



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENDINGIN KABIN MOBIL
BERBASIS TERMOELEKTRIK**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**SANDYA PRIYAMBADA
0906605151**

**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENDINGIN KABIN MOBIL
BERBASIS TERMOELEKTRIK**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**SANDYA PRIYAMBADA
0906605151**

**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

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

Nama : Sandya Priyambada

NPM : 0906605151

Tanda Tangan : 

Tanggal : 11 Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Sandya Priyambada


NPM : 0906605151

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Pendingin Kabin Mobil Berbasis Termoelektrik

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Imansyah Ibnu Hakim M.Eng. ()

Penguji : Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, MT. ()

Penguji : Dr. Ir. Budihardjo, Dipl.Ing. ()

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

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 11 Januari 2012

UCAPAN TERIMA KASIH

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 Departemen Teknik Mesin 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) Ir. Imansyah Ibnu Hakim, M.Eng. , selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) seluruh staf pengajar dan staf karyawan Departemen Teknik Mesin yang telah banyak memberikan bantuan baik dalam urusan akademik maupun sarana dan prasarana.
- (3) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan dukungan material dan moral , dan
- (4) sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

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

Depok, 11 Januari 2012

Penulis

Sandya Priyambada

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Sandya Priyambada
NPM : 0906605151
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demikian 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 :

Pendingin Kabin Mobil Berbasis Termoelektrik

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari 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 : 11 Januari 2012

Yang menyatakan



(Sandya Priyambada)

ABSTRAK

Nama : Sandya Priyambada
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pendingin Kabin Mobil Berbasis Termoelektrik

Mobil yang di parkir di tempat terbuka di bawah sinar matahari akan mengalami peningkatan temperatur di dalam kabin hingga 52,4 °C. Hal ini disebabkan konduksi terhadap badan mobil, konveksi di dalam kabin mobil dan radiasi dari sinar matahari terhadap kaca mobil serta pantulan radiasi oleh interior di dalam mobil. Untuk mengatasi peningkatan temperatur di dalam kabin maka dirancang sebuah pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik. Pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik tersebut memiliki dua sisi yaitu sisi panas dan sisi dingin dengan sumber listrik dari accu. Dengan demikian diharapkan pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik dapat mengurangi temperatur panas di didalam kabin mobil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik ini dapat menurunkan temperature hingga 48 °C.

Kata kunci : Konduksi, konveksi, termoelektrik, pendingin kabin mobil.

ABSTRACT

Name : Sandya Priyambada
Programme : Mechanical Engineering
Topic : Car Cabin Cooler Based on Thermoelectric

Cars are parked in the open directly from the sun will increase the temperature inside the car cabin up to 52.4⁰C. This is due to car bodies conduction, convection inside the car cabin and radiation from the sun on the windshield and the reflection of radiation by the interior in the car cabin. The cabin cooler based on thermoelectric has two surfaces, the hot side and the cold side which the power source come from the batteries. It is expected the cabin cooler based on thermoelectric can reduce the temperature inside the car cabin. The result showed that the use of the cabin cooler based on thermoelectric can lower the temperature in car cabin to 48⁰ C.

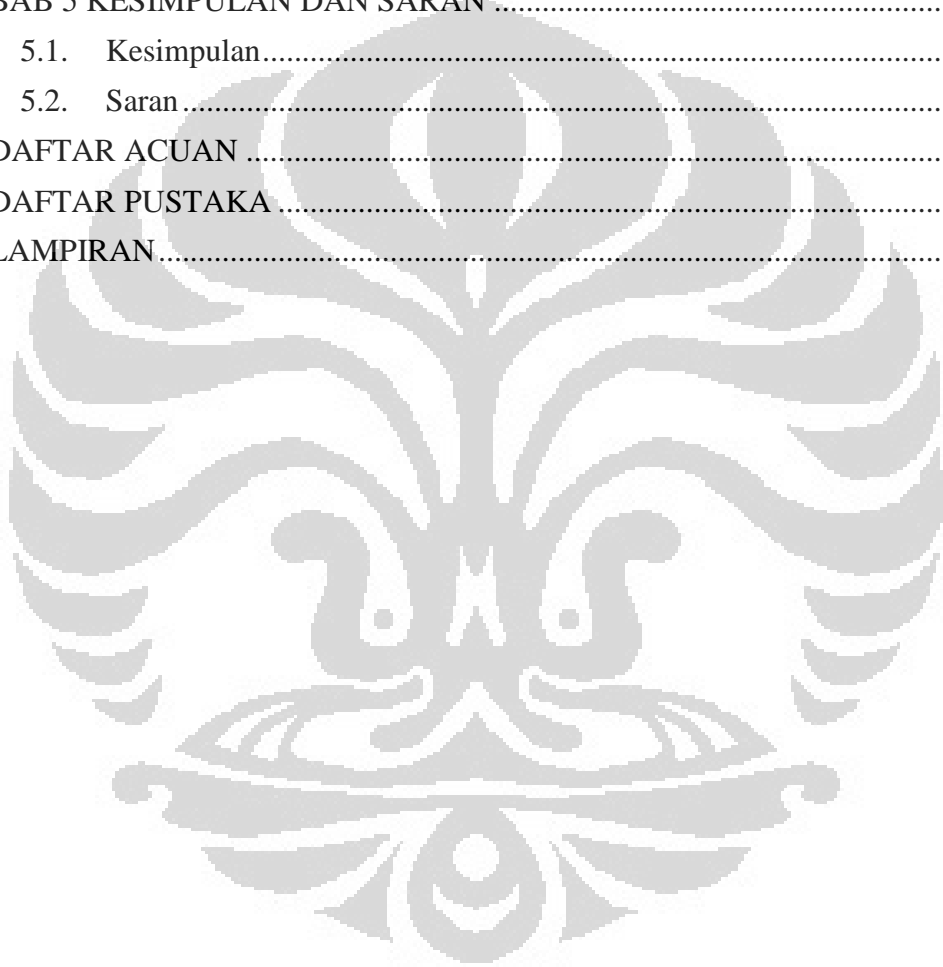
Key words: conduction, convection, thermoelectric, car cabin cooler.



DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR NOTASI.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Batasan Masalah.....	5
1.5. Metode Penulisan	6
1.6. Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	7
2.1. Perpindahan Kalor.....	7
2.1.1. Perpindahan Kalor Konduksi.....	7
2.1.2. Perpindahan Kalor Konveksi	7
2.1.3. Perpindahan Kalor Dalam Mobil	10
2.2. Elemen Peltier (<i>Thermoelectric Cooler</i>).....	11
2.2.1. Efek Seebeck.....	12
2.2.2. Efek Peltier.....	13
2.2.3. Cara Kerja Elemen Peltier.....	14
2.2.4. Faktor – Faktor Dalam Elemen Peltier.....	15
2.2.4.1. Faktor Termal	15
2.3. Heatsink.....	17
2.4. Coldsink.....	17
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	19
3.1. Metode Penelitian.....	19

3.2.	Perhitungan Perpindahan Kalor <i>Thermoelectric Cooler</i>	20
3.3.	Perhitungan <i>Coldsink</i>	22
3.4.	Perhitungan Distribusi Penyebaran Suhu Pada <i>Heatsink</i>	23
3.5.	Perhitungan Nilai Konveksi	24
BAB 4 PROSES, HASIL DAN ANALISA		27
4.1.	Proses Pengambilan Data	27
4.2.	Hasil Pengambilan Data	31
4.3.	Analisa Data	40
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		41
5.1.	Kesimpulan.....	41
5.2.	Saran	41
DAFTAR ACUAN		42
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN.....		44



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tabel Koefisien Seebeck.....	13
Tabel 4.1 Data Suhu Rata-Rata Pada Kabin Mobil Tanpa Alat.....	32
Tabel 4.2 Data Suhu Pada T1.....	35
Tabel 4.3 Data Suhu Pada T2.....	36
Tabel 4.4 Data Suhu Pada T3.....	37
Tabel 4.5 Data Suhu Pada T4.....	38



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Mobil Parkir di Tempat Terbuka.....	1
Gambar 1.2 Suhu Dalam Kabin Mobil Saat Diparkir	2
Gambar 1.3 <i>Autocool</i>	3
Gambar 1.4 Kaca Film	4
Gambar 2.1 Keseimbangan Thermal Kabin Mobil.....	10
Gambar 2.2 Elemen Peltier	11
Gambar 2.3 Ilustrasi Kerja Elemen Peltier	12
Gambar 2.4 Cara Kerja Elemen Peltier.....	14
Gambar 2.5 <i>Pin, Straight and Flated Fin HeatsinkTypes</i>	17
Gambar 2.6 <i>Coldsink</i> Alumunium	18
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Perhitungan Pendingin Kabin Mobil	19
Gambar 3.2 Skema Perpindahan Panas dan <i>Thermal Resistance Circuit</i>	22
Gambar 3.3 Distribusi Penyebaran Suhu Secara Konduksi Pada Heatsink dan Coldsink Terhadap Elemen Peltier.....	24
Gambar 4.1 Posisi Termometer Pada Kabin Mobil	27
Gambar 4.2 <i>Boundary Layer</i> Pada Kabin Mobil	28
Gambar 4.3 Accu Mobil.....	29
Gambar 4.4 Alat Penurun Tegangan dan Pembatas Arus (<i>Inverter</i>)	29
Gambar 4.5 Pendingin Kabin Mobil Berbasis Thermoelektrik	30
Gambar 4.6 <i>Layout</i> Instalasi Alat Pada Kabin Mobil	30
Gambar 4.7 Pemasangan Alat Pada Kabin Mobil.....	31
Gambar 4.8 Grafik Pengambilan Data Suhu Tanpa Alat.....	33
Gambar 4.9 Distribusi Penyebaran Perpindahan Panas	34
Secara Konveksi Tanpa Alat.....	34
Gambar 4.10 Grafik Suhu Pada T1	35
Gambar 4.11 Grafik Suhu Pada T2.....	36
Gambar 4.12 Grafik Suhu Pada T3.....	37
Gambar 4.13 Grafik Suhu Pada T4.....	38
Gambar 4.14 Distribusi Penyebaran Perpindahan Panas Secara Konveksi	39
Pada Kabin Mobil Dengan Alat	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	44
------------------	----



DAFTAR NOTASI

Q	= Energi kalor (Watt)
k	= Koefisien perpindahan kalor Konduksi (W/m K)
A	= Luas permukaan (m^2)
$\frac{dT}{dx}$	= Gradien temperatur (K/m)
h	= Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi ($W/m^2 K$)
T_s	= Temperatur permukaan (K)
T_∞	= Temperatur Ambient (K)
Re_x	= Bilangan Reynolds
u_∞	= Kecepatan aliran bebas (m/s)
ν	= Viskositas kinematik (m/s^2)
x	= Jarak Lapisan Batas (m)
Pr	= Bilangan Prandtl
α	= Difusitas Termal (m/s^2)
Nu	= Bilangan Nußelt
V_0	= Tegangan keluaran (Volt)
α_{XY}	= Koefisien Seebeck antara dua Material X dan Y (Volt / K)
T_h, T_c	= Temperatur Termokopel Panas dan Dingin (K)
V_{xy}	= Tegangan (Volt)
I_{xy}	= Arus (Ampere)
$Q_C = Q_h$	= Kalor (Watt)
θ	= Tahanan Termal dari Elemen Peltier (°C/watt)
P_{in}	= Daya Input (Watt)

BAB 1 PENDAHULUAN

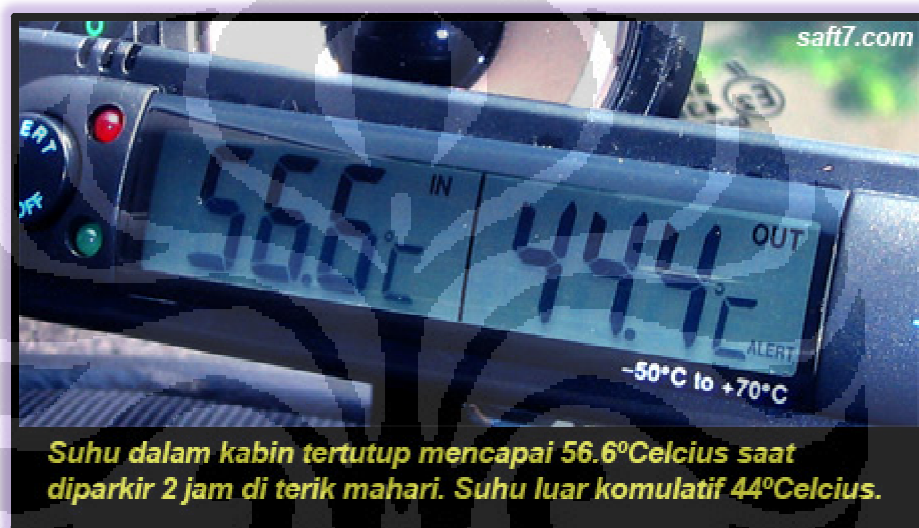
1.1. Latar Belakang Masalah

Pada umumnya setelah mobil diparkir, bila pengguna mobil ingin mobilnya tidak panas ketika kembali ke dalam mobil, maka pengguna mobil biasanya menutup kaca depan (*windshield*) dengan lembaran aluminium foil. Namun metode ini dirasa kurang efektif untuk mengurangi panas yang terkumpul di dalam mobil karena panas yang sudah terperangkap tidak dapat keluar. Untuk itu dibutuhkan metode lain untuk mengatasi permasalahan tersebut. Diantara solusi yang telah ada antara lain adalah kaca film dan *cooling fan*. Mobil yang terjemur panas terik, bisa menghasilkan zat-zat yang membahayakan kesehatan. Saat kita memarkir mobil disuatu tempat yang terbuka di bawah sinar matahari langsung, temperatur dalam kabin mobil akan meningkat drastis karena panas yang terperangkap dalam kabin mobil dan tidak ada sirkulasi udara di dalam kabin mobil sehingga panas menjadi terakumulasi seperti yang terlihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Mobil Parkir di Tempat Terbuka

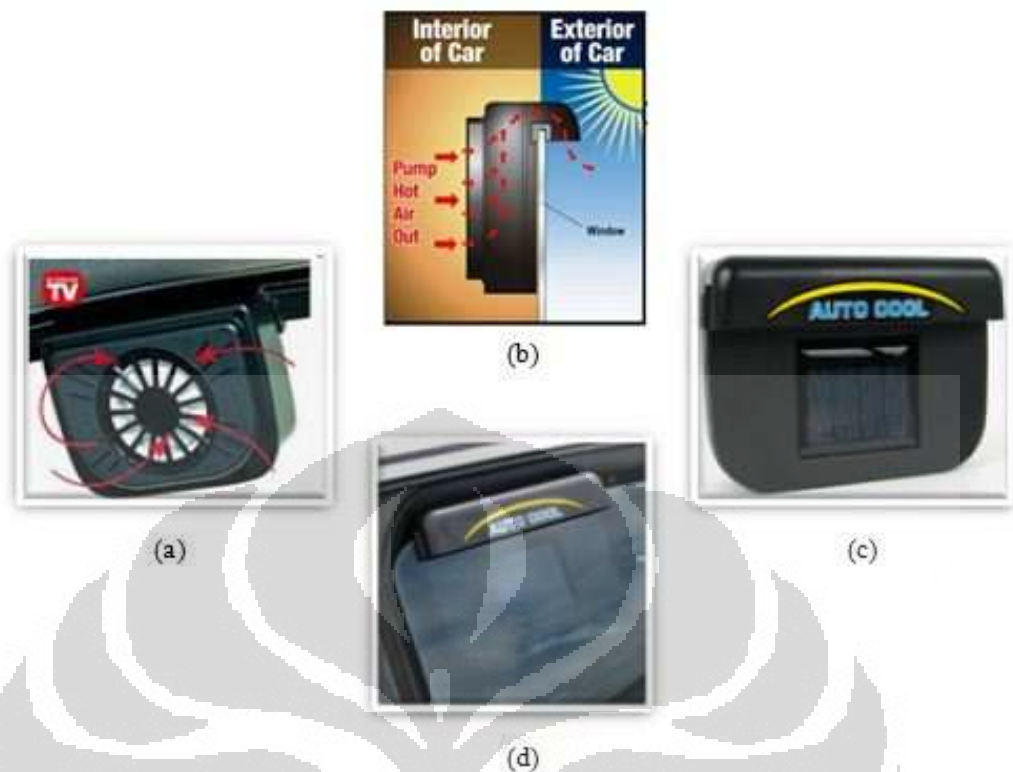
Suhu dalam kabin mobil saat diparkir dapat mencapai 50-60°C seperti yang terlihat pada Gambar 1.2 , dimana kondisi tersebut tidak hanya berbahaya bagi penumpang di dalamnya namun juga dapat merusak peralatan yang terpasang pada interior mobil. Dari permasalahan tersebut diperoleh gagasan untuk dapat mengurangi panas yang ditimbulkan ketika mobil diparkir di tempat terbuka di bawah sinar matahari langsung. Kemudian diputuskanlah untuk membuat alat yang diberi nama “Pendingin Kabin Mobil Berbasis Termoelektrik”.



Gambar 1.2 Suhu Dalam Kabin Mobil Saat Diparkir

Sumber : <http://saft7.com/?p=170>

Pada umumnya setelah pengemudi mobil memarkir mobil, bila pengemudi ingin mobilnya tidak terlalu panas ketika kembali ke mobilnya maka solusi termudah bagi masalah tersebut adalah dengan menutup kaca depan mobil dengan lembaran alumunium foil, namun satu kekurangan dari metode ini adalah tidak ada jaminan bahwa mobil akan lebih dingin. Untuk itu diperlukan sistem pendingin terintegrasi dalam kabin mobil yang menjamin bahwa temperatur dalam mobil dapat terjaga pada suhu tertentu yang nyaman bagi penumpang mobil.

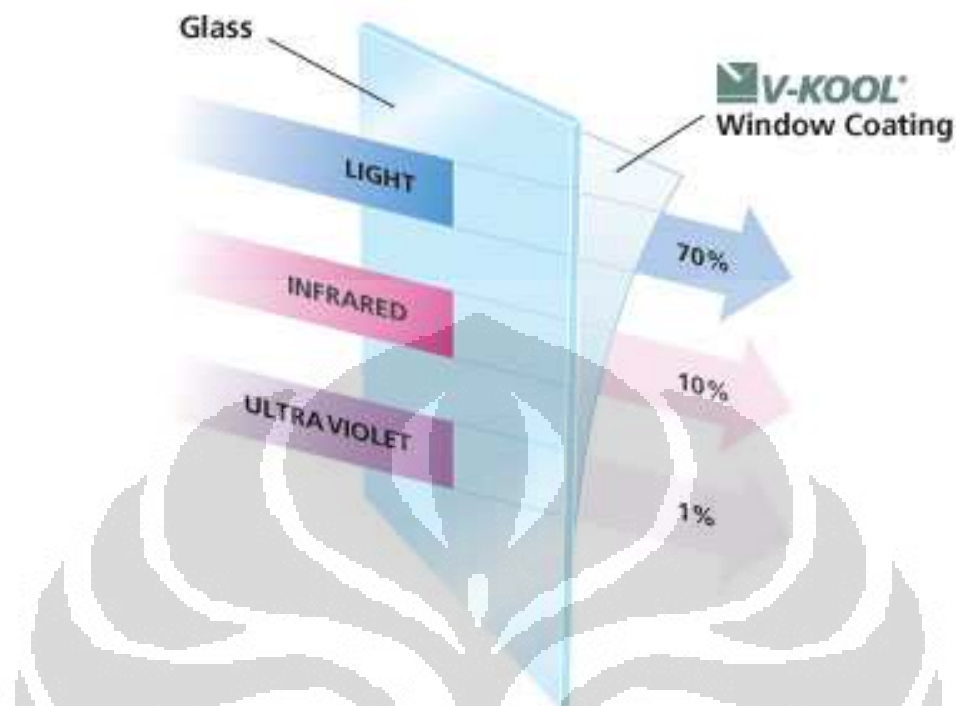


Gambar 1.3 Autocool

Sumber : <http://shopping.rediff.com/product/auto-cool-a-revolutionary-product-in-car-accessory/10244840>.

- a) *Fan Autocool* pada bagian dalam kabin mobil.
- b) Cara kerja dari *Autocool*.
- c) Panel sel surya *Autocool*.
- d) Pemasangan *Autocool* pada kaca mobil.

Sebelumnya telah ada beberapa solusi untuk mengatasi permasalahan suhu mobil yang tinggi ketika diparkir. Solusi yang telah ada tersebut antara lain *Cooling Fan (Autocool)* dan kaca film. *Autocool* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.3 merupakan sistem pendingin berupa kipas (*fan*) listrik bertenaga matahari. Cara kerja alat ini adalah dengan mengalirkan udara panas ke luar mobil. Produk ini menggunakan tenaga matahari sebagai sumber energinya sehingga tidak membutuhkan baterai atau power eksternal. Selain itu produk ini juga relatif murah dan mudah dalam instalasinya. Namun karena penempatan alat ini diletakkan pada jendela mobil dengan sedikit memberikan celah pada jendela maka dapat menimbulkan resiko keamanan.



Gambar 1.4 Kaca Film

Produk lain yang umum digunakan oleh pemilik mobil adalah kaca film . Kaca film ini memiliki keunggulan antara lain dapat mereduksi panas matahari yang masuk ke dalam kabin mobil, dapat mencegah masuknya sinar UV yang membahayakan kulit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.4. Pada beberapa produk kaca film dapat menambah kekuatan kaca sehingga meningkatkan keamanan berkendara namun kekurangan dari produk ini adalah harganya yang relatif mahal.

1.2. Perumusan Masalah

Kaca film cukup efektif untuk mereduksi panas yang masuk ke dalam mobil namun bila ditinjau dari sisi ekonomis, kaca film masih tergolong mahal. Sedangkan *cooling fan (Autocool)* menggunakan bantuan *fan* untuk menyedot udara keluar kabin mobil. *Fan* ini sendiri ditenagai dengan tenaga matahari namun sistem ini masih belum memuaskan karena alat ini ditempatkan pada jendela mobil dengan cara memberikan sedikit celah pada

jendela mobil sehingga dapat menimbulkan resiko keamanan. Untuk mengatasi kekurangan solusi yang telah ada, dilakukan perancangan sistem pendingin kabin mobil yang baru.

Sistem pendingin kabin mobil yang akan dirancang menggunakan elemen peltier dan merupakan yang pertama yang pernah dibuat. Alat ini utamanya ditujukan untuk mobil berjenis *city car* dengan pertimbangan ukuran kabin dari *city car* tidak terlalu luas sehingga suhu pendinginan yang diinginkan dapat tercapai. Namun tidak menutup kemungkinan sistem ini dikembangkan untuk mobil jenis lain.

Suhu pendinginan yang ingin dicapai dengan sistem pendingin ini sekitar 30°C dengan asumsi rata-rata suhu kabin mobil terjemur panas terik matahari sebesar 50°C - 60°C. Pada bagian sisi panas elemen Peltier, diberikan *heatsink* dan *fan* untuk menarik panas dari sisi panas Peltier. Pada sisi dingin Peltier, diberikan *coldsink* yang terbuat dari lembaran alumunium dengan tujuan untuk mendinginkan udara sekitar kabin mobil.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam skripsi ini adalah :

- a) Mengurangi temperatur di dalam kabin mobil, sehingga panas yang terakumulasi tidak menyebabkan kerusakan pada interior di dalam kabin mobil dan bahan kimia yang terdapat di dalamnya tidak menguap berlebihan.
- b) Menciptakan suasana nyaman saat memasuki kabin mobil dan aman dalam berkendara bagi pengemudi.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang ditetapkan dalam skripsi ini adalah :

- a) Pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik ini dirancang untuk mobil berjenis *city car*.
- b) Pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik ini dirancang untuk kabin mobil bagian pengemudi.

1.5. Metode Penulisan

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menggunakan tahapan sebagai berikut :

- a) Melakukan studi literatur untuk memperoleh dasar teori mengenai konduksi, konveksi dan radiasi.
- b) Membuat konsep awal untuk desain pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik.
- c) Melakukan pengambilan data suhu kabin mobil baik sebelum maupun setelah menggunakan alat pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik.
- d) Mengolah dan menganalisa data yang diperoleh sesuai dengan tujuan penelitian.

1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penulisan dan sistematika penulisan dari penelitian.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Berisikan penjabaran dari teori dasar perpindahan panas yang digunakan untuk mendukung penelitian.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Berisi tentang rincian perhitungan yang digunakan selama berlangsungnya penelitian

BAB 4 PROSES, HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan mengenai proses pengambilan data, pengolahan data yang kemudian dipresentasikan dalam bentuk kurva beserta analisis hasil penelitian yang dilakukan.

BAB 5 KESIMPULAN

Merupakan kesimpulan dari seluruh rangkaian proses penelitian yang dilakukan.

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1. Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara dua buah benda sehingga energi mengalir dari suhu yang lebih tinggi ke suhu yang lebih rendah. Perpindahan dapat terjadi secara konduksi, konveksi maupun radiasi.

2.1.1. Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah perpindahan kalor tanpa diikuti perpindahan partikel/molekul benda tersebut. Persamaan yang digunakan dalam perpindahan kalor secara konduksi dikenal dengan persamaan Fourier.

$$Q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (1)$$

dimana :

Q = Energi kalor (Watt)

k = Koefisien perpindahan kalor konduksi (W/mK)

A = Luas permukaan (m²)

$\frac{dT}{dx}$ = Gradien temperatur (K/m)

2.1.2. Perpindahan Kalor Konveksi

Perpindahan kalor secara konveksi merupakan perpindahan kalor yang diikuti dengan perpindahan partikel/molekul benda tersebut atau dengan kata lain terjadi laju aliran massa pada benda/substansi tersebut. Konveksi terbagi menjadi dua yaitu konveksi bebas dan konveksi paksa.

Konveksi bebas terjadi apabila pergerakan fluida terjadi karena gaya buoyant akibat perbedaan densitas fluida itu sendiri. Perbedaan densitas dapat terjadi akibat pemanasan sehingga pada bagian fluida yang terkena pemanasan densitasnya berkurang dan bertukar tempat dengan fluida yang tidak terkena pemanasan (densitasnya lebih rapat). Konveksi

paksa terjadi apabila pergerakan fluida terjadi karena gaya atau pengaruh dari luar sehingga fluida tersebut bergerak, misalnya karena *fan*.

Pada perpindahan kalor konveksi berlaku hukum pendinginan Newton yaitu:

$$Q = h A (T_s - T_\infty) \dots \dots \dots (2)$$

dimana :

- Q = Energi kalor (Watt)
- h = Koefisien perpindahan kalor konveksi (W/m²K)
- A = Luas permukaan (m²)
- T_s = Temperatur permukaan (K)
- T_∞ = Temperatur Ambient (K)

Untuk menghitung nilai koefisien perpindahan kalor konveksi (h), digunakan perhitungan menggunakan bilangan tidak berdimensi antara lain bilangan Reynolds, bilangan Prandtl dan bilangan Nußelt.

Bilangan Reynolds ditentukan melalui persamaan :

$$Re_x = \frac{u_\infty x}{\nu} \dots \dots \dots (16)$$

dimana :

- Re_x = Bilangan Reynolds
- u_∞ = Kecepatan aliran bebas (m/s)
- ν = Viskositas kinematik (m²/s)
- x = Jarak Lapisan Batas (m)

Bilangan Prandtl menggambarkan hubungan antara medan kecepatan dengan suhu. Bilangan Prandalt ditentukan melalui persamaan :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \dots \dots \dots (4)$$

dimana :

- Pr = Bilangan Prandtl
- α = difusitas termal (m²/s)
- ν = Viskositas kinematik (m²/s)

Bilangan Nu β elt menggambarkan hubungan antara bilangan Prandtl dan Reynolds. Bilangan Nu β elt ditentukan melalui persamaan :

$$\text{Nu} = \frac{hx}{k} = \frac{0,3387 \text{Re}_x^{1/2} \text{Pr}^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{0,0468}{\text{Pr}}\right)^{2/3}\right]^{1/4}} \dots\dots\dots(5)$$

dimana :

- Nu = Bilangan Nu β elt
- Re = Bilangan Reynolds
- Pr = Bilangan Prandlt

Persamaan diatas merupakan persamaan Churchill dan Ozoe yang telah mengkorelasikan sejumlah besar data yang meliputi rentang angka Prandalt yang cukup luas untuk aliran laminar di atas plat rata yang isothermal. Untuk kasus fluks kalor tetap, angka 0,3387 diganti dengan 0,4637, dan 0,0468 diganti dengan 0,0207.

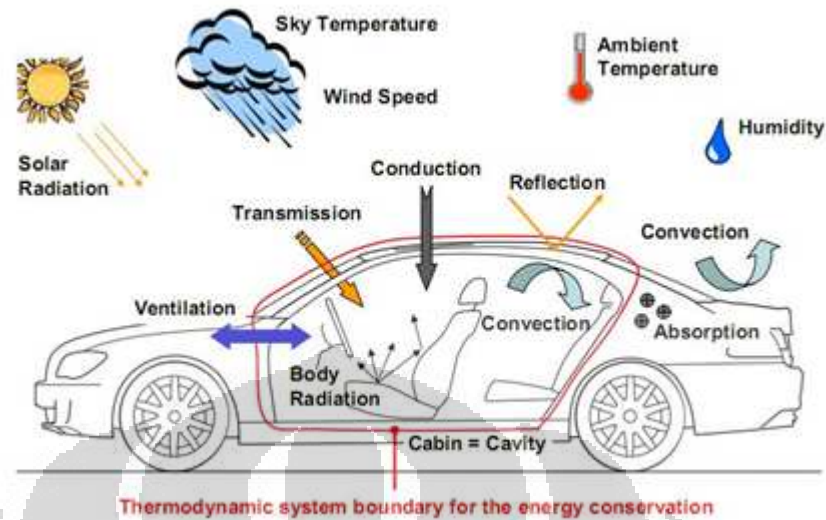
Kemudian untuk menentukan nilai koefisien konveksi udara (h) digunakan persamaan

$$h = \frac{\text{Nu} \cdot k}{x} \dots\dots\dots(6)$$

dimana :

- h = Koefisien perpindahan kalor konveksi (W/m $^{\circ}$ C)
- Nu = Bilangan Nu β elt
- k = Koefisien konduktivitas termal udara (W/m $^{\circ}$ C)
- x = Dimensi karakteristik yang ditempuh partikel dalam lapisan batas (m)

2.1.3. Perpindahan Kalor Dalam Mobil



Gambar 2.1 Keseimbangan Thermal Kabin Mobil

Sumber : Paulke, Stefan, et al. 2007.^[6]

Keseimbangan termal dalam kabin mobil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, sangat dipengaruhi oleh berbagai macam pengaruh eksternal antara lain:

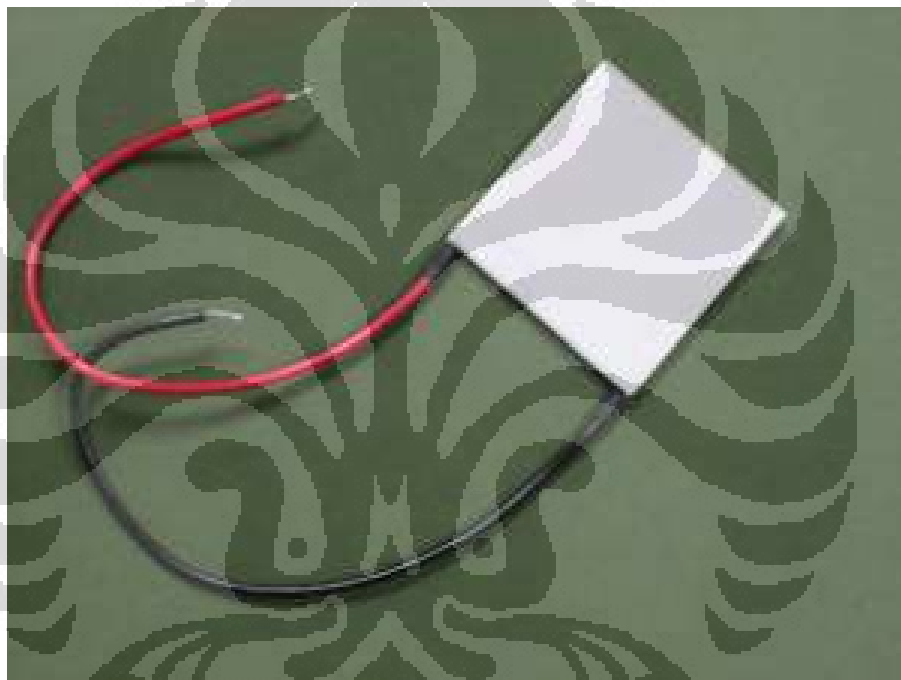
- a) Radiasi dari matahari pada waktu tertentu.
- b) Temperatur di angkasa pada waktu tertentu.
- c) Kecepatan angin pada waktu tertentu.
- d) Temperatur ambient di sekitar mobil pada waktu tertentu.
- e) Kelembapan udara di sekitar mobil pada waktu tertentu.

Sedangkan perubahan kalor dalam kabin mobil dipengaruhi oleh beberapa mekanisme antara lain:

- a) Transmisi kalor melalui kaca mobil.
- b) Konduksi melalui body mobil.
- c) Konveksi udara dalam kabin mobil.
- d) Radiasi yang dipancarkan interior mobil.
- e) Ventilasi udara dalam mobil.

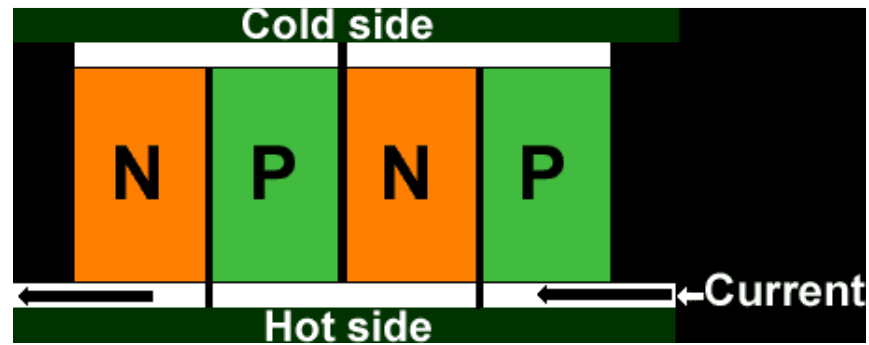
2.2. Elemen Peltier (*Thermoelectric Cooler*)

Peltier seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2, adalah suatu komponen yang mengaplikasikan Efek Peltier. Peltier merupakan sebuah komponen yang tergolong komponen Thermoelektrik, dimana ketika terjadi perbedaan suhu diantara dua sisinya maka komponen ini mengubahnya menjadi besaran tegangan listrik, dan begitu pula sebaliknya, ketika suatu tegangan listrik diberikan kepada komponen ini, maka dia dapat mengubahnya menjadi dua suhu yang berbeda.



Gambar 2.2 Elemen Peltier

Dalam prakteknya, TEC menggunakan beberapa termokopel yang disusun seri yang memudahkan perpindahan panas. Umumnya bagian luar komponen ini dibungkus sejenis keramik tipis yang berisikan batang-batang Bismuth Telluride di dalamnya. Material tersebut adalah suatu semikonduktor yang didalamnya ditambahkan suatu zat tambahan. Zat tambahan tersebut bertujuan untuk memberikan kelebihan elektron bebas (N-type semiconductor) atau memberikan kekurangan elektron bebas (P-type semiconductor).



Gambar 2.3 Ilustrasi Kerja Elemen Peltier

Elektron dari material yang kekurangan elektron (P-type material) bergerak ke material yang kelebihan elektron (N-type material). Dalam keadaan ini maka konektor akan menyerap energi. Ketika elektron bergerak dari N-type menuju P-type, maka pada konektor akan melepas energi. Energi yang diserap atau dilepas ini diberikan dalam bentuk panas. Ilustrasi kerja elemen peltier ditunjukkan pada Gambar 2.3.

2.2.1. Efek Seebeck

Pada tahun 1821, J. T. Seebeck (1770-1831) menyatakan bahwa logam yang berbeda yang dihubungkan pada dua lokasi berbeda, maka akan ada tegangan mikro yang timbul jika kedua sisi plat memiliki perbedaan temperatur. Efek ini disebut “Efek Seebeck”.

Seebeck dalam percobaannya menghubungkan tembaga dan besi dalam sebuah rangkaian. Di antara kedua logam tersebut lalu diletakkan jarum kompas. Ketika sisi logam tersebut dipanaskan, jarum kompas ternyata bergerak. Belakangan diketahui, hal ini terjadi karena aliran listrik yang terjadi pada logam menimbulkan medan magnet. Medan magnet inilah yang menggerakkan jarum kompas. Medan magnet ini terjadi karena adanya tegangan yang mengalir di antara kedua plat tersebut.

Tegangan (V_o) tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$V_o = \alpha_{XY} x(T_h - T_c) \dots\dots\dots(7)$$

dimana :

V_o = Tegangan keluaran (Volt)

α_{XY} = Koefisien Seebeck antara 2 material X dan Y (Volt / K)

T_h, T_c = Temperatur Termokopel panas dan dingin (K)

Nilai dari efek seebeck dapat ditentukan bergantung material yang digunakan. Berikut adalah tabel nilai seebeck untuk beberapa material :

Tabel 2.1. Tabel Koefisien Seebeck

Material	Seebeck Coeff ($\mu V / ^\circ C$)	Material	Seebeck Coeff ($\mu V / ^\circ C$)	Material	Seebeck Coeff ($\mu V / ^\circ C$)
Aluminium	3.5	Gold	6.5	Rhodium	6
Antimony	47	Iron	19	Selenium	900
Bismuth	-72	Lead	4	Silicon	440
Cadmium	7.5	Mercury	0.6	Silver	6.5
Carbon	3	Nichrome	25	Sodium	-2
Constantan	-35	Nickel	-15	Tantalum	4.5
Copper	6.5	Platinum	0	Tellurium	500
Germanium	300	Potasium	-9	Tungsten	7.5

didapat pada temperatur $0^\circ C$ ($32^\circ F$)

2.2.2. Efek Peltier

Pada 1834, seorang ilmuwan bernama Jean Charles Athanase Peltier menemukan suatu teori pembalikan efek Seebeck. Teori tersebut disebut Efek Peltier. Beliau menemukan bahwa ketika suatu termokopel diberikan tegangan, maka akan terjadi perbedaan temperatur pada kedua sisinya. Teori ini juga sering dikenal sebagai Thermo-Electric Cooler (TEC).

Seperti yang dapat dilihat dari Gambar 2.3 , ketika dua buah plat dialiri arus listrik maka akan timbul perbedaan suhu pada kedua plat

tersebut. Jumlah kalor yang diserap dan juga yang dilepas dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$Q_C = Q_h = V_{xy} I_{xy} \dots \dots \dots (8)$$

dimana :

V_{xy} = Tegangan (Volt)

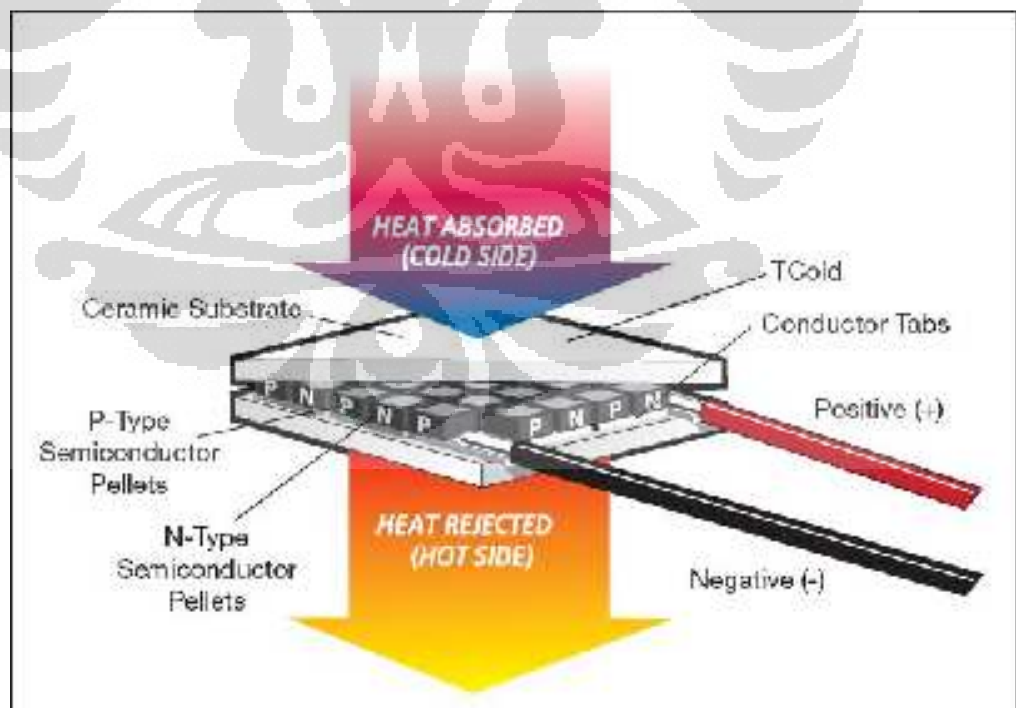
I_{xy} = Arus (Ampere)

$Q_C = Q_h$ = Kalor (Watt)

Besar suhu di sisi panas dan sisi dingin dapat diubah-ubah tergantung arus polaritas yang diberikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses terjadinya efek peltier bersifat reversibel.

2.2.3. Cara Kerja Elemen Peltier

Suatu elemen Peltier memiliki dua sisi dimana satu sisi bertindak sebagai bagian panas dan sisi lainnya bertindak sebagai bagian dingin. Cara kerja elemen peltier ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Cara Kerja Elemen Peltier

Elektron dari material yang kekurangan elektron (P-type material) bergerak ke material yang kelebihan elektron (N-type material). Dalam keadaan ini maka konektor akan menyerap energi sehingga sisi ini akan menjadi sisi dingin dari Peltier. Dilain pihak, ketika elektron bergerak dari N-type menuju P-type, maka pada konektor akan melepas energi sehingga sisi ini akan menjadi sisi panas dari Peltier.

2.2.4. Faktor – Faktor Dalam Elemen Peltier

Elemen Peltier dapat digunakan untuk elemen pemanas dan elemen pendingin. Hal tersebut dapat dilakukan dengan menentukan polaritas arus yang dipakai.

2.2.4.1. Faktor Termal

Ada tiga faktor thermal yang mempengaruhi penggunaan elemen Peltier untuk aplikasi, yaitu:

- a) Temperatur permukaan sisi panas (T_h)

Pada penggunaan elemen peltier, salah satu sisinya akan menjadi sisi panas. Dimana temperatur sisi panas (hot side) elemen peltier dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$T_h = T_\infty + (\theta)(Q_h) \dots\dots\dots(9)$$

Dimana :

T_h = Temperatur sisi panas (°C)

T_∞ = Temperatur Ambient (°C)

θ = Tahanan termal dari Elemen Peltier (°C/watt)

$$Q_h = Q_c + P_{in} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana :

Q_h = Kalor yang dilepaskan pada bagian sisi panas elemen Peltier (Watt)

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

P_{in} = daya input (Watt)

Persamaan tersebut dapat digunakan ketika menggunakan pendinginan menggunakan udara secara natural maupun konveksi paksa (*forced convection*) misalnya dengan penambahan fan.

b) Temperatur permukaan sisi dingin (T_c)

Pada penggunaan elemen peltier, salah satu sisinya akan menjadi sisi dingin. Sisi dingin ini harus ditentukan agar suhunya lebih dingin dari temperatur yang diinginkan pada bagian yang didinginkan. Sisi dingin ini harus ditentukan agar tercapai suhu dingin yang kita inginkan.

Perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin disebut juga delta temperatur (ΔT) yang ditentukan dengan persamaan :

$$\Delta T = T_h - T_c \dots\dots\dots(11)$$

Pada elemen peltier konvensional, delta temperatur (ΔT) yang dapat dihasilkan berkisar antara 30 °C - 40 °C tergantung dari jenis dan kualitas elemen peltier yang digunakan.

c) *Heat load* yang dapat dialirkan dari obyek yang didinginkan (Q_c)

Faktor lain yang perlu dipertimbangkan dalam penggunaan elemen Peltier untuk aplikasi umum ialah material alat yang digunakan dan pertimbangan terhadap lingkungan sekitar. *Heatsink* dan *coldsink* harus dibuat dari material yang memiliki nilai konduktivitas thermal yang tinggi untuk memudahkan proses perpindahan kalor.

Faktor dari lingkungan seperti kelembaban (*humidity*) dan kondensasi dari sisi dingin (*cold side*) yang harus diminimalisir dengan metode sealing yang tepat. Sealing berfungsi untuk melindungi elemen Peltier dari kontak dengan air, gas,

mengurangi kemungkinan korosi, korsleting listrik atau thermal yang dapat merusak elemen Peltier.

2.3. Heatsink

Heatsink adalah material yang dapat menyerap dan mendisipasi panas dari suatu tempat yang bersentuhan dengan sumber panas dan membuangnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Heatsink digunakan pada beberapa teknologi pendingin seperti *refrigerasi*, *air conditioning*, dan radiator pada mobil.

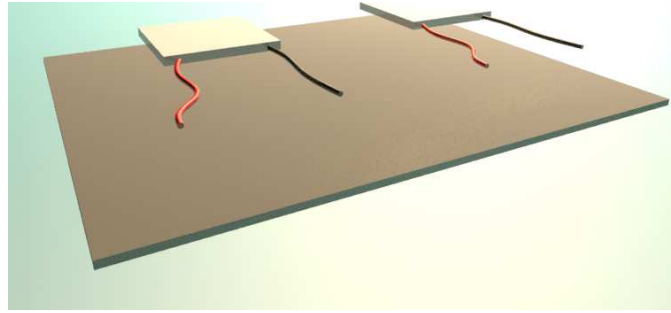


Gambar 2.5 Pin, Straight and Flated Fin Heatsink Types

Sebuah *heatsink* dirancang untuk meningkatkan luas kontak permukaan dengan fluida disekitarnya, seperti udara. Kecepatan udara pada lingkungan sekitar, pemilihan material, desain sirip (atau bentuk lainnya) dan *surface treatment* adalah beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan thermal dari *heatsink*. *Thermal adhesive* (juga dikenal dengan *thermal grease*) ditambahkan pada dasar permukaan *heatsink* agar tidak ada udara yang terjebak di antara *heatsink* dengan bagian yang akan diserap panasnya.

2.4. Coldsink

Coldsink seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5, menggunakan mekanisme yang sama dengan *heatsink* namun yang membedakan seperti dalam penamaannya adalah bila *heatsink* berfungsi untuk memindahkan panas dari permukaan benda yang ingin didinginkan, maka *coldsink* berfungsi sebaliknya yaitu *coldsink* digunakan untuk memindahkan dingin (temperatur yang lebih rendah) dari sisi dingin Peltier untuk mendinginkan udara dalam kabin mobil.



Gambar 2.6 Coldsink Aluminium

Rumusan yang digunakan dalam perhitungan perpindahan kalor dari sisi dingin Peltier ke Coldsink sama dengan yang digunakan pada Waterblock yaitu dengan menggunakan rumusan perpindahan kalor konduksi dengan diasumsikan Coldsink seluruhnya merupakan Aluminium.

$$Q = k_{\text{aluminium}} \cdot A \cdot \Delta T \dots \dots \dots (12)$$

dimana:

Q = Kalor yang dipindahkan (Watt)

K = Koefisien Perpindahan Panas Konduksi (Watt/m⁰C)

A = Luasan permukaan (m²)

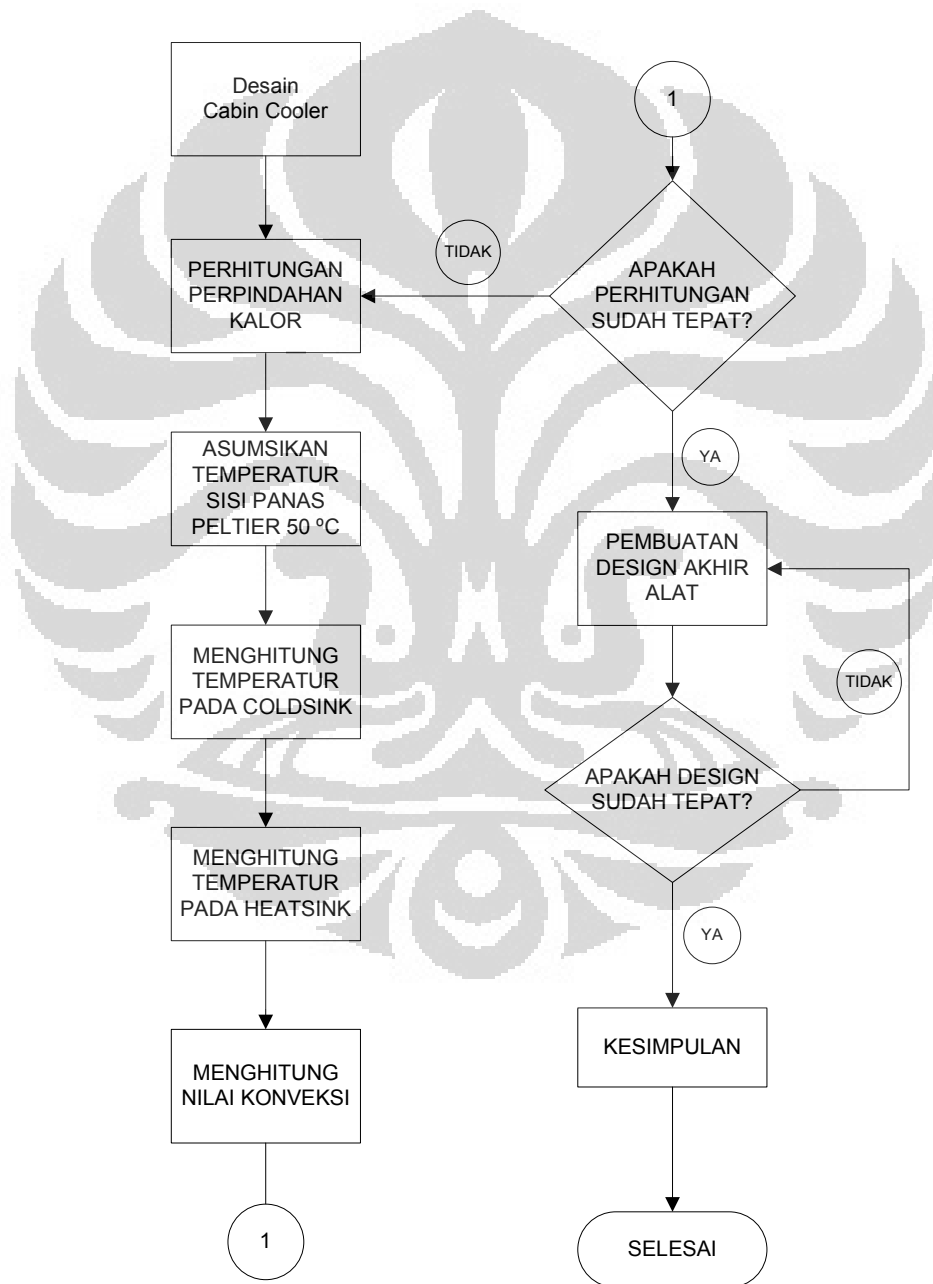
ΔT = Perbedaan temperatur sisi dingin Peltier dengan Coldsink (K)

Dari persamaan diatas akan didapatkan temperatur pada sisi Coldsink yang akan digunakan untuk mendinginkan udara dalam kabin mobil.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Flowchart perhitungan pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik digunakan untuk mempermudah kita dalam menghitung parameter yang dibutuhkan secara sistematis, Perhitungan yang digunakan berdasarkan literatur yang berhubungan dengan proses perpindahan panas.



Gambar 3.1 *Flowchart* Perhitungan Pendingin Kabin Mobil

3.2. Perhitungan Perpindahan Kalor *Thermoelectric Cooler*

Proses perpindahan panas secara konduksi dan radiasi dari lingkungan ke dalam sistem (kabin mobil) diabaikan, sehingga proses perpindahan panas secara konduksi hanya terjadi antara Elemen Peltier, *heatsink* dan *coldsink*. Perhitungan perpindahan kalor pada kabin mobil berdasarkan dari kebutuhan jumlah daya yang dihasilkan oleh Elemen Peltier. Elemen Peltier yang digunakan berjumlah sepuluh buah sesuai dengan hasil rancangan skripsi berjudul Perancangan Pendingin Kabin Mobil Berbasis Thermoelektrik. Elemen Peltier kemudian disusun secara paralel.

Elemen Peltier yang digunakan pada sisi panasnya menghasilkan rata-rata 60°C. Berdasarkan karakteristik umum Elemen Peltier dapat diketahui data sebagai berikut :

$$V = 12 \text{ Volt}$$

$$I = 3 \text{ Ampere}$$

$$\Delta T = 30^{\circ} \text{ C}$$

Kinerja Elemen Peltier dapat lebih optimal, jika tegangan dan arus yang diberikan sebesar 5 V dan 2 A. Mobil menggunakan *accu* untuk memenuhi kebutuhan listriknya, begitu pula alat pendingin kabin mobil ini. *Accu* mobil mempunyai tegangan 12 V dan arus 40 A, sehingga digunakan alat penurun tegangan dan pembatas arus (*inverter*) yang akan masuk ke dalam pendingin kabin mobil ini. *Inverter* ini akan menurunkan tegangan dari 12 V menjadi 5 V dan membatasi jumlah arus yang masuk hanya sebesar 20 A. Maka, daya yang dihasilkan oleh Elemen Peltier adalah :

$$P_{in} = V_{xy} I_{xy} \dots \dots \dots (13)$$

dimana :

$$V_{xy} = \text{Tegangan (Volt)}$$

$$I_{xy} = \text{Arus (Ampere)}$$

$$P_{in} = \text{Kalor (Watt)}$$

$$P_{in} = \frac{V_{xy}^2}{R_{xy}} \dots\dots\dots(14)$$

dimana,

$$\frac{1}{R_{xy}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_n} = \frac{10}{2.5} = 0.25 \Omega$$

$$R_{xy} = 0.25 \Omega$$

maka,

$$P_{in} = \frac{V_{xy}^2}{R_{xy}} = \frac{5^2}{0.25} = 100 \text{ Watt}$$

Jadi daya yang dihasilkan oleh sepuluh Elemen Peltier adalah sebesar 100 Watt, atau dapat dikatakan juga kalor yang dihasilkan sepuluh Elemen Peltier adalah 100 Watt. Suhu dingin yang ingin dicapai pada saat mobil dalam kondisi terjemur adalah $T_c = T_h - \Delta T = 60^0 \text{ C} - 30^0 \text{ C} = 30^0 \text{ C}$.

Pada penggunaan elemen peltier, salah satu sisinya akan menjadi sisi panas. Dimana temperatur sisi panas (*hot side*) elemen peltier dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$T_h = T_\infty + (\theta)(Q_h) \dots\dots\dots(15)$$

dimana :

T_h = Temperatur sisi panas (°C)

T_∞ = Temperatur Ambient (°C)

θ = Tahanan termal dari Elemen Peltier (°C/watt)

$$T_h = T_\infty + \left(\frac{\Delta x}{kA}\right) (Q_h) \dots\dots\dots(16)$$

$$60 = 50 + (0,01667)(Q_h)$$

$$Q_h = \frac{60 - 50}{0,01667}$$

$$Q_h = 600 \text{ Watt}$$

Pada penggunaan elemen peltier, salah satu sisinya akan menjadi sisi dingin. Dimana temperatur sisi dingin (*cold side*) elemen peltier dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$Q_h = Q_c + P_{in} \dots \dots \dots (17)$$

$$Q_c = 600 - 100$$

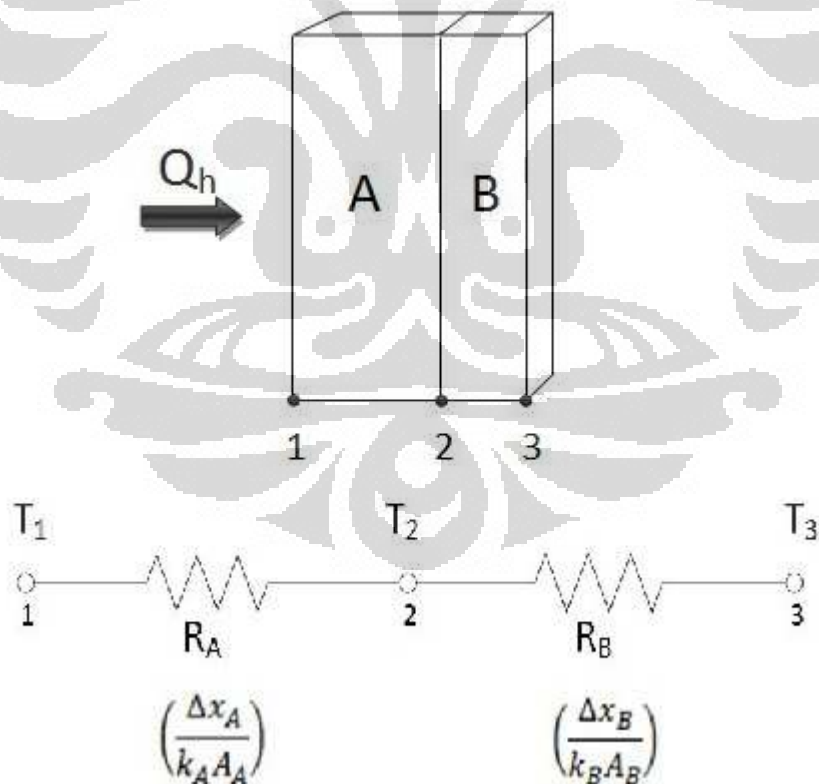
$$Q_c = 500 \text{ Watt}$$

3.3.Perhitungan Coldsink

Coldsink berfungsi untuk memindahkan dingin (temperatur yang lebih rendah) dari sisi dingin Elemen Peltier, sehingga temperatur dingin dari *coldsink* dapat mendinginkan udara dalam kabin mobil.

Menghitung temperatur *coldsink* :

$$Q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (18)$$



Gambar 3.2 Skema Perpindahan Panas dan Thermal Resistance Circuit

$$Q = -k_A \cdot A \cdot \frac{T_2 - T_1}{\Delta x_A} = -k_B \cdot A \cdot \frac{T_3 - T_2}{\Delta x_B}$$

$$Q = \frac{T_3 - T_1}{\frac{\Delta x_A}{k_A A_A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A_B}}$$

$$600 = \frac{T_3 - 60}{\frac{(4 \times 10^{-3})}{(150)(1,6 \times 10^{-4})} + \frac{(6 \times 10^{-4})}{(202)(0,0576)}}$$

$$T_3 = 49,97^\circ \text{C}$$

dimana,

$$Q_h = 600 \text{ Watt}$$

$$T_1 = 60^\circ \text{C}$$

$$k_{\text{peltier}} = 150 \text{ Watt/m K}$$

$$k_{\text{aluminium}} = 202 \text{ Watt/m K}$$

$$x_{\text{peltier}} = 4 \text{ mm} = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$x_{\text{aluminium}} = 0,6 \text{ mm} = 6 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$A_{\text{peltier}} = 1,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{aluminium}} = 0,0576 \text{ m}^2$$

Kalor yang dihasilkan pada sisi panas adalah 600 Watt dan menghasilkan suhu panas 60°C . Peltier disusun pada sisi *coldsink*, sehingga terjadi proses perpindahan kalor secara konduksi. Nilai T_3 adalah temperatur di sisi luar *coldsink* yang menghadap ke arah kabin pengemudi, sedangkan nilai T_1 adalah temperatur yang ada di sisi panas Elemen Peltier. Maka temperatur yang dihasilkan oleh *coldsink* melalui proses perpindahan kalor secara konduksi terhadap Elemen Peltier adalah $49,97^\circ \text{C}$.

3.4. Perhitungan Distribusi Penyebaran Suhu Pada *Heatsink*

Heatsink adalah material yang dapat menyerap dan mendisipasi panas dari suatu tempat yang bersentuhan dengan sumber panas. Suhu yang dihasilkan

Menghitung nilai konveksi :

a) Nilai Pr

Angka Prandtl merupakan parameter yang menghubungkan ketebalan relatif antara batas hidrodinamik dan lapisan batas thermal. Temperatur rata-rata setelah mengambil data pada kabin mobil adalah 50°C . Maka, akan di dapat $T = 323\text{ K}$.

Pada lembar *Lampiran 1* terdapat Daftar A-5 Sifat-sifat Udara Pada Tekanan Atmosfer untuk mencari nilai Pr dengan menggunakan metode interpolasi pada $T = 323\text{ K}$. Maka, akan didapat nilai $Pr = 0,703$, $\nu = 18,09 \times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$ dan $k = 0,02798$.

b) Nilai Re_x

$$Re_x = \frac{u_{\infty} x}{\nu} \dots\dots\dots(19)$$

dimana :

Re_x = Bilangan Reynolds

u_{∞} = Kecepatan aliran bebas (m/s)

ν = Viskositas kinematik (m^2/s^2)

x = Jarak Lapisan Batas (m)

Nilai u_{∞} adalah nilai kecepatan aliran bebas *fan* yang digunakan pada alat Pendingin Kabin Mobil Berbasis Thermoelektrik ini, yang mempunyai kecepatan aliran sebesar 51 cfm atau 3.77 m/s. Sedangkan nilai x merupakan arah tegak lurus dari datangnya konveksi paksa yang dilakukan oleh *fan* sepanjang plat aluminium yang menutup Elemen Peltier. Jarak lapis batas dari ke plat datar yang menutupi sisi panas peltier yang mempunyai jarak 340 mm.

$$Re_x = \frac{(3,77\text{ m/s}) \times (0,34\text{ m})}{(18,09 \times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s})} = 70856,87$$

c) Nilai Nu_x

Nilai Pr dan Re telah di dapat dari perhitungan sebelumnya, kemudian kedua nilai tersebut akan digunakan pada persamaan Nußelt, yaitu :

$$Nu = \frac{0,3387 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{0,0468}{Pr}\right)^{2/3}\right]^{1/4}} \dots\dots\dots(20)$$

$$Nu = \frac{0,3387 (70856,87)^{1/2} (0,703)^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{0,0468}{0,703}\right)^{2/3}\right]^{1/4}}$$

$$Nu = 77,16$$

d) Nilai Koefisien Konveksi

Nilai Nußelt yang didapat kemudian digunakan mencari nilai koefisien konveksi (h) yang terjadi pada kabin mobil setelah menggunakan alat Pendingin Kabin Mobil Berbasis Thermoelektrik.

$$h = \frac{Nu.k}{x} \dots\dots\dots(21)$$

$$h = \frac{Nu k}{x} = \frac{(20,93)(0,02798)}{0,34} = 6,35 W/m^2 \text{ } ^\circ C$$

Nilai rata-rata koefisien perpindahan kalor adalah dua kali nilai koefisien konveksi di atas, yaitu :

$$\bar{h} = (2)(6,35) = 12,7 W/m^2 \text{ } ^\circ C$$

Maka nilai aliran kalor

$$Q = \bar{h} A (T_s - T_\infty) \dots\dots\dots(22)$$

Jika diandaikan satu satuan kedalaman pada arah z di dalam kabin mobil adalah 0,4 m.

$$Q = (12,7)(0,4)(50 - 49,97) = 0,1524 Watt$$

Jadi secara perhitungan, perpindahan kalor secara konveksi yang terjadi di dalam kabin mobil sejauh 0,4 m dari alat pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik terjadi di daerah tempat duduk pengemudi. Nilai kalor pada kabin tempat duduk pengemudi adalah sebesar 0,1524 Watt.

BAB 4 **PROSES, HASIL DAN ANALISA**

4.1. Proses Pengambilan Data

Daerah pengambilan data yang dilakukan pada kabin mobil diharapkan dapat mewakili bagian tubuh pada manusia yang memiliki tingkat kepekaan yang lebih tinggi terhadap suhu. Pertimbangan ini diambil mengingat bahwa pada saat mengemudikan mobil, tubuh harus dalam keadaan nyaman, baik nyaman terhadap suhu di dalam kabin mobil maupun terhadap posisi mengemudi. Apabila, pada saat pertama kali memasuki mobil yang telah terjemur beberapa jam, maka akan terasa serbuan hawa panas yang dapat membuat tubuh tidak nyaman. Hal ini menyebabkan tubuh mengalami proses adaptasi terhadap suhu di dalam kabin yang panas.



Gambar 4.1 Posisi Termometer Pada Kabin Mobil

Pada Gambar 4.1 dapat terlihat posisi thermometer yang digunakan untuk mengambil data suhu di dalam kabin mobil pada saat terjemur. Pada posisi T1 dan T2 ditempatkan pada kemudi setir, pertimbangan menempatkan thermometer pada posisi tersebut karena telapak tangan (khususnya ujung jari) memiliki tingkat kepekaan yang cukup tinggi terhadap suhu.

Pada posisi T3 yang diasumsikan adalah bagian punggung dari tubuh manusia dan pada posisi T4 diasumsikan daerah kepala manusia yang merupakan pusat pengontrol seluruh bagian tubuh manusia. Atas dasar hal-hal yang telah disebutkan maka *layer* yang akan diambil secara dua dimensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 *Boundary Layer* Pada Kabin Mobil

Alat pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik ini mengambil kebutuhan listrik dari sumber listrik pada mobil, yaitu *accu*. *Accu* mobil mempunyai spesifikasi tegangan sebesar 12 Volt dan rata-rata memiliki arus sebesar 40 Ampere.



Gambar 4.3 Accu Mobil

Sebelum terhubung langsung dengan alat pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik, accu terhubung dengan *inverter* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.



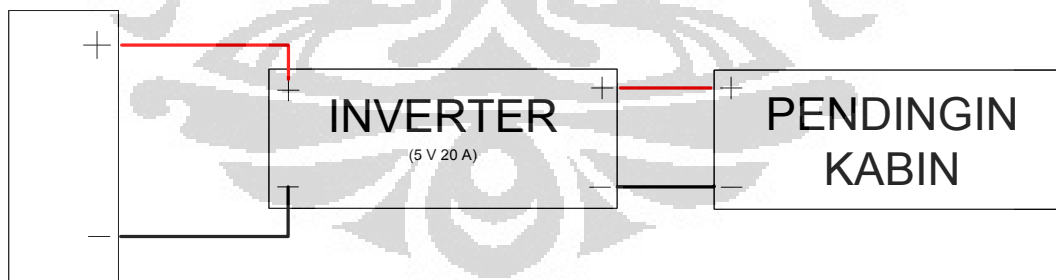
Gambar 4.4 Alat Penurun Tegangan dan Pembatas Arus (*Inverter*)

Penambahan *inverter* ini bertujuan agar tegangan dan arus yang diinginkan tidak melebihi dari yang diinginkan sesuai dengan perhitungan pada bab terdahulu, keluaran dari *inverter* adalah 5 Volt dan 20 Ampere.



Gambar 4.5 Pendingin Kabin Mobil Berbasis Thermoelektrik

Inverter kemudian dihubungkan dengan alat pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik yang telah dirancang seperti yang terlihat pada Gambar 4.5. Ilustrasi rangkaian dari ketiga komponen di atas dapat dilihat pada Gambar 4.6 ,



Gambar 4.6 Layout Instalasi Alat Pada Kabin Mobil

Pemasangan alat pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik ini pada *interior* yang ada di kabin baris pertama di dalam mobil, yaitu pada pelindung mata dari sinar matahari seperti yang tampak pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Pemasangan Alat Pada Kabin Mobil

Pemasangan alat pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik ini menyesuaikan dimensi dari interior mobil yang berfungsi untuk melindungi mata dari sinar matahari.

4.2. Hasil Pengambilan Data

Pengambilan data suhu kabin mobil dibagi menjadi dua tahap ,yaitu data suhu tanpa alat pendingin kabin mobil berbasis thermoelektrik dan data suhu dengan alat pendingin kabin mobil berbasis thermoelektrik. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi dari alat pendingin kabin mobil berbasis thermoelektrik ini.

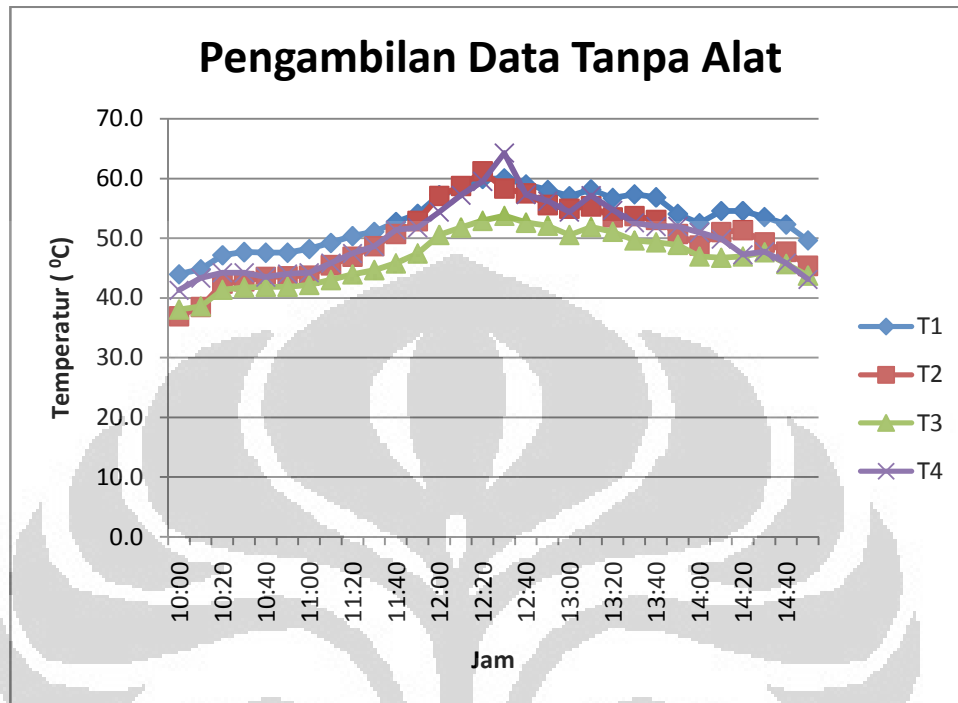
Pengambilan data dilakukan di Universitas Indonesia Depok pada lahan parkir Gedung Vokasi, dengan pertimbangan tidak adanya bangunan dan pepohonan yang terlalu tinggi. Pengambilan data awal bertujuan mengetahui rentang waktu dari matahari mencapai suhu panas yang paling tinggi pada saat mobil terjemur pada lahan terbuka.

Tabel 4.1 Data Suhu Rata-Rata Pada Kabin Mobil Tanpa Alat

Jam	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)
10:00	44,0	36,9	38,1	41,3
10:10	44,8	38,5	38,6	43,3
10:20	47,2	42,4	41,4	44,2
10:30	47,7	42,8	41,8	44,2
10:40	47,6	43,5	41,9	43,5
10:50	47,6	43,6	41,9	44,0
11:00	48,2	43,7	42,2	44,2
11:10	49,2	45,5	43,0	45,8
11:20	50,3	46,9	43,9	47,4
11:30	51,1	48,7	44,7	48,6
11:40	52,7	50,7	45,8	51,3
11:50	54,1	52,9	47,5	51,7
12:00	57,2	57,1	50,5	54,4
12:10	58,4	58,7	51,8	57,2
12:20	59,9	61,2	52,9	59,5
12:30	60,0	58,3	53,7	64,2
12:40	59,0	57,5	52,6	57,3
12:50	58,1	55,5	52,1	56,2
13:00	57,0	54,9	50,5	54,4
13:10	58,2	55,3	51,9	57,1
13:20	56,7	53,5	51,1	54,7
13:30	57,3	53,7	49,6	52,6
13:40	56,8	53,1	49,3	51,9
13:50	54,1	50,7	48,9	51,9
14:00	52,5	48,8	46,9	50,9
14:10	54,6	51,0	46,7	49,8
14:20	54,6	51,3	46,9	47,2
14:30	53,5	49,3	47,7	47,7
14:40	52,3	47,7	45,7	45,8
14:50	49,6	45,4	43,7	43,1
Rata-Rata	53,1	50,0	46,8	50,2

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat hasil pengambilan data tanpa alat pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik. Data tersebut kemudian dicari rata-rata suhu tertingginya, sehingga di dapat suhu yang paling panas dari proses menjemur mobil adalah antara jam 11.00 WIB hingga jam 13.00 WIB seperti yang terlihat pada Gambar 4.8. Rentang waktu ini merupakan rentang waktu

yang akan digunakan untuk proses pengambilan data suhu kabin mobil dengan alat pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik.



Gambar 4.8 Grafik Pengambilan Data Suhu Tanpa Alat

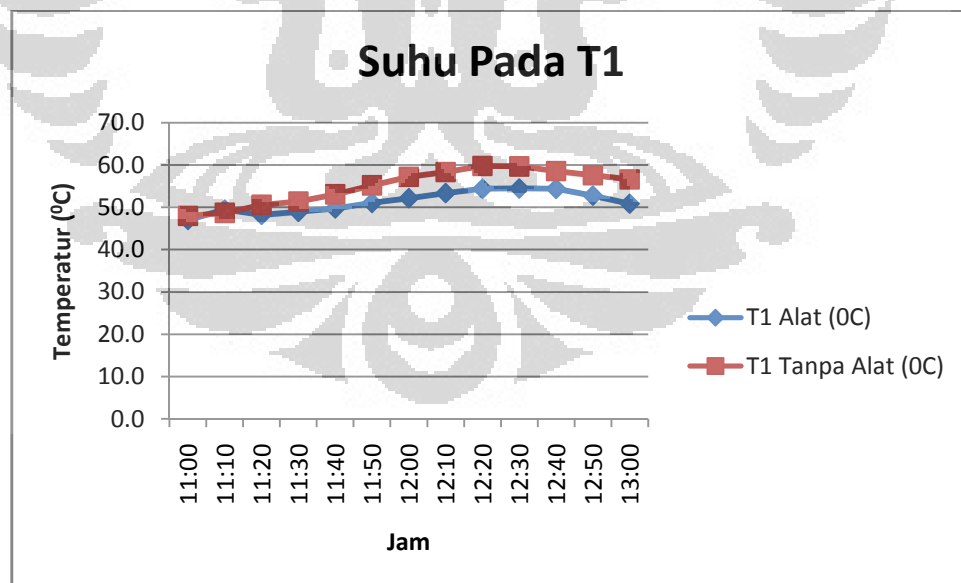
Setelah diketahui rentang waktu yang akan digunakan untuk proses pengambilan data dengan alat pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik, data suhu setiap T1, T2, T3 dan T4 yang telah dilakukan beberapa kali dari jam 11.00 hingga jam 13.00 diambil nilai rata-ratanya. Nilai rata-rata tersebut akan digunakan sebagai nilai simulasi yang akan digunakan untuk menghitung distribusi penyebaran perpindahan panas secara konveksi tanpa menggunakan alat pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.

Simulasi distribusi penyebaran perpindahan panas secara konveksi ini akan dibandingkan dengan hasil perhitungan untuk kabin mobil yang telah terpasang alat pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik. Sehingga akan terlihat performa alat pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik ini.

Tabel 4.2 Data Suhu Pada T1

Jam	T1 Alat (°C)	T1 Tanpa Alat (°C)
11:00	47,0	48,0
11:10	49,5	48,7
11:20	48,2	50,6
11:30	48,9	51,4
11:40	49,7	53,1
11:50	51,0	55,2
12:00	52,1	57,2
12:10	53,3	58,3
12:20	54,3	59,8
12:30	54,4	59,7
12:40	54,3	58,5
12:50	52,7	57,6
13:00	50,8	56,6
Rata-Rata	51,3	55,0

Pada Tabel 4.2 dapat dilihat terjadi penurunan temperatur pada kabin mobil di posisi pengambilan data T1, dengan membandingkan antara data suhu sebelum menggunakan alat dan data suhu setelah menggunakan alat.



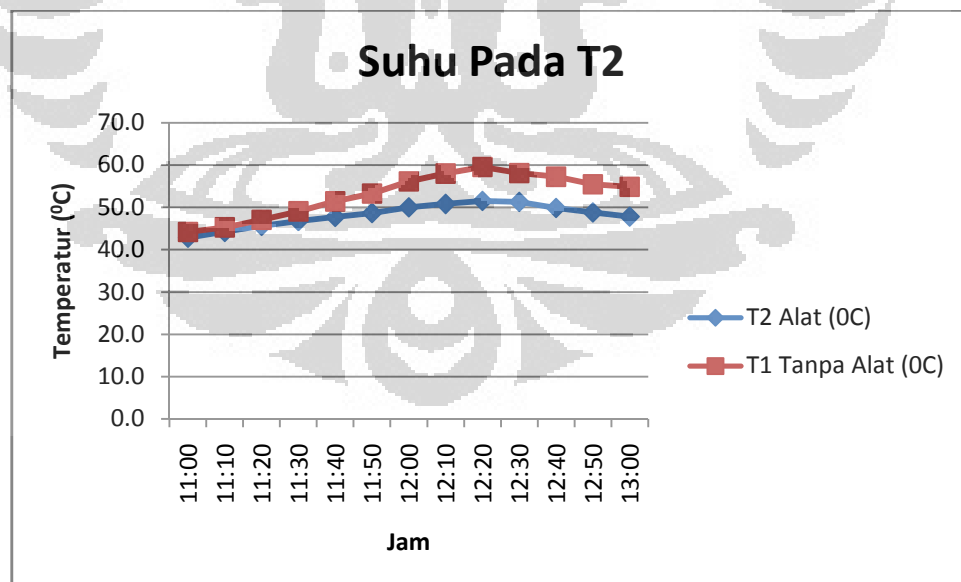
Gambar 4.10 Grafik Suhu Pada T1

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa temperatur tertinggi terjadi pada jam 12.20 WIB sebelum menggunakan alat, sedangkan temperatur tertinggi setelah menggunakan alat terjadi pada jam 12.30 WIB.

Tabel 4.3 Data Suhu Pada T2

Jam	T2 Alat (°C)	T1 Tanpa Alat (°C)
11:00	42,8	44,2
11:10	44,2	45,3
11:20	45,7	47,0
11:30	46,8	49,0
11:40	47,7	51,4
11:50	48,7	53,3
12:00	50,0	56,1
12:10	50,8	58,0
12:20	51,5	59,5
12:30	51,3	58,1
12:40	49,9	57,2
12:50	48,8	55,5
13:00	47,8	54,8
Rata-Rata	48,2	53,0

Pada Tabel 4.3 dapat dilihat terjadi penurunan temperatur pada kabin mobil di posisi pengambilan data T2, dengan membandingkan antara data suhu sebelum menggunakan alat dan data suhu setelah menggunakan alat.



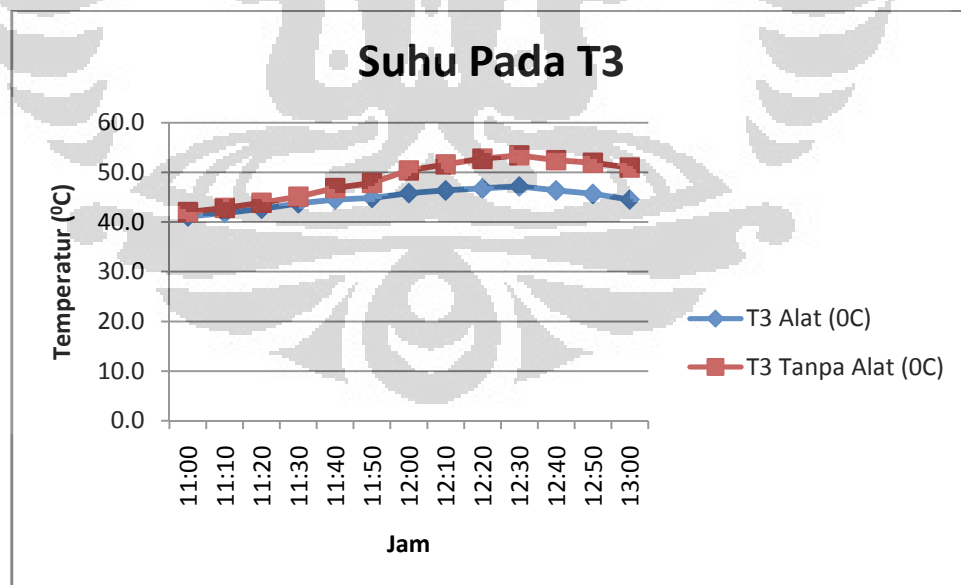
Gambar 4.11 Grafik Suhu Pada T2

Pada Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa temperatur tertinggi terjadi pada jam 12.30 WIB sebelum menggunakan alat, sedangkan temperatur tertinggi setelah menggunakan alat terjadi pada jam 12.30 WIB.

Tabel 4.4 Data Suhu Pada T3

Jam	T3 Alat (°C)	T3 Tanpa Alat (°C)
11:00	41,1	42,0
11:10	41,8	42,8
11:20	42,6	43,9
11:30	43,7	45,1
11:40	44,5	46,8
11:50	44,8	47,8
12:00	45,8	50,3
12:10	46,3	51,6
12:20	46,7	52,7
12:30	47,1	53,4
12:40	46,3	52,4
12:50	45,6	51,9
13:00	44,5	50,9
Rata-Rata	44,7	48,6

Pada Tabel 4.4 dapat dilihat terjadi penurunan temperatur pada kabin mobil di posisi pengambilan data T3, dengan membandingkan antara data suhu sebelum menggunakan alat dan data suhu setelah menggunakan alat.



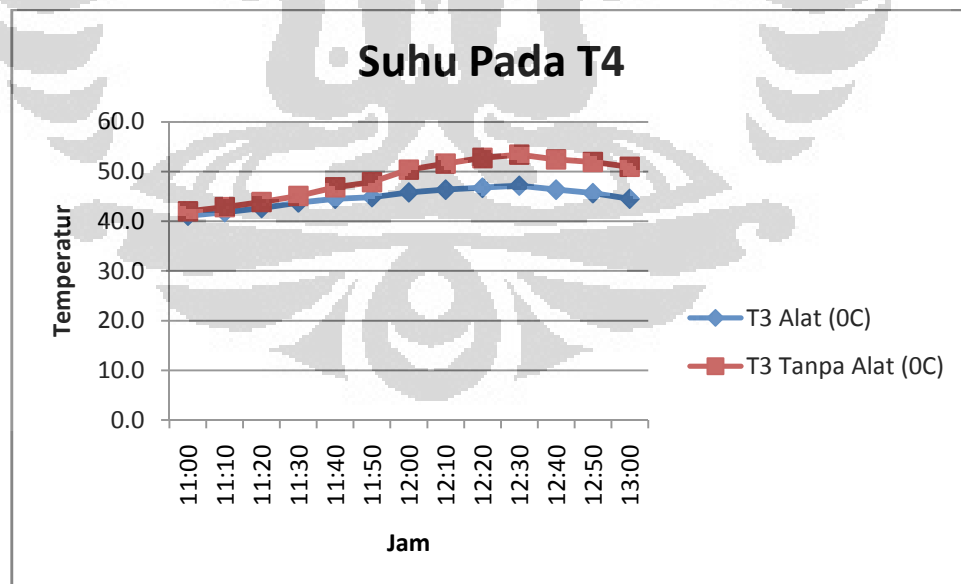
Gambar 4.12 Grafik Suhu Pada T3

Pada Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa temperatur tertinggi terjadi pada jam 12.30 WIB sebelum menggunakan alat, sedangkan temperatur tertinggi setelah menggunakan alat terjadi pada jam 12.30 WIB.

Tabel 4.5 Data Suhu Pada T4

Jam	T4 Alat (°C)	T4 Tanpa Alat (°C)
11:00	43,3	44,1
11:10	44,3	45,7
11:20	45,7	47,3
11:30	46,3	49,1
11:40	47,7	51,2
11:50	48,3	52,1
12:00	49,0	54,2
12:10	50,2	56,7
12:20	50,7	58,1
12:30	50,9	60,4
12:40	50,1	57,4
12:50	49,2	56,0
13:00	47,9	54,8
Rata-Rata	48,0	52,8

Pada Tabel 4.5 dapat dilihat terjadi penurunan temperatur pada kabin mobil di posisi pengambilan data T4, dengan membandingkan antara data suhu sebelum menggunakan alat dan data suhu setelah menggunakan alat.



Gambar 4.13 Grafik Suhu Pada T4

Simulasi pada Gambar 4.14 memperlihatkan distribusi penyebaran suhu secara konveksi dengan menggunakan alat pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik. Distribusi suhu yang paling rendah terletak di sekitar pengambilan data T3, sedangkan distribusi suhu yang paling tinggi terletak di sekitar pengambilan data T1. Pola distribusi suhu yang terjadi di kabin mobil mengarah pada posisi pengambilan data T2, hal ini disebabkan pada posisi tersebut terdapat kaca yang dapat mempermudah proses perpindahan panas secara konduksi dari sinar matahari menuju kabin mobil.

4.3. Analisa Data

Setelah melakukan proses perhitungan, pengambilan data dan proses simulasi kemudian dilakukan analisa terhadap fenomena yang terjadi pada kabin mobil tersebut.

Mobil yang di parkir di bawah sinar matahari mengalami peningkatan suhu pada jam 11.00 WIB sampai dengan jam 13.00 WIB. Peningkatan suhu yang paling tinggi terjadi pada jam 12.30 WIB. Hal ini dipengaruhi dari suhu lingkungan yang berubah terhadap intensitas matahari pada lingkungan di sekitar mobil di parkir.

Suhu pada permukaan *coldsink* berdasarkan perhitungan adalah sebesar $49,97^{\circ}\text{C}$, sedangkan pada proses simulasi *coldsink* terhadap Elemen Peltier menghasilkan suhu 47°C . Pada keadaan nyata suhu rata-rata yang dihasilkan *coldsink* adalah sebesar 48°C . Tidak adanya sirkulasi udara yang dapat membuang udara panas yang dihasilkan secara konveksi menyebabkan bertambahnya beban suhu yang harus didinginkan oleh alat pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik ini. Hal ini merupakan salah satu yang menyebabkan tidak tercapainya suhu awal yang diinginkan yaitu sebesar 30°C . Udara dari lingkungan luar akan membantu menurunkan perputaran udara panas yang terjadi secara konveksi di dalam kabin mobil, sehingga beban suhu yang harus didinginkan oleh alat pendingin berbasis termoelektrik ini tidak berputar terus menerus pada kabin mobil.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Temperatur kabin mobil yang diparkir dilapangan terbuka dapat mencapai 52.4 °C yang selain dapat membahayakan pengemudi, namun juga dapat merusak interior di dalam mobil.
2. Penurunan temperatur kabin mobil pada saat menggunakan pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik mencapai 48.0 °C.
3. Tidak adanya sirkulasi udara pada kabin mobil terhadap udara lingkungan menyebabkan bertambahnya beban temperature panas konveksi yang harus didinginkan oleh pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik ini.
4. Berdasarkan hasil perancangan, perhitungan dan simulasi tidak terdapat selisih data suhu yang signifikan.

5.2. Saran

1. Perlu dibuat sirkulasi udara panas kabin mobil agar berkurangnya beban temperatur panas yang harus didinginkan oleh pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik.
2. Susunan elemen peltier sebaiknya dibuat bertingkat untuk mencapai temperatur dingin yang lebih maksimal.

DAFTAR ACUAN

1. Holman J.P. 1986. "Heat Transfer 6th Ed". Singapore : McGraw-Hill Book Co.
2. Incopera, Frank P. and David Dewith. 2002. *Fundamental of Heat and Mass Transfer*. Singapore : WSE Willey.
3. Sutrisno, Budi. 1999. "Tesis Kajian Penerapan Kotak Pendingin Dengan Efek Peltier Sebagai Penyimpan Vaksin Di Bidang Kesehatan Untuk Puskesmas
4. Lazuardi, Gilang, et al. 2008. "Laporan Akhir Tugas Merancang Alat Kompres Termoelektrik". Depok : Departemen Teknik Mesin FTUI.
5. Sulistyio, Tri, et al. 2006. "Laporan Akhir Tugas Merancang Thermoelectric Cooler Dispenser". Depok : Departemen Teknik Mesin FTUI.
6. Paulke, Stefan, et al. 2007. "Air Conditioning Cabin Simulation with Local Comfort Rating of Passengers". P+Z Engineering GmbH.

DAFTAR PUSTAKA

- ❖ Nawita (2011, September). *Mobil Terjemur Bikin Puyeng Dan Keracunan?*. Desember, 2011.
<http://mobil.otomotifnet.com/read/2011/09/27/323748/127/7/Mobil-Terjemur-Bikin-Puyeng-Dan-Keracunan>.
- ❖ V-Kool , Januari, 2012. <http://www.v-kool-miami.com/commercial.html>.
- ❖ (2005, Oktober). *Seberapa adem suhu kabin, saat dijemur di siang bolong?*. Desember, 2011. <http://saft7.com/?p=170>.
- ❖ *Auto Cool a Revolutionary Product In Car Accesory*. Desember 2011.
<http://shopping.rediff.com/product/auto-cool-a-revolutionary-product-in-car-acessory/10244840>.
- ❖ (2011, Juli). *Peltier Cooler, si keping yang panas dingin*. Desember, 2011.
<http://shopping.rediff.com/product/auto-cool-a-revolutionary-product-in-car-acessory/10244840>.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Daftar A-5 Sifat-sifat Udara pada Tekanan Atmosfer†
 Nilai μ , k , c_p , dan Pr tidak terlalu bergantung pada tekanan dan dapat digunakan untuk rentang tekanan yang cukup luas.

T , K	ρ , kg/m ³	c_p , kJ/kg · °C	μ , kg/m · s × 10 ⁵	ν , m ² /s × 10 ⁶	k , W/m · °C	α , m ² /s × 10 ⁴	Pr
100	3.6010	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501	0.770
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.05745	0.753
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.490	0.01809	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.5990	11.31	0.02227	0.15675	0.722
300	1.1774	1.0057	1.8462	15.69	0.02624	0.22160	0.708
350	0.9980	1.0090	2.075	20.76	0.03003	0.2983	0.697
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	31.71	0.03707	0.4222	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564	0.680
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.04360	0.6532	0.680
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512	0.680
650	0.5430	1.0635	3.177	58.51	0.04953	0.8578	0.682
700	0.5030	1.0752	3.332	66.25	0.05230	0.9672	0.684
750	0.4709	1.0856	3.481	73.91	0.05509	1.0774	0.686
800	0.4405	1.0978	3.625	82.29	0.05779	1.1951	0.689
850	0.4149	1.1095	3.765	90.75	0.06028	1.3097	0.692
900	0.3925	1.1212	3.899	99.3	0.06279	1.4271	0.696
950	0.3716	1.1321	4.023	108.2	0.06525	1.5510	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779	0.702
1100	0.3204	1.160	4.44	138.6	0.0732	1.969	0.704
1200	0.2947	1.179	4.69	159.1	0.0782	2.251	0.707
1300	0.2707	1.197	4.93	182.1	0.0837	2.583	0.705
1400	0.2515	1.214	5.17	205.5	0.0891	2.920	0.705
1500	0.2355	1.230	5.40	229.1	0.0946	3.262	0.705
1600	0.2211	1.248	5.63	254.5	0.100	3.609	0.705
1700	0.2082	1.267	5.85	280.5	0.105	3.977	0.705
1800	0.1970	1.287	6.07	308.1	0.111	4.379	0.704
1900	0.1858	1.309	6.29	338.5	0.117	4.811	0.704
2000	0.1762	1.338	6.50	369.0	0.124	5.260	0.702
2100	0.1682	1.372	6.72	399.6	0.131	5.715	0.700
2200	0.1602	1.419	6.93	432.6	0.139	6.120	0.707
2300	0.1538	1.482	7.14	464.0	0.149	6.540	0.710
2400	0.1458	1.574	7.35	504.0	0.161	7.020	0.718
2500	0.1394	1.688	7.57	543.5	0.175	7.441	0.730

† Dari *Natl. Bur. Stand (U. S.) Circ. 564, 1965*

Daftar ini menggunakan satuan SI.