



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN COOL BOX RAMAH LINGKUNGAN
UNTUK KENDARAAN RODA DUA BERBASIS
TERMOELEKTRIK**

SKRIPSI

FEBRI FIMANSYAH

0706198474

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

PROGRAM TEKNIK MESIN

DEPOK

DESEMBER 2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN COOL BOX RAMAH LINGKUNGAN UNTUK
KENDARAAN RODA DUA BERBASIS TERMOELEKTRIK**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

FEBRI FIRMANSYAH

0706198474

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI EKSTENSI TEKNIK MESIN

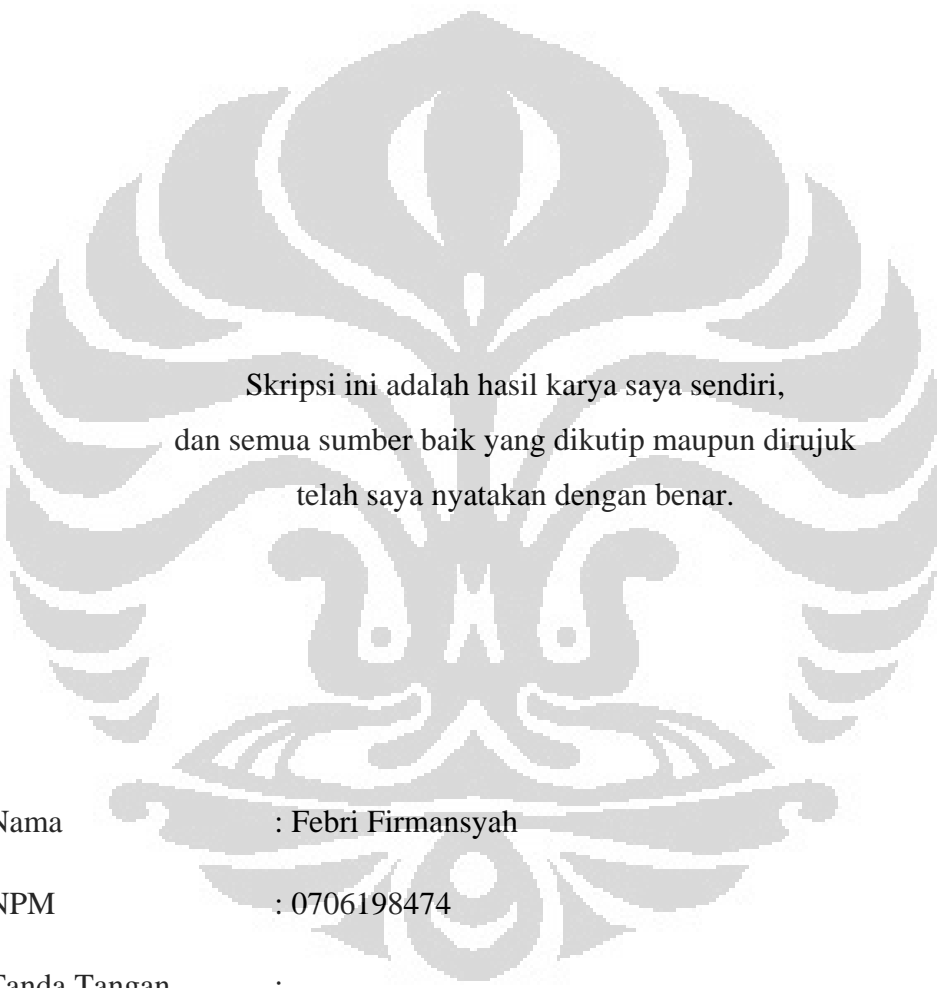
DEPOK

DESEMBER 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul:

PENGEMBANGAN COOL BOX RAMAH LINGKUNGAN UNTUK KENDARAAN RODA DUA BERBASIS TERMOELEKTRIK



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

Nama : Febri Firmansyah

NPM : 0706198474

Tanda Tangan :

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Febri Firmansyah
NPM : 0706198474
Program studi : Teknik Mesin
Judul skripsi : **PENGEMBANGAN COOL BOX RAMAH
LINGKUNGAN UNTUK KENDARAAN
RODA DUA BERBASIS TERMOELEKTRIK**

Telah berhasil dipertahankan dihadapan 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 : Ir. Imansyah Ibnu Hakim, M.Eng. (.....)
Penguji : Prof. Dr-Ing Nandy Putra (.....)
Penguji : Dr Engkos A.K (.....)
Penguji : Ardiyansyah ST. M.Eng (.....)

Ditetapkan di :

Tanggal :

KATA PENGANTAR

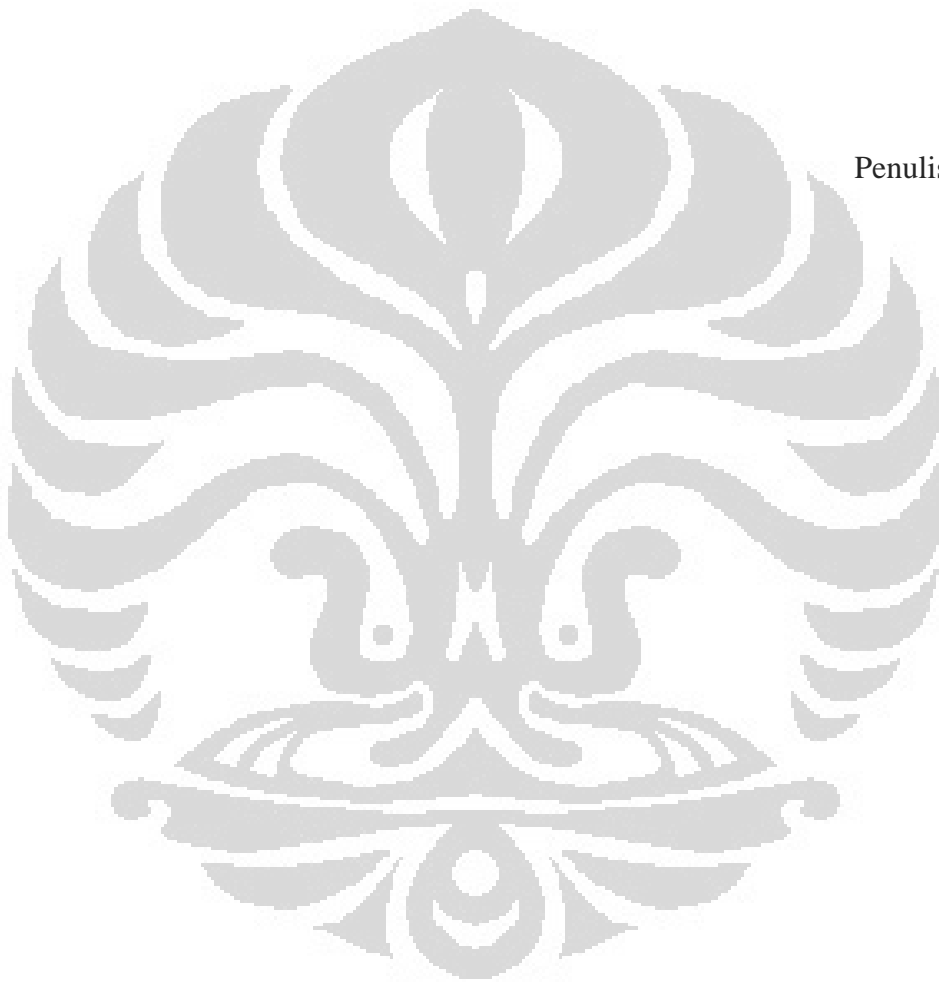
Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.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

- (1) Bapak Ir. Imansyah Ibnu Hakim, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Bapak Prof. Dr-Ing Nandy Putra, yang telah mengizinkan saya untuk menggunakan tempat di Engineering Center serta memberikan saran dan bimbingan.
- (3) Mas Ferdiansyah Nurudin Iskandar, yang telah memberikan bantuan masukan, semangat dan dorongan.
- (4) Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan dukungan, semangat dan doa, sampai penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
- (5) Rekan-rekan di Engineering Center Universitas Indonesia, yang sama-sama belajar dan berjuang menyelesaikan penelitian skripsi.
- (6) Seluruh teman-teman Penulis di kampus yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu baik dalam penelitian maupun penulisan.
- (7) Dan seluruh karyawan staf Departemen Teknik Mesin FTUI yang telah membantu memberi saran, menyediakan dan meminjamkan peralatan serta sarana dalam pengerjaan alat.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 30 Desember 2009

Penulis



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

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

Nama : Febri Firmansyah
NPM : 07061986474
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 :

**PENGEMBANGAN COOL BOX RAMAH LINGKUNGAN UNTUK
KENDARAAN RODA DUA BERBASIS TERMOELEKTRIK**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih-media/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 :

Yang menyatakan

(Febri Firmansyah)

ABSTRAK

PENGEMBANGAN COOL BOX RAMAH LINGKUNGAN UNTUK KENDARAAN RODA DUA BERBASIS TERMoeLEKTRIK

Cool box adalah alat yang digunakan untuk menyimpan makanan ataupun minuman agar tetap dalam keadaan dingin. *Box motor* merupakan salah satu alat pelengkap sepeda motor yang digunakan sebagai tempat untuk menyimpan barang. Sebagai fungsi tambahan *box motor* dapat dimanfaatkan untuk menyimpan barang yang membutuhkan sistem pendingin. *Termoelektrik* merupakan media pendingin yang *ramah lingkungan* karena tidak menggunakan refrigeran sebagai fluida pendinginnya. Penelitian tentang *cool box* ini menggunakan *termoelektrik* untuk sistem pendinginnya. Tujuan dari penelitian ini adalah meningkatkan fungsi sistem pendingin pada *box motor* agar mencapai suhu $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Penelitian ini menggunakan *termoelektrik* berupa 4 peltir yang disusun seri dan heatsink-fan. Hasil yang dicapai pada penelitian di laboratorium, untuk temperatur kabin tanpa beban dicapai temperatur 0°C , untuk beban 1 kaleng dicapai temperatur 2°C , untuk beban 2 kaleng dicapai temperatur 4°C , untuk beban 3 kaleng dicapai temperatur 6°C , untuk beban 4 kaleng dicapai temperatur 7°C , untuk beban 5 kaleng dicapai temperatur 8°C , dan untuk beban 6 kaleng dicapai temperatur 12°C . Data ini berdasarkan suhu lingkungan yang berkisar 24°C . Dan untuk Temperatur kabin saat test jalan tanpa beban didapat 5.1°C , untuk beban 1 kaleng dicapai temperatur 9.8°C , untuk beban 2 kaleng dicapai temperatur 12.4°C , untuk beban 3 kaleng dicapai temperatur 15.9°C , untuk beban 4 kaleng dicapai temperatur 18.3°C , untuk beban 5 kaleng dicapai temperatur 20.1°C , dan untuk beban 6 kaleng dicapai temperatur 22.4°C . Data ini berdasarkan suhu lingkungan yang berkisar 30°C .

Febri Firmansyah

0706198474

Departemen Teknik Mesin

kata kunci : *Cool box, Termoelektrik, Ramah lingkungan*

ABSTRACT

FRIENDLY EQUIPMENT COOL BOX DEVELOPMENT FOR TWO MOTOR CYCLE BASED ON THERMOELECTRIC

Cool Box is a device that usually for saving goods that required in cold condition such as food or drink. Carrier box is accessory motor cycle that used as a storage property. As adding functional value of carrier box, it is can to make a cooling system. *Thermoelectric* cooling system that very *friendly environment* because without refrigerant as cooling fluid. This Research cool box using *thermoelectric* for cooling system. The objective of this research is to increased the function system of motor cycle cooling box temperature to the $4\pm 2^{\circ}\text{C}$. this research using thermoelectric on the other side of fourth peltier series and heatsink-fan. The result of this research in laboratory room, the temperature cabin can be reach at 0°C when without loading, with 1 cane the inside temperature can be reach at 2°C , and with 2 canes loading the temperature can be reach at 4°C , with 3 canes loading, the inside temperature can be reach at 6°C , with 4 canes loading the inside temperature can be reach at 7°C , with 5 canes loading the inside temperature can be reach at 8°C , and with 6 canes loading the inside temperature can be reach at 12°C . This data depend on ambient temperature that averages 24°C . And the cabin temperature for running test on the road, with 1 cane loading the inside temperature can be reach at $9,8^{\circ}\text{C}$, and with 2 canes loading the temperature can be reach at $12,4^{\circ}\text{C}$, with 3 canes loading the inside temperature can be reach at $15,9^{\circ}\text{C}$, with 4 canes loading the inside temperature can be reach at $18,3^{\circ}\text{C}$, with 5 canes loading the inside temperature can be reach at $20,1^{\circ}\text{C}$, and with 6 canes loading the inside temperature can be reach at $22,4^{\circ}\text{C}$. This data depend on ambient temperature that averages 30°C .

Febri Firmansyah

0706198474

Departemen Teknik Mesin

Keywords: Cool Box, Thermoelectric, Environmental friendly

DAFTAR ISI

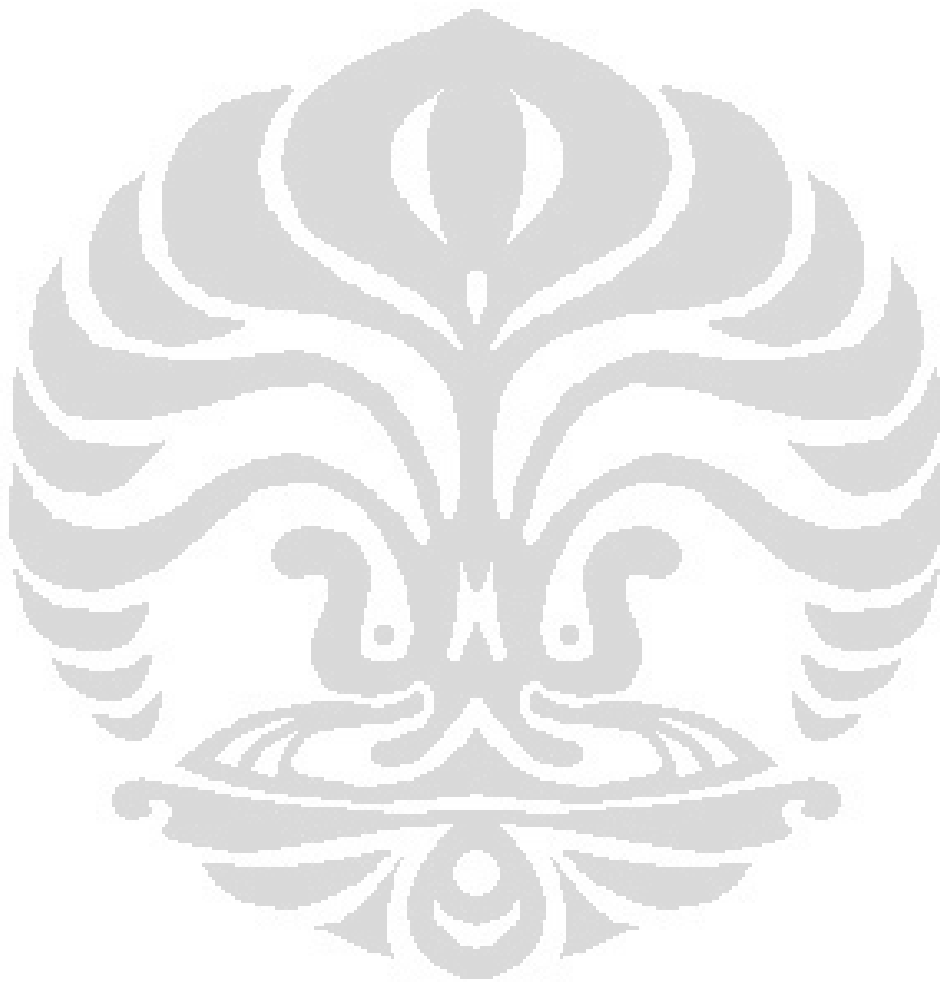
JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Pembatasan Masalah	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
II. DASAR TEORI	5
2.1 Pendingin Termoelektrik	5
2.1.1 Sejarah Peltier	5
2.1.2 Prinsip Kerja Termoelektrik	5
2.1.3 Parameter Penggunaan Elemen termoelektrik	8
2.1.4 Komponen dasar Pendingin Termoelektrik	9
2.1.5 Sistem Bertingkat	10
2.1.6 Aplikasi Termoelektrik secara garis besar	11
2.2 Perpindahan Kalor	12
2.2.1 Perpindahan Kalor Konduksi	12
2.2.2 Perpindahan Kalor Konveksi	13
III. DESAIN DAN MANUFAKTUR	14
3.1 Konsep Desain	14
3.2 Desain Alat	15
3.3 Perakitan alat	25
IV. PENGUJIAN COOL BOX	29
4.1 Tujuan Pengujian	29
4.2 Komponen Pengujian	29

4.2.1 Termokopel	29
4.2.2 Data Akuisisi.....	33
4.2.3 DC Power Supply	35
4.3 Instalasi Pengujian	36
4.4 Variasi Pengambilan Data.....	37
4.5 Pengujian Data Jalan.....	39
V. HASIL DAN ANALISA	40
5.1 Hasil dan Anallisa	40
5.2 Analisa Grafik Distribusi Temperatur Tanpa Beban	40
5.3 Analisa Grafik Temperature Cabin Dengan Beban	42
5.4 Analisa Grafik Tes Jalan.....	46
5.5 Analisa Kalor Yang Hilang.....	49
VI. KESIMPULAN DAN SARAN.....	57
6.1 Kesimpulan	57
6.2 Saran	57
DAFTAR REFERENSI.....	58
LAMPIRAN	60

DAFTAR GAMBAR

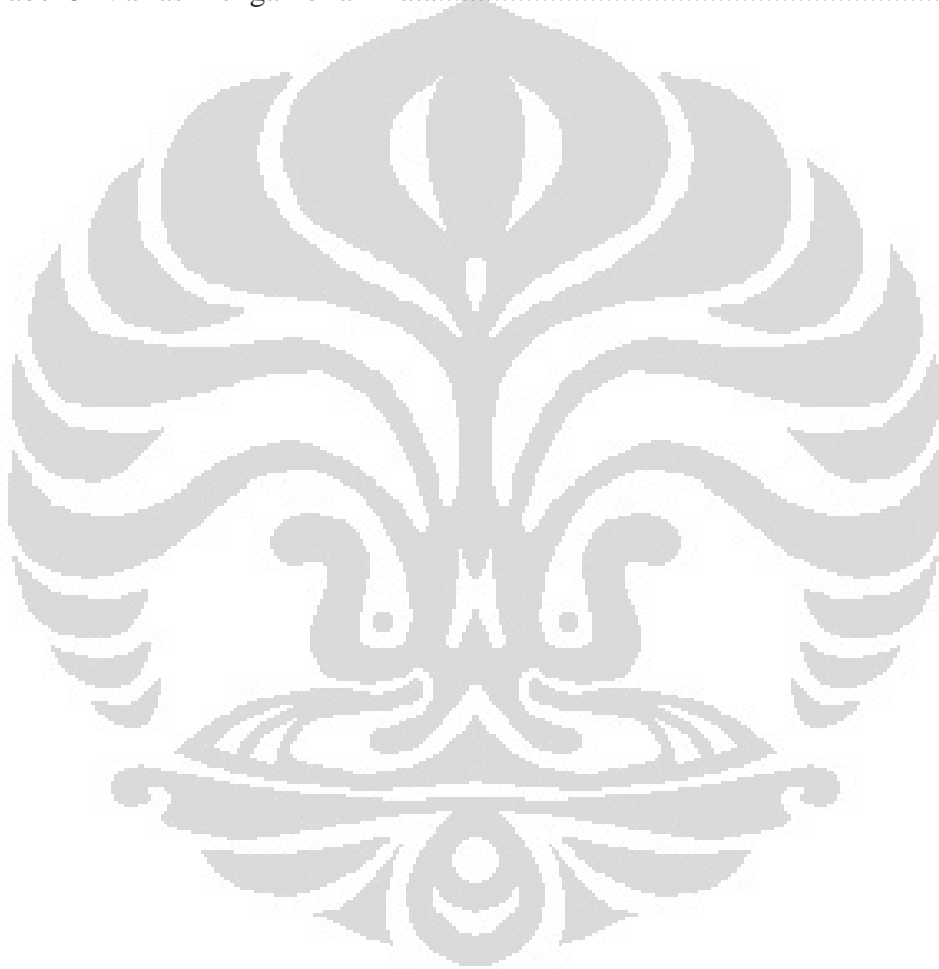
Gambar	2.1 Skema aliran peltier	6
Gambar	2.2 Arah aliran elektron pada modul Termoelektrik	7
Gambar	2.3 Profil Temperatur modul TEC.....	8
Gambar	2.4 Susunan dasar sistem pendingin	9
Gambar	2.5 Beberapa susunan Termoelektrik	10
Gambar	2.6 Modul sistem bertingkat	10
Gambar	3.1 Carrier Box	16
Gambar	3.2 Box Alumunium	17
Gambar	3.3 Tutup Cool Box	18
Gambar	3.4 Peltier Ganda	19
Gambar	3.5 Spacer blok	20
Gambar	3.6 Sirip Alumunium	20
Gambar	3.7 Kipas	21
Gambar	3.8 Isolator (sterofoam)	23
Gambar	3.9 Alumunium yang telah diisolasi	25
Gambar	3.10 Peltir yang sudah dirangkai	26
Gambar	3.11 Alas Carrier Box	26
Gambar	3.12 Box Alumunium yang sudah dipasang cool sink	27
Gambar	3.13 Box yang telah dirakit semua komponen	27
Gambar	3.14 Dudukan Braket Carrier Box	28
Gambar	3.15 Hasil akhir Cool Box	27
Gambar	4.1 ThermocoupeL Wire	30
Gambar	4.2 Posisi Termokopel Ambient	31
Gambar	4.3 Posisi Termokopel Cold Sink	31
Gambar	4.4 Posisi Termokopel Cabin.....	32
Gambar	4.5 Posisi Termokopel Peltier.....	32
Gambar	4.6 Posisi Termokopel Alumunium Case	33
Gambar	4.7 NI CompactDAQ Chasis.	33
Gambar	4.8 Thermocouple Input Module	34
Gambar	4.9 DC Power Supply	35

Gambar	4.10 Skema Pengujian Cool Box.....	36
Gambar	4.11 Bagan Pengujian Cool Box.....	36
Gambar	4.12 Foto Setelah Pengujian	38
Gambar	4.13 Perakitan Cool Box Pada motor	39
Gambar	5.1 Data Cool Sink Tes Jalan.....	47
Gambar	5.2 Data Cabin Tes Jalan	48



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Spesifikasi kipas	22
Tabel 2 Karakteristik Insulflex	24
Tabel 3 Operasi Termokopel	30
Tabel 4 Spesifikasi DC Power Supply	35
Tabel 5 Variasi Pengambilan Data.....	37



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan masyarakat akan sarana transportasi yang murah, aman, dan nyaman ternyata belum dapat dipenuhi oleh pemerintah, terutama pemerintah daerah yang merupakan garis terdepan penyelenggara layanan publik. Sampai sejauh ini, masyarakat telah berinisiatif dengan swadaya untuk memenuhi kebutuhan tersebut, antara lain dengan menggunakan sepeda motor. Pilihan masyarakat terhadap motor (sebutan yang lazim untuk sepeda motor) dirasakan secara minimal dapat mencukupi kebutuhan transportasi jarak dekat sampai sedang, memenuhi kebutuhan akan kecepatan mencapai tujuan, serta yang lebih penting lagi harganya terjangkau oleh warga masyarakat. Belakangan ini kalangan pedagang telah melakukan cara pemasaran yang amat memudahkan setiap orang menjadi pemilik motor sebesar sekitar Rp 300.000 langsung pakai dengan sudah dijamin asuransi. Akibatnya jumlah sepeda motor tersebut pada akhir tahun 2008 tercatat 49 juta (data Mabes Polri) dengan pertambahan secara nasional 10 persen per tahun, maka pada akhir tahun 2009 jumlah sepeda motor bisa mencapai 53,9 juta.[19]

Dengan meningkatnya jumlah sepeda motor maka menyebabkan meningkatnya jumlah aksesoris sepeda motor salah satunya adalah box motor. Box motor, sebenarnya tidak hanya berfungsi sebagai aksesoris semata, guna mempercantik atau menambah gagah motor. Tetapi, lebih dari itu, box merupakan salah satu sarana kelengkapan untuk aman dan nyamannya berkendara.”jelas Presiden Direktur PT Sentra Kreasi Niaga (SKN) Nugroho Tjandrakusuma, selaku ATPM sekaligus Distributor produk box motor merek Kappa di Jakarta. Pada tahun pertama diakui Nugroho, setiap bulannya hanya puluhan unit saja terjual. Tetapi tahun-tahun berikutnya, penjualan box motor merek Kappa meningkat pesat, puncaknya pada 2008 lalu yang tiap bulan mencapai 700 box terjual.[20]

Berdasarkan perkembangan box motor yang cukup tinggi maka dalam skripsi ini akan dikembangkan box motor yang berfungsi sebagai *Cool box*. *Cool box* merupakan sebuah alat yang bisa digunakan untuk menyimpan bahan-bahan yang memerlukan kondisi dingin. Manfaat *cool box* yang telah diterapkan selama ini yaitu makanan, minuman, blood carier, vaksin dan lain sebagainya. Untuk itu perlu dicari sistem pendingin yang lebih baik untuk dapat diaplikasikan.

Terdapat suatu komponen termoelektrik yang dikenal dengan elemen peltier. Komponen ini banyak digunakan untuk kotak pendingin, misalnya *dispenser*, pendingin prosesor komputer dan lain sebagainya. Elemen *peltier* mempunyai bentuk yang *compact* dan dapat diaplikasikan dengan daya relatif kecil.

1.2 Perumusan Masalah

Untuk membuat sebuah *carrier box* sepeda motor yang mempunyai *feature* pendingin, di perlukan suatu unit pendingin yang mampu diaplikasikan pada sepeda motor yang mempunyai beberapa keterbatasan ruang serta dayanya. Oleh karena itu dipilih pemakaian elemen *peltier* yang mempunyai kelebihan, antara lain *compact* dan dapat memakai tegangan aki 12 VDC dari sepeda motor.

Mengacu pada penelitian sebelumnya bahwa dengan elemen *peliter* ganda memakai rangkaian listrik yang disusun secara seri atau paralel serta penggunaan *heat-sink fan* yang dapat menghasilkan ruang pendingin yang baik merupakan acuan untuk mengembangkan *cool boox* selanjutnya.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengembangan dan pengujian box motor berpendingin dengan melakukan modifikasi pada *carrier box* motor yang sudah ada dipasaran dengan volume sekitar 30 L dan memakai tegangan aki sepeda motor sebesar 12 VDC dengan menggunakan elemen *peltier* ganda dan *heat-sink fan* yang penempatannya berada di bawah *carrier box*.

Tujuan dari penempatan sistem pendingin berada di bawah *carrier box* agar transfer panas ke lingkungan lebih optimal sehingga menghasilkan temperatur yang lebih rendah serta dari segi estetikanya juga bagus.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah pengembangan *cool box* sepeda motor yang memiliki nilai estetika, hemat energi, nilai jual dan menguji kinerja sistem pendingin *cool box* yang memakai elemen *peltier* dan *heat-sink fan*.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi:

1. Elemen *peltier* dan *heat-sink fan* digunakan dalam rancang bangun *Cool Box*.
2. Input arus yang digunakan DC.
3. Hanya untuk kendaraan roda dua.
4. Volume *cool box* 5 liter.

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 buku-buku, jurnal dan situs-situs internet.
2. Perancangan *Cool box*
Perancangan *cool box* dilakukan dengan pertimbangan seperti sifat material, kemudahan dalam mencari komponen-komponen yang dibutuhkan dipasaran, kelayakan dalam proses produksi, serta pertimbangan dalam aspek *portable* dan ergonomik alat.
3. Pembuatan *prototype*
Pembuatan *prototype* dibuat dengan tujuan untuk mengetahui kinerja *cool box* yang dirancang.
4. Pengujian *Cool box*
Pengambilan data temperatur pada *cool box* dan pengolahan data pengujian.
5. Analisa dan kesimpulan hasil pengujian

Setelah data diolah, maka dilakukan proses analisa terhadap grafik yang diperoleh. Dari analisa tersebut akan diperoleh kesimpulan terhadap proses pengujian.

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 dan metodologi penelitian.

BAB II DASAR TEORI

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

BAB III DESAIN DAN MANUFAKTUR

Bab ini berisi penjelasan secara lengkap tentang konsep desain alat dan proses pembuatan alat.

BAB IV PENGUJIAN ALAT COOL BOX

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

BAB V HASIL DAN ANALISA

Bab ini memuat data-data hasil pengujian yang diolah menjadi data berupa grafik dan penjelasan mengenai analisa terhadap kinerja alat.

BAB VI PENUTUP

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

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pendingin Termoelektrik

Pendingin termoelektrik (*thermoelectric cooler*) adalah alat pendingin yang menggunakan elemen peltier dalam sistemnya sebagai pompa kalor. Efek peltier timbul apabila dua buah logam yang berbeda disambungkan dan kedua ujung logam tersebut dijaga pada temperatur yang berbeda, selain itu akan ada fenomena lain yang akan terjadi pada dua buah logam yaitu fenomena efek joule, efek fourier, efek seebeck, efek peltier dan efek thomson. [8]

2.1.1 Sejarah Peltier

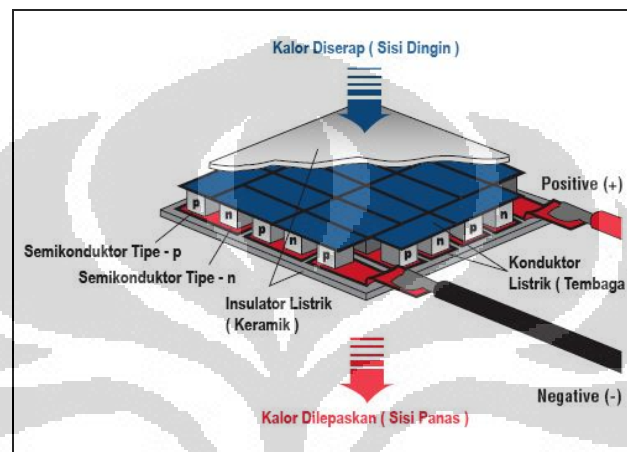
Efek peltier pertama kali ditemukan oleh Jean Charles Athanase Peltier pada tahun 1834 dengan memberikan tegangan pada dua sambungan logam yang berbeda, yang ternyata menghasilkan perbedaan temperatur. Sedangkan termoelektrik sebagai sebuah sistem pertama kali diteliti pada tahun 1950. termoelektrik ini digunakan pada sistim pengkondisian ruangan (AC) dan sistem pendingin.

Penggunaan elemen peltier semakin berkembang bersamaan dengan perkembangan teknologi material semikonduktor menghasilkan alat yang dinamakan pendingin termoelektrik (*thermoelectric cooler*). Teknologi termoelektrik ini berkembang dengan pesat baik pada bidang aplikasi pendinginan maupun pemanasan.[9]

2.1.2 Prinsip Kerja Pendingin Termoelektrik

Prinsip kerja pendingin termoelektrik berdasarkan efek peltier, ketika arus DC dialirkan ke elemen peltier yang terdiri dari beberapa pasang sel semikonduktor tipe p (semikonduktor yang mempunyai tingkat energi yang lebih

rendah) dan tipe n (semikonduktor dengan tingkat energi yang lebih tinggi), akan mengakibatkan salah satu sisi elemen peltier menjadi dingin (kalor diserap) dan sisi lainnya menjadi panas (kalor dilepaskan), seperti pada Gambar 2.1 [6] , sisi elemen peltier yang menjadi sisi panas maupun dingin tergantung dari arah aliran arus listrik.



Gambar 2.1 Skema aliran peltier

(Sumber : Melcore Website-edited)

Hal yang menyebabkan sisi dingin elemen peltier menjadi dingin adalah mengalirnya elektron dari tingkat energi yang lebih rendah pada semikonduktor tipe-p, ke tingkat energi yang lebih tinggi yaitu semikonduktor tipe-n. Agar elektron tipe p yang mempunyai tingkat energi yang lebih rendah dapat mengalir maka elektron menyerap kalor yang mengakibatkan sisi tersebut menjadi dingin. Sedangkan pelepasan kalor ke lingkungan terjadi pada sambungan sisi panas, dimana elektron mengalir dari tingkat energi yang lebih tinggi (semikonduktor tipe-n) ke tingkat energi yang lebih rendah (semikonduktor tipe-p), untuk dapat mengalir ke semikonduktor tipe p, kelebihan energi pada tipe n dibuang ke lingkungan sisi tersebut menjadi panas.

Penyerapan kalor dari lingkungan terjadi pada sisi dingin yang kemudian akan dibuang pada sisi panas dari elemen peltier. Sehingga nilai kalor yang

dilepaskan pada sisi panas sama dengan nilai kalor yang diserap ditambah dengan daya yang diberikan ke modul, sesuai dengan persamaan :

$$Q_h = Q_c + P_{in} \dots\dots\dots (1)$$

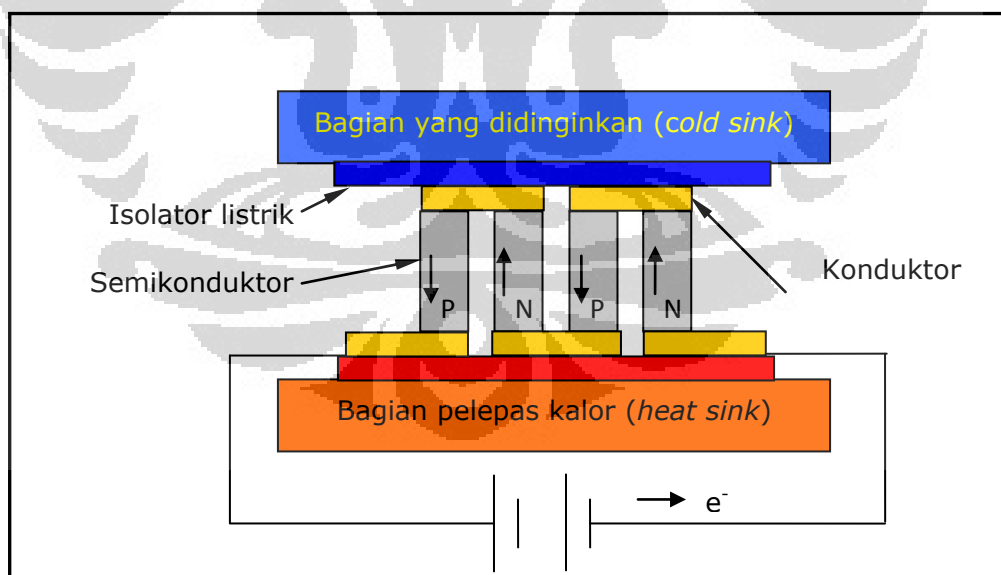
Dimana :

Q_h = kalor yang dilepaskan pada bagian *hot side* elemen Peltier (Watt)

Q_c = kalor yang diserap pada bagian *cold side* elemen Peltier (Watt)

P_{in} = daya input (Watt)

Pada Gambar 2.2 [3], elektron mengalir dari semikonduktor pada tipe p yang kekurangan energi, menyerap kalor pada bagian yang didinginkan kemudian mengalir ke semikonduktor tipe n. Semikonduktor tipe n yang kelebihan energi membuang energi tersebut ke lingkungan dan mengalir ke semikonduktor tipe p dan seterusnya.



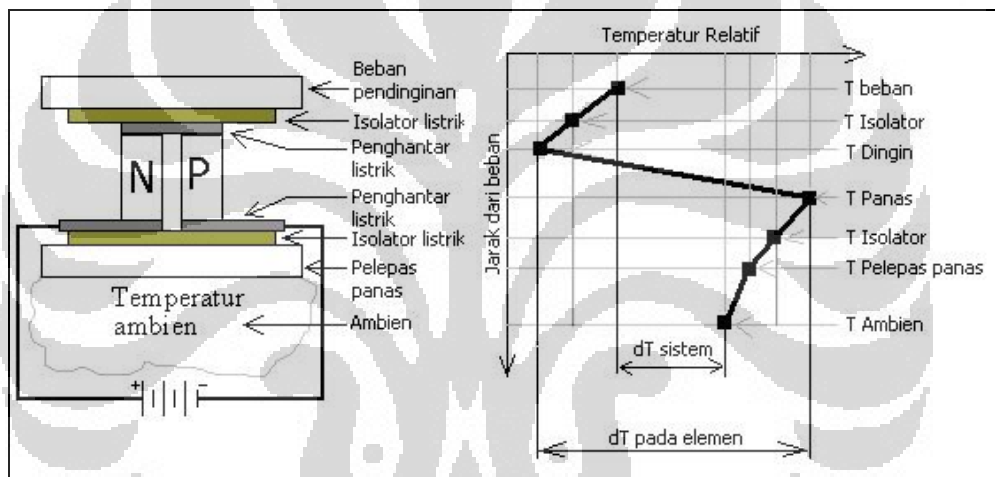
Gambar 2.2 Arah aliran elektron pada modul termoelektrik

(Sumber : Jurnal Teknologi, maret 2007)

2.1.3 Parameter Penggunaan Elemen Termoelektrik

Didalam penggunaan elemen termoelektrik terdapat tiga parameter penting yang perlu diperhatikan yaitu:

- Temperatur Permukaan Sisi Panas Peltier/hot side (T_h)
- Temperatur Permukaan Sisi Dingin Peltier/Cold Side (T_c)
- Beban kalor yang dapat ditransfer dari kompartemen dingin (Q_c) dpanas modul, yaitu:
 - Temperatur ambien lingkungan
 - Efisiensi *Heat sink* yang digunakan pada sisi panas modul.



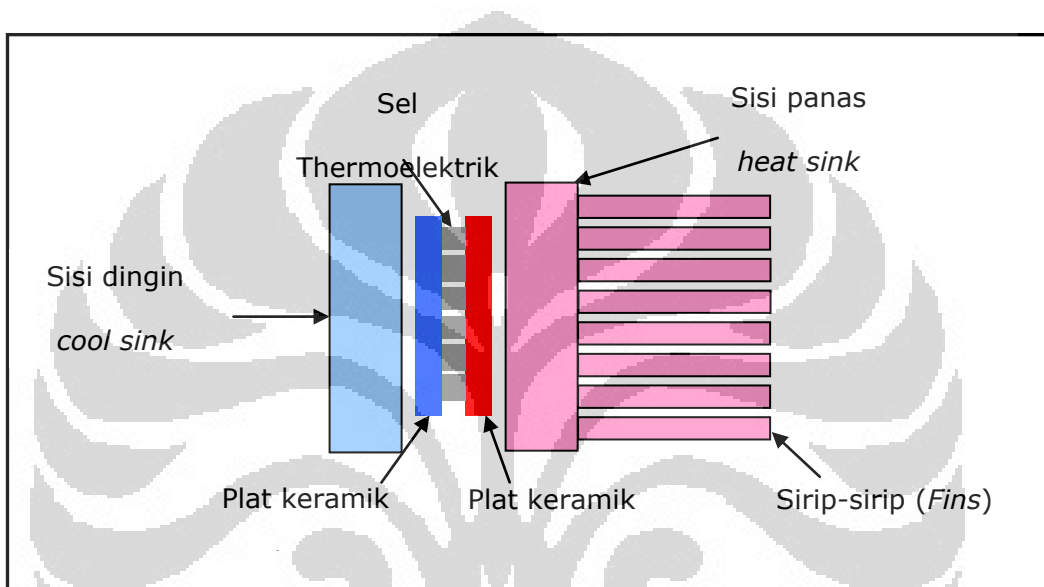
Gambar 2.3 Profil temperatur modul TEC

(Sumber : Seminar Tahunan Teknik Mesin, 6-7 Desember 2004)

Pada Gambar 2.3 [6] tentang profil temperatur sistem termoelektrik. Ada 2 dT temperatur yaitu dT sistem dan dT elemen. dT sistem adalah perbedaan temperatur antara beban pendinginan dan lingkungan, sedangkan dT elemen adalah perbedaan temperatur antara sisi dingin elemen peltier dan sisi panas elemen peltier. Secara umum pencapaian dT ($T_{\text{panas}} - T_{\text{dingin}}$) dari modul termoelektrik selalu mendekati konstan. Jika T_{panas} semakin rendah maka T_{dingin} semakin dingin, bila T_{panas} semakin tinggi maka T_{dingin} tidak terlalu dingin

2.1.4 Komponen Dasar Sistem Pendingin Termoelektrik

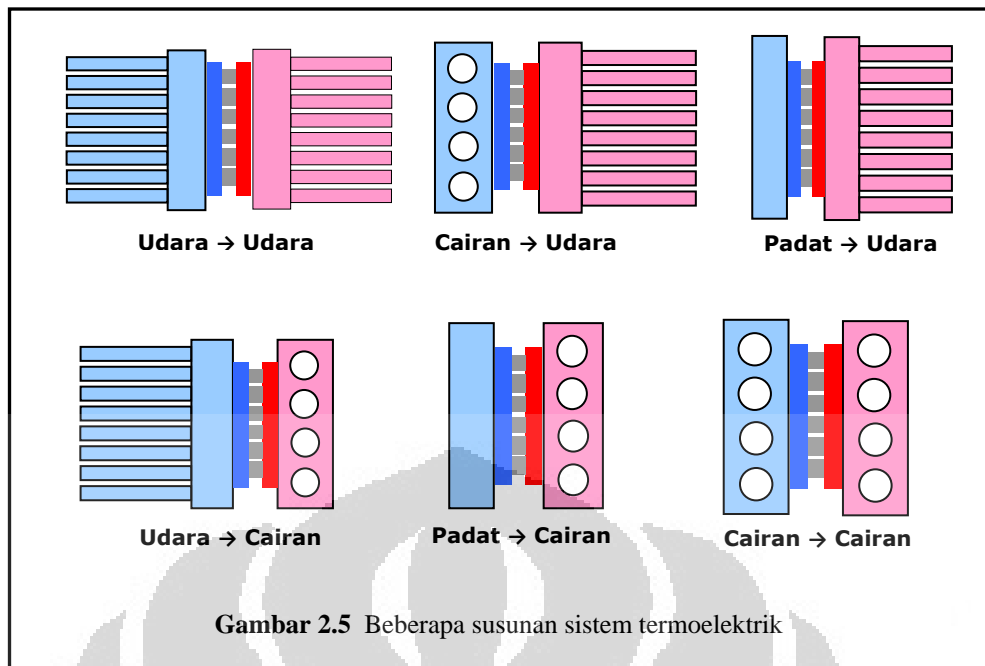
Pendingin termoelektrik memerlukan *heat sink* yang berfungsi untuk menyerap kalor pada sisi dingin elemen peltier maupun membuang kalor pada sisi panas peltier. Susunan dasar pendingin termoelektrik setidaknya terdiri dari elemen peltier dan *heat sink* baik pada sisi dingin elemen peltier maupun sisi panas [10], seperti pada Gambar 2.4. [22]



Gambar 2.4 Susunan dasar sistem pendingin termoelektrik.

(Sumber : The Development of Portable Blood Carrier By Using Thermoelectrics and Heat Pipes, The 10th Internasional Conference On Quality In Research (QIR), Depok 4-6 Desember 2007.)

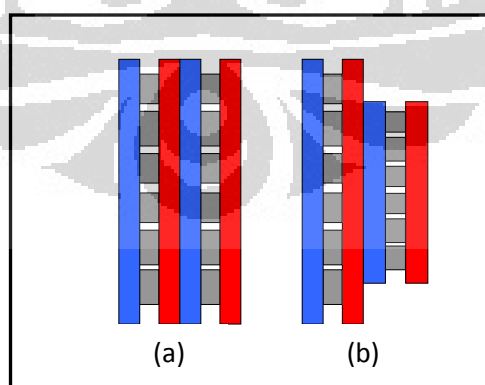
Bagian yang didinginkan dapat langsung dihubungkan dengan sisi dingin elemen peltier maupun dihubungkan terlebih dahulu dengan alat penukar kalor sebelum dihubungkan dengan sisi dingin elemen peltier. Alat penukar kalor tersebut dapat berupa fluida. Kalor yang dihasilkan pada sisi panas elemen peltier disalurkan ke lingkungan melalui udara baik secara konveksi paksa maupun alami atau dengan media pendingin air maupun cairan lainnya. Pada Gambar 2.5 [22] menggambarkan beberapa susunan pendingin termoelektrik dengan berbagai cara perpindahan kalor baik dari media udara, cairan dan padat.



(Sumber : The Development of Portable Blood Carrier By Using Thermoelectrics and Heat Pipes, The 10th Internasional Conference On Quality In Research (QIR), Depok 4-6 Desember 2007.)

2.1.5 Sistem Termoelektrik Bertingkat

Sistem bertingkat pada modul termoelektrik digunakan hanya jika modul tunggal tidak bisa mencapai perbedaan temperatur yang diinginkan. Penambahan modul akan mengakibatkan daya yang dibutuhkan semakin besar [13]. Terlihat pada Gambar 2.6 pemasangan elemen peltier secara bertingkat dengan tipe paralel dan *cascade* [15].



Gambar 2.6 Modul sistem bertingkat (a) Peltier paralel (b) Peltier *cascade*.

(Sumber : www.thetechzone.com)

Kemampuan memompa panas dari beban pada sistem bertingkat dapat ditingkatkan tergantung pada jumlah tingkat modul. Semakin banyak tingkat maka semakin besar selisih antara T_h dengan T_c . Karena selisih T_h dan T_c yang semakin besar, maka kalor yang dapat dipindahkan dari beban juga semakin besar.

2.1.6 Aplikasi Termoelektrik Secara Garis Besar

Aplikasi termoelektrik telah digunakan diberbagai bidang, tidak hanya sebagai pendingin tetapi juga sebagai pembangkit daya, sensor energi termal maupun digunakan pada bidang militer, ruang angkasa, instrument, biologi, medikal, dan industri serta produk komersial lainnya [11].

Aplikasi termoelektrik sebagai alat pendingin terdiri dari aplikasi untuk mendinginkan peralatan elektronik, *air conditioner* maupun lemari pendingin. Penggunaan termoelektrik juga diaplikasikan pada tutup kepala sebagai pendingin kepala. Pada dunia otomotif juga telah dikembangkan termoelektrik intercooler [11].

Aplikasi termoelektrik sebagai pembangkit daya dibagi menjadi 2 bagian sebagai pembangkit daya rendah dan pembangkit daya tinggi. Aplikasi pembangkit daya rendah meliputi pemanfaatan panas tubuh manusia untuk menjalankan jam tangan, sedangkan pembangkit daya tinggi pada termoelektrik memanfaatkan panas dari sisa panas buang yang dihasilkan dari industri maupun pemanfaatan sisa panas dari pembakaran bahan bakar [11].

Kelebihan Pendingin termoelektrik (*thermoelectric cooler*) antara lain ketahanan alat yang baik, tidak menimbulkan suara, tidak adanya bagian mekanikal yang bergerak sehingga tidak menimbulkan getaran, perawatan yang mudah, ukuran yang kecil, ringan, ramah terhadap lingkungan karena tidak menggunakan refrigeran yang dapat merusak ozon, termoelektrik dapat juga digunakan pada lingkungan yang sensitif, tidak adanya ketergantungan terhadap posisi peletakan, ketelitian kontrol temperatur $\pm 0.1^\circ\text{C}$ dapat dicapai dengan menggunakan termoelektrik, dan cocok digunakan pada aplikasi kotak pendingin

dibawah 25 Watt[11]. Sedangkan kelemahan termoelektrik adalah efisiensi yang rendah dan adanya kondensasi pada suhu tertentu. Sehingga sampai saat ini pendingin termoelektrik hanya efektif pada aplikasi untuk objek pendinginan dan daya yang kecil [9].

2.2 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor yang terjadi pada *cool box* ada dengan cara konduksi dan konveksi.

2.2.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan kalor yang terjadi secara konduksi berarti perpindahan kalor/panas tanpa diikuti perpindahan dari molekul benda tersebut. Konduksi juga dapat dikatakan sebagai transfer energi dari sebuah benda yang memiliki energi yang cukup besar menuju ke benda yang memiliki energi yang rendah.

Persamaan yang digunakan untuk perpindahan kalor konduksi dikenal dengan hukum Fourier, yaitu:

$$q = -k.A \frac{T_0 - T_1}{\Delta x} \dots\dots\dots(2)$$

Untuk mencari nilai tahanan thermal dari suatu material padatan digunakan rumus,

$$R_T = \frac{T_0 - T_1}{q} = \frac{l}{kA} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

q = Energi kalor [Watt]

k = Konduktivitas thermal [W/m.K]

A = Luas permukaan [m²]

Δx = Tebal penampang permukaan [m]

T₀ = Temperatur yang lebih tinggi [K]

T_1 = Temperatur yang lebih rendah [K]

R_T = Tahanan Termal [K/W.m]

Nilai minus (-) dalam persamaan diatas menunjukkan bahwa kalor selalu berpindah kearah temperature yang lebih rendah.

2.2.2 Perpindahan Kalor Konveksi

Konveksi adalah perpindahan kalor yang terjadi akibat adanya pergerakan molekul pada suatu zat. Gerakan inilah yang menyebabkan adanya transfer kalor. Konveksi sendiri dapat dibagi menjadi 2, yaitu konveksi bebas atau konveksi alamiah terjadi apabila pergerakan fluida dikarenakan gaya (*buoyancy force*) akibat perbedaan densitas fluida tersebut. Perbedaan kerapatan itu sendiri biasa terjadi karena adanya perbedaan temperatur akibat proses pemanasan. Sedangkan pada konveksi paksa pergerakan fluida terjadi akibat oleh gaya luar seperti dari kipas (fan) atau pompa. Pada perpindahan kalor konveksi berlaku hukum pendinginan *Newton*, yaitu:

$$q = h.A(T_s - T_\infty) \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

q = Energi kalor [W]

h = Koefisien perpindahan kalor konveksi [$W/m^2.K$]

A = Luas area permukaan [m^2]

T_s = Temperatur permukaan [K]

T_∞ = Temperatur ambient [K]

BAB III

DESAIN DAN MANUFAKTUR

3.1 Konsep Desain

Pada acuan desain alat ini, digunakan temperatur dingin tanpa beban, sekitar 2 – 6°C [21]. Desain ini merupakan pengembangan dari desain yang sudah ada sebelumnya (Sugiyanto, budi susanto dan leo sahat “Pengembangan Cool-Hot Box Sepeda Motor Berbasis Termoelektrik dan Heat Pipe). Hanya saja pengembangan yang dilakukan pada perancangan ini adalah penambahan jumlah peltier dan posisi yang dirubah. Berdasarkan kebutuhan-kebutuhannya, maka perlu digambarkan pemikiran-pemikiran umum yang mendasari perancangan alat ini, diantaranya:

1. Menggunakan 4 buah elemen peltier ganda disusun seri pada setiap sisi, karena pada dasarnya temperatur dingin yang harus tercapai sekitar 0 - 5°C. Elemen peltier digunakan karena bentuknya yang ringkas dan tidak menggunakan refrigeran sebagai media perpindahan kalor. Elemen peltier disusun paralel secara perakitan (*assembly*) dan seri secara kelistrikan. Tujuan disusun paralel secara perakitan (*assembly*) adalah agar didapatkan ΔT yang semakin tinggi, sehingga kalor yang dilepas semakin besar. Sedangkan disusun seri secara kelistrikan adalah agar diperoleh nilai arus listrik yang optimal.
2. Karena prinsip kerja peltier menggunakan ΔT , yaitu temperatur dingin maksimal = temperatur panas maksimal - ΔT . Untuk dapat mencapai temperatur sisi dingin yang optimal, maka temperature pada sisi panasnya harus diturunkan serendah-rendahnya. Untuk mengoptimalkan proses pelepasan kalor, tidak cukup hanya dengan konveksi alami mengingat tingginya temperatur yang dihasilkan oleh sisi panas peltier. Maka dari itulah digunakan metode konveksi paksa yaitu dengan menggunakan fan.
3. Selain menggunakan *elemen peltier* pada sisi bawah *cool box*, dipasang juga alat penyerap panas. Alat tersebut adalah sirip aluminium dan kipas. Fungsi dari kipas adalah untuk melepaskan kalor dari peltier ke lingkungan yang diserap oleh sirip aluminium.

4. Menggunakan plat konduktor aluminium. Hal ini bertujuan untuk mempercepat penyerapan kalor pada ruang pada kondisi pencapaian temperatur ruang dingin. Sedangkan untuk pencapaian ruang panas, akan terjadi pelepasan panas dari sisi panas peltier menuju ruang aluminium.
5. Dalam perakitan (*assembly*) antara plat ruang pendingin, *peltier* dan sirip aluminium, pasti terdapat rongga-rongga berukuran mikro yang dapat menyebabkan tidak meratanya proses transfer kalor antar komponen atau terjebaknya udara didalam rongga tersebut. Untuk itu diperlukan suatu material yang bersifat konduktor dan mampu mengisi ruang-ruang kosong tersebut. Material yang digunakan berupa pasta dengan daya hantar thermal yang tinggi sekaligus memiliki sifat melekatkan antar komponen, sehingga membantu menjaga posisi komponen-komponen yang saling bersentuhan supaya tidak bergeser sewaktu alat dioperasikan.
6. Untuk mengoptimalkan proses pendinginan dan diperlukan suatu sistem isolasi. Isolasi diletakkan pada sisi luar box aluminium dan sisi dari tutup box tersebut. Isolasi ini harus memiliki sifat isolator yang sangat baik mengingat letak dan posisinya sebagai pembatas *cooling-heating system*.
7. Secara operasional alat ini bersifat *portable* dan cenderung diletakan pada kendaraan bermotor, maka sumber tegangan yang digunakan adalah aki dengan tegangan 12 VDC.
8. Sistem kelistrikan (*wiring electric*) ini hanya menggunakan saklar sebagai ON-OFF dari *carrier box* ini.

3.2 Desain Alat

Dalam mendesain alat *cool box* tentunya mengacu pada ukuran komponen-komponen yang digunakan, seperti peltier, box aluminium, sirip aluminium, dan ukuran komponen-komponen pelengkap lainnya. Selain ukuran, hal ini juga mengacu pada nilai estetika dan biaya, karena dari sisi desain alat ini berorientasi pada estetika dan biaya.

Desain dari *cool box* mengacu pada bentuk dari pemilihan box motor itu sendiri, karena dalam hal ini berpengaruh pada volume *cool box* yang akan dibuat.

Dalam pemilihan material pada komponen yang diperlukan, tentunya harus melihat dari sisi kualitas, harga dan ketersediaan yang ada di pasaran. Sebagai rinciannya akan dijelaskan sebagai berikut:

Di bawah ini adalah desain dari masing-masing komponen yang akan digunakan untuk keperluan assembly dari cool box pada carrier box pada sepeda motor.

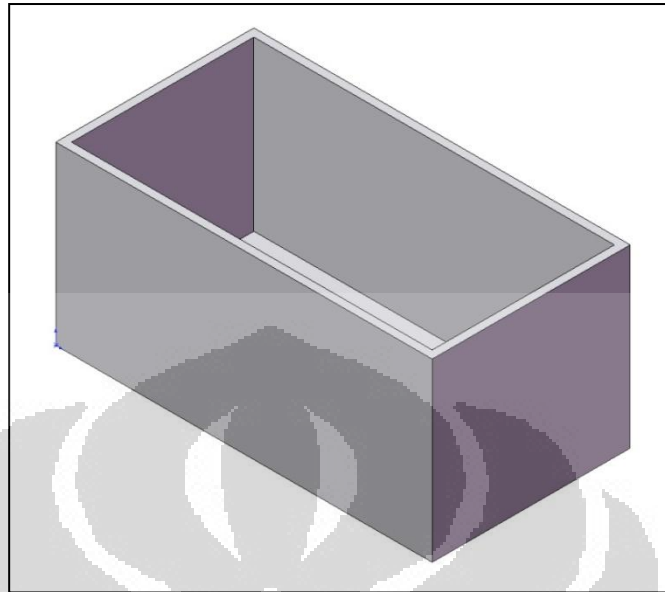
1. *Carrier Box Motor*



Gambar 3.1 *Carrier Box Motor*

Dalam pemilihan carrier box, aspek-aspek yang harus dilihat adalah berdasarkan kebutuhan dari barang yang akan dibawa dan yang akan didinginkan. barang-barang yang akan didinginkan, seperti minuman kaleng dengan asumsi kapasitasnya adalah sekitar enam minuman kaleng, untuk Vaksin dan darah. Sehingga pemilihan carrier box ini berdasarkan kebutuhan dan ketersediaan di pasaran maka kapasitas yang dipilih sekitar 30 Liter volume carrier box.

2. Box Aluminium



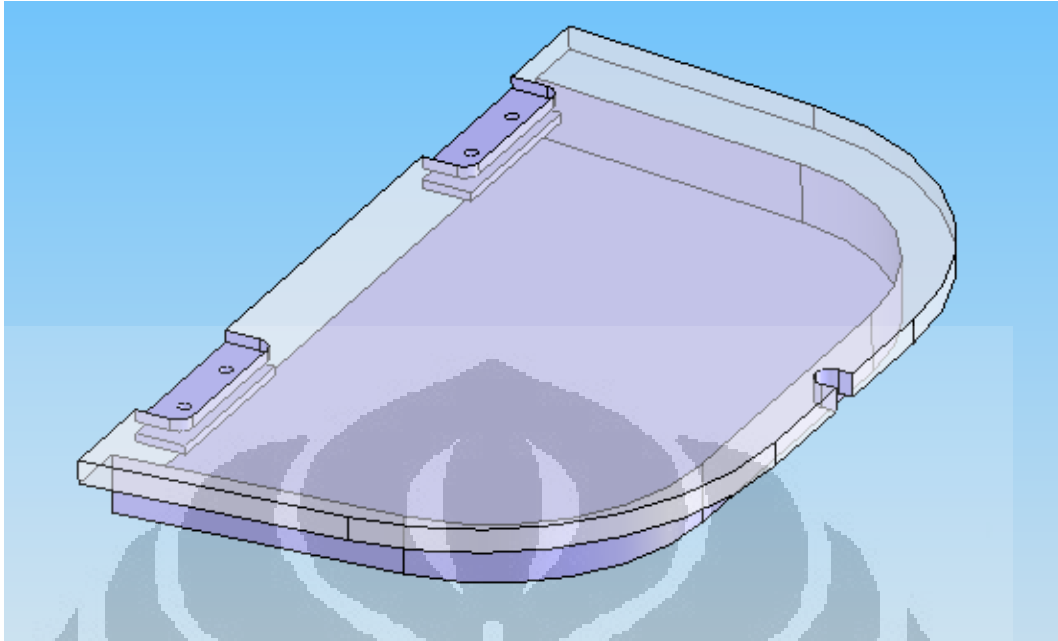
Gambar 3.2 Box Aluminium

Plat box aluminium berfungsi untuk menyerap kalor dari elemen peltier yang didukung dengan menggunakan *heat-sink fan*. Oleh karena itu, plat ini harus memiliki sifat antara lain:

1. Daya hantar kalor yang tinggi (berfungsi sebagai penyerap kalor utama dalam sistem cool-box).
2. Mampu menyimpan atau mempertahankan kondisi dingin.
3. Mudah dibentuk sesuai dengan keinginan.
4. Anti karat (mencegah kemungkinan terjadinya kondensasi pada ruang pendingin).
5. Aman terhadap kulit ketika disentuh.

Berdasarkan sifat-sifat diatas digunakan plat aluminium dengan ketebalan 0.5 mm. Untuk pembuatan *aluminium casing* dilakukan oleh *workshop* yang spesialisasi usahanya dibidang pembentukan pelat. Bahan baku yang digunakan adalah pelat aluminium dengan ketebalan 0.5 mm.

3. Tutup Cool Box



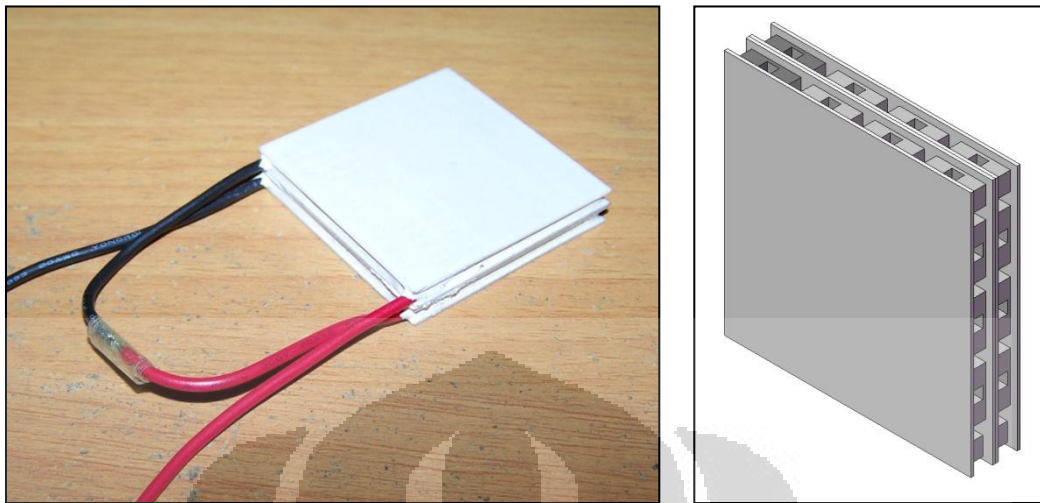
Gambar 3.3 Tutup Cool Box

Adapun sifat material yang diharapkan terdapat pada komponen ini adalah :

- Konstanta konduktivitas kalor yang kecil sehingga dapat berfungsi sebagai isolasi thermal.
- Nilai tahanan listrik yang tinggi sehingga dapat berfungsi sebagai isolasi listrik. Isolasi listrik ini bertujuan untuk memenuhi faktor keamanan dalam penggunaan, serta menghindari kerusakan komponen listrik akibat terjadinya *short*.
- Mudah dibentuk, sehingga desain dapat dilakukan dengan hambatan yang sedikit.
- Tidak getas, atau memiliki keuletan yang tinggi. Hal ini bertujuan agar dinding penyekat tidak mudah rusak jika mengalami benturan.

Berdasarkan sifat-sifat material diatas maka digunakan material akrilik dengan tebal 5mm

4. Peltier Ganda

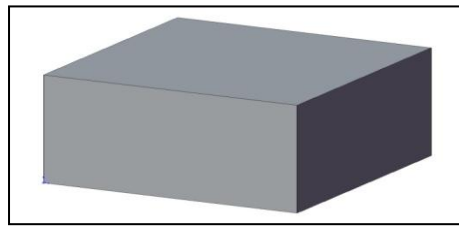


Gambar 3.4 Dobel Peltier

Dua buah elemen peltier yang digunakan disusun seri secara kelistrikan dan paralel secara termal. Penyusunan elemen peltier secara seri dalam hal kelistrikan dimaksudkan agar diperoleh nilai arus listrik yang optimal pada tegangan kerja 12V DC, karena jika disusun paralel akan memberikan hambatan total yang kecil sehingga arus yang dibutuhkan sangat besar untuk tegangan kerja yang sama. Penyusunan elemen peltier secara paralel dalam hal termal dimaksudkan agar didapat ΔT yang besar, karena sisi panas peltier pertama didinginkan oleh sisi dingin peltier kedua sehingga sisi dingin peltier pertama akan semakin dingin dan dapat memindahkan kalor lebih banyak dari ruang vaksin dibanding jika hanya memakai satu elemen peltier.

Peltier yang digunakan yang ada dipasaran dengan dimensi adalah 40 x 40 mm dengan ketebalan 4 mm. Spesifikasi yang lain adalah dilihat dari sistem kelistrikannya, yaitu input tegangan 12 VDC dengan arus maksimal 6 Ampere (dilihat dari stempel pada peltier). Berdasarkan desain yang akan digunakan adalah menggunakan jumlah keseluruhan peltier 4 buah peltier ganda. Secara perancangan (*assembly*), akan menggunakan metode parallel dengan rangkaian kelistrikan secara seri.

5. Spacer block



Gambar 3.5 spacer block

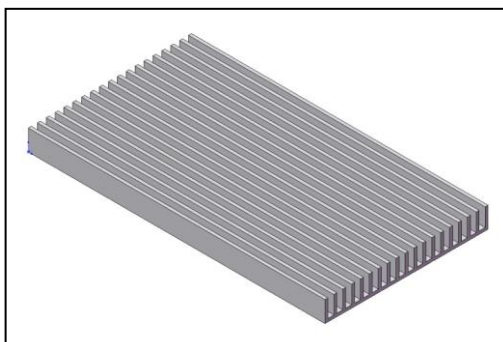
Spacer Block berfungsi sebagai penghantar kalor yang menghubungkan antara ruang cool box dan sisi dingin peltier. Material yang digunakan adalah aluminium dengan ukuran 80mm x 40mm x 20mm.

Aluminium memiliki sifat seperti :

- Konstanta konduktivitas kalor yang besar sehingga dapat berfungsi sebagai konduktor termal.
- Memiliki sifat tahan terhadap korosi.
- Tidak getas, atau memiliki keuletan yang tinggi. Hal ini bertujuan agar ruang pendingin tidak mudah rusak jika dilakukan proses bongkar pasang.
- Mudah dibentuk, sehingga *Spacer Block* dapat dibuat sesuai dengan desain yang dibuat.

Pembuatan *Spacer Block* dilakukan di workshop spesialis bubut dan milling, Pengerjaannya menggunakan mesin milling CNC untuk mendapatkan hasil yang baik.

6. Sirip aluminium



Gambar 3.6 Sirip Aluminium

Sirip aluminium yang dipilih mempunyai dimensi yang bisa mewakili dari desain dimensi cool box, karena hal ini akan mempengaruhi dari penempatan cool box. Berdasarkan desain, dimensi untuk sirip aluminium yang digunakan untuk cool sink adalah 200 mm x 120 mm dengan tinggi sirip 35 mm dan untuk heat sink adalah 200 mm x 180 mm dengan tinggi sirip 35 mm.

7. Kipas

Kipas ini berfungsi untuk menyerap kalor yang ada di sirip aluminium. Hal ini bertujuan untuk menurunkan kalor pada sisi panas peltier. Kipas yang dipakai untuk cool box ini adalah kipas yang mempunyai rpm cukup tinggi agar transfer panas dari heat sink ke lingkungan menjadi lebih bagus.

Spesifikasi kipas yang dipakai untuk cool box adalah sebagai berikut :



Gambar 3.7 Kipas

Nidec C34262-71 119x119x38mm (120x38mm)

Made in USA

Nidec Beta VTA450DC, Model C34262-71, P/N 930364 CQ

120mmx38mm Rear Thermistor Fan, 12V DC 0.8A, 3-wire, 5-pin, for Proliant ML350, 800 replaced by 90-C122633001-01

3 wire lead Compaq connector

Tabel 2. Spesifikasi kipas

SPESIFICATION:	
Rexus SKU Number	21238-1
Manufacture	Nidec
Size/Dimension	119x119x38
Mfg. part number	C34262-71
Bearing Type	Ball Bearing
Connector Type	7"3 wire lead (Compaq connector)
RoHS status	n/a
Voltage-rated	12V DC
Power rated	9.6 W
Speed	4050 RPM (Temperature detecting variable speed)
Air flow	130 CFM (variable)
Noise	53.5 dBA (variable)
MTBF	49,000 hrs
Packing/weight	Bulk, 24pcs/box, 18lbs

8. Isolator (sterofoam)



Gambar 3.8 Isolator (sterofoam)

Fungsi dari isolasi adalah membatasi proses serapan kalor agar udara pada ruang cool box tidak menyebar ke lingkungan dan juga mencegah masuknya kalor yang dari lingkungan ke dalam ruang cool box. Maka dari itu isolasi yang dipilih harus memiliki sifat-sifat antara lain:

1. Mempunyai daya isolator yang baik.
2. Daya hantar kalor yang rendah.
3. Mudah dibentuk sesuai dengan keinginan.
4. Elastis agar dapat mengisi rongga-rongga dari plat aluminium yang dibentuk menjadi cool box, yang mana permukaan dari plat aluminium yang tidak rata.

Isolasi pada desain ini akhirnya menggunakan sterofoam dengan ketebalan sekitar 30 mm. Penggunaan isolasi ini digunakan pada semua sisi terluar dari plat aluminium dan sisi dalam dari tutup *acrylic* digunakan *insulflex*.

Tabel 2. Karakteristik Insulflex

AVERAGE PHYSICAL PROPERTIES	RATING	TEST METHODS
Density	0.08 - 0.12 gm/cm ³ (5 - 8 lb/cuft)	ASTM D 1667
Thermal Conductivity at 20° mean temp.	0.0374 W/mK (0.26BTU.in/hr.ft ² . °F)	ASTM C 177
Temperature Limits °C	-40°C to +105°C	
Water Absorption (% by weight)	3	ASTM D 1056
Water Vapor Permeability Perm -in. Max	0.2	ASTM E 96
Ozone Resistance	Excellent	
Thermal Stability 7 days (% shrinkage) 200°F 7 days 220°F	4.5 5.5	ASTM C 548
Average Spread of Flame	CLASS 1	BS 476 PART 7
Average time of burning	Less than 5 seconds	ASTM D 635 – 91
Average extend of burning	15mm	
Flexibility	Excellent	
Weather and Ultraviolet Rays Resistance	Good	
Chemical Resistance	Good	
Odour	Negligible	
Mildew Resistance	Not Fungal Growth	

3.3 Perakitan Alat

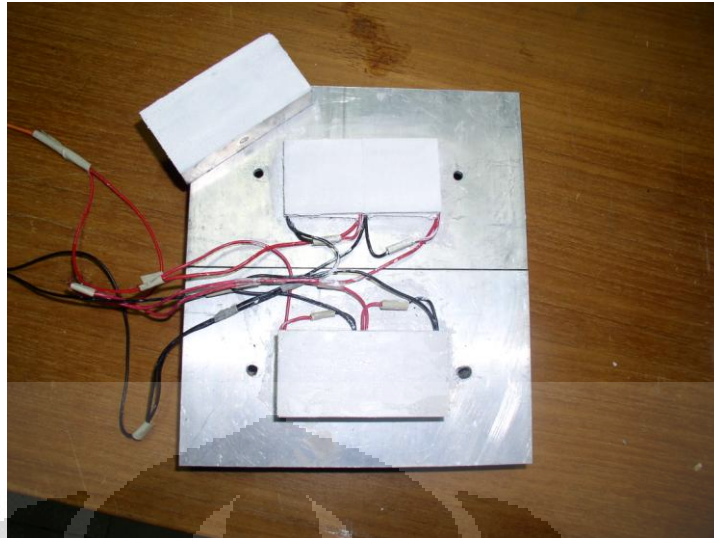
Setelah seluruh komponen alat telah siap, langkah selanjutnya adalah merakit komponen-komponen tersebut menjadi sebuah cool box. Langkah-langkah perakitannya adalah sebagai berikut :

- 1) Plat alumunium yang telah jadi ditempelkan dengan styerofoam menggunakan lem khusus untuk styerofoam agar alumunium menempel dengan rata dan tidak ada udara terjebak diantara keduanya yang dapat mengganggu proses pendinginan.
- 2) Setelah itu memasang tutup box yang ditempelkan pada box alumunium menggunakan engsel.



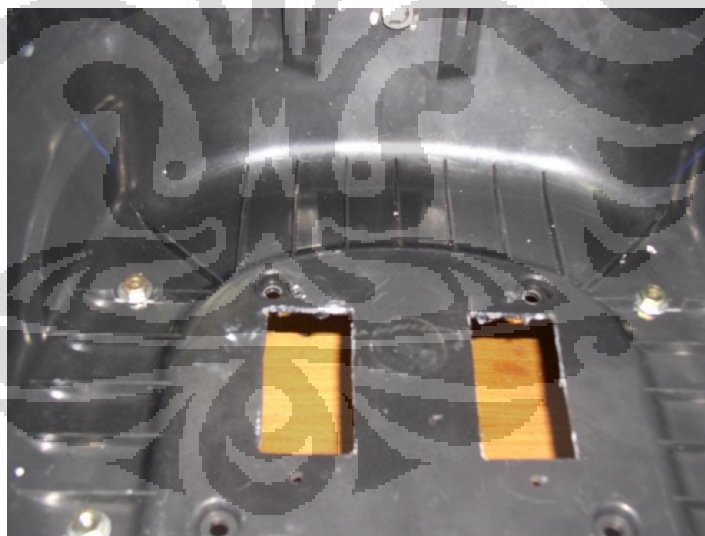
Gambar 3.9 alumunium yang telah diisolasi styerofoam

- 3) Menyusun rangkaian dobel peltier sesuai posisi bawah carrier box kemudian merapikan kabel-kabel keluaran elemen peltier menjadi satu kabel positif dan negative.
- 4) Meletakkan heat sink di bawah elemen peltier yang telah dirangkai kemudian menempelkan heat sink pada bagian sisi panas peltier menggunakan pasta.
- 5) Menyiapkan spacer block kemudian meletakkan spacer block diatas sisi dingin peltier yang telah diberi pasta terlebih dahulu.



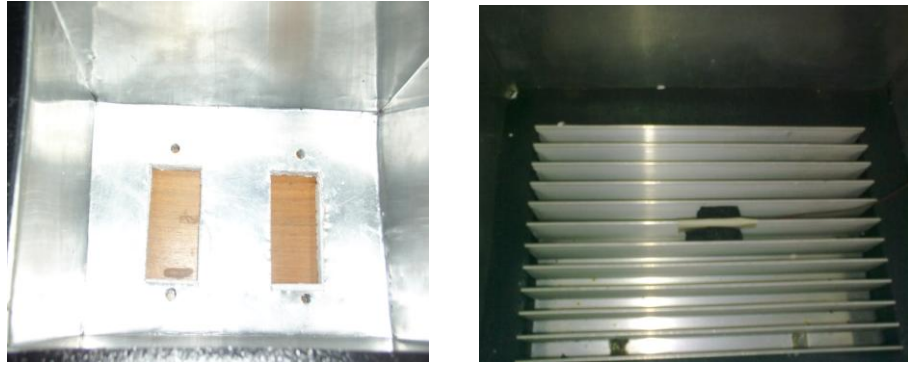
Gambar 3.10 peltir yang sudah dirangkai

- 6) Kemudian memotong bagian alas carrier box sesuai ukuran spacer block (80 mm x 40 mm) dan membuat lubang 4 buah lubang untuk dudukan baut yang dipasang pada braket motor.



Gambar 3.11 alas carrier box

- 7) menggabungkan rangkaian peltir yang telah dirakit bersama heat sink, spacer block dan carrier box dengan aluminium yang telah disolasi kemudian meletakkan cool sink pada bagian dalam aluminium lalu mengikat menggunakan baut dan mur.



Gambar 3.12 box alumunium yang sudah dipasang cool sink

- 8) Setelah semuanya terakit pasang isolasi bagian tutup box menggunakan insulflex dan rongga-rongga yang terdapat pada carrier box diisi dengan styerofoam agar isolasi dan bentuknya menjadi bagus.



Gambar 3.13 cool box yang telah dirakit dengan semua komponen

- 9) Buat dudukan braket menggunakan besi siku yang juga digunakan untuk tempat mengikatnya kipas.



Gambar 3.14 Dudukan Braket Carrier Box

10) Hasil akhir Cool Box



Gambar 3.15 Hasil akhir Cool Box

BAB IV

PENGUJIAN *COOL BOX*

4.1 Tujuan Pengujian

Tujuan dari pengujian yang dilakukan adalah untuk mengetahui *performance* atau unjuk kerja dari *cool box* dengan menggunakan sistem pendingin elemen peltier ditinjau dari perubahan temperatur *cabin*, sehingga dapat diketahui perbandingan unjuk kerja desain saat ini dan desain sebelumnya.

4.2 Komponen Pengujian

Peralatan pendukung diperlukan agar pengujian dan pengambilan data dapat dilakukan, peralatan tersebut berupa peralatan seperti power supply, termokopel dan data akuisisi.

4.2.1 Termokopel

Termokopel yang digunakan dalam pengujian adalah termokopel wire 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. Nilai dan fungsi dari gradien temperatur tersebut bergantung pada jenis komposisi material termokopel yang digunakan. Karena output dari termokopel berupa tegangan (mV), maka untuk membacanya digunakan data akuisisi.



Gambar 4.1 Termokopel Wire

Data Sheet :

Produsen : PELICAN WIRE COMPANY – NAPLES, FLORIDA

Tipe Termocouple : ANSI Type “K” Spec

Bahan : Chromel P / Alumel

Diameter : 1,4478 mm

Kode Produk : (K36-2-506)

Keterangan Kode

K : Merupakan Tipe K

36 : Thermocouple Wire Gauge Size of The T/C Wire

2 : Calibration Designations (Special atau Standard Limits of error) for the T/C wire

506 : Type Insulasi (Single atau Jacket), lihat tabel

Tabel 3. Operasi Termokopel

PELICAN WIRE CONTINUOUS OPERATING TEMPERATURES FOR INSULATED THERMOCOUPLE WIRE									
Part	Type of insulation	TEMPERATURE RATINGS				PHYSICAL PROPERTIES			MFG OPERATION
		MAX CONTINUOUS TEMP		MAX SINGLE READING		ABRASION RESISTANCE	MOISTURE RESISTANCE	CHEMICAL RESISTANCE	
506	5 mils Feb Singles/5 Mils Feb Duplex (mayvary 5-7)	204°C	400°F	260°C	500°F				EXCELLENT

Website Spek Lengkap

<http://www.pelicanwire.com/thermocouplewire.htm>

Untuk menjamin keakuratan data, termokopel perlu diletakan pada posisi yang tepat, peletakan termokopel yang salah akan menyebabkan data yang dihasilkan menjadi tidak valid. Berikut ini dijelaskan mengenai posisi dan gambar peletakan termokopel pada pengujian *cool box*

1. Ambient

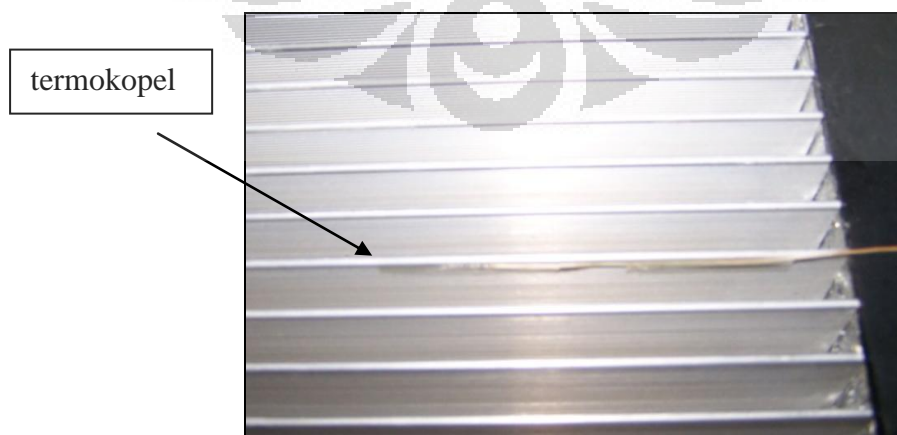
Untuk mengukur suhu ruangan unit *cool box* berada maka sebuah termokopel diletakan pada bagian luar *cool box*. Ujung sensor diletakan mengambang dan tidak bersentuhan dengan permukaan apapun.



Gambar 4.2 Posisi termokopel ambient

2. Cold Sink

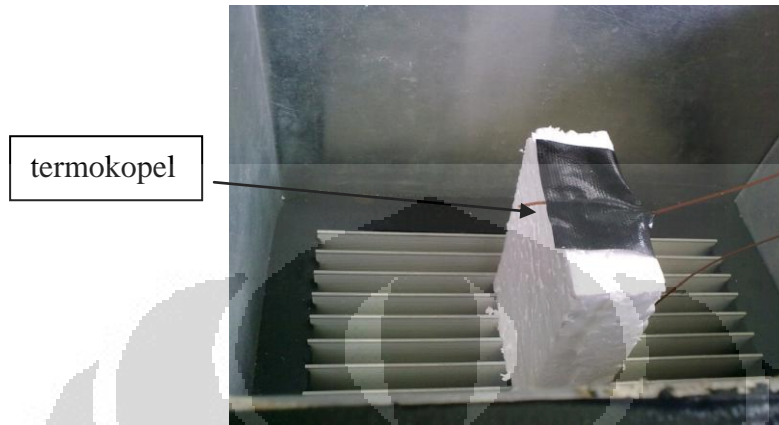
Termokopel untuk bagian ini pada ujung sensornya direkatkan dengan bantuan perekat plastik untuk memastikan ujung sensor melekat dengan kuat.



Gambar 4.3 Posisi termokopel *Cold Sink*

3. *Cabin*

Untuk pengukuran suhu ruangan *cabin* dari *cool box* ujung sensor termokopel diletakan mengambang dan direkatkan dengan perekat plastik pada bagian tengah kabin.

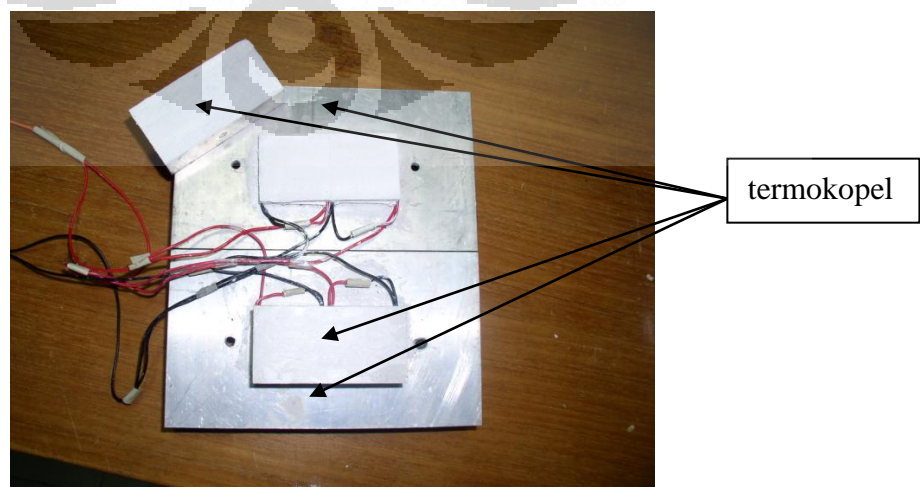


Gambar 4.4 Posisi termokopel *cabin*

4. Termokopel Peltier

Untuk termokopel ini terdapat 4 titik pengujian.

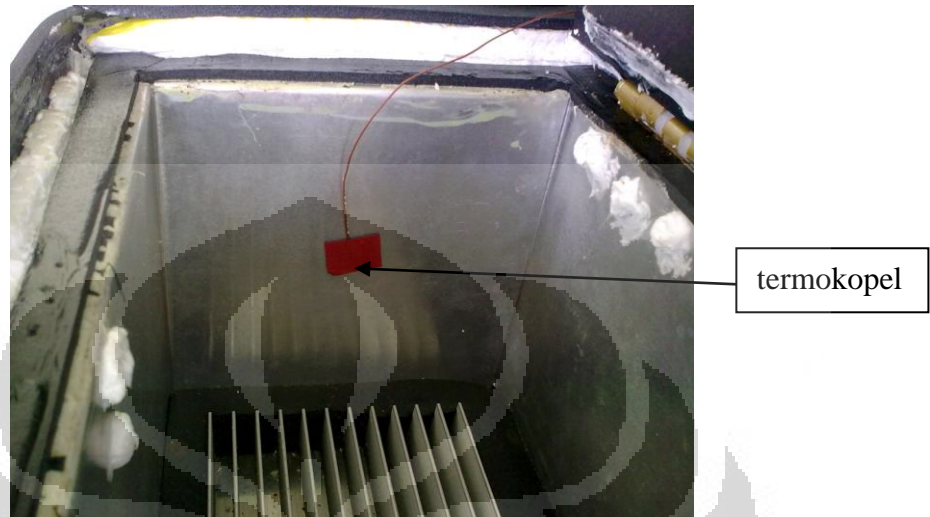
- Termokopel untuk Spacer Block A dan Termokopel untuk Spacer Block B diletakkan pada bagian tengah-tengah spacer block yang telah dilubangi diameter 2mm.
- Termokopel untuk Heat Sink A dan Termokopel untuk Heat Sink B diletakkan pada bagian tengah heat sink yang telah dilubangi sekitar diameter 2mm.



Gambar 4.5 posisi termokopel peltir

5. Termokopel Alumunium case

Pada posisi termokopel ini digunakan untuk mengukur temperature pada dinding box almunium.



Gambar 4.6 posisi termokepel alumunium case

4.2.2 Data Akuisisi



NI cDAQ-9172

Gambar 4.7 NI CompactDAQ Chassis

Gambar diatas adalah chassis yang digunakan, ini adalah dudukan untuk modul pembaca thermocouple nya

Website Produk

<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/202545>



NI 9211

4-Channel, 14 S/s, 24-Bit, ± 80 mV

Gambar 4.8 Thermocouple Input Module

Gambar diatas adalah modul pembaca thermocouple yang digunakan, modul ini dimasukan ke dalam chassisnya.

Website Produk

<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/14165>

4.2.3 DC Power Supply



Gambar 4.9 DC Power Supply

M10-TP3003L

M 10-TPL SERIES Feature

- Output off function
- New panel design Two adjustable & one fixed output
- Cooling with the fan at back

SPECIFICATIONS

- Line Regulation : $CV \leq 1 \times 10^{-4} + 3mV$ $CC \leq 2 \times 10^{-3} + 3mA$
- Load Regulation : $CV \leq 1 \times 10^{-4} + 2mV$ $CC \leq 2 \times 10^{-3} + 3mA$
- Riplly & Noise : $CV \leq 0.5mV$ rms $CC \leq 3mArms$
- Display Accuracy: Voltmeter $\pm(0.2\%Rdg+2digits)$ Ampmeter $\pm(1.0\%Rdg+2digits)$
- Input Voltage :
110~127VAC $\pm 10\%$ /60Hz, 220~240VAC $\pm 10\%$ /50Hz, Switchable

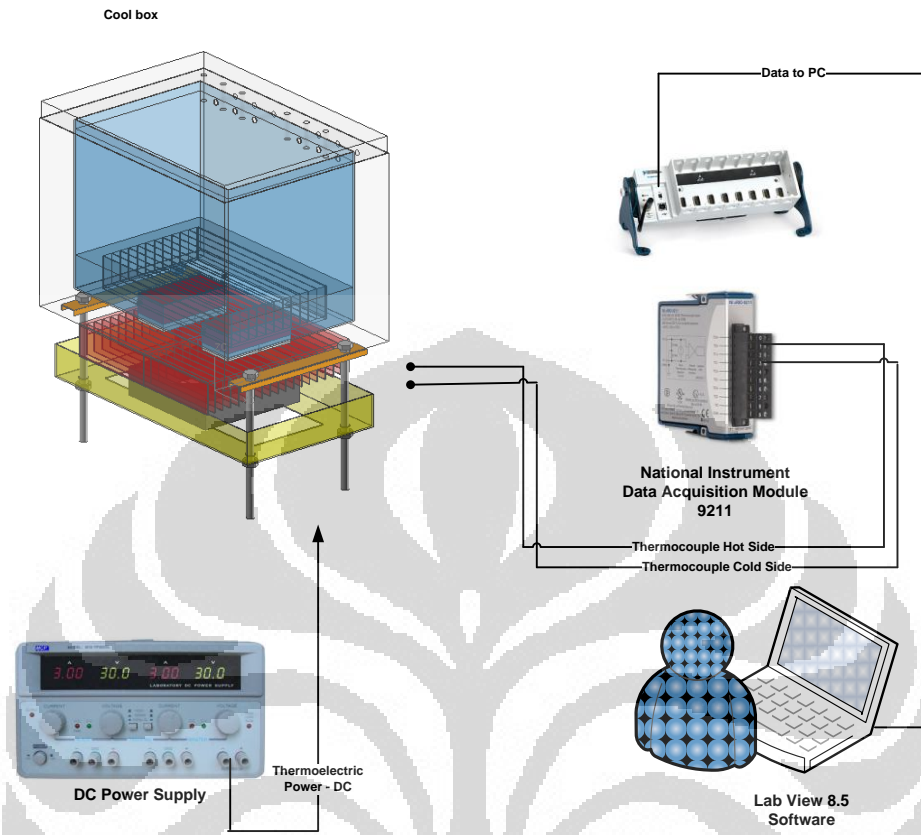
Tabel 4. Spesifikasi DC Power Supply

Model	Voltage	Current	Fixed output	Dimensions(WxHxD)	Weight (kg)
M10-TP3005L	0~30Vx2	0~5Ax2	5V/3A	260x160x330mm	9

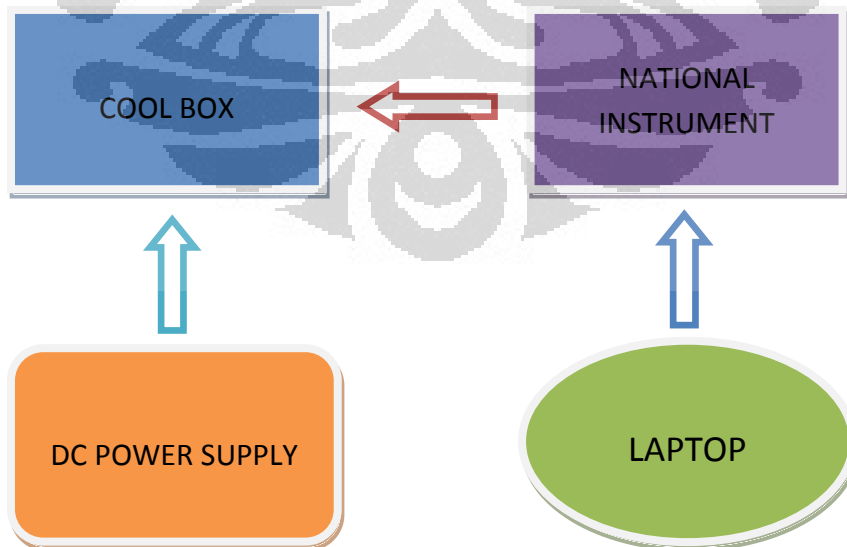
Website Produk

<http://www.mcps.com/M10-TPL%20series%20M10-TPH%20series.html>

4.3 Instalasi Pengujian



Gambar 4.10 Skema Pengujian Cool Box



Gambar 4.11 Bagan Pengujian Cool Box

Pada gambar 4.10 dapat dilihat skema alat uji yang digunakan untuk menguji kinerja prototipe *cool box* Parameter utama pada pengujian ini adalah temperatur, sehingga pada prototipe dipasang 8 termokopel tipe K antara lain pada *cabin, ambient, heatsink, cold sink* dan empat buah termokopel untuk masing-masing spacer block 2 buah dan Heat sink 2 buah.

Untuk mempermudah pengukuran temperatur maka keseluruhan termokopel disambung ke data akuisisi yang sudah terkoneksi dengan komputer. Satu unit *power supply* sebagai sumber tenaga untuk peltier.

4.4 Variasi Pengambilan Data

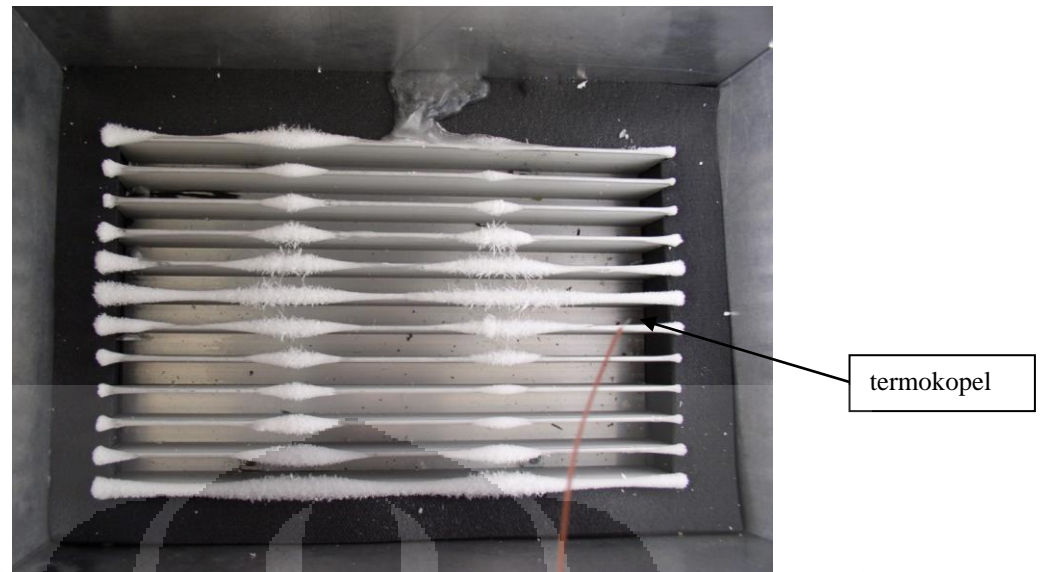
Pengujian dan pengambilan data dilakukan di Engineering Center FTUI. Pengambilan data tersebut meliputi :

Tabel 5 Variasi Pengambilan Data

	Kondisi	Tegangan (V)	Temperatur ($^{\circ}$ C)					
			1	2	3	4	5	6
Tanpa beban	Lab	8						
		10						
		12						
	Jalan	8						
		10						
		12						
Dengan beban	Kaleng		1	2	3	4	5	6
	Lab	8						
		10						
		12						
	Jalan	8						
		10						
		12						

Berikut diperlihatkan beberapa foto sesudah *cool box* diuji dengan beberapa variasi beban.





Gambar 4.12 Foto Setelah Pengujian

4.5 Pengujian Data Jalan

Untuk uji jalan cool box menggunakan motor, cool box dirakit pada motor menggunakan braket motor. Pada pengujian ini menggunakan jenis aki kering 12V dengan arus 9A yang disambung langsung pada kelistrikan motor, sehingga aki dapat terisi kembali.



Gambar 4.13 Perakitan Cool Box Pada motor

BAB V

HASIL DAN ANALISA

5.1 Hasil Dan Anlisa Pengujian

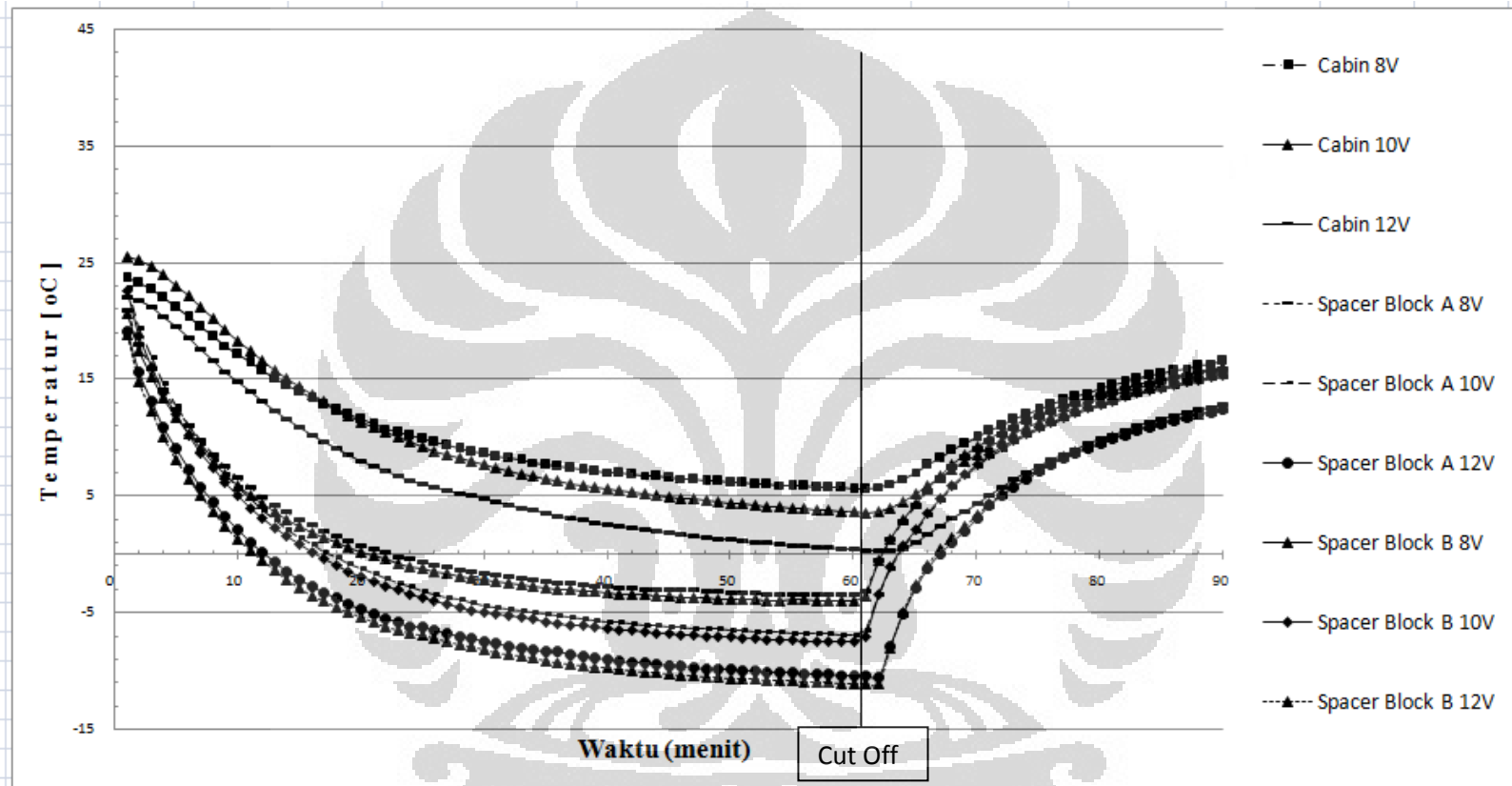
Berikut adalah data-data dan analisa hasil pengujian *cool box* yang dilengkapi *heatsink-fan*. Penyajian data yang diperoleh akan digambarkan dalam grafik berupa penurunan temperatur terhadap waktu pendinginan.

Cool box selalu difungsikan dengan *setting* yang tetap ketika dilakukan pengambilan data, peltier dan kipas selalu dioperasikan dengan tegangan tetap yaitu 12 volt. Variasi pengujian hanya dilakukan pada beban berupa air yaitu 1 kaleng (330mL), 2 kaleng, 3 kaleng, 4 kaleng, 5 kaleng, dan 6 kaleng.

Lamanya pengambilan pada saat pengujian adalah 1,5 jam (1 jam running dan setelah 1jam dimatikan selama 0,5 jam). Data akuisisi menghasilkan data mentah setiap 1 detik, lalu data dirata-ratakan menjadi per 5 menit dengan bantuan Komputer

5.2 Analisa Grafik Distribusi Temperatur Tanpa Beban

Berikut ini diperlihatkan data temperatur dari berbagai titik pengujian Dengan berbagai variasi Tegangan.



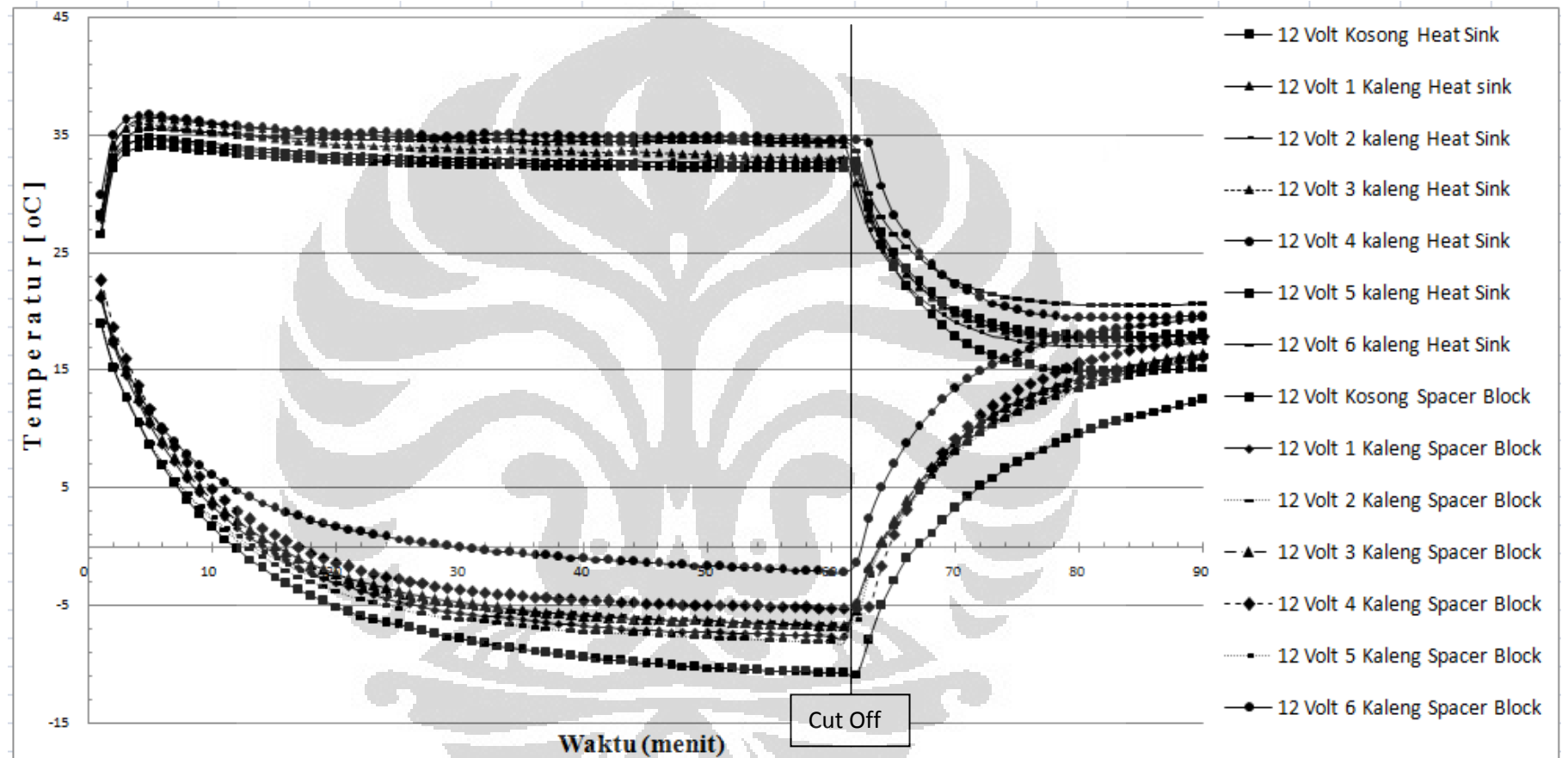
Grafik 5.1 Distribusi Temperatur dengan variasi tegangan untuk beban kosong

Dari Grafik 5.1 dapat dilihat hampir semua titik pengujian memperlihatkan trend kenaikan dan penurunan temperatur yang hampir sama, pengecualian terjadi pada temperatur *cabin*. Penggunaan tegangan 10 V dan 8V pada *cool box* menyebabkan penurunan suhu *cabin* relatif lebih lambat. Untuk mencapai suhu *cabin* sebesar 0 °C pada tegangan 12V dibutuhkan waktu sekitar 50 menit, sedangkan pada 10V untuk waktu yang sama temperaturnya sekitar 3 °C, untuk 8V temperatur yang dicapai sekitar 5 °C.

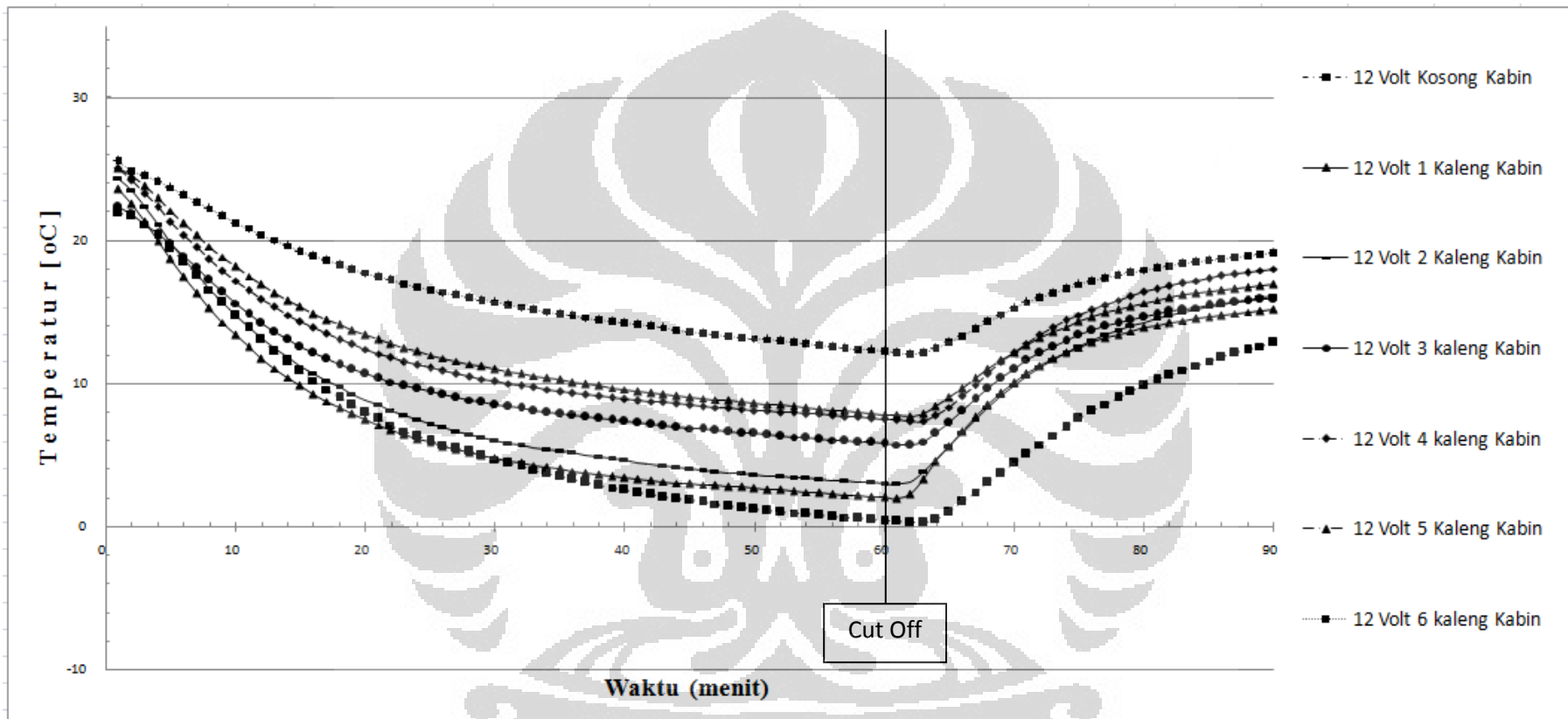
Dari sini dapat ditarik kesimpulan bahwa besarnya tegangan sangat berpengaruh terhadap kerja pendinginan yang dilakukan peltier. Penambahan tegangan berarti kerja peltier akan optimal tetapi tidak boleh melebihi batas tegangan yang diijinkan.

5.3 Analisa Grafik Temperatur *Cabin* Dengan Beban

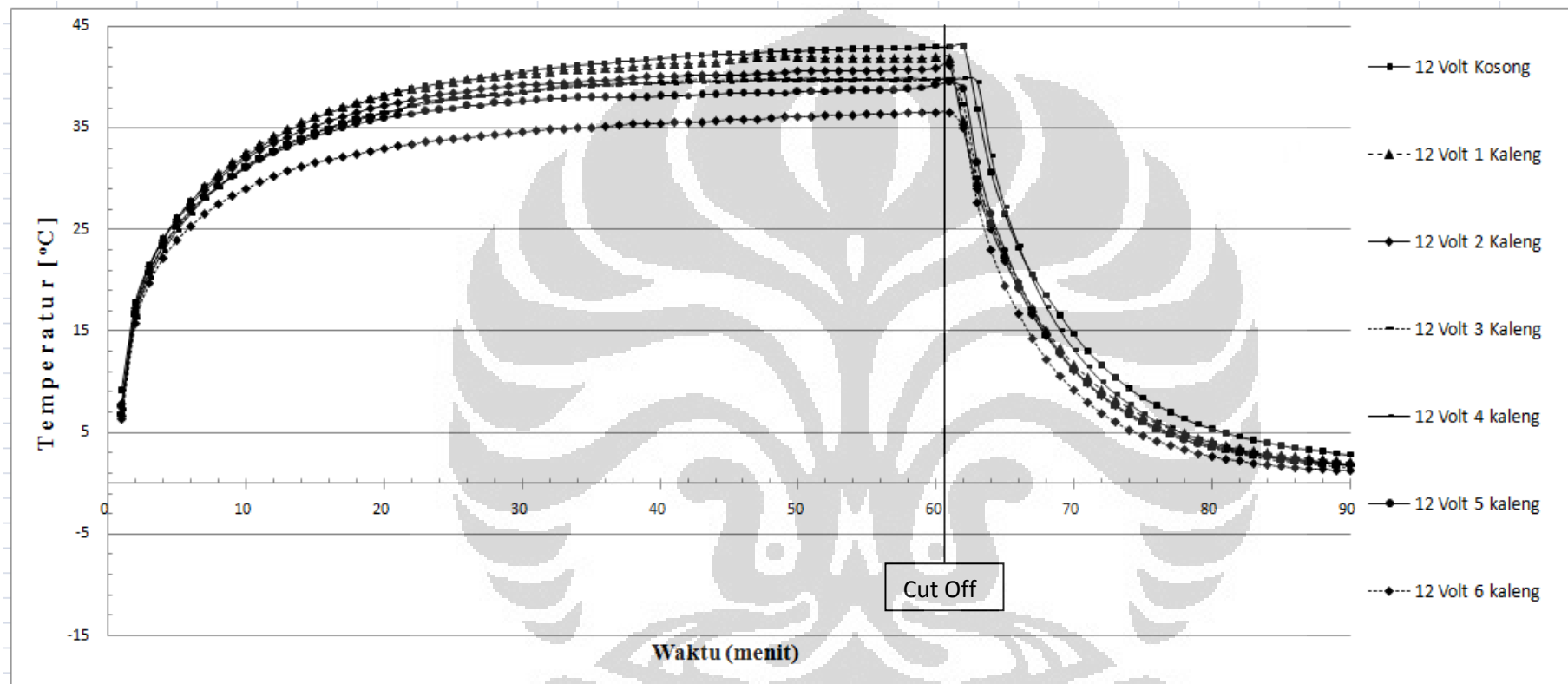
Berikut ini diperlihatkan data temperatur dari berbagai titik pengujian dengan menggunakan pendinginan elemen peltier. Variasi tegangan dan beban yang digunakan adalah 1 kaleng (330 mL) sampai 6 kaleng (beban maksimum).



Grafik 5.2 Heat sink dan spacer block untuk berbagai variasi beban dan tegangan



Grafik 5.3 Temperatur Hot-Cold Cabin untuk berbagai variasi beban pada 12V



Grafik 5.4 ΔT Heat Sink dan Spacer Blok untuk Variasi Beban 12V

Dari Grafik 5.2 yang ditampilkan sebelumnya dapat kita lihat hampir semua titik pengujian memperlihatkan trend kenaikan dan penurunan temperatur yang hampir sama. Pada Grafik 5.3 temperatur *cabin*, Pembebanan maksimum pada *cool box* menyebabkan penurunan suhu *cabin* relatif lebih lambat. Untuk menit ke-40 tanpa beban dicapai temperatur 2 °C, untuk beban 1 kaleng dicapai temperatur 4 °C, untuk beban 2 kaleng dicapai temperature 5°C, untuk beban 3 kaleng dicapai temperatur 7 °C, untuk beban 4 kaleng dicapai temperatur 10 °C, untuk beban 5 kaleng dicapai temperatur 12 °C, dan untuk beban 6 kaleng dicapai temperatur 14 °C. Kemudian dapat dilihat untuk menit ke-60 tanpa beban dicapai temperatur 0°C, untuk beban 1 kaleng dicapai temperatur 2°C, untuk beban 2 kaleng dicapai temperatur 4°C, untuk beban 3 kaleng dicapai temperatur 6°C, untuk beban 4 kaleng dicapai temperatur 7 °C, untuk beban 5 kaleng dicapai temperatur 8 °C, dan untuk beban 6 kaleng dicapai temperatur 12 °C.

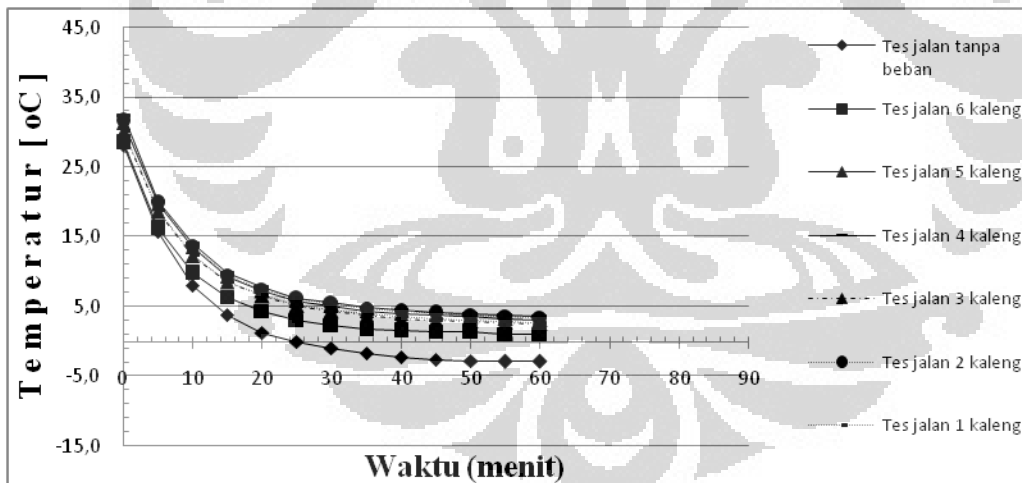
Dari sini dapat ditarik kesimpulan bahwa pembebanan sangat berpengaruh terhadap kerja pendinginan yang dilakukan peltier. Penambahan beban berarti penambahan jumlah kalor yang harus diserap oleh sisi dingin peltier. Karna peltier bekerja dengan prinsip ΔT , maka agar penurunan temperatur *cabin* dapat dipercepat lagi, perlu dilakukan upaya peningkatan kinerja peltier dengan cara menurunkan serendah-rendahnya temperatur pada sisi panasnya.

Pada Grafik 5.4 berfungsi untuk mengetahui kinerja dari peltir itu sendiri, dapat dilihat untuk beban kosong pada menit ke-30 nilai ΔT -nya 40 °C, untuk beban 1 kaleng dicapai temperatur 39°C, untuk beban 2 kaleng dicapai temperatur 38°C, untuk beban 3 kaleng dicapai temperatur 38°C, untuk beban 4 kaleng dicapai temperatur 37 °C, untuk beban 5 kaleng dicapai temperatur 36 °C, dan untuk beban 6 kaleng dicapai temperatur 35 °C. Dari menit awal sampai menit ke-60 terjadi kenaikan nilai ΔT , yang pada akhirnya apabila Cool box terus dinyalakan maka nilai rata-rata ΔT adalah lama-lama akan stabil. Nilai ΔT menunjukkan kinerja dari elemen peltier.

5.4 Analisa Grafik Tes Jalan

Untuk Temperatur Cool Sink

t (menit)	Tcs 0	Tcs 6	Tcs 5	Tcs 4	Tcs 3	Tcs 2	Tcs 1
0	28,1	28,5	31,3	32,4	30,1	31,6	30,3
5	15,7	16,2	19,7	20,1	18,6	19,9	18,8
10	8,0	9,8	13,5	14	12,3	13,7	12,4
15	3,8	6,4	9,3	9,8	8,5	9,5	8,6
20	1,2	4,4	7,2	7,8	6,5	7,5	6,7
25	0,0	3,1	5,8	6,2	5,1	6,1	5,3
30	-1,0	2,3	5,1	5,6	4,3	5,4	4,5
35	-1,7	1,8	4,4	4,9	3,7	4,7	4
40	-2,3	1,5	4	4,5	3,3	4,3	3,5
45	-2,6	1,4	3,8	4,2	3,1	4,1	3,3
50	-2,8	1,3	3,5	3,9	2,9	3,8	3,1
55	-2,9	1,1	3,3	3,7	2,7	3,6	2,9
60	-2,9	1	3,1	3,6	2,5	3,4	2,7



Gambar 5.1 Data Cold Sink Tes Jalan

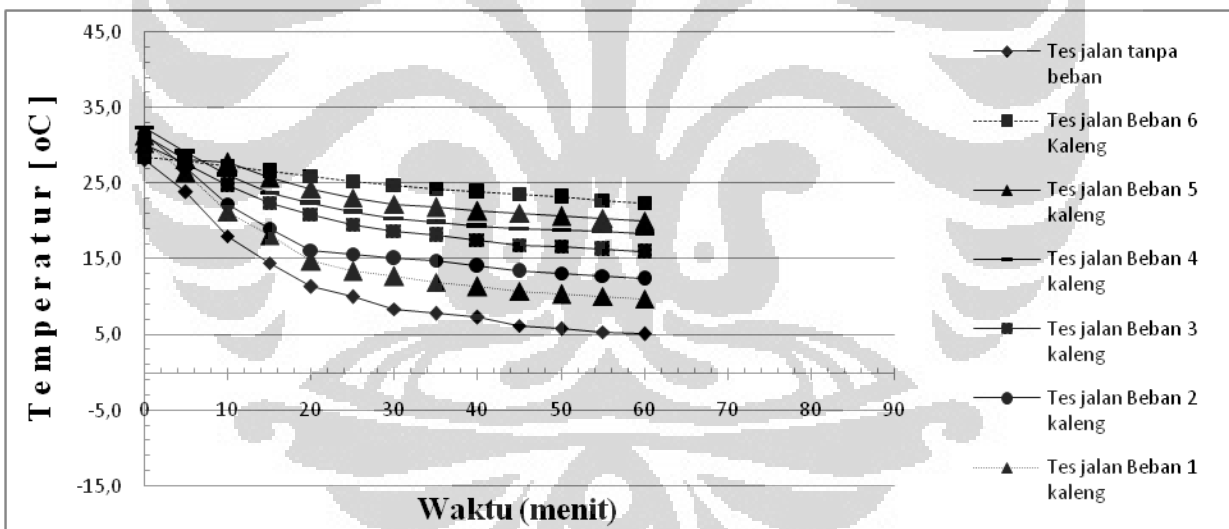
Keterangan :

Tcs = Temperatur Cold Sink

Posisi termokopel seperti Gambar 4.3

Untuk Temperatur Cabin

t (menit)	Tcabin 0	Tcabin 6	Tcabin 5	Tcabin 4	Tcabin 3	Tcabin 2	Tcabin 1
0	28,1	28,5	31,3	32,4	30,1	31,6	30,3
5	23,9	27,9	28,2	29,1	27,6	27,1	26,4
10	18,0	27,3	27,8	26,1	24,7	22,3	21,3
15	14,5	26,6	25,7	23,8	22,4	19,1	18,1
20	11,4	26,0	24,3	22,4	20,9	16,2	14,8
25	10,0	25,3	23,1	21,2	19,6	15,7	13,4
30	8,4	24,8	22,3	20,4	18,7	15,1	12,7
35	7,8	24,3	21,9	19,8	18,1	14,8	12
40	7,3	23,9	21,4	19,3	17,5	14,1	11,4
45	6,2	23,6	21,1	19,1	16,9	13,4	10,8
50	5,8	23,2	20,7	18,9	16,7	13,1	10,4
55	5,4	22,8	20,4	18,7	16,3	12,8	10,1
60	5,1	22,4	20,1	18,3	15,9	12,4	9,8



Gambar 5.2 Data Cabin Tes jalan

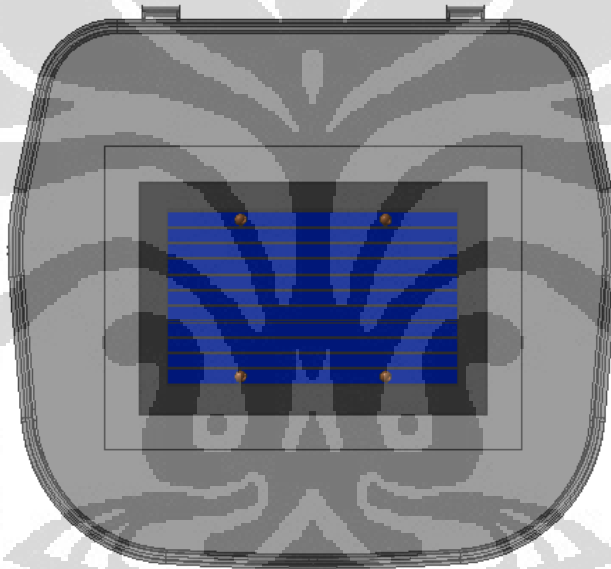
Keterangan :

Posisi termokopel seperti Gambar 4.4

5.5 Analisa Kalor Yang Hilang

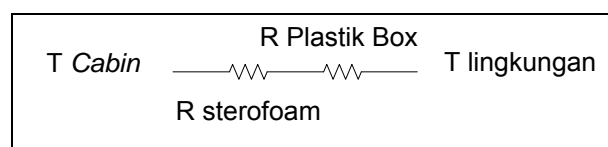
Perhitungan nilai kalor konduksi pada sistem isolasi *Cool Box* dilakukan dengan asumsi sebagai berikut :

- Kondisi tunak (*steady state*)
- Kontak hambatan antara dinding diabaikan.
- Permukaan dalam dianggap adiabatik.
- Konduktivitas termal material tidak berubah menurut waktu pendinginan.
- Suhu lingkungan diambil nilai rata-rata yaitu $23,79\text{ }^{\circ}\text{C}$



Gambar 5.3 Skematik isolasi *Cool Box* secara 2 dimensi

Dari gambar isolasi 2 dimensi maka dapat diketahui tahanan termalnya mempunyai rangkaian sebagai berikut :



Besarnya konduktivitas termal, luas keseluruhan dan tebal material isolasi ditunjukkan pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Konduktivitas termal, luas total dan jarak termal material isolasi

Material	K (W/mk)	A (m ²)	ΔX (m)
Isolasi Sterofoam	0,033	0,230	0,030
Isolasi Plastik Box	0,2	0,267	0,003

Analisis kalor yang hilang adalah q_{loss} (Watt), Nilai q dapat dihitung dengan menggunakan rumus perpindahan kalor pada dinding datar dengan persamaan :

$$q_{\text{pendinginan normal}} = \frac{T_{\text{cabin}} - T_{\text{lingkungan luar}}}{\left(\frac{\Delta X}{KA}\right)_{\text{sterofom}} + \left(\frac{\Delta X}{KA}\right)_{\text{Plastik}}}$$

T_{cabin} yang menjadi acuan adalah temperatur optimum *Cool Box* 4 °C.

Nilai kalor yang hilang pada sistem pendingin adalah :

$$\begin{aligned} q_{\text{pendinginan normal}} &= \frac{T_{\text{cabin}} - T_{\text{lingkungan luar}}}{\left(\frac{\Delta X}{KA}\right)_{\text{sterofom}} + \left(\frac{\Delta X}{KA}\right)_{\text{Plastik}}} \\ &= \frac{4 - 23,79}{\left(\frac{0,030}{0,033 \cdot 0,230}\right)_{\text{sterofom}} + \left(\frac{0,003}{0,2 \cdot 0,267}\right)_{\text{Plastik}}} \end{aligned}$$

$$= - 43,88 \text{ Watt}$$

1. Data Perhitungan

Daya input peltier	: 96 watt
Beban	: 6 kaleng @ 330mL
Waktu	: 60 menit (3600 detik)
$T_{cabin\ akhir}$: 12,39 °C
$T_{cabin\ awal}$: 24,56 °C
$T_{lingkungan(dinding\ luar\ box)}$: 23,79 °C
A_{atap}	: 0,043 m ²
A_{alas}	: 0,043 m ²
$A_{dinding\ kanan}$: 0,029 m ²
$A_{dinding\ kiri}$: 0,029 m ²
$A_{dinding\ depan}$: 0,043 m ²
$A_{dinding\ belakang}$: 0,043 m ²
h_o	: 25 W/m ² .K
h_i	: 25 W/m ² .K

keterangan :

A= Luas

Tabel 5.2 Massa dan kalor spesifik beban yang didinginkan

Beban	Massa (kg)	Cp* (J/(kg.K))
Air	1,98	4186
<i>Aluminium case</i>	0,2265	900
<i>Cold sink</i>	0,386	900
<i>Spacer Block</i>	0,333	900

Beban pendinginan kaleng diabaikan

* *Sumber : www.melcor.com*

2. Perhitungan Beban Transmisi (q_{trans})

Beban transmisi terjadi karena adanya perpindahan kalor secara konduksi dan konveksi melalui bagian dinding, alas ataupun atap persamaan yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Dengan :

q = Beban kalor konduksi dari dinding (Watt)

U = Koefisien perpindahan kalor keseluruhan ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

A = Luas penampang perpindahan kalor (m^2)

ΔT = Perbedaan temperatur udara luar dengan temperatur dalam ($^{\circ}\text{C}$)

Koefisien perpindahan kalor keseluruhan U dari dinding, lantai, dan atap dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{1}{h_o}}$$

Dengan :

U = Koefisien perpindahan kalor keseluruhan ($\text{W/m}^2\text{K}$)

x = Tebal dinding (m)

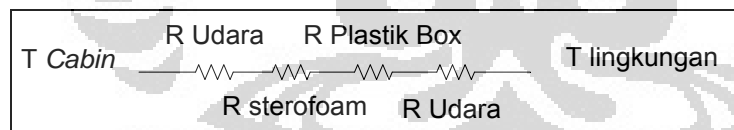
k = Konduktivitas termal material (W/mK)

h_i = Koefisien perpindahan kalor konveksi pada bagian dalam ($\text{W/m}^2\text{K}$)

h_o = Koefisien perpindahan kalor konveksi pada bagian luar ($\text{W/m}^2\text{K}$)

Perhitungan beban transmisi terbagi menjadi 3 bagian, yaitu :

a. Atap & Alas



$$x_{\text{sterofom}} = 0,03 \text{ m}, x_{\text{plastik Box}} = 0,003 \text{ m}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,030}{0,033} + \frac{0,003}{0,2} + \frac{1}{25}} = 0,995 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q_{\text{atap \& alas}} = 2 (U \cdot A \cdot \Delta T)$$

$$= 2 \cdot (0,995 (0,043) (23,79 - 12,39)) = 0,975 \text{ Watt}$$

b. Dinding

- Kanan dan Kiri



$$x_{\text{sterofom}} = 0,030 \text{ m}, x_{\text{plastik Box}} = 0,003 \text{ m}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,030}{0,033} + \frac{0,003}{0,2} + \frac{1}{25}} = 0,995 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{dinding kanan dan kiri}} &= 2(U \cdot A \cdot \Delta T) \\ &= 2(0,995 (0,029) (23,79-12,39)) \\ &= 0,658 \text{ Watt} \end{aligned}$$

c. Belakang dan Depan



$$x_{\text{sterofom}} = 0,030 \text{ m}, x_{\text{plastik Box}} = 0,003 \text{ m}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,030}{0,033} + \frac{0,003}{0,2} + \frac{1}{25}} = 0,995 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{dinding belakang dan depan}} &= 2(U \cdot A \cdot \Delta T) \\ &= 2(0,995 (0,0432) (23,79-12,39)) \\ &= 0,98 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Maka total beban kalor transmisi adalah :

$$\begin{aligned} Q_{\text{transmisi}} &= Q_{\text{atap dan alas}} + Q_{\text{dinding kanan dan kiri}} + Q_{\text{dinding depan dan belakang}} \\ &= 0,975 + 0,658 + 0,98 = \mathbf{2,613 \text{ Watt}} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Beban Pendinginan (q_{cooling})

Beban pendinginan dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_{\text{beban yang didinginkan}} = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Hasil perhitungan q berdasarkan data perhitungan, dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

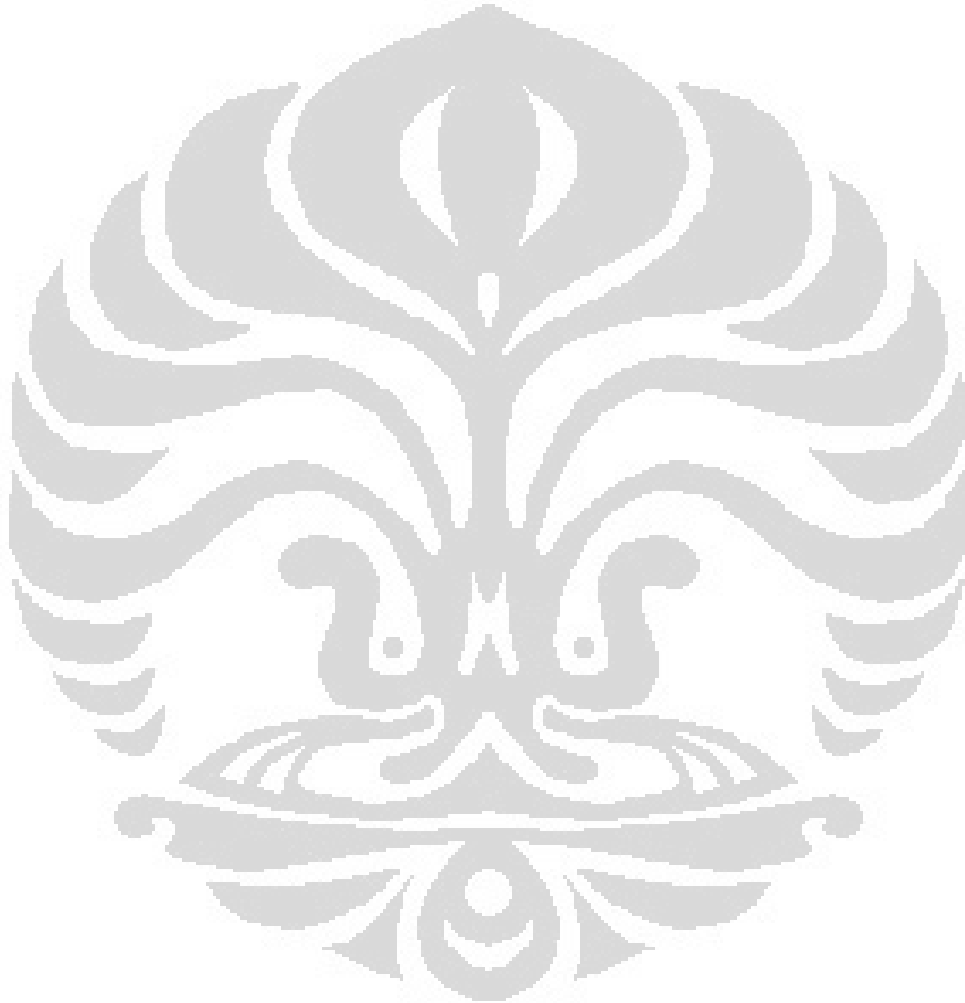
Tabel 5.3 Hasil perhitungan kalor yang dibutuhkan untuk mendinginkan beban.

Beban	q beban yang didinginkan (Watt)
Air	26,246
<i>Aluminium case</i>	0,645
<i>Cold sink</i>	1,100
<i>Spacer Block 2 buah</i>	0,949

$$\begin{aligned} Q_{\text{cooling}} &= q_{\text{air}} + q_{\text{aluminium case}} + q_{\text{cold sink}} + q_{\text{spacer block}} \\ &= 26,246 + 0,645 + 1,100 + 0,949 \\ &= \mathbf{28,94 \text{ Watt}} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Beban Keseluruhan (q_c)

$$\begin{aligned}q_c &= q_{\text{transmisi}} + q_{\text{cooling}} + q_{\text{losses}} \\ &= 2,613 + 28,94 + 43,88 \\ &= \mathbf{75,433 \text{ Watt}}\end{aligned}$$



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil percobaan alat setelah dirakit sesuai dengan design ini maka bisa disimpulkan bahwa:

1. Desain ini adalah desain yang keempat setelah desain sebelumnya kurang optimal dalam pencapaian suhu dingin. Desain yang pertama hanya menggunakan heat-pipe. Desain yang kedua, box aluminium dilubangi sebesar dimensi peltier dan ditempel sirip aluminium dan desain yang ketiga menggunakan heat sink, heat pipe tapi penempatannya kurang tepat sehingga hasil tidak maksimal. Dan desain ini hanya menggunakan heat sink fan tapi bisa mendapatkan suhu dingin lebih rendah dari desain sebelumnya.
2. Cool box ini didesain sesuai dengan bentuk dari box motor dan bisa dipasang pada motor dengan sumber tegangan dari aki.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil percobaan dari desain yang keempat ini, maka terdapat beberapa saran yang dapat digunakan sebagai masukan untuk mendesain cool box selanjutnya, yaitu:

1. Desain produk diperbaiki agar lebih menarik
2. Perbaiki sistem isolator.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Danardono AS, Nandy Putra dan Rita Maria Veranika, Perancangan dan Pengembangan Vaccine Carrier Box Menggunakan Model Design For Assembly (DFA), (JURNAL TEKNOLOGI, Edisi No. 1 Tahun XXII, Maret 2008, 9-14 ISSN 0215-1685)
- [2] Nandy Putra, "Design, Manufacturing and Testing of A Portable Vaccine Carrier Box Employing Thermoelectric Module and Heat Pipe, Journal of Medical engineering and Technology"
- [3] Nandy Putra, Aziz Oktianto, Idam B, Fery Y, Penggunaan Heatsink Fan Sebagai Pendingin Sisi Panas Elemen Peltier Pada Pengembangan Vaccine Carrier, Journal Teknologi, Edisi No. 1 Tahun XXI, Maret 2007 ISSN 0215-1685
- [4] Sugiyanto" pengembangan cool box berbasis pompa kalor termoelektrik dan heat pipe".
- [5] Budi Susanto dan Leo Sahat. "Rancang Bangun Cool-Hot Box Dengan Menggunakan Pompa Kalor Termoelektrik Dan Heat-Pipe". Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok 2008
- [6] Nandy Putra, Pattas P.Siregar, R.A Koestoer, Pengembangan "Vaccine Carrier" Dengan Memanfaatkan Efek Peltier, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin III Universitas Hasanuddin Makasar 6-7 Desember 2004.
- [7] www.heat-sink-guide.com
- [8] S.B. Riffat, Guoquan Qiu (2004). "Comparative investigation of thermoelectric air-conditioners versus vapour compression and absorption air conditioners". *Journal of Applied Thermal Engineering*, 24 (2004) 1979-1993.
- [9] <http://www.mcps.com/M10-TPL%20series%20M10-TPH%20series.html>
- [10] S.B. Riffat, S.A. Omer, Xiali Ma (2001). "A novel thermoelectric refrigeration system employing heat pipes and a phase change material: an experience investigation". *Journal of Renewable Energy*, 23 (2001) 313-323.
- [11] S.B. Riffat, Xiaoli Ma (2003). "Thermoelectric: a review of present and potential applications". *Journal of Applied Thermal Engineering*, 23 (2003) 913-935.
- [12] <http://www.insulflex.com.my/nspecifications.html> download 25/06/2009
- [13] Nandy Putra, Uji Unjuk Kerja Kotak Vaksin berbasis Elemen Peltier Ganda, Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri Universitas Gajah Mada Yogyakarta, 27 Juni 2006. ISBN 979-99266-1-0

- [14] Nandy Putra, Haryo Tedjo, RA Koestoer, Pemanfaatan Elemen Peltier Bertingkat dua pada aplikasi Kotak Vaksin, *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin IV*, 21-22 November 2005, ISBN 979-97158-0-6, Universitas Udayana, Bali, Indonesia.
- [15] www.thetechzone.com/articles/peltier_intro download 29/06/2009
- [16] <http://www.pelicanwire.com/thermocouplewire.htm>
- [17] <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/202545>
- [18] <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/14165>
- [19] <http://cetak.kompas.com/read/xml/2009/05/08/02544579/melimpahnya.sepeda.motor>
- [20] <http://www.poskota.co.id/otomotif/2009/11/03/box-motor-sarana-keamanan>
- [21] Energy Star Supplement To Ansi/Ashrae Standard 72-2005 For Laboratory Grade Refrigerators And Freezers August 3, 2009
- [22] Nandy Putra, Hiban Hardanu, Parlin Adi Sugiarto, The Development of Portable Blood Carrier By Using Thermoelectrics and Heat Pipes, The 10th Internasional Conference On Quality In Research (QIR), Engineering Center University Of Indonesia, Depok 4-6 Desember 2007.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Tabel hasil pengujian 8 V dengan beban kosong

Cabin	Ambient	Alumunium Case	Spacer Block A	Spacer Block B	Heat Sink A	Heat Sink B	Cold Sink	Time (minute)
22.55	24.86	22.94	16.25	15.65	30.18	30.82	17.97	5
18.71	24.94	19.32	8.677	7.988	31.01	31.558	9.978	10
15.12	25.04	15.89	4.292	3.675	30.55	31.083	5.336	15
12.42	25.05	13.3	1.583	1.002	30.23	30.729	2.436	20
10.47	25.05	11.45	-0.164	-0.73	30	30.49	0.569	25
9.07	25.06	10.11	-1.333	-1.89	29.85	30.346	-0.676	30
8.045	25.08	9.145	-2.11	-2.66	29.76	30.268	-1.508	35
7.283	25.16	8.416	-2.608	-3.17	29.75	30.248	-2.062	40
6.749	25.11	7.899	-2.964	-3.52	29.65	30.167	-2.44	45
6.321	25.07	7.478	-3.171	-3.76	29.6	30.1	-2.694	50
5.973	25.03	7.125	-3.387	-3.93	29.52	30.048	-2.905	55
5.716	25.06	6.864	-3.486	-3.98	29.54	30.065	-2.995	60
6.198	25.01	7.122	0.934	0.894	25.17	25.327	0.299	65
8.846	25.01	9.651	7.416	7.549	20.01	19.939	6.947	70
11.49	24.89	12.32	10.87	10.97	18.15	18.088	10.63	75
13.5	24.84	14.29	12.99	13.07	17.61	17.592	12.87	80
14.99	24.77	15.71	14.43	14.52	17.63	17.678	14.39	85
16.14	24.72	16.78	15.53	15.62	17.9	18.002	15.53	90

Lampiran 2

Tabel hasil pengujian 10 V dengan beban kosong

Cabin	Ambient	Aluminium Case	Spacer Block A	Spacer Block B	Heat Sink A	Heat Sink B	Cold Sink	Time (minute)
24.463	24.954	24.87	17.29	16.62	32.418	33.02	19.183	5
20.154	25.122	20.83	8.228	7.473	33.493	34.15	9.6645	10
15.836	25.117	16.69	3.009	2.328	32.865	33.56	4.121	15
12.482	25.209	13.5	-0.27	-0.916	32.46	33.12	0.6128	20
10.011	25.151	11.16	-2.438	-3.058	32.164	32.81	-1.692	25
8.215	25.105	9.433	-3.92	-4.532	31.971	32.62	-3.263	30
6.8835	25.046	8.137	-4.866	-5.458	31.769	32.44	-4.281	35
5.8855	25.034	7.148	-5.524	-6.162	31.677	32.33	-5.006	40
5.1468	25.01	6.408	-6.039	-6.657	31.579	32.23	-5.543	45
4.5959	25.027	5.84	-6.388	-7.02	31.545	32.19	-5.924	50
4.1259	25.02	5.384	-6.652	-7.293	31.518	32.16	-6.216	55
3.747	25.035	5.011	-6.851	-7.49	31.482	32.14	-6.43	60
4.1462	24.833	5.262	-1.723	-1.76	26.243	26.5	-2.526	65
7.2066	24.697	8.156	5.586	5.756	20.121	20.08	5.0336	70
10.279	24.604	11.2	9.544	9.709	17.914	17.87	9.2696	75
12.559	24.578	13.4	11.94	12.09	17.277	17.25	11.812	80
14.248	24.558	15.01	13.59	13.72	17.315	17.28	13.546	85
15.513	24.63	16.2	14.82	14.95	17.603	17.59	14.818	90

Lampiran 3

Tabel hasil pengujian 12 V dengan beban kosong

Cabin	Ambient	Alumunium Case	Spacer Block A	Spacer Block B	Heat Sink A	Heat Sink B	Cold Sink	Time (minute)
20.914	23.03	21.341	13.53	12.79	32.545	33.236	15.313	5
16.59	23.15	17.392	4.548	3.76	33.878	34.686	5.8633	10
12.332	23.12	13.318	-0.626	-1.36	33.22	34.001	0.3895	15
9.059	23.13	10.188	-3.799	-4.49	32.808	33.571	-2.995	20
6.7122	23.08	7.9303	-5.815	-6.49	32.514	33.265	-5.105	25
5.2175	23.05	6.3753	-7.013	-7.7	32.324	33.085	-6.438	30
3.9579	23.02	5.1258	-8.042	-8.76	32.218	32.938	-7.548	35
2.8996	23.02	4.0957	-8.761	-9.52	32.08	32.818	-8.364	40
2.0862	23	3.3107	-9.377	-10.1	32.004	32.752	-8.968	45
1.4524	22.98	2.6974	-9.787	-10.5	31.905	32.665	-9.406	50
0.9476	22.94	2.2038	-10.09	-10.8	31.872	32.614	-9.722	55
0.5456	22.97	1.8092	-10.32	-11	31.818	32.538	-9.966	60
0.4701	22.94	1.6718	-7.353	-7.6	28.274	28.719	-7.934	65
3.0475	22.67	4.0241	1.007	1.318	19.887	19.809	0.4837	70
6.3307	22.55	7.3037	5.714	5.861	16.404	16.234	5.3464	75
8.9702	22.45	9.8871	8.638	8.784	15.186	15.071	8.4488	80
10.918	22.42	11.731	10.55	10.67	14.95	14.865	10.448	85
12.351	22.37	13.084	11.92	12.04	15.133	15.066	11.873	90

Lampiran 4

Tabel hasil pengujian 12 V dengan beban 1 kaleng

Cabin	Ambient	Alumunium Case	Spacer Block A	Spacer Block B	Heat Sink A	Heat Sink B	Cold Sink	Time (minute)
21.215	23.21	22.32	13.701	12.85	32.167	32.858	16.13	5
15.335	23.37	18.69	5.018	4.136	34.076	34.811	7.36	10
11.111	23.32	15.4	0.2525	-0.536	33.504	34.272	2.517	15
8.3185	23.3	13.08	-2.587	-3.363	33.117	33.862	-0.409	20
6.4532	23.26	11.46	-4.336	-5.101	32.895	33.602	-2.243	25
5.157	23.2	10.31	-5.496	-6.242	32.683	33.403	-3.463	30
4.2766	23.17	9.454	-6.197	-6.817	32.544	33.289	-4.191	35
3.6	23.14	8.822	-6.709	-7.41	32.443	33.218	-4.773	40
3.1136	23.15	8.293	-7.006	-7.726	32.404	33.199	-5.136	45
2.7896	23.13	7.825	-7.262	-7.981	32.352	33.164	-5.432	50
2.456	23.12	7.441	-7.502	-8.212	32.294	33.134	-5.701	55
2.1197	23.13	7.094	-7.687	-8.411	32.242	33.064	-5.937	60
3.5157	23.59	7.181	-2.657	-2.742	27.505	27.843	-2.318	65
8.4256	23.19	9.765	5.6611	5.803	20.571	20.505	5.737	70
11.639	22.93	12.51	10.076	10.16	18.012	17.933	10.14	75
13.378	22.78	14.4	12.542	12.6	17.152	17.111	12.6	80
14.369	22.7	15.67	14.083	14.12	17.02	17.026	14.11	85
14.985	22.68	16.57	15.129	15.17	17.177	17.238	15.14	90

Lampiran 5

Tabel hasil pengujian 12 V dengan beban 2 kaleng

Cabin	Ambient	Aluminium Case	Spacer Block A	Spacer Block B	Heat Sink A	Heat Sink B	Cold Sink	Time (minute)
22.21	24.93	23.359	15.428	14.67	33.674	34.48	17.58	5
16.68	25.11	19.432	6.3144	5.4607	35.765	36.58	8.206	10
12.55	25.08	15.794	1.2546	0.4817	35.243	36.03	3.025	15
9.739	25.04	13.2	-1.801	-2.551	34.843	35.65	-0.118	20
7.791	24.93	11.371	-3.715	-4.457	34.526	35.31	-2.104	25
6.436	24.86	10.063	-4.961	-5.703	34.325	35.11	-3.421	30
5.526	24.94	9.0786	-5.677	-6.282	34.222	35.01	-4.152	35
4.87	24.83	8.3396	-6.208	-6.898	34.104	34.83	-4.759	40
4.26	24.93	7.7704	-6.643	-7.336	34.028	34.79	-5.238	45
3.76	25.33	7.2818	-6.891	-7.57	34.355	35.1	-5.545	50
3.416	24.9	6.9377	-7.021	-7.719	34.085	34.85	-5.712	55
3.125	24.77	6.6621	-7.192	-7.899	33.914	34.68	-5.91	60
4.03	24.47	6.8003	-2.283	-2.427	28.552	28.87	-2.335	65
8.232	24.12	9.512	5.9582	6.0043	21.451	21.3	5.764	70
11.59	23.94	12.422	10.356	10.386	18.776	18.63	10.26	75
13.66	23.89	14.476	12.869	12.879	17.857	17.79	12.82	80
14.95	23.74	15.89	14.463	14.477	17.69	17.7	14.44	85
15.8	23.61	16.895	15.575	15.584	17.846	17.9	15.55	90

Lampiran 6

Tabel hasil pengujian 12 V dengan beban 3 kaleng

Cabin	Ambient	Alumunium Case	Spacer Block A	Spacer Block B	Heat Sink A	Heat Sink B	Cold Sink	Time (minute)
21.09	22.56	21.77	13.67	12.87	31.66	32.399	15.94	5
17.265	22.66	18.52	5.081	4.222	33.41	34.163	7.238	10
13.665	22.62	15.78	0.6095	-0.19	32.9	33.601	2.641	15
11.352	22.58	13.99	-1.993	-2.75	32.56	33.294	-0.027	20
9.8709	22.55	12.81	-3.536	-4.3	32.3	33.041	-1.641	25
8.8586	22.51	12	-4.46	-5.23	32.15	32.878	-2.621	30
8.1134	22.51	11.4	-5.106	-5.85	32.02	32.784	-3.298	35
7.5549	22.46	10.94	-5.373	-6	31.94	32.707	-3.58	40
7.0621	22.42	10.55	-5.637	-6.3	31.88	32.661	-3.88	45
6.6319	22.42	10.22	-5.882	-6.57	31.82	32.6	-4.162	50
6.2474	22.4	9.906	-6.094	-6.78	31.79	32.544	-4.403	55
5.9159	22.67	9.63	-6.245	-6.95	31.86	32.655	-4.608	60
6.2237	23.6	9.547	-2.564	-2.71	28.99	29.478	-2.085	65
9.576	23.53	11.57	6.4215	6.628	21.71	21.738	6.409	70
12.519	22.87	14.05	11.159	11.28	19	18.958	11.19	75
14.208	22.54	15.71	13.638	13.71	18.07	18.035	13.68	80
15.158	22.95	16.75	15.06	15.11	17.87	17.857	15.1	85
15.753	23.51	17.41	15.948	16.01	17.97	18.02	15.98	90

Lampiran 7

Tabel hasil pengujian 12 V dengan beban 4 kaleng

Cabin	Ambient	Alumunium Case	Spacer Block A	Spacer Block B	Heat Sink A	Heat Sink B	Cold Sink	Time (minute)
23.26	24.85	25.32	16.95	16.15	34.45	35.21	19.12	5
18.73	24.92	21.847	7.714	6.891	35.89	36.71	9.473	10
15.37	24.85	18.769	2.745	2.017	35.27	36.08	4.22	15
13.1	24.8	16.67	-0.17	-0.85	34.84	35.62	1.122	20
11.56	25.11	15.243	-1.93	-2.58	34.74	35.55	-0.752	25
10.51	24.81	14.27	-3	-3.64	34.49	35.28	-1.898	30
9.722	25.34	13.544	-3.69	-4.32	34.64	35.44	-2.653	35
9.122	25.04	13.012	-4.09	-4.73	34.52	35.31	-3.098	40
8.664	24.94	12.607	-4.38	-5.03	34.38	35.19	-3.416	45
8.265	25.03	12.259	-4.62	-5.27	34.38	35.22	-3.677	50
7.934	24.89	11.946	-4.76	-5.3	34.34	35.19	-3.804	55
7.626	24.81	11.662	-4.88	-5.49	34.22	35.01	-3.959	60
7.649	24.71	11.428	-3.08	-3.46	32.15	32.75	-3.005	65
10.67	24.54	12.915	6.291	6.433	24.19	24.2	5.642	70
13.86	24.3	15.483	11.77	11.88	20.82	20.78	11.47	75
15.8	24.3	17.294	14.67	14.74	19.66	19.62	14.54	80
16.99	24.3	18.464	16.38	16.42	19.42	19.38	16.32	85
17.77	24.27	19.241	17.46	17.5	19.54	19.53	17.45	90

Lampiran 8

Tabel hasil pengujian 12 V dengan beban 5 kaleng

Cabin	Ambient	Aluminium Case	Spacer Block A	Spacer Block B	Heat Sink A	Heat Sink B	Cold Sink	Time (minute)
23.663	24.29	24.04	15.842	15.097	33.523	34.368	18.07	5
19.636	24.08	20.59	6.766	5.9518	35.078	35.931	8.849	10
16.371	23.98	17.5	1.8331	1.1009	34.459	35.312	3.842	15
14.097	23.86	15.36	-1.095	-1.8	33.964	34.785	0.852	20
12.504	23.78	13.87	-2.923	-3.615	33.658	34.491	-1.027	25
11.365	23.71	12.83	-4.05	-4.767	33.443	34.269	-2.223	30
10.515	23.72	12.04	-4.819	-5.53	33.319	34.163	-3.04	35
9.8244	23.69	11.4	-5.365	-6.063	33.175	34.015	-3.63	40
9.2519	23.73	10.88	-5.734	-6.435	33.138	33.961	-4.052	45
8.7804	23.53	10.46	-5.982	-6.592	32.96	33.777	-4.325	50
8.3677	23.4	10.09	-6.156	-6.806	32.788	33.542	-4.541	55
7.9609	23.29	9.733	-6.297	-6.988	32.642	33.406	-4.739	60
8.1417	23.13	9.613	-2.16	-2.337	28.559	28.957	-1.887	65
10.952	22.85	11.77	6.516	6.6365	21.47	21.379	6.418	70
13.533	22.74	14.24	11.08	11.153	18.838	18.665	11.06	75
15.145	22.63	15.93	13.569	13.621	17.957	17.804	13.59	80
16.135	22.53	17.03	15.084	15.122	17.816	17.688	15.11	85
16.748	22.46	17.77	16.095	16.121	17.965	17.862	16.11	90

Lampiran 9

Tabel hasil pengujian 12 V dengan beban 6 kaleng

Cabin	Ambient	Alumunium Case	Spacer Block A	Spacer Block B	Heat Sink A	Heat Sink B	Cold Sink	Time (minute)
24.56	23.79	24.67	16.07	15.29	32.85	33.65	18.61	5
22.21	23.99	22.48	8.422	7.5368	34.92	35.75	10.75	10
20.01	24	20.47	4.721	3.8787	34.54	35.35	6.912	15
18.29	24.04	19.03	2.681	1.8498	34.28	35.12	4.751	20
16.99	24.12	18.06	1.443	0.6258	34.17	35.02	3.431	25
15.99	24.08	17.33	0.616	-0.193	34.11	34.93	2.537	30
15.16	24.11	16.74	0.013	-0.791	34.09	34.88	1.881	35
14.46	24.19	16.24	-0.444	-1.241	34.05	34.87	1.371	40
13.87	24.18	15.8	-0.824	-1.613	34	34.81	0.955	45
13.33	24.16	15.41	-1.15	-1.931	34	34.79	0.603	50
12.84	24.21	15.05	-1.42	-2.191	33.99	34.8	0.302	55
12.39	24.22	14.7	-1.658	-2.428	33.98	34.78	0.031	60
12.32	24.17	14.58	2.282	2.0432	30.28	30.7	2.663	65
14.3	23.99	16.46	11.23	11.36	23.88	23.81	11.2	70
16.29	24	18.47	15.35	15.401	21.59	21.45	15.39	75
17.54	23.97	19.68	17.38	17.408	20.75	20.65	17.44	80
18.36	23.92	20.4	18.5	18.523	20.53	20.5	18.58	85
18.95	23.86	20.84	19.2	19.215	20.56	20.57	19.27	90