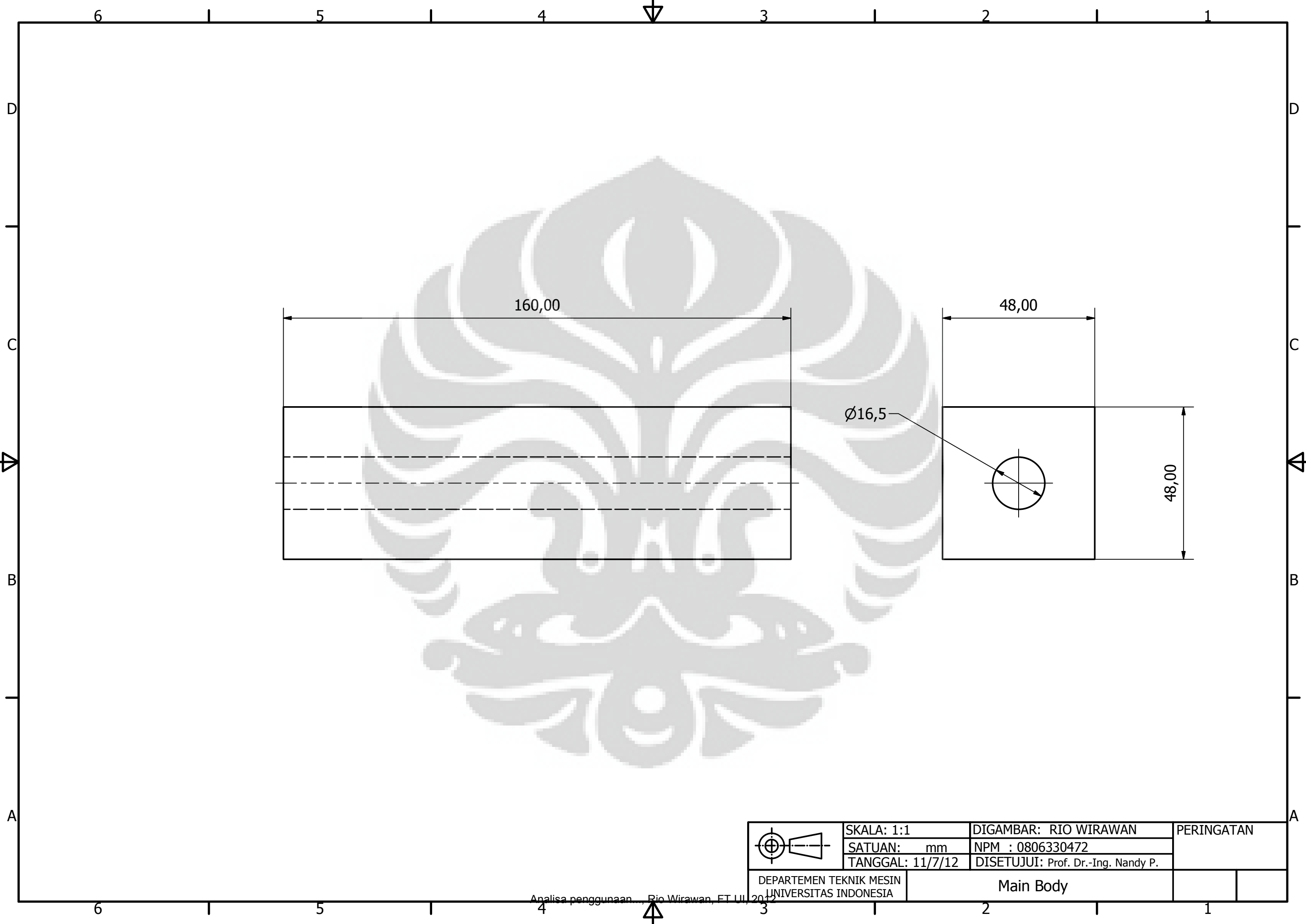


	SKALA: 1:1	DIGAMBAR: RIO WIRAWAN	PERINGATAN
	SATUAN: mm	NPM: 0806330472	
	TANGGAL : 11-7-12	DISETUJUI: Prof. Dr.-Ing. Nandy P.	
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN UNIVERSITAS INDONESIA	BRACKET		A4





	SKALA: 1:1	DIGAMBAR: RIO WIRAWAN	PERINGATAN
	SATUAN: mm	NPM: 0806330472	
	TANGGAL : 11-7-12	DISETUJUI: Prof. Dr.-Ing. Nandy P.	
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN UNIVERSITAS INDONESIA		PELAT ALUMINIUM	A4



SKALA: 1:1  
 SATUAN: mm  
 TANGGAL: 11/7/12

DIGAMBAR: RIO WIRAWAN  
 NPM : 0806330472  
 DISETUJUI: Prof. Dr.-Ing. Nandy P.

PERINGATAN

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
 UNIVERSITAS INDONESIA

Main Body

1