

BAB III

PERANCANGAN DAN MANUFAKTUR

3.1 KONSEP DISAIN

Konsep disain awal alat *thermoelectric generator* adalah menyesuaikan bentuk dari *muffler* atau *manifold* mesin kendaraan bermotor. Karena itu kriteria-kriteria awalnya ialah bobot cukup ringan, mudah di manufaktur, mudah dipasang ke *muffler*, tidak berbahaya, ramah lingkungan, dan harga terjangkau.

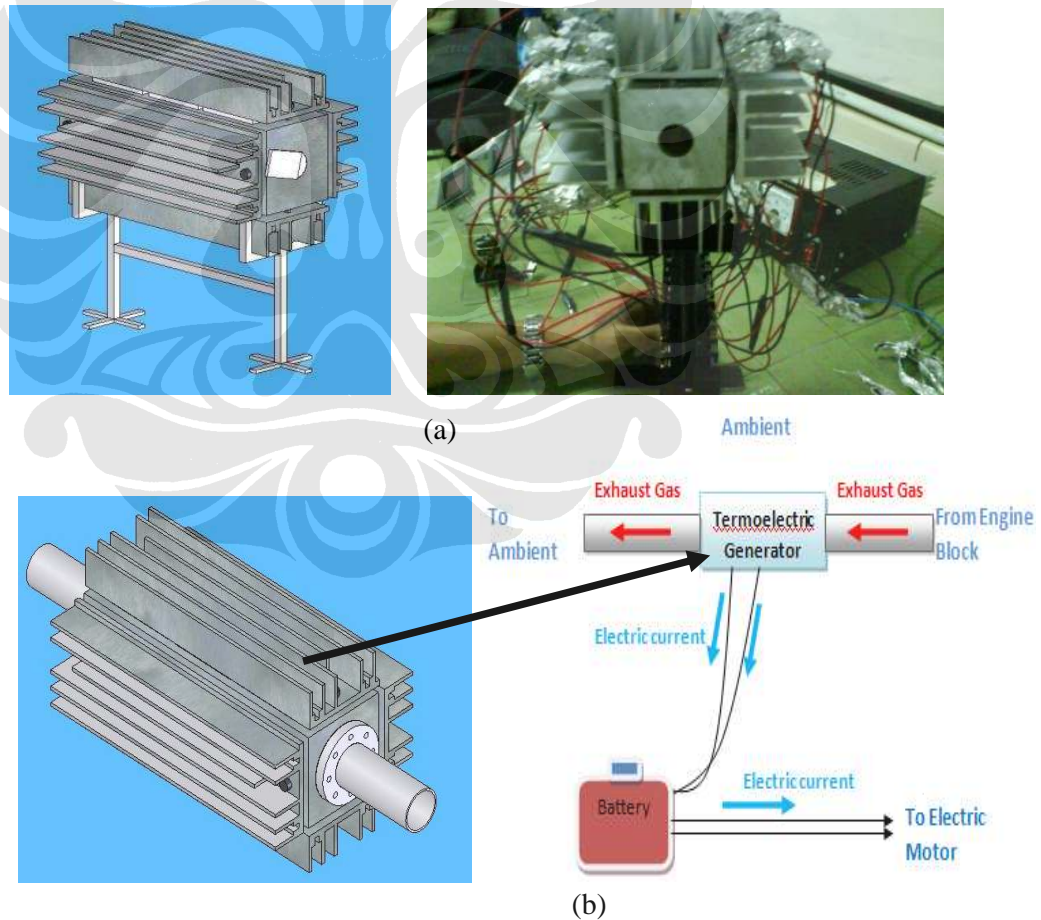
Berdasarkan kriteria-kriteria diatas, pemikiran-pemikiran umum yang mendasari perancangan alat ialah:

- Berdasarkan bentuk *peltier*, digunakan bentuk balok sebagai media untuk menempatkan elemen peltier
- Balok dipilih harus memiliki konduktivitas termal yang baik. Atas pertimbangan tersebut, balok yang dibuat berbahan dasar alumunium.
- Karena spesifikasi umum aki kendaraan bermotor (mobil) adalah 12 volt, maka digunakan elemen peltier sebanyak 12 buah dengan perkiraan awal jumlah peltier tersebut mampu menghasilkan tegangan mencapai 12 volt. Dengan daya maksimum 1 modul *peltier* 5,9 Watt pada temperatur sisi panas sebesar 250⁰C dan temperatur sisi dingin sebesar 50⁰C [12].
- Menggunakan 12 buah elemen *peltier* yang disusun paralel secara termal dan seri secara kelistrikan. Disusun secara paralel secara termal, agar didapat ΔT yang semakin tinggi, sehingga kalor yang dilepas semakin besar. Sedangkan disusun secara seri secara kelistrikan, agar diperoleh nilai arus listrik yang optimal, karena jika disusun paralel akan memberikan hambatan total yang kecil sehingga arus yang dibutuhkan sangat besar untuk tegangan kerja yang sama.

- Masing-masing sisi balok alumunium ditempatkan elemen *peltier* sebanyak 3 buah dengan jarak antar elemen peltier telah ditentukan.
- Menggunakan fin untuk mempercepat pelepasan panas pada sisi dingin peltier ditiap-tiap sisi balok alumunium.

3.2 DISAIN ALAT

Dalam pembuatan alat ini mengacu pada dimensi *peltier* dan dimensi *muffler* atau *manifold* kendaraan. Selain ukuran juga mengacu pada estetika, biaya dan kemudahan manufaktur alat tersebut. Hal penting lainnya ialah alat ini harus mudah dipasangkan ke *muffler* bila alat tersebut akan diaplikasikan langsung untuk menghasilkan energi listrik. Berikut ini adalah tampilan desain alat saat pengujian dan saat akan dipasang ke *muffler*.



Gambar 3.1 Desain alat *Thermoelectric Generator* (a) Desain alat saat pengujian, (b) Desain alat ketika akan dirakit ke muffler.

3.3 PEMILIHAN MATERIAL

Dalam pemilihan material untuk alat ini perlu pertimbangan-pertimbangan tertentu dalam pembuatannya. Sebelumnya telah dibahas sedikit mengenai pertimbangan pemilihan material dilihat dari sisi biaya, estetika dan kemudahan manufaktur. Sebagai rinciannya akan dijelaskan sebagai berikut:

- Elemen *Peltier*

Elemen *peltier* sesuai dengan yang ada di pasaran yaitu dengan dimensi 40 x 40 x 3,5 mm. Material penyusun elemen *peltier* umumnya dari bahan semikonduktor yang dilapisi bahan keramik (Gambar 3.2).



Gambar 3.2 Modul peltier
Sumber: www.powerchips.com

- Bodi

Fungsi utama bodi untuk alat ini ialah sebagai media penghantar panas dari panas buang kendaraan ke elemen peltier (Gambar 3.3). Selain itu fungsi lainnya adalah sebagai pembentuk utama alat, mampu menahan panas, mampu menghantarkan panas dengan cepat (konduktivitas termal yang baik), memiliki kekuatan tinggi (tahan bentur) dan memiliki bobot yang cukup ringan agar tidak memberi beban yang berat pada *muffler* saat dirakit dengan alat ini. Atas pertimbangan tersebut dipilihlah material dari aluminium sebagai bodi alat.



Gambar 3.3 Bodi aluminium

- Fin

Fungsi utamanya ialah membantu pelepasan kalor dari elemen *peltier* dengan memberi luas permukaan yang lebih besar, sehingga panas yang ada pada sisi dingin elemen *peltier* dapat di disipasi ke lingkungan (Gambar 3.4). Fin ini tentu saja membantu dalam peningkatan efisiensi dan meningkatkan perbedaan temperature antara sisi panas dan dingin elemen *peltier*. Berdasarkan hal itu, *heat sink* harus memiliki sifat daya hantar kalor yang tinggi (supaya dapat banyak menyerap kalor dari sisi dingin *peltier*, sehingga suhu panas *peltier* dapat ditekan seminimal mungkin), berbobot ringan, dan tidak mudah berubah bentuk. Berdasarkan hal itulah, maka dipilih penggunaan material aluminium sebagai *heatsink*.



Gambar 3.4 *rectangular fin*

3.4 KOMPONEN TAMBAHAN

- Penyangga alat

Komponen tambahan ini berupa penyangga alat untuk memudahkan pengujian (Gambar 3.5). Selain itu alat penyangga ini digunakan juga untuk penempatan terminal dimana kabel-kabel dari elemen *peltier* dihubungkan ke terminal tersebut.



Gambar 3.5 Alat penyangga

- *Heater/Pemanas*

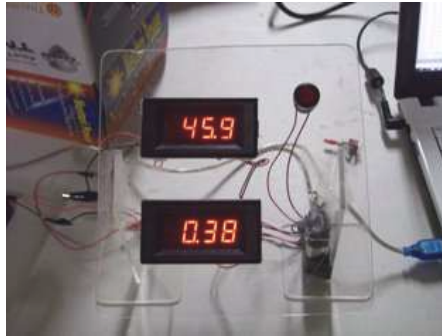
Untuk mendapatkan kondisi panas buang yang sebenarnya, digunakan *heater* dengan spesifikasi 220V, 300W (Gambar 3.6). Dalam pengujian ini tegangan masukan ke *heater* di atur untuk mencapai temperatur sesuai kondisi sebenarnya yaitu 100-250 °C. Heater memiliki dimensi dengan diameter 15,5 mm dan panjang 12,5 cm. Variasi tegangan yang digunakan yaitu 110V untuk daerah temperature 50-100 °C dan 220V untuk daerah temperatur 100-250 °C.



Gambar 3.6 Heater

- *Display* arus dan tegangan

Pembuatan *display* ini dengan tujuan memudahkan pengambilan data keluaran arus dan tegangan dari alat saat pengujian (Gambar 3.7). Daya masukan untuk Ampere dan Voltmeter-nya sebesar 5V DC. Range arus maksimum sebesar 200 mA dan range tegangan maksimum sebesar 20 V.



Gambar 3.7 *Display* arus dan tegangan output

- Kipas angin

Kipas angin ini digunakan sebagai bagian dari pengujian (Gambar 3.8). Spesifikasi kipas angin 220V, 30W. Hasil pengukuran kecepatan angin pada kipas angin dengan *hot wire* anemometer sebesar 3 m/s.



Gambar 3.8 Kipas angin

- *Hot wire anemometer* digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara yang dihasilkan kipas angin/*fan* (Gambar 3.9). Kawat tipis yang berfungsi sebagai sensor harus terletak tegak lurus terhadap arah aliran udara. Kecepatan udara yang tertangkap akan ditampilkan pada layar digital alat tersebut.



Gambar 3.9 *Hot wire anemometer*

- Timbangan digital digunakan untuk mengetahui massa alat uji (Gambar 3.10). Timbangan digital yang digunakan memiliki kepekaan hingga 0,01 gram dan kapasitas maksimal 4000 gram.



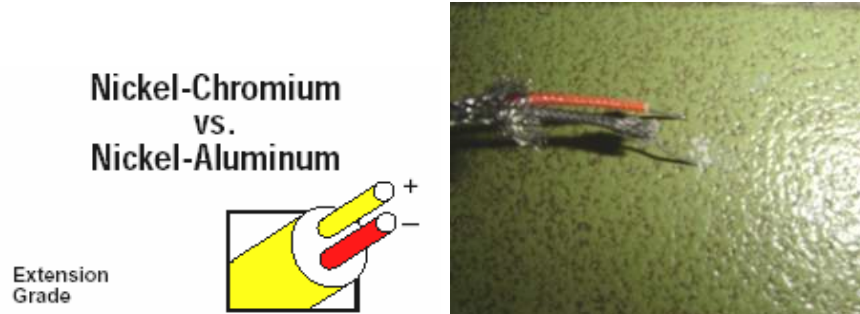
Gambar 3.10 Timbangan digital

- *Voltage Regulator AC*
Power supply yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Voltage Regulator AC* (Gambar 3.11). *Power supply* ini digunakan untuk mensuplai daya ke *heater*. Dalam penelitian ini digunakan 2 variasi tegangan masukan ke *heater* yaitu 220V dan 110V.



Gambar 3.11 Voltage regulator ac

- Termokopel
Termokopel adalah suatu sensor temperatur berdasarkan prinsip 2 logam berbeda yang dihubungkan yang akan menghasilkan tegangan yang berhubungan dengan perbedaan temperature antara ujung pengukuran dan ujung referensi (biasanya dihubungkan ke alat ukur). Termokopel yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe-K (Gambar 3.12).



Gambar 3.12 Termokopel tipe-K

- Alat ukur digital

Multimeter ini digunakan untuk membantu pengambilan data. Karena *display* arus hanya mampu mencapai arus maksimum 200 mA, maka digunakan alat multimeter ini (Gambar 3.13). Alat multimeter ini dapat mengukur temperature, tegangan dan arus.



Gambar 3.13 Multimeter

3.5 PEMBUATAN ALAT

Proses pembuatan alat ini bergantung pada komponen-komponennya. Dapat dibuat khusus (*customize*), langsung dibeli dari toko bahan alat tersebut, dan ada yang harus diproses lebih lanjut agar sesuai dengan desain alat yang diinginkan. Semuanya mengacu pada ketersediaan komponen di pasaran. Untuk lebih detail proses pembuatan alat dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Pembuatan bodi

Berdasarkan pada pemilihan material sebelumnya, bodi alat berbahan dasar alumunium. Alumunium dibeli langsung dari toko yang menjual material logam tersebut dengan ukuran yang telah ditentukan yaitu memiliki panjang 160 mm, lebar 50 mm, dan tinggi 50 mm. Alumunium yang telah jadi dengan ukuran diatas harus diproses lebih lanjut untuk pembuatan rongga pada alumunium sebagai tempat *heater*. Dimensi rongga tersebut memiliki diameter 16 mm. proses pelubangan dilakukan di lab. Manufaktur DTM FTUI dengan menggunakan mesin bubut. Setelah proses pembubutan selesai, kedua ujung sisi-sisi *peltier* dibuat ulir dalam sebagai tempat baut penghubung dengan *heat sink*. Tujuannya ialah menahan elemen *peltier* tetap pada tempatnya.

- Elemen *Peltier*

Elemen *peltier* didapat dengan cara membeli langsung benda yang ada di pasaran. Berdasarkan hasil survey, dipilih elemen *peltier* berukuran 40 mm x 40 mm x 3,5 mm dikarenakan ketersediaan benda di pasar dan juga tinjauan harga.

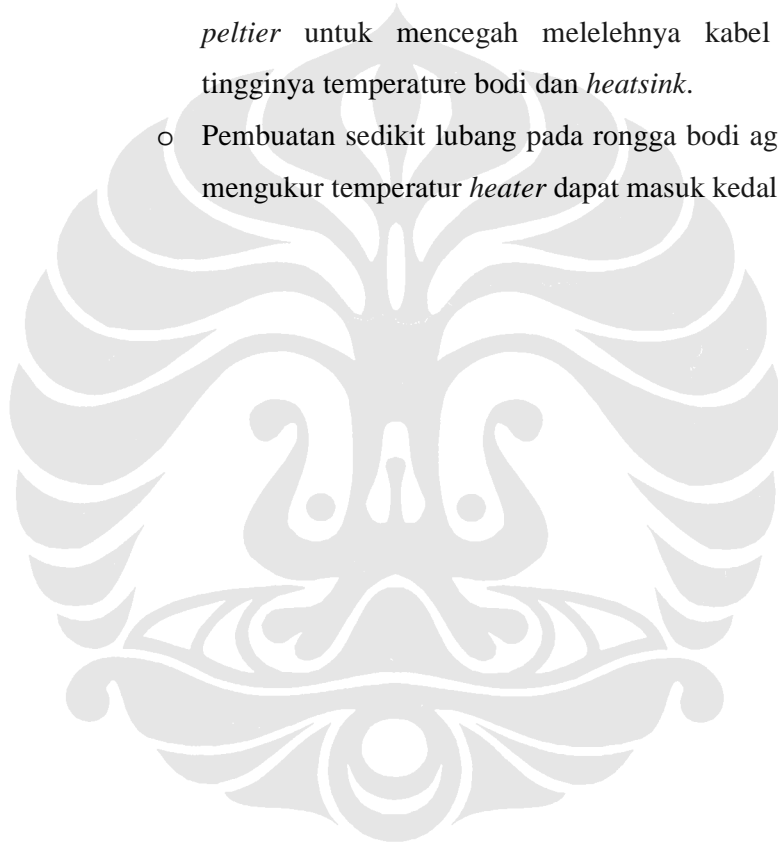
- *Heat sink/fin*

Heat sink berbahan dasar alumunium yang langsung dibeli di pasaran. Heat sink ini harus diproses lebih lanjut untuk mendapatkan dimensi yang diinginkan. Heat sink ini harus memiliki ukuran lebih besar dari dimensi *peltier* dan sesuai dengan bodi alumunium agar mudah dalam proses pemasangann. Setelah membeli elemen *peltier* dan mengetahui dimensinya, maka dimensi *heatsink* ditentukan yaitu panjang 160 mm (sesuai dengan dimensi panjang bodi), lebar 50 mm dan tinggi 30 mm. *Heatsink* yang telah dibeli di pasaran harus dipotong agar memiliki dimensi yang diinginkan. Proses pemotongan heat sink sebanyak 4 buah yang dilakukan di lab. Manufaktur DTM FTUI. Setelah proses pemotongan selesai, bagian kedua ujung *heatsink* dilubangi sebagai tempat baut penghubung antara *heat sink*, dan bodi. Tujuannya adalah agar elemen *peltier* yang ditempatkan antara *heatsink* dan bodi tidak berubah tempatnya.

- Proses tambahan

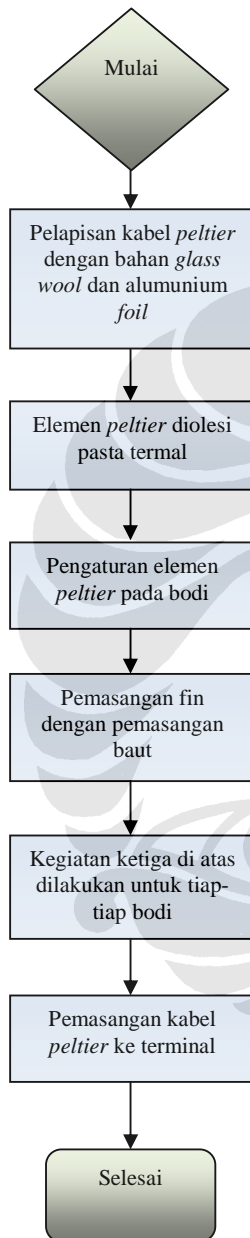
Setelah semua komponen selesai dibuat, ada beberapa hal penting yang harus dilakukan untuk keperluan pengujian yaitu:

- Pembuatan lubang-lubang untuk jalur masuk termokopel, pelubangan dilakukan di bodi alumunium untuk termokopel yang mengukur temperatur sisi panas *peltier* dan pada *heat sink* untuk termokopel yang mengukur temperatur sisi dingin *peltier*.
- Pelapisan *glass wool* dan alumunium *foil* pada kabel-kabel elemen *peltier* untuk mencegah melelehnya kabel yang diakibatkan tingginya temperature bodi dan *heatsink*.
- Pembuatan sedikit lubang pada rongga bodi agar termokopel yang mengukur temperatur *heater* dapat masuk kedalam rongga.

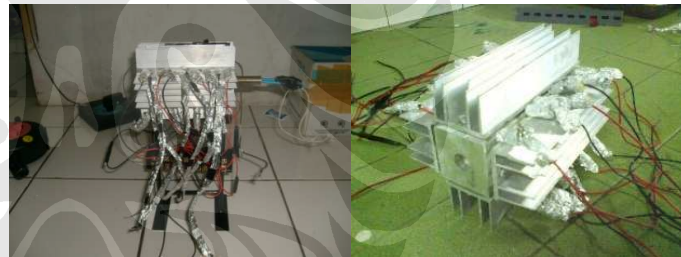


3.6 PROSEDUR PERAKITAN ALAT PENGUJIAN

Untuk proses perakitan alat hingga menjadi pembangkit termoelektrik perlu urutan pengerjaan yang tepat. Berikut ini detail urutan pengerjaan alat:



Gambar 3.14 Perakitan awal alat uji



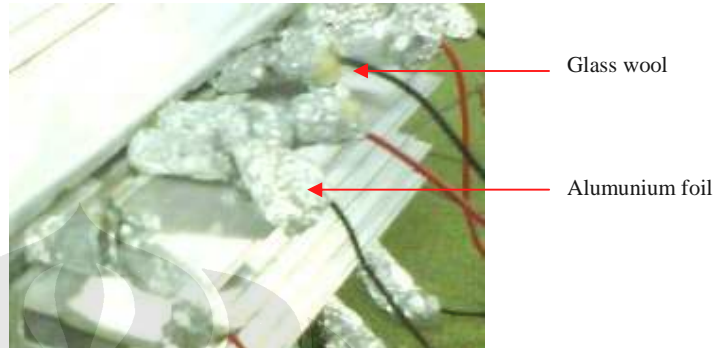
Gambar 3.15 Alat uji telah selesai dirakit

Penjelasan detail mengenai perakitan alat uji ini sebagai berikut:

- Pelapisan kabel

Untuk mencegah kabel meleleh akibat tingginya temperatur pada bodi dan fin, maka kabel peltier dilapisi *glasswool* dan alumunium foil (Gambar

3.16). Penggunaan alumunium foil ini karena bahan ini mampu menahan panas yang cukup tinggi. Sedangkan penggunaan *glasswool* untuk mencegah panas dari alumunium foil mempengaruhi kabel peltier. Sehingga kabel peltier tetap terjaga.

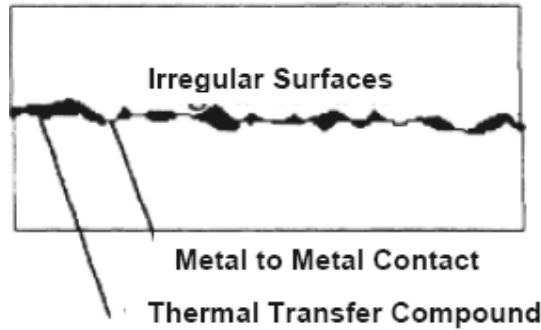


Gambar 3.16 Pembungkusan kabel peltier dengan *glasswool* dan alumunium foil.

- Pengolesan pasta termal dan penataan peltier

Pasta termal dioleskan pada keseluruhan permukaan peltier dengan tujuan membantu pelepasan kalor. Pengolesan ini dilakukan diseluruh permukaan sisi panas dan sisi dingin peltier. Hal ini perlu dilakukan karena permukaan baik alumunium maupun peltier tidak sepenuhnya rata. Bila terdapat rongga antara permukaan yang bersentuhan seperti permukaan sisi panas atau dingin dengan alumunium maka panas yang diberikan akan terhambat dikarenakan adanya proses konveksi dirongga tersebut yaitu adanya medium udara (Gambar 3.17).

Dengan adanya pasta termal tersebut dapat meningkatkan konduktivitas termal antarmuka. Akan tetapi penggunaan berlebihan pasta termal tersebut dapat mencegah kontak antarmuka dan terjadi sebaliknya, konduktivitas termalnya berkurang. Umumnya pasta termal terbuat dari silicon dengan tambahan ZnO yang menghasilkan performa yang baik. Untuk performa yang maksimum dapat digunakan pasta termal dengan tambahan AlN dan BN yang akan mengurangi hambatan thermal. [17]



Gambar 3.17 Pasta termal dioleskan antarmuka logam.

Sumber: Frederick A. et al. *Hi-Z Technology, Inc. "USE, APPLICATION AND TESTING OF Hi-Z THERMOELECTRIC MODULES "*

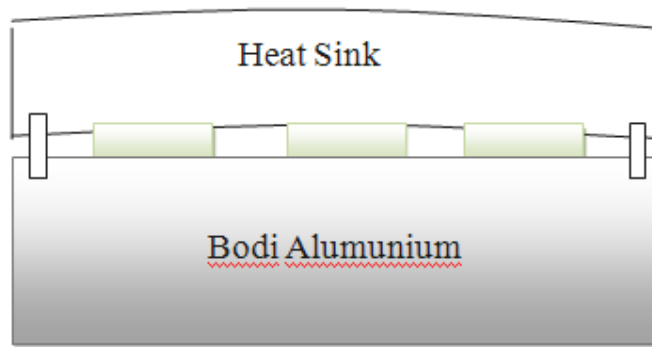
Setelah itu elemen peltier diletakkan diatas bodi dengan jarak yang telah ditentukan (Gambar 3.18 (b)).



Gambar 3.18 (a). Pengolesan pasta termal pada elemen peltier
(b). Penempatan peltier pada bodi

- Pemasangan antar bodi, elemen peltier, dan fin

Proses pemasangan fin dan elemen peltier pada bodi dilakukan dengan menggunakan sekrup. Tujuannya ialah agar elemen peltier tetap tertahan diantara fin dan bodi. Pemasangan sekrup ini sebaiknya dilakukan dengan hati-hati agar tekanan yang diberikan tidak berlebihan (Gambar 3.19). Jika tekanan yang diberikan berlebihan tentunya dapat mengganggu performa bahkan dapat merusak peltier sehingga tidak dapat digunakan lagi.

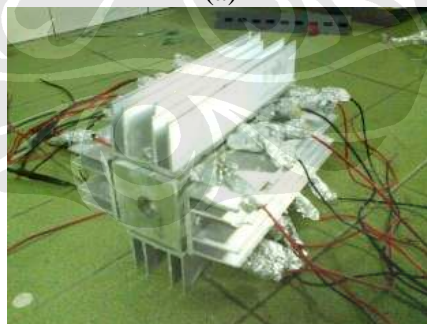


Gambar 3.19 Tekanan yang berlebihan pada modul peltier (*Bowing*)

Pemasangan sekrup ini dilakukan pada keempat sisinya dengan hati-hati sehingga alat telah lengkap memiliki *heatsink* disetiap sisinya (Gambar 3.20 (a)).



(a)

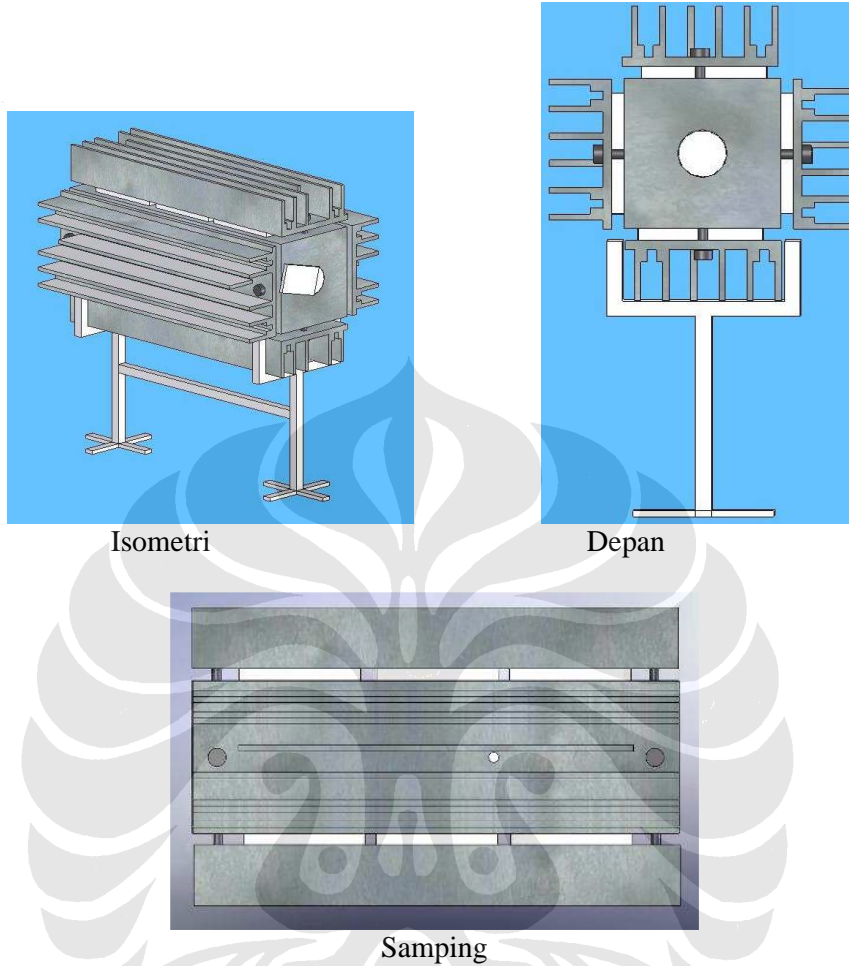


(b)

Gambar 3.20 (a). Pemasangan sekrup pada fin (b). Alat uji selesai dirakit

Setelah semua *heatsink* terpasang, alat siap di uji dengan menempatkannya diatas alat penyangga dan diatur kabel-kabel peltier ke terminal (Gambar 3.20 (b)).

3.7 SPESIFIKASI TEKNIS



Tabel 3.1 Spesifikasi teknis dari alat pengujian

SPESIFIKASI TEKNIS	
Dimensi Total	130 x 130 x 160 mm
Berat total	2,015 kg
Heater	220V, 300W
Fungsi	Pembangkit listrik dari panas buang
Modul Peltier	12 buah (TECI-12706, BC 2007/12)
Material	Bodi dan fin: Alumunium
Output maksimum	8,11 Watt (susunan seri, 220V heater)

BAB IV

METODE PENGUJIAN *THERMOELECTRIC*

GENERATOR

4.1 TUJUAN PENGUJIAN

Tujuan dari pengujian *Thermoelectric Generator* ialah untuk mengetahui potensi daya output dan perbedaan temperatur sisi dingin dan sisi panas peltier dari alat dengan berbagai macam variasi yang dilakukan. Untuk menyesuaikan dengan kondisi aktualnya, alat ini menggunakan kipas untuk membuang panas seperti pada knalpot mobil atau motor yang menggunakan angin sebagai pendinginnya.

4.2 INSTALASI ALAT PENGUJIAN

Instalasi meliputi proses pemasangan komponen-komponen tambahan sebelum alat yang telah selesai dirakit akan di uji. Hal ini dilakukan persiapan untuk mendukung lancarnya proses pengambilan data. Hal ini penting dilakukan agar data yang di ambil dapat akurat dan tepat. Beberapa persiapan yang dilakukan pada alat adalah sebagai berikut:

- Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan untuk mengetahui perbandingan temperatur pada termokopel dan thermometer standar (Gambar 4.1). Hasil temperatur yang didapat pada termokopel dalam pengujian dikalibrasi dengan temperatur *thermometer* sehingga data yang didapatkan akurat. Termokopel yang digunakan dalam penelitian ini adalah termokopel tipe K, dengan material pembentuknya adalah *kromel* (Nikel-Kromium) dan *alumel* (Nikel-Aluminium). Termokopel menggunakan prinsip efek *Seebeck* dalam pengukuran temperatur, dengan pembangkit tegangan sebagai fungsi dari gradien temperatur.

Untuk mendapatkan pengukuran temperatur yang tepat dari termokopel tipe K maka perlu dilakukan kalibrasi dengan tujuan mendapatkan konversi dari temperatur yang ditampilkan dengan temperatur sebenarnya. Hal ini dilakukan dengan melakukan perbandingan pengambilan data temperatur oleh termokopel pada termometer digital dengan temperatur air 90-27 °C dengan pengukuran menggunakan termometer raksa standar.



Gambar 4.1 Kalibrasi termokopel

Berikut adalah data hasil persamaan kalibrasi tiap termokopel yang menghasilkan persamaan $ax+b$. Persamaan tersebut merupakan korelasi antara temperatur yang ditampilkan dengan temperatur aktualnya (Tabel 4.1).

Tabel 4.1 Persamaan kalibrasi tiap *channel* dengan kondisi peltier disusun secara seri, tegangan pemanas 220V, dan ada kipas angin.

No.	Termokopel	Persamaan
1	Channel 1	$y=1.0887x-4.2973$
2	Channel 2	$y=1.0401x-1.6764$
3	Channel 3	$y=1.0384x-1.2520$
4	Channel 4	$y=1.0180x-0.9940$
5	Channel 5	$y=1.0002x-0.3847$
6	Channel 6	$y=0.9821x-0.1644$
7	Channel 7	$y=0.9866x+0.1457$
8	Channel 8	$y=1.0017x-1.0350$

- Pemasangan termokopel

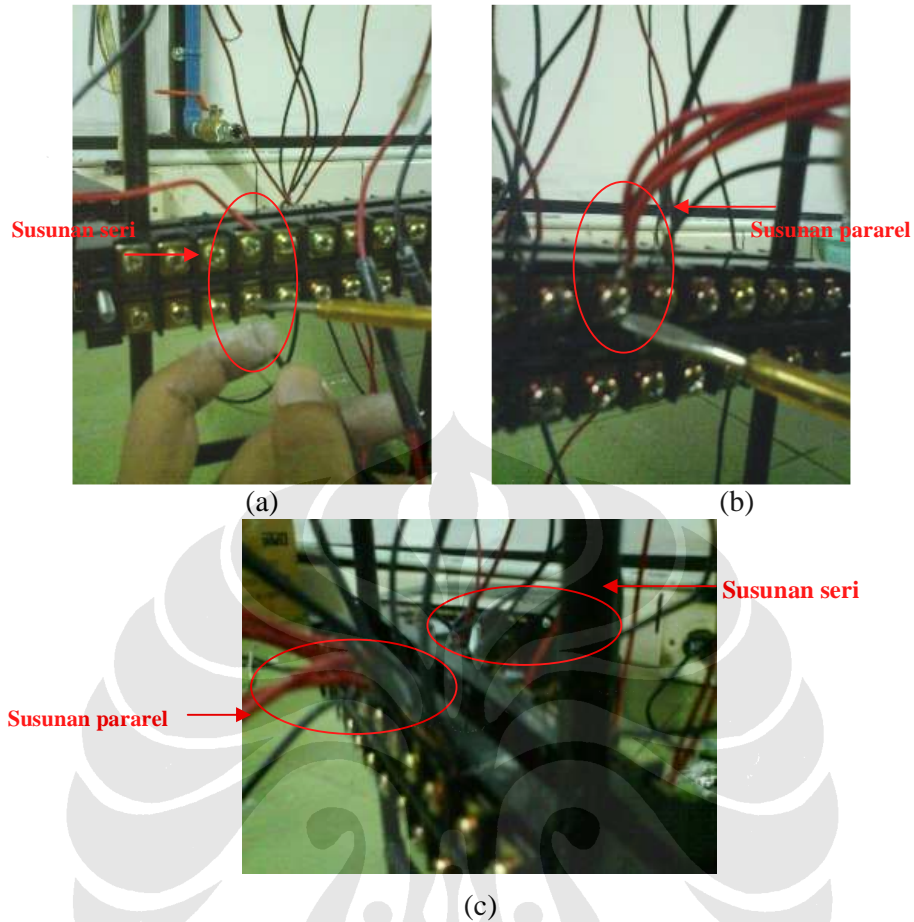
Termokopel yang telah dikalibrasi dipasang untuk mengukur temperatur sisi panas dan sisi dingin peltier. Sebelumnya, bagian bodi dan fin sedikit dilubangi/digerinda agar ujung termokopel dapat ditempatkan tepat disisi atas dan bawah peltier (Gambar 4.2 (a) dan (b)).



Gambar 4.2 Pemasangan termokopel (a). Termokopel dipasang pada sisi panas peltier (b) termokopel dipasang pada sisi dingin peltier

- Pemasangan kabel-kabel peltier pada terminal

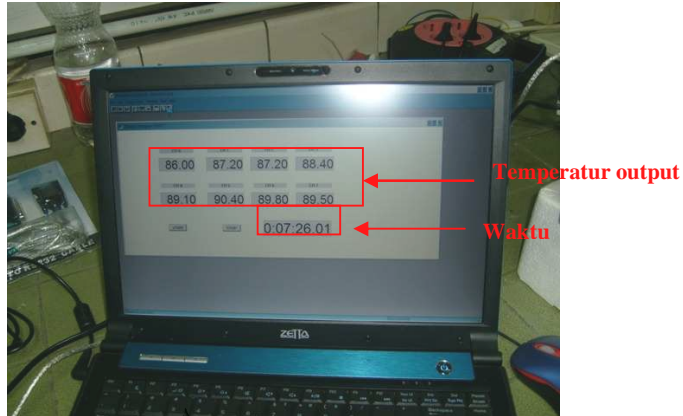
Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam pengujian dan membuat kesan rapi dalam proses pengambilan data. Dalam pengujian ini dilakukan beberapa variasi pemasangan kabel yaitu susunan seri, paralel, dan seri-paralel. Pemasangan kabel pada terminal untuk susunan seri, kabel merah dihubungkan dengan kabel hitam dari peltier disebelahnya. Dan begitu seterusnya hingga didapatkan dua kabel hitam dan merah yang nantinya akan dihubungkan ke *display* tegangan dan arus (Gambar 4.3 (a)). Untuk susunan paralel, semua kabel merah disatukan dan begitu juga warna hitam. Setelah semua disatukan, ujung merah dan hitam dapat dihubungkan ke *display* (Gambar 4.3 (b)). Untuk susunan seri-paralel, enam buah peltier disusun seri seperti disebutkan diatas dan enam buah peltier yang lainnya disusun secara paralel seperti disebutkan sebelumnya. Ujung-ujung kabel hitam dan merah dihubungkan ke *display* (Gambar 4.3 (c)).



Gambar 4.3 Proses pemasangan kabel-kabel peltier ke terminal (a).
Susunan seri (b). Susunan paralel (c). Susunan seri-paralel

- Pemasangan termokopel ke Data Akuisisi (DAQ)
Pemasangan termokopel ke Data Akuisisi bertujuan untuk memasukan data temperatur menjadi data digital yang dapat ditampilkan ke komputer. Proses pemasangan ini harus hati-hati dan cermat karena jika pemasangan ada yang salah data tidak dapat ditampilkan pada komputer (Gambar 4.4) .



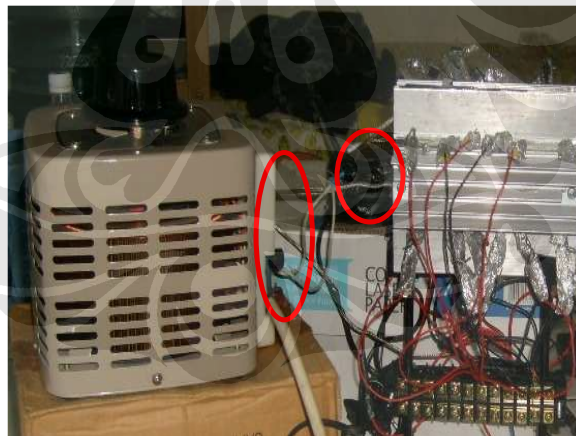


(c)

Gambar 4.4 Pemasangan termokopel (a). Data Akuisisi (b). Termokopel ke Data Akuisisi (c) Tampilan temperature pada layar Komputer.

- Pemasangan *heater*

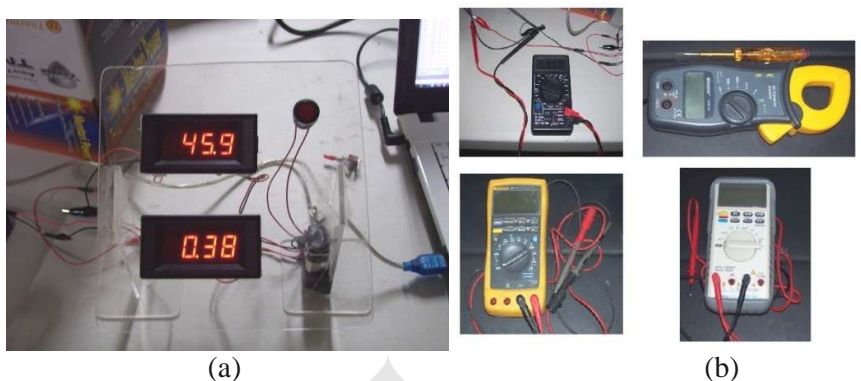
Kabel heater dipasang ke *Voltage Regulator* AC (Gambar 4.5). Variasi tegangan heater dalam pengujian ini adalah 220V dan 110V. Karena *heater* dengan ukuran 15,5 mm yang dibeli di pasaran hanya memiliki panjang 12,5 cm, maka *heater* dipasang kedalam rongga dan diletakkan ditengah-tengah rongga alat.



Gambar 4.5 Pemasangan heater pada *Voltage Regulator*

- Pemasangan kabel pada *display* arus dan tegangan output

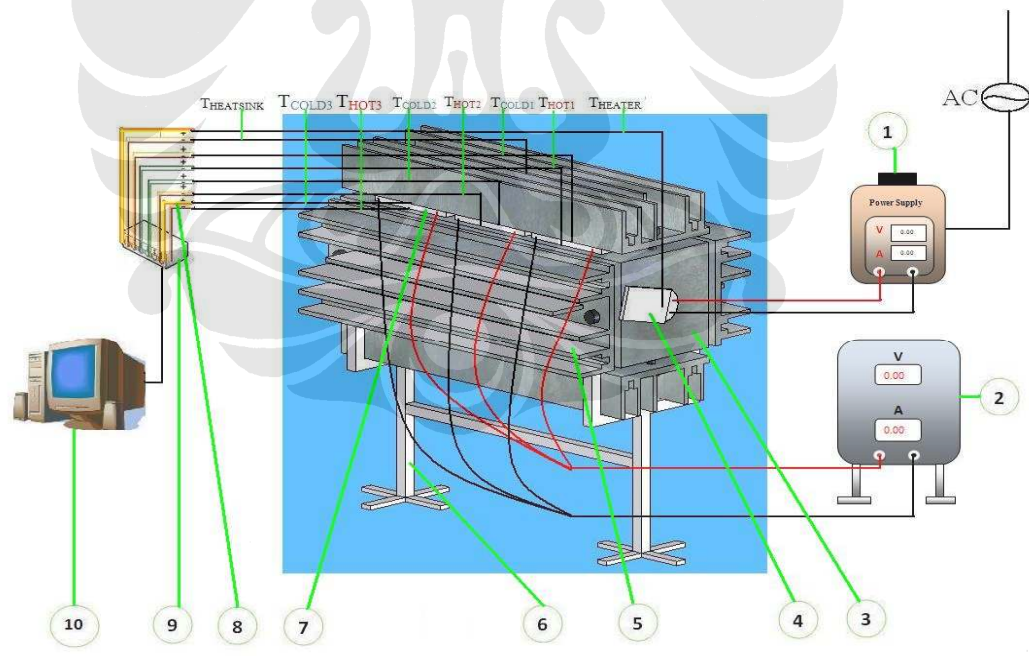
Tujuan pemasangan ini adalah untuk mempermudah dalam pengambilan data dimana arus dan tegangan dapat dilihat bersama-sama. Karena arus yang didapat dari *display* (Gambar 4.6 (a)) ini memiliki nilai maksimum 200mA, maka dalam pengujian ini juga digunakan alat multimeter lain untuk membantu pengambilan data (Gambar 4.6 (b)).



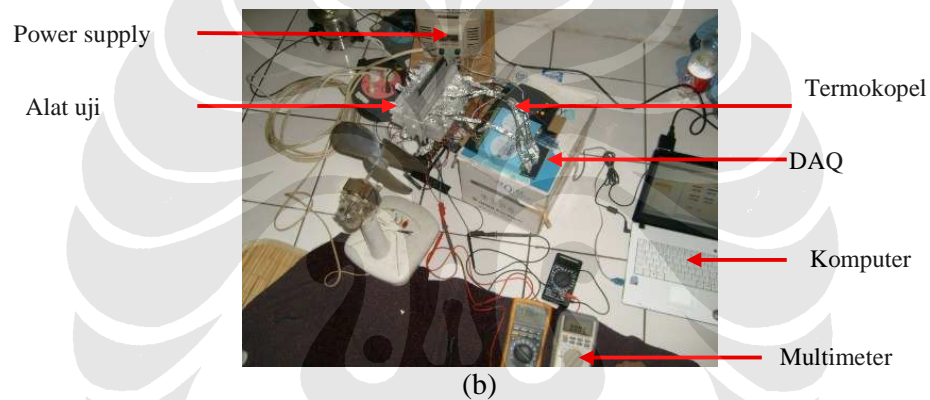
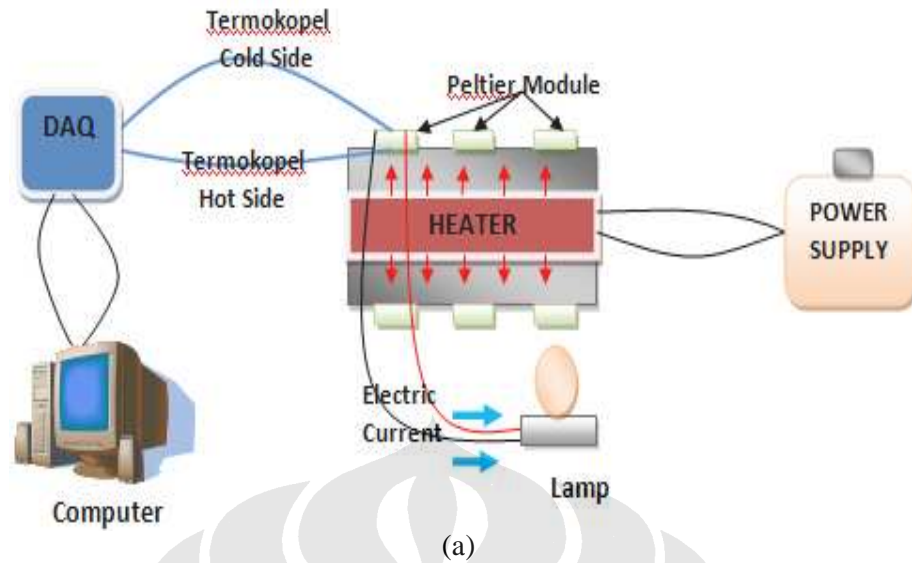
Gambar 4.6 Pemasangan kabel ke *display* arus dan tegangan output dan alat ukur digital (a). *Display* digital (b). Multimeter

Setelah semua persiapan dipenuhi, alat uji siap digunakan dalam pengujian. Gambar dibawah ini adalah skema lengkap pengujian.

SKEMA INSTALASI ALAT PENGUJIAN
THERMOELECTRIC GENERATOR



- | | |
|-----------------------------|----------------------|
| 1. POWER SUPPLY HEATER | 6. PENYANGGA ALAT |
| 2. TEGANGAN DAN ARUS OUTPUT | 7. PELTIER |
| 3. BODY ALUMINIUM | 8. TERMOKOPEL TIPE K |
| 4. HEATER | 9. DATA AKUISISI |
| 5. HEAT SINK | 10. KOMPUTER |



Gambar 4.7 Skema instalasi alat uji (a). Desain skema instalasi alat uji (b). skema instalasi alat uji pada kondisi sebenarnya.

Dari Gambar 4.7 Terlihat bahwa skema saat pengujian telah sesuai dengan skema yang telah dirancang sebelumnya.

4.3 PROSEDUR PENGUJIAN

Prosedur pengujian menjelaskan mengenai urutan langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk mendapatkan data. Pengambilan data dilakukan untuk mencapai tujuan dari pengujian yaitu mengetahui unjuk kerja dari alat. Langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Prosedur perakitan
 - Alat yang telah selesai dirakit dipasang diatas alat penyangga.
 - Kabel-kabel peltier dihubungkan pada terminal. Kabel dapat dipasang baik untuk susunan seri, paralel dan seri-paralel.

- Termokopel yang telah terpasang pada alat dihubungkan ke Data Akuisisi (DAQ). Data akuisisi sebelumnya telah terhubung ke komputer untuk menampilkan hasil pengukuran digital. Data akuisisi ini memiliki delapan *channel* pengukuran.
- Heater dihubungkan ke *voltage regulator* AC yang tegangannya dapat diatur sesuai kebutuhan. Setelah itu, heater dimasukkan kedalam rongga alat uji.
- Kipas angin diletakkan dimuka alat uji sebagai representasi kondisi sebenarnya. Untuk kondisi *steady*, pengujian tidak menggunakan kipas angin.
- Ujung-ujung kabel hitam dan merah dihubungkan ke *display* tegangan dan arus/multimeter. Tegangan output yang diukur merupakan tegangan sirkuit terbuka.

2. Prosedur Pengujian

- Kipas angin dinyalakan dengan kecepatan 3 m/s selama beberapa menit hingga temperatur ambien stabil.
- Tampilan DAQ pada komputer dihidupkan, tapi semua tampilan data dan waktu masih dalam angka 0.
- *Display* dihidupkan, tampilan data masih menunjukkan angka 0.
- Periksa kembali susunan peltier dan perangkat lainnya apakah telah terpasang dengan benar.
- Pengujian dimulai dengan tombol waktu pada komputer ditekan, men-set tegangan *heater* pada 110V atau 220V, menyalakan *display* tegangan dan arus.
- Pengambilan data temperatur secara otomatis direkam oleh DAQ yang terhubung ke komputer. Pengambilan data di-set setiap satu menit.
- Pengambilan data tegangan dan arus dilakukan secara manual, karena *display* tidak dapat mengukur arus dan tegangan secara bersamaan. Karena itu, pengambilan data secara bergantian tiap satu menit dengan rentang *delay* 1-10 detik.
- Pengambilan data dilakukan selama dua jam yang terbagi menjadi dua bagian. Satu jam pertama dengan kondisi tegangan *heater* dinyalakan,

tujuannya untuk mengetahui kenaikan temperatur alat, perbedaan temperatur dan kenaikan arus, tegangan, dan daya output. Satu jam kedua dengan kondisi tegangan *heater* dimatikan, tujuannya untuk mengetahui penurunan temperatur alat, perbedaan temperatur dan penurunan arus, tegangan dan daya output.

4.4 VARIASI PENGAMBILAN DATA PENGUJIAN

Pengambilan data dilakukan untuk mengetahui kinerja alat khususnya untuk mengetahui perbedaan temperatur yang dihasilkan, arus output, tegangan output dan daya output. Pengambilan data dilakukan di lantai tiga Laboratorium *Heat Transfer* Gedung Departemen Teknik Mesin UI. Pengambilan data pengujian diantaranya dilakukan dengan menguji variasi rangkaian kabel peltier, variasi tegangan *heater* dan variasi ada tidaknya kipas angin dimuka alat uji. Berikut merupakan variasi yang dilakukan pada pengambilan data:

1. Variasi susunan peltier

Variasi susunan peltier dilakukan untuk mengetahui karakteristik arus, tegangan dan daya dari masing-masing susunan peltier tersebut. Variasi susunan peltier meliputi; susunan peltier secara seri, susunan peltier secara paralel dan susunan peltier secara seri-paralel.

2. Variasi tegangan *heater*

Variasi ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik temperatur yang dihasilkan *heater* yang tentunya akan mempengaruhi distribusi temperatur pada alat uji. Variasi yang dilakukan yaitu tegangan *heater* 110V untuk mencapai temperatur 100⁰C dan tegangan *heater* 220V untuk mencapai temperatur 200⁰C.

3. Variasi kipas angin

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh angin pada arus, tegangan dan daya yang dihasilkan serta distribusi temperatur yang terjadi pada alat maka digunakan variasi ada tidaknya kipas angin. Untuk kondisi *steady*, pengambilan data tanpa kipas angin. Untuk kondisi mendekati aktual, pengambilan data dengan menggunakan kipas angin.

4.5 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA PENGUJIAN

Seperti yang telah disinggung sebelumnya bahwa pengambilan data dilakukan secara *open-circuit* (oc). Dengan pengukuran oc ini kita dapat mengetahui arus, tegangan dan daya output maksimum dari alat uji walaupun sebenarnya nilai tersebut telah dikurangi oleh hambatan dari *display* yang nilainya cukup kecil sehingga dapat diabaikan. Ujung-ujung kabel langsung dihubungkan ke display atau multimeter. Nilai yang ditampilkan pada alat tersebut adalah nilai sirkuit terbuka/*open circuit*. Ada beberapa cara pengambilan data diantaranya:

- Untuk menentukan secara akurat seberapa besar daya modul yang dihasilkan, modul perlu dihubungkan ke suatu beban listrik yang dapat mengukur secara akurat daya yang sedang dibuang. Nilai beban listrik tersebut harus mendekati nilai hambatan internal modul agar memperoleh daya maksimum dari modul. Akan tetapi, hambatan internal modul adalah fungsi temperatur.
- Untuk mengukur tegangan resistor yaitu dengan resistor beban ke modul, panas modul pada kondisi operasi dan membiarkan temperatur hingga stabil. Mengukur penurunan tegangan melewati resistor beban. Ini adalah tegangan resistor (V_r).
- Mengukur tegangan yang diberi beban yaitu mengukur tegangan modul pada kabel modul. Pengukuran ini adalah tegangan beban (V_L).
- Mengukur tegangan sirkuit terbuka yaitu kabel alat multimeter dihubungkan ke kabel modul dan alat tersebut langsung mengukur tegangan bila data tegangan yang sedang diambil. Tegangan inilah yang disebut tegangan sirkuit terbuka.
- Untuk mengukur arus yang melewati modul, secara sederhana dengan perhitungan:

$$I = V_R / R_L \quad (4.1)$$

Dimana R_L adalah nilai hambatan dalam Ohm

Dalam pengujian ini, data yang diukur adalah dalam keadaan sirkuit terbuka dimana *display*/multimeter langsung dihubungkan ke kabel modul peltier.