PENERAPAN TERMOELEKTRIK MODUL SEEBECK DENGAN SIRIP PENDINGIN TIPE SEJAJAR PADA KNALPOT MOBIL KIJANG TIPE 5K

PANJI BAGUS TRI UTOMO

5315097106

Skripsi Ini Ditulis Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Dalam Mendapatkan Gelar Sarjana Pendidikan

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2015

HALAMAN PENGESAHAN

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Drs. H. Supria Wiganda, M.Pd (Dosen Pembimbing I)	……	…….
Dyah Arum Wulandari, ST., MT. (Dosen Pembimbing II)	……	…….

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

Prof. Dr. G. Margono, M.Ed. (Ketua Penguji)	……	…….
Siska Titik Dwiyati, S.Si., MT. (Sekretaris)	……	…….
Dr. Eng. Agung Premono, MT. (Dosen Ahli)	……	…….

Tanggal Lulus : 29 Januari 2015

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin – UNJ	Ketua Prodi Pendidikan Teknik Mesin – UNJ
Dr. Eng. AgungPremono, MT. NIP. 197705012001121002	Ahmad Kholil, ST., MT. NIP. 197908312005011001

ABSTRAK

PANJI BAGUS TRI UTOMO. Penerapan Termoelektrik Modul Seebeck Dengan Sirip Pendingin Tipe Sejajar Pada Knalpot Mobil Kijang Tipe 5K. Skripsi, Jakarta: Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, 2015.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat alat konversi energi kalor menjadi energi listrik menggunakan termoelektrik modul Seebeck tipe TEG SP 1848-27145 SA pada knalpot mobil statis dengan tipe kijang 5K. Penelitian ini dilakukan sebagai pemanfaatan ulang energi yang tidak terpakai lagi menjadi energi terbarukan dari sisa gas pembuangan yang dihasilkan oleh mobil statis.

Penelitian ini menggunakan metode eskperimen laboratorium. Penelitian ini dilakukan dengan cara menempelkan rangkaian termoelektrik TEG SP 1848-27145 SA pada profil segitiga alumunium dan sirip pendingin. Dimana profil segitiga alumunium berfungsi sebagai konduktor dan sirip pendingin berfungsi sebagai media pendingin. Sementara itu, knalpot mobil kijang tipe 5K digunakan sebagai sumber kalor

Kesimpulan dari penelitian ini adalah kecepatan angin berpengaruh positif terhadap kecepatan putaran mesin dan daya yang dihasilkan oleh rangkaian termoelektrik. Hal ini bisa dilihat dari kecepatan angin 4,2 m/s daya maksimal yang dikeluarkan adalah 4,05 Watt. Sedangkan untuk kecepatan angin 4,8 m/s adalah 4,78 Watt dan untuk kecepatan angin 6,0 m/s adalah 6,26 Watt.

Kata kunci: termoelektrik, sirip pendingin, knalpot

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT berkat rahmat serta hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"**Penerapan Termoelektrik Modul Seebeck Dengan Sirip Pendingin Tipe Sejajar Pada Knalpot Mobil Kijang Tipe 5K**"**.

Dalam penulisan ini, penulis banyak mendapat bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Ir. Riyadi, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta
2. Bapak Dr. Eng. Agung Premono, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
3. Bapak Ahmad Kholil, ST., MT. selaku Koordinator Skripsi Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta.
4. Bapak Drs. H. Supria Wiganda, M.Pd. selaku dosen pembimbing I
5. Ibu Dyah Arum Wulandari, ST., MT. selaku dosen pembimbing II
6. Bapak Dr. Agus Dudung M.Pd. selaku pembimbing akademik
7. Ayahanda, Ibunda, dan Segenap Keluarga tersayang, yang selalu memberi dukungan baik secara moral maupun material.
8. Dani Purnama Junaedi A.Md yang selalu membantu dalam pembuatan alat
9. Teman-teman angkatan 2009 yang lainnya, yang selalu memberikan semangat positif satu sama lain dalam mengerjakan skripsi.
10. Seluruh Dosen, Karyawan, dan Keluarga Besar Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta serta seluruh pihak yang telah memberikan bantuan yang berguna bagi kelancaran penyusunan skripsi ini

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tulisan ini masih banyak kekurangan , dan besar harapan penulis semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca semua pada umumnya.

Jakarta, Februari 2015

Panji Bagus Tri Utomo

DAFTAR ISI

ABSTRAK iii

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI v

DAFTAR TABEL vii

DAFTAR GAMBAR viii

DAFTAR LAMPIRAN ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang 1

1.2. Identifikasi Masalah 3

1.3. Pembatasan Masalah 3

1.4. Perumusan Masalah 4

1.5.Tujuan Penelitian 4

1.6. Manfaat Penelitian 4

BAB II KAJIAN TEORI

2.1. Dasar Konversi Energi 5

2.1.1. Macam-macam Konversi Energi……... 5

2.2. Sirip Pendingin..... 7

2.2.1. Karakteristik Sirip Pendingin…… 7

2.2.2. Laju Perpindahan Panas Sirip Pendingin……... 9

2.3. Prinsip Dasar termoelektrik 11

2.3.1. Termoelektrik Modul Seebeck…….. 13

2.3.2. Bahan Termoelektrik……. 14

2.4. Listrik 15

2.5. Kerangka Berfikir 17

2.6. Hipotesis 17

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian 18

3.2. Metode Penelitian 18

3.3. Alat dan Bahan 19

3.4. Alur Kerja Penelitian 25

3.5. Prosedur Penelitian 25

3.6. Teknik Analisis Data 28

BAB IV HASIL PENELITIAN

4.1. Analisa Perhitungan Sirip Pendingin 31

4.1.1. Analisa Perhitungan pada Kecepatan Angin 4,2 m/s 33

4.1.2. Analisa Perhitungan pada Kecepatan Angin 4,8 m/s 35

4.1.3. Analisa Perhitungan pada Kecepatan Angin 6,0 m/s 37

4.2. Analisa Grafik Daya yang Dihasilkan 39

4.2.1 Analisa Daya pada Kecepatan Angin 4,2 m/s..... 39

4.2.2 Analisa Daya pada Kecepatan Angin 4,8 m/s..... 41

4.2.3 Analisa Daya pada Kecepatan Angin 6,0 m/s..... 43

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan 45

5.2. Saran 45

DAFTAR PUSTAKA 46

LAMPIRAN 47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Koefisien Seebeck dari Beberapa Jenis Material.....12

Tabel 3.1 Alokasi Waktu Penelitian..... 18

Tabel 4.1 Hasil Temperatur pada Setiap Kecepatan Angin 32

Tabel 4.2 Data hasil aliran listrik pada kecepatan angin 4,2 m/s 40

Tabel 4.3 Data hasil aliran listrik pada kecepatan angin 4,8 m/s 41

Tabel 4.4 Data hasil aliran listrik pada kecepatan angin 6,0 m/s 43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip dari Modul Termoelektrik 14

Gambar 2.2 Bahan Modul Termoelektrik 15

Gambar 3.1 Modul TEG SP 1848-27145 SA.....19

Gambar 3.2 Prisma Alumunium 20

Gambar 3.3 Model Sirip Pendingin 20

Gambar 3.4 AVO Meter Digital 21

Gambar 3.5 Anemometer 21

Gambar 3.6 Thermometer 22

Gambar 3.7 Termokopel Tipe K 22

Gambar 3.8 Pasta Termal 23

Gambar 3.9 Satu Set *Tool Box* 23

Gambar 3.10 Tachometer 24

Gambar 3.11 Blower 24

Gambar 3.12 Profil Segitiga Sebagai Penghantar Panas 26

Gambar 3.13 Sirip Pendingin 27

Gambar 3.14 Pemasangan Alat Konverter Energi pada Knalpot Mobil 27

Gambar 3.15 Titik Pengambilan Data Temperatur pada Sirip Pendingin 29

Gambar 3.16 Titik Pengambilan Data Temperatur pada Profil Segitiga 29

Gambar 4.1 Skema Arah Laju Perpindahan Panas 31

Gambar 4.2 Sirkuit Tahanan Termal 32

Gambar 4.3 Dimensi Sirip Pendingin 33

Gambar 4.4 Perbandingan Daya pada Setiap Kecepatan Angin 39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rata-rata Hasil dari Tiga Kali Pengambilan Data 48

Lampiran 2. Rata-rata Hasil dari Tiga Kali Pengambilan Data 49

Lampiran 3. Rata-rata Hasil dari Tiga Kali Pengambilan Data 50

Lampiran 4. Tabel Hasil Temperatur pada Tiap Titik Sensor 51

Lampiran 5. Tabel Total Energi yang Dilepaskan Oleh Sirip Pendingin 52

Lampiran 6. Tabel Nilai Properties Gas pada Tekanan Atsmosfer..... 53

Lampiran 7. Tabel Nilai Properties Sifat Zat Padat 54

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, perkembangan teknologi yang semakin maju akan berdampak pada peningkatan jumlah manusia. Jika jumlah manusia meningkat maka kebutuhan sumber daya alam yang dikonsumsi manusia pun akan meningkat. Indonesia sebagai negara penghasil sumber daya alam yang salah satunya adalah minyak bumi, sampai saat ini masih mengimpor bahan bakar minyak (BBM) untuk mencukupi berbagai macam kebutuhan, khususnya disektor transportasi dan energi. Kebutuhan di sektor energi dapat berimbas ke dunia industri di Indonesia, salah satunya dalam dunia industri otomotif yang saat ini sedang menuju krisis energi. Minyak bumi yang pada dasarnya sebagai sumber utama bahan bakar semakin menipis, sedangkan pemanfaatan ulang energi yang terbuang belum dapat dimaksimalkan.

Perlu diketahui bahwa konsumsi bahan bakar yang dihasilkan minyak bumi di Indonesia terus meningkat tiap tahunnya. Ini diperparah dengan jumlah ledakan kendaraan yang tidak terkendali baik roda dua maupun roda empat. Data badan pusat statistik (BPS) menunjukkan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia pada tahun 2005 adalah 37.623.432 unit dan terus meningkat hingga mencapai 94.373.324 unit pada tahun 2012[1]. Melihat perkembangan jumlah kendaraan yang semakin meningkat dan terbatasnya jumlah bahan bakar yang ada, tentunya efisiensi bahan bakar yang menyangkut energi sangat diperlukan. Oleh karena itu,

[1]Badan Pusat Statistik, Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Tahun 1987-2013, diakses dari http://www.bps.go.id, pada tanggal 01 Maret 2014 pukul 14.47

energi yang dikeluarkan oleh kendaraan tersebut harus bisa dimanfaatkan kembali.

Seiring perkembangan zaman, pada tahun-tahun mendatang kebutuhan energi akan meningkat pesat. Oleh karena itu, manusia pasti akan melakukan inovasi untuk menemukan alat konversi energi yang tepat guna memanfaatkan energi semaksimal mungkin dari yang terbuang. Penggunaan teknologi termoelektrik merupakan sumber alternatif dalam menjawab kebutuhan energi pada kendaraan bermotor karena teknologi ini sangat efisien, tahan lama, ramah lingkungan dan juga mampu menghasilkan energi dalam skala tertentu dalam pengaplikasiannya. Pada perkembangannya jenis modul termoelektrik terdiri dari dua macam, yaitu *Thermoelectric Cooler* dan *Thermoelectric Generator.*

Thermoelectric Generator atau TEG adalah modul seebeck yang biasanya digunakan pada pesawat ulang alik milik Amerika serikat. Sifat penghasil listriknya cukup besar ringan dan tak bergetar ini memberikan kelebihan tersendiri. Pada dasarnya, perangkat ini memiliki sifat menghasilkan arus listrik jika panas digunakan pada suatu sirkuit diujung dua konduktor yang berbeda. Melihat sifatnya inilah penulis mencoba memanfaatkan listrik yang dihasilkan panas dari gas buang knalpot pada mobil untuk memenuhi berbagai macam kebutuhan di dalam mobil.

Bila konsep ini diterapkan pada kendaraan roda empat, tentunya menambah efisiensi dari konsumsi bahan bakar. Ketika modul seebeck ini diterapkan pada kendaraan bermotor, maka setiap liter bahan bakar yang dikonsumsi tak lagi hanya menjadi energi gerak, tapi juga bisa menjadi energi listrik lewat energi panas yang tak terpakai lagi.

1.2 Identifikasi Masalah

Sebagaimana telah dikemukakan terdahulu dalam latar belakang masalah tersebut maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Berapakah besar energi listrik yang dihasilkan oleh modul seebeck pada knalpot mobil?
2. Bagaimanakah pengaruh temperatur knalpot mobil terhadap energi listrik yang dihasilkan?
3. Komponen apa sajakah yang diperlukan untuk membuat konverter energi pada mobil?
4. Bagaimanakah skema rangkaian modul seebeck agar bisa menghasilkan daya yang maksimal?

1.3 Pembatasan Masalah

Penelitian ini dilakukan pembatasan masalah, sehingga ruang lingkup yang diuji menjadi lebih spesifik, sehingga menghasilkan penelitian yang lebih efektif. Secara lebih spesifik, masalah-masalah penelitian ini dibatasi pada:

1. Kendaraan yang dipakai adalah mobil statis dengan tipe kijang 5K
2. Sebagai sumber panas, menggunakan knalpot mobil statis dengan tipe kijang 5K
3. Diperlukan beberapa elemen modul seebeck berjumlah delapan buah dengan tipe TEG SP 1848-27145 SA

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan pembatasan masalah yang telah dikemukakan di atas, maka secara spesifik masalah penelitian dirumuskan sebagai berikut "Bagaimanakah hasil penerapan termoelektrik modul seebeck di knalpot mobil dengan model sirip pendingin tipe sejajar?”

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah untuk merancang elemen konverter energi panas ke energi listrik dengan memanfaatkan modul termoelektrik sehingga dapat digunakan untuk mengisi baterai dan menghidupkan aksesoris yang berkaitan dengan kelistrikan pada mobil.

1.6 Manfaat Penelitian

Dengan melihat data dan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini, diharapkan bermanfaat dan dapat digunakan untuk:

1. Untuk membuat rancangan konverter energi panas ke energi listrik pada mobil
2. Memberikan jawaban kepada masyarakat mengenai kelangkaan bahan bakar dengan memaksimalkan energi panas pada mobil

BAB II
KAJIAN TEORI

2.1 Dasar Konversi Energi

Energi tidak dapat dilihat dan tidak mempunyai zat. Energi diketahui dari hasil yang dilakukannya. Pada dasarnya, energi tidak dapat dimusnahkan tapi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain dan dimanfaatkan untuk kepentingan energi. Perubahan bentuk energi ada berbagai macam, oleh karena itu energi perlu dikelompokkan agar lebih mudah memahaminya. Pada umumnya, energi digolongkan menjadi dua golongan, yaitu energi tersimpan dan energi dalam transisi.

Energi tersimpan adalah energi yang disimpan di dalam massa suatu zat atau dengan perkataan lain, energi yang tersimpan dalam batas sistem. Contoh energi tersimpan adalah energi potensial, energi kinetik, dan lain-lain. Sedangkan energi dalam transisi adalah energi yang ada dalam proses peralihan antara zat-zat atau daerah-daerah karena perbedaan potensial gaya, temperatur atau listrik. Dengan kata lain, energi dalam transisi adalah energi yang melewati batas sistem. Contoh energi dalam transisi adalah panas, kerja, listrik, dan lain-lain[2].

2.1.1 Macam-macam Konversi Energi

Sesuai dengan hukum termodinamika pertama, tentang kekekalan energi yang menerangkan bahwa energi bersifat kekal dan energi tidak dapat diciptakan serta tidak dapat dimusnahkan, tetapi dapat dikonversi dari bentuk energi yang satu ke

[2]Raja Ulungan Ginting, *Dasar-dasar Termodinamika Teknik*,(Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, 1989), h. 32.

bentuk energi yang lain[3]. Oleh karena itu, proses pengkonversian energi tidak lepas dalam kehidupan nyata.

Pengklasifikasian produksi energi dibagi menjadi tiga macam menurut sumber produksi energinya, yaitu produksi energi termal, produksi energi mekanis, dan produksi energi listrik.

a) Produksi energi termal

Energi termal merupakan bentuk dasar dari energi. Artinya semua bentuk energi dapat dikonversikan ke bentuk energi termal dapat dilakukan dengan sempurna. Produksi energi termal dibagi lagi menjadi empat bagian, yaitu:

1. Konversi energi mekanik
2. Konversi energi listrik
3. Konversi energi elektromagnetik
4. Konversi energi kimia

b) Produksi energi mekanis

Energi mekanis adalah salah satu energi yang paling diminati karena energi mekanis dapat dikonversikan menjadi energi panas dengan efisiensi 100% atau menjadi energi listrik dengan efisiensi yang lebih tinggi. Ada beberapa cara produksi energi mekanis dari proses konversi energi, yaitu:

1. Konversi energi panas
2. Konversi energi elektromekanis

c) Produksi energi listrik

Energi listrik adalah energi yang paling mudah untuk dikonversikan ke beberapa bentuk energi. Selain itu, energi listrik dapat dihasilkan langsung dari

[3]Paul Tipler, *Fisika untuk Sains dan Teknik*,(Jakarta: Erlangga,1998), h. 617.

bentuk energi yang lain tanpa harus melewati bentuk perantara energi lainnya. Banyak konversi yang dapat dilakukan untuk produksi energi listrik, yaitu:

1. Konversi energi termal menjadi energi listrik. Proses ini menggunakan alat yang dinamakan termoelektrik
2. Konversi energi kimia menjadi energi listrik
3. Konversi energi elektromagnetik menjadi energi listrik
4. Konversi energi mekanis menjadi energi listrik

2.2 Sirip Pendingin

Sebuah komponen modul seebeck menghasilkan arus listrik jika panas digunakan pada suatu sirkuit diujung dua konduktor yang berbeda. Ketika dalam kondisi pemakaian secara terus menerus, pada sisi dingin modul seebeck lama kelamaan akan mengalami panas karena sifat bahannya yang konduktor. Ketika kedua sisi modul seebeck memiliki perbedaan temperatur, maka efisiensi modul seebeck akan menurun. Oleh karena itu, diperlukan sirip pendingin untuk menurunkan temperatur panas pada sisi dingin agar perbedaan temperatur yang terjadi semakin besar.

Jenis-jenis sirip pendingin bermacam-macam, salah satunya adalah tipe *extrude heat sink*. Tipe ini merupakan contoh yang paling murah dan populer di pasaran. *Heat sink* ini terbuat dari alumunium dan mempunyai sifat-sifat perpindahan kalor yang baik dikarenakan memiliki bidang permukaan yang luas.

2.2.1 Karakteristik Sirip Pendingin

Perbedaan temperatur yang terjadi pada modul seebeck sangatlah tergantung pada sirip pendingin sebagai pelepas panasnya. Maka dari itu untuk menaikkan efisiensi dari penggunaaan sirip pendingin sangat diperlukan bentuk dan bahan

yang cocok. Pemilihan geometri yang sesuai bagi sebuah sirip memerlukan kompromi antara biaya, berat, ruang yang tersedia dan jatuh tekanan, dan juga karakteristik perpindahan panas dari permukaannya yang menonjol[4]. Oleh karena itu, seorang perancang harus dapat memahami beberapa karakteristik dari sirip pendingin, yaitu:

1. Luas area

Luas area yang dimiliki oleh sirip pendingin akan menyebabkan penyebaran panas menjadi lebih baik. Hal ini karena luas pendinginan yang menjadi lebih besar maka proses pelepasan panas yang dilakukan dapat diserap dan dilepas lebih cepat.

2. Bentuk sirip pendingin

Perlu desain yang aerodinamis agar udara yang mendinginkannya dapat melewati dengan mudah. Semakin aerodinamis bentuk sirip pendingin, maka semakin banyak udara yang akan melewati sirip pendingin. Permukaan sirip pendingin yang bersentuhan pada modul seebeck harus menempel karena jika ada celah udara panas yang dilepas modul seebeck akan terperangkap dan dapat mengurangi efisiensi pendinginan.

3. Jenis bahan

Konduktivitas menjadi faktor kunci dari sirip pendingin agar dapat melepas panas dengan baik. Bahan yang memiliki konduktivitas tinggi menjadi pilihan utama contohnya alumunium dan tembaga. Tembaga memiliki sifat menyerap panas yang lebih baik dari alumunium sedangkan dalam proses melepas panas alumunium lebih unggul dibanding tembaga.

---

[4]Frank Kreith, *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*,(Jakarta: Erlangga, 1997), h. 60.

2.2.2 Laju Perpindahan Panas Sirip Pendingin

Sirip pendingin digunakan untuk memperbesar laju perpindahan panas. Laju perpindahan panas pada sirip dapat diketahui dengan menentukan distribusi suhu sepanjang sirip. Dengan asumsi bahwa konduksi hanya terjadi pada satu dimensi, konduktivitas konstan, radiasi dipermukaan diabaikan, pengaruh pembangkitan energi dihilangkan, dan koefisien perpindahan konveksi seragam di sepanjang permukaan.

Adapun perhitungan laju perpindahan panas sirip pendingin dibagi menjadi dua kategori. Pertama perhitungan konduksi pada dasar sirip pendingin. Dan yang kedua adalah perhitungan pada sirip yang meliputi rumus konduksi dan konveksi.

Rumus perpindahan panas konduksi dapat dijelaskan dengan rumus:

$$q = -k.A.\frac{\Delta T}{\Delta x} \qquad (2.1)^{5}$$

Dimana

k = Konduktivitas termal bahan (W/mK)

ΔT= Laju perubahan suhu (K)

Δx = Jarak dalam arah aliran panas (m)

A = Luas penampang (m^2)

Perpindahan kalor secara konveksi terdiri dari dua mekanisme, yang pertama terjadinya perpindahan energi dikarenakan gerak acak fluida dan yang kedua dikarenakan pergerakan fluida secara makro. Pergerakan fluida yang memiliki perbedaan temperatur akan meningkatkan perpindahan kalor. Perpindahan kalor secara konveksi dibedakan menjadi dua, yaitu konveksi alamiah dan konveksi paksa. Konveksi alamiah terjadi dimana pergerakan fluida disebabkan oleh

[5] *Ibid*., h. 7.

adanya gaya apung (*buoyancy force*) yang meningkat karena perbedaan densitas, sedangkan konveksi paksa terjadi dimana fluida dialirkan oleh media seperti blower, pompa atau kompresor seperti yang dilakukan pada penelitian ini.

Untuk menghitung perpindahan energi yang dikeluarkan lewat perpindahan panas secara konveksi sirip pendingin adalah sebagai berikut:

$$q = h.A.\Delta T \qquad (2.2)^{6}$$

Dimana

h = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m^2K)

A = Luas perpindahan panas (m^2)

ΔT= Beda antara suhu permukaan dan suhu fluida (K)

Dalam perpindahan panas konveksi dikenal beberapa istilah, yaitu bilangan Reynold, Nusselt, dan Prandtl. Bilangan ini penting untuk mencari nilai koefisien konveksi atau h. Untuk aliran yang melintas pada plat rata seperti sirip pendingin yang digunakan, bilangan Reynold didefinisikan sebagai:

$$Re = \frac{u.\rho x}{\mu} \qquad (2.3)^{7}$$

Dimana

u = Kecepatan aliran bebas (m/s)

x = Jarak dari tepi depan plat (m)

μ = Viskositas kinematik fluida (m^2/s)

ρ = Kerapatan (densitas) fluida (kg/m^3)

[6] *Ibid*., h. 12.
[7] *Ibid*., h. 311.

Kemudian untuk bilangan Prandtl digunakan ketika ingin menentukan bilangan Nusselt. Dalam bilangan Prandtl ada tabel properties sendiri yang bisa didapat, namun untuk mengetahui darimana angka yang didapat yaitu dari rumus:

$$Pr = \frac{Cp.\mu}{k} \qquad (2.4)^{8}$$

Dimana

Cp= Kapasitas kalor (J/kgK)

μ = Viskositas dinamik (Ns/m^2)

k = Konduktivitas kalor (W/mK)

Untuk mengetahui nilai h, bilangan Nusselt diperlukan sebab bilangan Nusselt adalah gabungan koefisien perpidahan panas dan konduktivitas kalor fluida k. Dan bilangan Nusselt ini adalah bilangan tak berdimensi. Adapun hubungan antar Nusselt dengan Reynold dan Prandtl adalah bisa dijabarkan lewat persamaan sebagai berikut:

$$Nu = 0{,}664\ Pr^{1/3} . Re^{1/2} \qquad (2.5)^{9}$$

Ketika semua energi kalor yang dilepas dari sirip pendingin diketahui lewat beberapa persamaan rumus diatas, maka untuk melihat bagaimana efisiensi sirip yang digunakan adalah dengan menggunakan persamaan:

$$\eta_f = \frac{\text{panas yang sebenarnya dipindahkan oleh sirip}}{\text{Panas yang dipindahkan andaikata suhu seluruh sirip sama dengan suhu dasar sirip}} \quad (2.6)^{10}$$

2.3 Prinsip Dasar Termoelektrik

Dari beberapa penelitian yang sudah pernah dilakukan, fenomena efek seebeck menjadi awalan dari prinsip dasar termoelektrik. Mark W. Zemansky dalam bukunya menjelaskan bahwa efek seebeck timbul karena kerapatan muatan

[8] *Ibid*., h. 337.
[9] *Ibid*., h. 339.
[10] *Ibid*., h. 61.

pembawa elektron dalam logam suatu penghantar berbeda dengan penghantar lainnya tergantung pada temperatur[11].

Untuk mengetahui besaran dari modul seebeck maka harus mengetahui koefisien seebeck. Koefisien seebeck adalah sifat material dalam memberikan kecepatan perubahan potensial termoelektrik Vs dengan suhu T.

Besaran koefisien seebeck dapat dicari dengan rumus:

$$\alpha_s = \frac{\Delta V}{\Delta T} \qquad (2.7)^{12}$$

Dimana

α_s = Koefisien seebeck (V/K)

ΔV= Beda potensial (V)

ΔT= Beda temperatur (K)

Berikut adalah tabel dari beberapa jenis material yang sudah diteliti besaran koefisien efek seebecknya yang semua di buktikan.

Tabel 2.1 Tabel Koefisien Seebeck dari Beberapa Jenis Material

Material	**α_s**	**Material**	**α_s**	**Material**	**α_s**
Alumunium	3.5	Gold	6.5	Rhodium	6.0
Antimony	47	Iron	19	Selenium	900
Bismuth	-72	Lead	4.0	Silicon	440
Cadmium	7.5	Mercury	0.60	Silver	6.5
Constantan	-3.5	Nichrome	25	Sodium	-2.0
Copper	-6.5	Platinum	0	Tatalum	4.5
Germanium	300	Potassium	-9.0	Tellurium	500
Carbon	3.0	Nickel	-15	Tungsten	7.5

Setelah efek seebeck ditemukan, peltier melakukan penelitian sejenis hanya berbeda cara kerja. Ia mengalirkan listrik pada dua buah logam yang direkatkan dalam sebuah rangkaian. Ketika arus dialirkan, terjadi penyerapan panas pada

[11]Mark W. Zemansky, *Kalor dan Termodinamika*,(Bandung: Penerbit ITB, 1986), h. 483.

[12]Bernard D Wood, *Penerapan Termodinamika*,(Jakarta: Erlangga, 1988), h. 68.

sambungan kedua logam dan pelepasan panas disambungan lainnya. Pelepasan panas ini bisa berbalik ketika arah arus juga ikut dibalik.

Koefisien peltier untuk suatu rangkaian yang terdiri dari material A dan B ditandai dengan π_{ab}di defenisikan sebagai berikut:

$$\pi_{ab} = \frac{-Q}{i_{ab}} \qquad (2.8)^{13}$$

Dimana

π_{ab} = Koefisien peltier (W/I)

$-Q$ = Jumlah perpindahan panas dari persimpangan (W)

i_{ab} = Arus searah yang mengalir didalam generator (I)

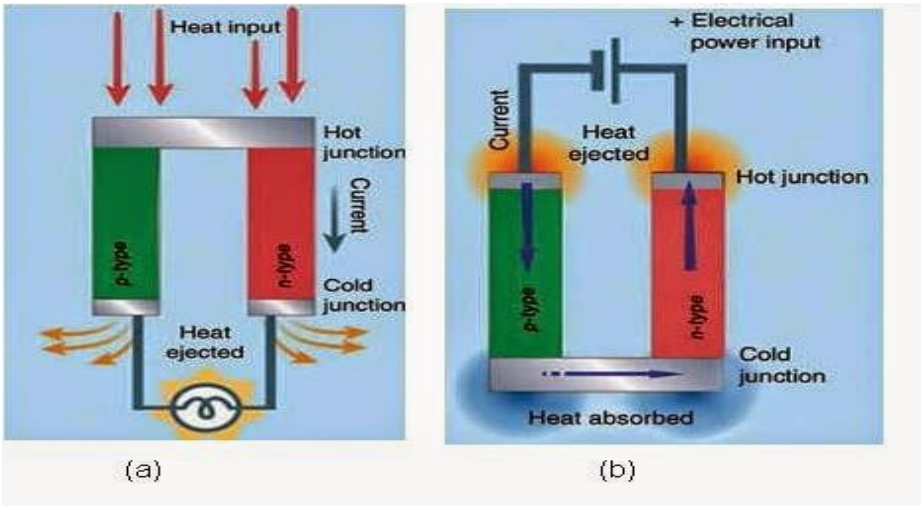
2.3.1 Termoelektrik Modul Seebeck

Pada perkembangannya, termoelektrik terdiri dari dua jenis modul, yaitu modul *Thermoelectric Cooler* dan modul *Thermoelectric Generator*. Yang pertama, *Thermoelectric Cooler* atau TEC adalah modul dengan prinsip efek peltier yaitu ketika dua logam yang berbeda disambungkan kemudian arus listrik dialirkan pada sambungan tersebut, maka akan terjadi fenomena pompa kalor. TEC lebih sering digunakan pada peralatan rumah tangga ataupun elektronik. Fungsinya adalah mendinginkan prosesor komputer atau sebagai pemanas pada dispenser.

Kemudian yang kedua, *Thermoelectric Generator* atau TEG adalah modul dengan prinsip efek seebeck yaitu dengan mengubah perbedaan suhu menjadi energi lisrik. Jika ada ada dua bahan yang berbeda yang kemudian kedua ujungnya disambungkan satu sama lain maka akan terjadi dua sambungan dalam satu loop. Jika terjadi perbedaan suhu diantara kedua sambungan ini, maka akan

[13] *Ibid*., h. 71.

terjadi arus listrik. Prinsip inilah yang digunakan termoelektrik sebagai generator (pembangkit listrik). Setiap bahan memiliki koefisien seebeck yang berbeda-beda,. Semakin besar koefisien seebeck ini, maka beda potensial yang dihasilkan juga semakin besar. Karena perbedaan suhu disini dapat diubah menjadi tegangan listrik. Karena sifat pembangkit listrik inilah penulis lebih memilih TEG dibanding TEC.



Gambar 2.1 Prinsip dari Modul Termoelektrik

Sumber www.idtechex.com

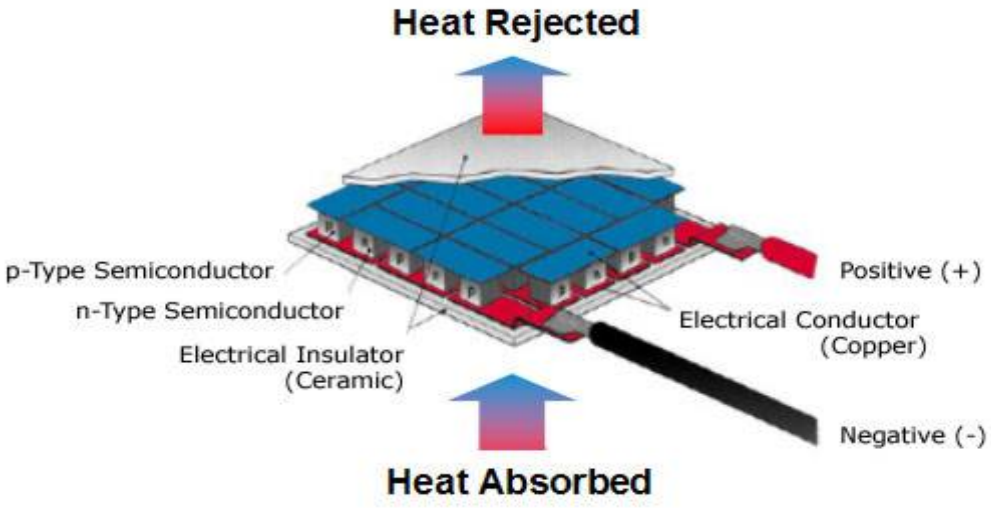
Gambar diatas adalah struktur sederhana dari dari modul termoelektrik. Bisa dilihat bahwa komponen termoelektrik itu sendiri hanya terdiri dari dua tipe yakni tipe N dan tipe P yang terhubung secara seri dalam hal kelistrikan tapi terhubung secara paralel secara termal. Sesuai dengan efek seebeck bahwa perbedaan suhu antara penghantar akan menghasilkan arus listrik.

2.3.2 Bahan Termoelektrik

Termoelektrik bisa menjadi sumber daya listrik yang menjanjikan, tetapi sampai saat ini, beberapa peneliti kesulitan dalam melakukan pengembangan bahan dari modul termoelektrik. Idealnya, bahan termoelektrik harus memiliki

konduktivitas listrik yang tinggi serta konduktivitas panas yang rendah. Sampai saat ini, untuk bahan seperti itu sangat sulit ditemui karena pada umumnya setiap material dengan konduktivitas listrik tinggi, konduktivitas panasnya pun akan tinggi.

Pada dasarnya bahan termoelektrik menggunakan material semikonduktor Bismuth Telluride (BiTe) sebagai bahan utamanya dengan tipe N dan tipe P. Sementara itu untuk konduktor antara bahan semi konduktor tipe P dan tipe N dihubungkan secara seri dengan material tembaga. Sedangkan pada sisi termalnya termoelektrik itu sendiri dibalut dengan insulator listrik dari keramik pada kedua sisinya. Insulator ini disusun secara paralel dan pada kedua ujung semi konduktor termoelektrik dihubungkan dengan kabel positif dan kabel negatif.



Gambar 2.2 Bahan Modul Termoelektrik

Sumber www.idtechex.com

2.4 Listrik

Pada suatu kendaraan baik roda dua maupun roda empat, sistem penerangan sangat diperlukan untuk berkendara pada siang ataupun malam hari. Di dalam

sistem penerangan terdapat berbagai macam komponen listrik seperti kabel, sekering, saklar, dan riley. Sistem penerangan ini erat kaitannya dengan sistem kelistrikan pada suatu kendaraan. Dalam bukunya, Aslimeri menjelaskan perbedaan dari arus, daya, tegangan, dan tahanan dalam sistem kelistrikan lewat beberapa rumus[14].

1. Daya

Daya tenaga listrik adalah kerja sirkuit selama satu detik dan menghasilkan energi listrik yang dipakai dalam satuan waktu. Rumus daya listrik adalah :

$$P = V.I \qquad (2.9)$$

Dimana

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

2. Tegangan

Tegangan adalah unit listrik untuk menerangkan jumlah tekanan listrik yang ada atau sejumlah tekanan listrik yang dibangkitkan oleh aksi kimia di dalam baterai. Rumus tegangan adalah :

$$V = \frac{P}{I} \qquad (2.10)$$

3. Arus

Arus listrik terjadi karena mengalirnya elektron. Bila aliran elektronnya banyak, maka arus yang mengalir juga lebih banyak. Melalui perbedaan potensial, arus bisa mengalir dari potensial yang tinggi ke potensial yang lebih rendah.

[14]Aslimeri, dkk., *Teknik Transmisi Tenaga Listrik*,(Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Departemen Pendidikan Nasional, 2008), h. 1.

Dalam penggunaannya, arus listrik dibagi menjadi dua jenis yaitu arus searah (DC) dan arus bolak balik (AC). Pada kendaraan bermotor, jenis arus listrik yang digunakan adalah arus listrik searah. Rumus arus adalah :

$$I = \frac{P}{V} \qquad (2.11)$$

4. Tahanan

Tahanan listrik adalah tertahannya pergerakan elektron bebas. Tahanan yang terjadi pada kendaraan berv^{2}motor berupa komponen dua saluran yang dirakit untuk menahan arus listrik dengan membuat penurunan tegangan sesuai dengan arus yang melewatinya. Rumus tahanan adalah :

$$R = \frac{V}{I} \qquad (2.12)$$

2.5 Kerangka Berfikir

Dari teori yang telah dipaparkan diatas, maka kerangka berpikir untuk penelitian ini adalah jika sirkuit dua material yang tidak sama dan kedua simpangannya dijaga pada temperatur yang berbeda dimana kedua material tersebut terdiri dari sirip pendingin dan prisma segitiga yang berbahan alumunium, maka termoelektrik modul seebeck akan menghasilkan arus listrik yang berbeda tergantung dari laju perpindahan panas yang terjadi di knalpot sehingga dapat memanfaatkan energi yang terbuang untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada mobil.

2.6 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah dengan menempelkan dua material yang berbeda temperatur pada kedua sisi termoelektrik modul seebeck yang terjadi di knalpot, maka akan menghasilkan arus listrik yang dapat diaplikasikan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada mobil.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium otomotif Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta. Adapun waktu penelitian ini dimulai dari bulan Oktober 2014 sampai Januari 2015.

Tabel 3.1 Alokasi Waktu Penelitian

No	Kegiatan	Bulan			
		Oktober	November	Desember	Januari
I	**Tahapan Persiapan**				
1	Mempersiapkan bahan penelitian	■			
2	Membuat instalasi penelitian	■			
3	Pengujian instalasi penelitian	■			
II	**Tahapan Pelaksanaan Penelitian**				
	Pengaruh temperatur knalpot mobil terhadap energi listrik yang dihasilkan dan besar energi listrik yang dihasilkan oleh modul seebeck pada knalpot mobil		■		
III	**Tahapan Pengolahan Hasil Penelitian**				
	Pengolahan data hasil penelitian			■	
IV	**Tahapan Penyusunan Laporan Akhir Hasil Penelitian**				
	Penyusunan laporan akhir				■

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium. Peneliti merancang bangun konstruksi termoelektrik yang terdiri dari pembuatan profil segitiga sama sisi, pembuatan sirip pendingin, pembuatan dudukan modul peltier, dan perakitan alat konversi energi yang akan digunakan sebagai media penelitian. Setelah mendapatkan data dari berbagai penelitian yang dibutuhkan, data tersebut dianalisis dan selanjutnya dilakukan penghitungan energi listrik yang dihasilkan

dari penerapan termoelektrik pada knalpot mobil statis dengan tipe kijang mesin tipe 5K.

3.3 Alat dan Bahan

a) Bahan

Bahan yang digunakan untuk membuat rancangan inovasi termoelektrik pada mobil statis, yaitu:

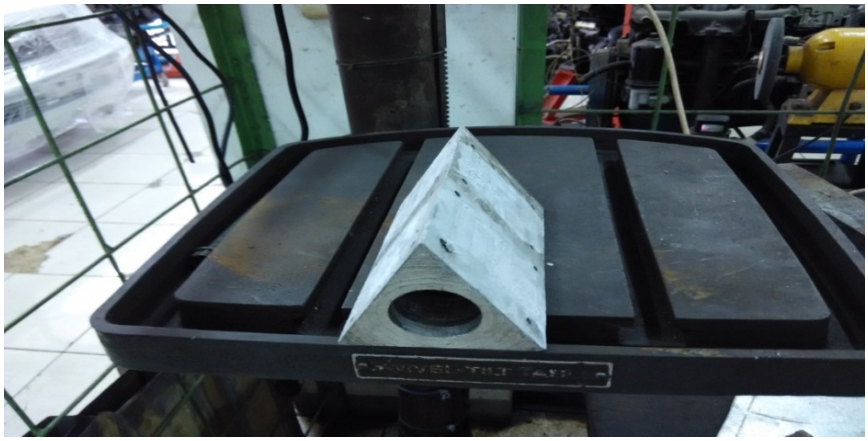
1. Termoelektrik

Dalam penelitian ini jumlah modul termoelektrik yang digunakan adalah delapan dengan jenis TEG SP 1848-27145 SA. Adapun bentuk dari termoelektrik TEG SP 1848-27145 SA tipe single stage adalah seperti gambar dibawah ini

Gambar 3.1 Modul TEG SP 1848-27145 SA

2. Prisma Alumunium

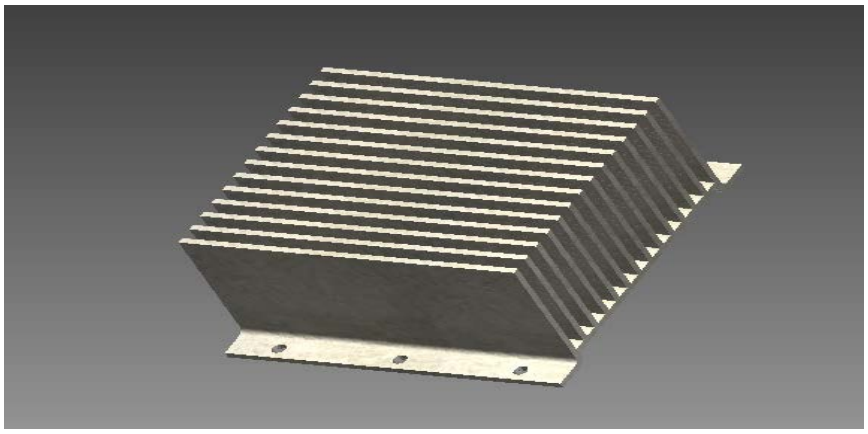
Menggunakan prisma segitiga yang berdimensi 50 x 50 x 50 x 110 mm yang berbahan dasar alumunium sebagai penghantar panas dari knalpot ke modul seebeck.



Gambar 3.2 Prisma Alumunium

3. Sirip Pendingin

Sirip pendingin yang akan digunakan terbuat dari bahan alumunium dan bentuk sirip pendingin haruslah aerodinamis untuk mempengaruhi efisiensi pelepasan panas yang terjadi. Pada sisi fin diberi lubang untuk baut pengikat ke bodi prisma alumunium agar modul termoelektrik tidak terlepas.



Gambar 3.3 Model Sirip Pendingin

b) Alat

Alat yang digunakan untuk membuat rancangan inovasi termoelektrik pada mobil statis, yaitu:

1. AVO Meter Digital

Alat ukur ini digunakan untuk mengukur besaran arus dan tegangan yang dihasilkan oleh modul termoelektrik.

Gambar 3.4 AVO Meter Digital

2. Anemometer

Alat ini digunakan untuk mengukur kecepatan angin yang ditiupkan oleh blower agar bisa terbaca besarannya.

Gambar 3.5 Anemometer

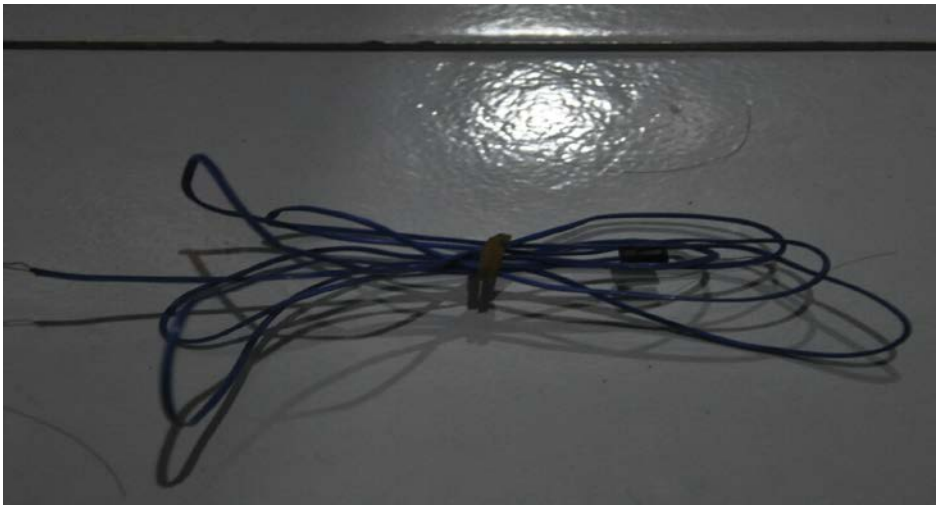
3. Thermometer

Alat ukur ini digunakan untuk mengetahui besaran temperatur yang dihasilkan oleh termokopel.

Gambar 3.6 Thermometer

4. Termokopel Tipe K

Termokopel adalah sensor suhu yang banyak digunakan untuk mengubah perbedaan suhu dalam benda menjadi perubahan tegangan listrik (voltase).



Gambar 3.7 Termokopel Tipe K

5. Terminal Kabel

Terminal kabel ini digunakan untuk merangkai aliran listrik yang dihasilkan oleh modul termoelektrik.

6. Pasta Termal

Pasta termal digunakan untuk membantu cepatnya pelepasan panas dari alumunium yang menyimpan guratan sehingga uap panas tidak menghambat perpindahan panas secara konduksi.

Gambar 3.8 Pasta Termal

7. Satu Set *Tool Box*

Satu set *tool box* ini diperlukan untuk membongkar knalpot dan mesin pada kendaraan yang akan digunakan serta memasang rancangan alat konverter energi.

Gambar 3.9 Satu Set *Tool Box*

8. Tachometer

Alat ini digunakan untuk mengukur kecepatan putaran mesin pada mobil kijang dengan mesin tipe 5K.

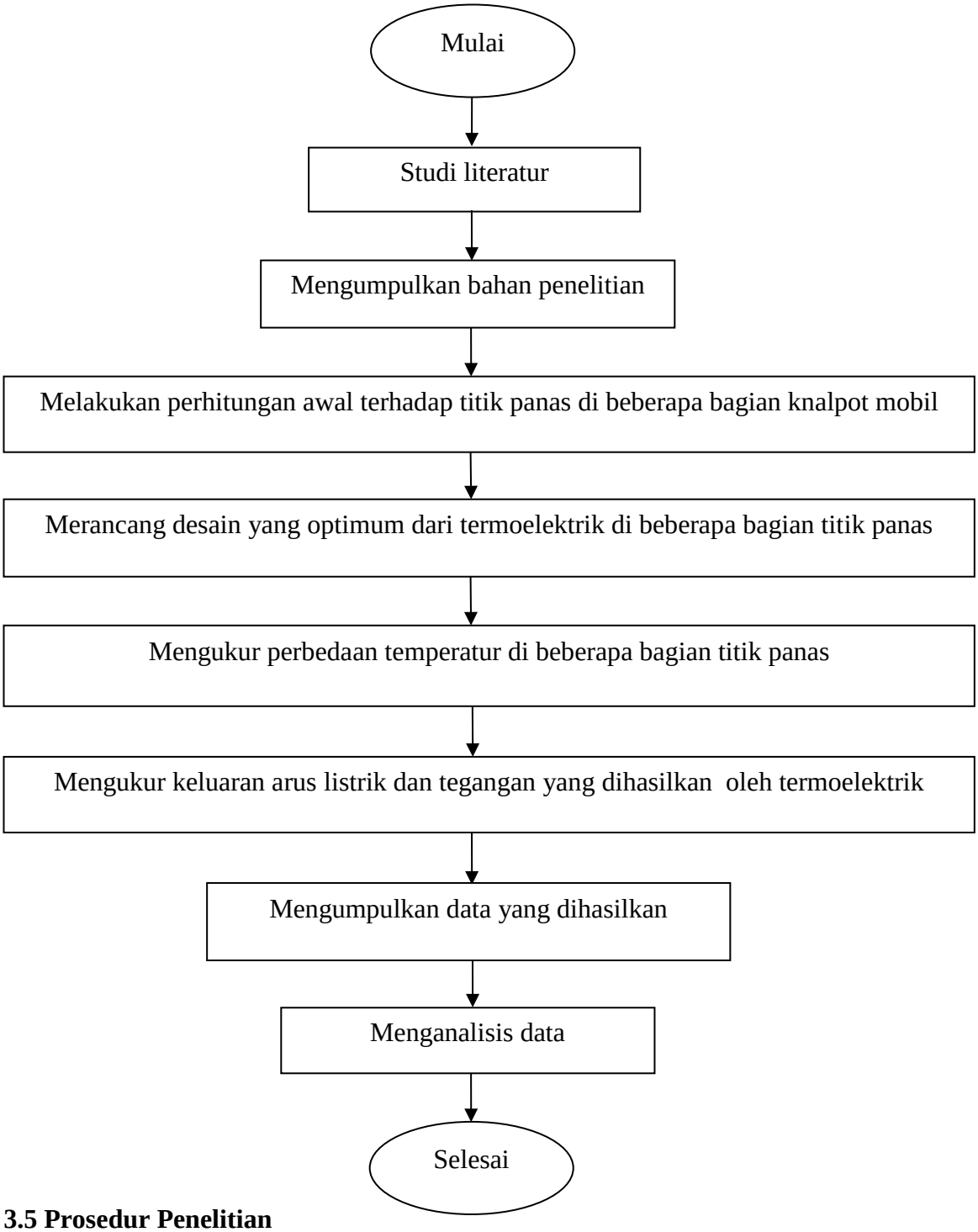
Gambar 3.10 Tachometer

9. Blower

Blower dengan merk CKE yang digunakan pada penelitian kali ini mempunyai tiga kecepatan angin. Jika diukur dengan anemometer kecepatannya berturut-turut adalah 4,2 m/s, 4,8 m/s, dan 6,0 m/s.

Gambar 3.11 Blower

3.4 Alur Kerja Penelitian

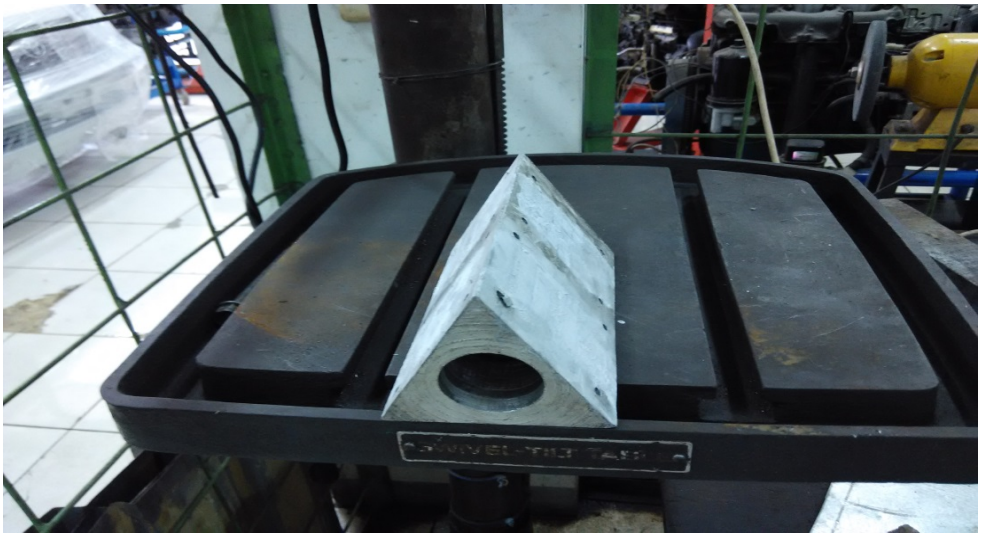


3.5 Prosedur Penelitian

Peneliti membuat skema seksi uji yang merupakan rancangan alat yang akan digunakan untuk penelitian. Dalam rancangan termoelektrik ini berkaitan dengan bagian yang panas pada kendaraan kemudian melakukan perhitungan awal

terhadap titik panas dibeberapa bagian knalpot mobil. Setelah itu merancang desain yang optimum dari termoelektrik di bagian panas. Adapun rancangan desain sebagai berikut:

1. Membuat profil segitiga sama sisi



Gambar 3.12 Profil Segitiga Sebagai Penghantar Panas

Dalam proses pembuatan ini, penulis tidak menemui beberapa kendala. Bahan dasar yang digunakan adalah alumunium silinder dengan diameter 100 mm. Proses pembuatan prisma segitiga ini dilakukan dengan bantuan mesin frais, mesin bubut, dan mesin bor untuk mendapatkan ukuran yang diinginkan. Pembubutan dilakukan untuk membuat lubang pada bagian tengahnya sebagai jalur knalpot. Sementara itu, mesin frais digunakan untuk membentuk alumunium yang berbentuk silinder menjadi bentuk segitiga sama sisi yang akan menjadi dudukan termoelektrik nantinya. Sedangkan pengeboran dilakukan untuk memberi lubang untuk dudukan baut sirip pendingin.

2. Membuat sirip pendingin

Gambar 3.13 Sirip Pendingin

Dalam proses pembuatan sirip pendingin ini, penulis mengalami beberapa kendala karena penulis ingin membuat lubang untuk baut dipinggir sirip pendingin tanpa mengurangi dari sirip pendingin yang telah ada. Ketika dibor dari atas maupun dari bawah siripnya berubah bentuk menekuk, karena mata bor dan bahan dari siripnya terlalu tipis. Oleh karena itu, tiga sirip pun dibuang dengan menggunakan mesin frais sebagai tempat dudukan untuk baut pada pegangan ke profil segitiga.

3. Pemasangan alat konverter energi pada knalpot

Gambar 3.14 Pemasangan Alat Konverter Energi pada Knalpot Mobil

Setelah semua alat jadi, yaitu profil segitiga dan sirip pendingin, langkah selanjutnya adalah perakitan termoelektrik tesebut dan setelah itu dilakukan pemasangan pada knalpot mobil statis dengan tipe kijang mesin tipe 5K.

Lalu setelah semua alat sudah siap diuji, perakitan dari sensor panas yang menggunakan Thermometer untuk membaca sensor panas dilakukan. Untuk sensor yang digunakan adalah termokopel tipe K yang bisa membaca temperatur sampai 900^0C. Kemudian kabel termoelektrik disusun secara paralel + seri agar menghasilkan tegangan yang besar. Setelah semua alat ukur dan rangkaian dari termoelektrik sudah dipasang, langkah selanjutnya yaitu pemasangan AVO Meter digital untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh termoelektrik.

3.6 Teknik Analisis Data

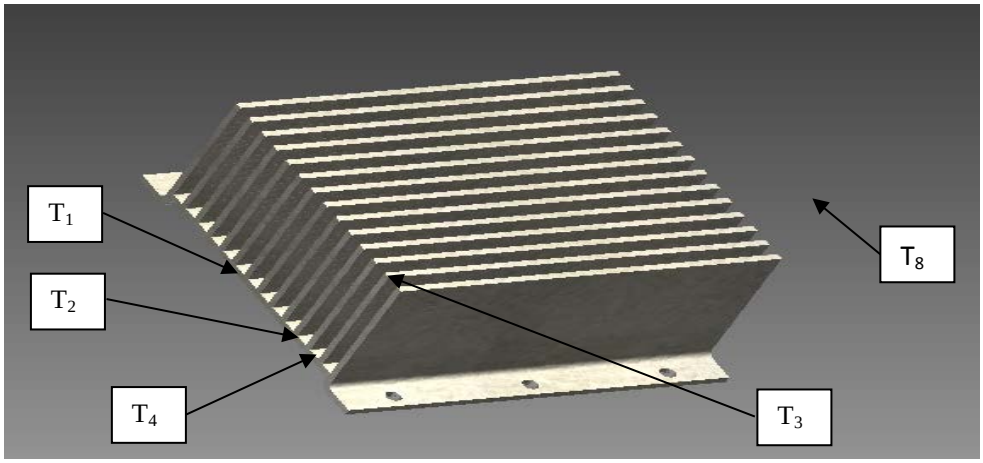
Proses pengambilan data penelitian ini adalah dengan cara simulasi langsung pada kendaraan. Efek pendinginan dibuat dengan fluida paksa eksternal dengan kecepatan tertentu menggunakan blower.Sementara itu, kendaraan dipacu pada putaran mesin tertentu juga.

Pengambilan data ini dilakukan secara bertahap. Jadi ada dua variabel yang digunakan dalam penelitian ini, pertama adalah variabel kecepatan angin dengan satuan mile per sekon dan yang kedua adalah variabel kecepatan putaran roda mesin kendaraan dalam satuan rotasi per menit dengan tingkatan 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm, dan 3000 rpm.

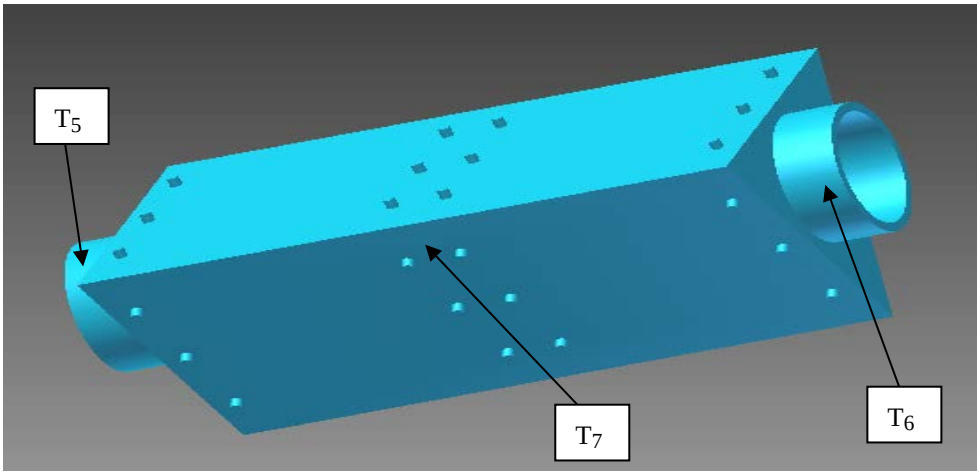
Metode pengambilan data ini dilakukan selama lima menit dengan mengambil periode waktu untuk dimasukkan ke dalam tabel per dua menit sekali. Dimulai dengan kecepatan mesin dan kecepatan angin yang rendah secara

bertahap. Pengambilan data ini dilakukan sejak kondisi steady dan dilakukan terhadap delapan titik dari alat yang diuji. Kedelapan titik tersebut adalah :

- T_1 Termoelektrik bagian sisi panas
- T_2 Termoelektrik bagian sisi dingin
- T_3 Sirip pada bagian dalam celah
- T_4 Sirip pada bagian ujungnya
- T_5 Panas masuk pada knalpot / sebelum segitiga
- T_6 panas keluar pada knalpot / setelah segitiga
- T_7 Panas profil segitiga
- T_8 Suhu lingkungan



Gambar 3.15 Titik Pengambilan Data Temperatur pada Sirip Pendingin



Gambar 3.16 Titik Pengambilan Data Temperatur pada Profil Segitiga

Dari beberapa bagian titik diatas, maka ada dua pengaruh yang diuji yaitu :

- Pengaruh kecepatan angin terhadap daya, arus, serta tegangan yang dihasilkan oleh termoelektrik
- Pengaruh kecepatan putaran mesin terhadap daya, arus, serta tegangan yang dihasilkan oleh termoelektrik
- Perhitungan laju perpindahan panas pada sirip pendingin

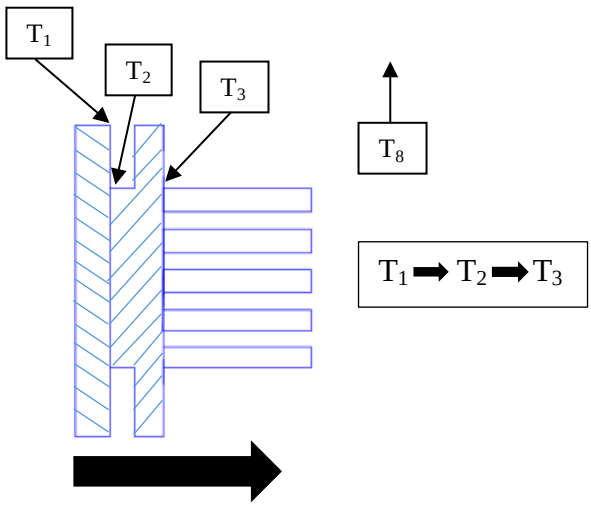
BAB IV
HASIL PENELITIAN

4.1 Analisa Perhitungan Sirip Pendingin

Untuk melakukan perhitungan laju perpindahan panas pada sirip pendingin, ada beberapa asumsi yang dianggap sama untuk disubstitusikan ke dalam rumus walaupun pada dasarnya tidak sama. Asumsinya sebagai berikut:

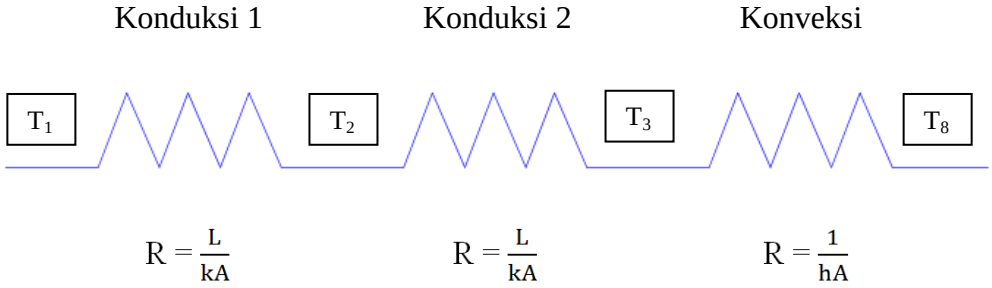
- Pertama adalah asumsi bahwa suhu pada setiap ujung sirip pendingin adalah sama. Pada dasarnya, suhu tengah sirip dan pinggir sirip pasti berbeda. Ini karena keterbatasan termokopel yang digunakan untuk mengambil data.
- Kedua, pada penelitian kali ini efek radiasi diabaikan. Padahal secara teori perpindahan panas secara radiasi tetap ada.

Setelah mengetahui asumsi yang digunakan, penulis dapat menggambarkan skema arah laju perpindahan panas yang terjadi pada sirip pendingin. Berikut gambarnya:



Gambar 4.1 Skema Arah Laju Perpindahan Panas

Dan sirkuit tahanan termalnya berupa rangkaian seri dapat dianalogikan seperti dibawah ini:



Gambar 4.2 Sirkuit Tahanan Termal

Dan untuk perhitungan energi kalor yang dilepaskan pada sirip pendingin, penulis hanya menampilkan satu kecepatan putaran mesin dari setiap kecepatan angin saja dan sisanya akan diterangkan dalam bentuk tabel yang termuat pada lampiran. Perpindahan panas pada sirip pendingin terbagi ke dalam dua kategori, yaitu:

- Pertama perpindahan panas yang terjadi pada dasar sirip adalah perpindahan panas secara konduksi
- Kedua perpindahan panas yang terjadi pada sirip adalah perpindahan panas secara konveksi

Dibawah ini adalah tabel hasil pengambilan data temperatur pada kecepatan 3000 rpm:

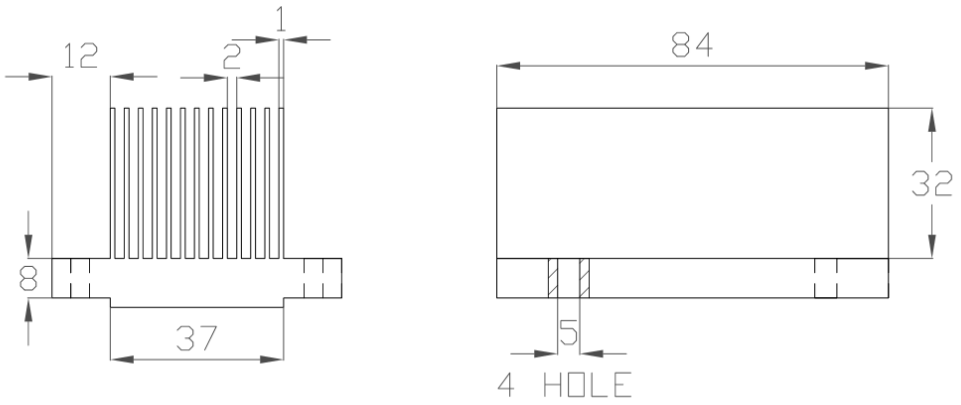
Tabel 4.1 Hasil Temperatur pada Setiap Kecepatan Angin

Kecepatan Fluida (m/s)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_3 (°C)	T_4 (°C)	T_8 (°C)
4,2	96,33	91,00	57,33	48,33	30
4,8	91,00	90,67	53,00	45,00	30
6,0	104,67	80,67	54,00	40,67	30

Setelah mengetahui beberapa parameter yang akan digunakan. Maka perhitungan pada sirip pendingin akan dimulai dari kecepatan angin terendah sampai yang tertinggi.

4.1.1 Analisa Perhitungan pada Kecepatan Angin 4,2 m/s

Sirip pendingin pada penelitian ini terbuat dari bahan alumunium murni dengan dimensi seperti gambar dibawah ini:



Gambar 4.3 Dimensi Sirip Pendingin

Beberapa parameter sudah bisa didapat dengan bersumber dari buku[15].

k_{alm} = 239,54 W/mK

k_{udara} = 0,02652 W/mK

v_{udara} = 16,19 x 10^{-6} m^2/s (Viskositas kinematik fluida)

Pr = 0,706 (Bilangan Prandtl udara)

Rumus perpindahan panas konduksi dari permukaan profil segitiga ke base sirip pendingin dapat dijelaskan dengan persamaan:

$$q = -k.A.\frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Lalu substitusikan parameter yang ada ke dalam rumus:

[15]Frank P. Incropera & David P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*,(Ottawa: John Wiley & Sons. Inc, 1996), h.827.

$q = -239{,}46 \frac{W}{mK}.0{,}003108\ m^2.\frac{(369{,}33-364)K}{0{,}002\ m}$

$q_1 = 1983{,}40$ Watt

Rumus perpindahan panas konduksi dari base sirip pendingin ke dasar sirip pendingin dapat dijelaskan dengan persamaan:

$q = -k.A.\frac{\Delta T}{\Delta x}$

Kemudian substitusikan parameter yang ada ke dalam rumus:

$q = -238{,}95 \frac{W}{mK}.0{,}004116\ m^2.\frac{(364-330{,}33)K}{0{,}008\ m}$

$q_2 = 4139{,}38$ Watt

Rumus perpindahan panas konveksi pada sirip pendingin dapat dijelaskan dengan persamaan:

$q = h.A.\Delta T$

Untuk mencari koefisien konveksi fluida (h) dilakukan perhitungan bilangan Reynold dan Nusselt terlebih dahulu.

$Re = \frac{u.\rho x}{\mu}$

Setelah itu substitusikan dengan parameter yang ada dengan rumus diatas:

$Re = 4{,}2\ m/s.0{,}084\ m / 16{,}19 \times 10^{-6}\ m^2/s$

$Re = 21791{,}22$

Pada aliran external flow, jika bilangan Reynold $\leq 5 \times 10^6$ dan $Pr \geq 0{,}6$ maka termasuk ke dalam aliran laminer lalu didapat persamaan Nusseltnya[16].

$Nu = 0{,}664.Re^{1/2}.Pr^{1/3}$

$Nu = 0{,}664.21791{,}22^{1/2}.0{,}706^{1/3}$

$Nu = 87{,}23$

[16]*Ibid*., h. 354.

Setelah kedua bilangan tersebut didapat, maka substitusikan ke dalam rumus persamaan koefisien konveksi fluida udara:

$$h = \frac{Nu.k\ udara}{L}$$

$$h = \frac{87,23.0,02652\ W/mK}{0,084\ m}$$

$$h = 27,53\ W/m^2K$$

Setelah nilai h ketemu, maka substitusikan ke dalam rumus perpindahan panas konveksi:

$$q = h.A.\Delta T$$

$$q = 27,53\ W/m^2K.0,072904\ m^2.(321,33-303)\ K$$

$$q_3 = 36,78\ Watt$$

Setelah q_1, q_2, dan q_3 diketahui, maka q_{total} dapat dicari dengan rumus:

$$q_{total} = q_1 + q_2 + q_3$$

$$q_{total} = 1983,40\ Watt + 4139,38\ Watt + 36,78\ Watt$$

$$q_{total} = 6159,56\ Watt$$

4.1.2 Analisa Perhitungan pada Kecepatan Angin 4,8 m/s

Rumus perpindahan panas konduksi dari permukaan profil segitiga ke base sirip pendingin dapat dijelaskan dengan persamaan:

$$q = -k.A.\frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Lalu substitusikan parameter yang ada ke dalam rumus:

$$q = -239,45\ \frac{W}{mK}.0,003108\ m^2.\frac{(364-363,67)K}{0,002\ m}$$

$$q_1 = 122,79\ Watt$$

Rumus perpindahan panas konduksi dari base sirip pendingin ke dasar sirip pendingin dapat dijelaskan dengan persamaan:

$q = -k.A.\frac{\Delta T}{\Delta x}$

Kemudian substitusikan parameter yang ada ke dalam rumus:

$q = -238{,}89\ \frac{W}{mK}.0{,}004116\ m^2.\frac{(363{,}67-326)K}{0{,}008\ m}$

$q_2 = 4629{,}97$ Watt

Rumus perpindahan panas konveksi pada sirip pendingin dapat dijelaskan dengan persamaan:

$q = h.A.\Delta T$

Untuk mencari koefisien konveksi fluida (h) dilakukan perhitungan bilangan Reynold dan Nusselt terlebih dahulu

$Re = \frac{u.\rho x}{\mu}$

Setelah itu substitusikan dengan parameter yang ada dengan rumus diatas:

$Re = 4{,}8\ m/s.0{,}084\ m\ /\ 16{,}19 \times 10^{-6}\ m^2/s$

$Re = 24904{,}26$

Pada aliran external flow, jika bilangan Reynold $\leq 5 \times 10^6$ dan $Pr \geq 0{,}6$ maka termasuk ke dalam aliran laminer lalu didapat persamaan Nusseltnya

$Nu = 0{,}664.Re^{1/2}.Pr^{1/3}$

$Nu = 0{,}664.24904{,}26^{1/2}.0{,}706^{1/3}$

$Nu = 93{,}25$

Setelah kedua bilangan tersebut didapat, maka substitusikan ke dalam rumus persamaan koefisien konveksi fluida udara:

$h = \frac{Nu.k\ udara}{L}$

$h = \frac{93{,}25.0{,}02652\ W/mK}{0{,}084\ m}$

$h = 29{,}44\ W/m^2K$

Setelah nilai h ketemu, maka substitusikan ke dalam rumus perpindahan panas konveksi:

$q = h.A.\Delta T$

$q = 29{,}44\ W/m^2K.0{,}072904\ m^2.(318\text{-}303)\ K$

$q_3 = 32{,}19\ Watt$

Setelah q_1, q_2, dan q_3 diketahui, maka q_{total} dapat dicari dengan rumus:

$q_{total} = q_1 + q_2 + q_3$

$q_{total} = 122{,}79\ Watt + 4629{,}97\ Watt + 32{,}19\ Watt$

$q_{total} = 4784{,}95\ Watt$

4.1.3 Analisa Perhitungan pada Kecepatan Angin 6,0 m/s

Rumus perpindahan panas konduksi dari permukaan profil segitiga ke base sirip pendingin dapat dijelaskan dengan persamaan:

$$q = -k.A.\frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Lalu substitusikan parameter yang ada ke dalam rumus:

$$q = -239{,}3\ \frac{W}{mK}.0{,}003108\ m^2.\frac{(377{,}67-353{,}67)K}{0{,}002\ m}$$

$q_1 = 8924{,}93\ Watt$

Rumus perpindahan panas konduksi dari base sirip pendingin ke dasar sirip pendingin dapat dijelaskan dengan persamaan:

$$q = -k.A.\frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Kemudian substitusikan parameter yang ada ke dalam rumus:

$$q = -238{,}9\ \frac{W}{mK}.0{,}004116\ m^2.\frac{(353{,}67-327)K}{0{,}008\ m}$$

$q_2 = 3313{,}16\ Watt$

Rumus perpindahan panas konveksi pada sirip pendingin dapat dijelaskan dengan persamaan:

$q = h.A.\Delta T$

Untuk mencari koefisien konveksi fluida (h) dilakukan perhitungan bilangan Reynold dan Nusselt terlebih dahulu

$$Re = \frac{u.\rho x}{\mu}$$

Setelah itu substitusikan dengan parameter yang ada dengan rumus diatas:

$Re = 6{,}0\ m/s.0{,}084\ m / 16{,}19 \times 10^{-6}\ m^2/s$

$Re = 31130{,}32$

Pada aliran external flow, jika bilangan Reynold $\leq 5 \times 10^6$ dan $Pr \geq 0{,}6$ maka termasuk ke dalam aliran laminer lalu didapat persamaan Nusseltnya

$Nu = 0{,}664.Re^{1/2}.Pr^{1/3}$

$Nu = 0{,}664.31130{,}32^{1/2}.0{,}706^{1/3}$

$Nu = 104{,}26$

Setelah kedua bilangan tersebut didapat, maka substitusikan ke dalam rumus persamaan koefisien konveksi fluida udara:

$$h = \frac{Nu.k\ udara}{L}$$

$$h = \frac{104{,}26.0{,}02652\ W/mK}{0{,}084\ m}$$

$h = 32{,}91\ W/m^2K$

Setelah nilai h ketemu, maka substitusikan ke dalam rumus perpindahan panas konveksi:

$q = h.A.\Delta T$

$q = 32{,}91\ W/m^2K.0{,}072904\ m^2.(313{,}67\text{-}303)\ K$

q_3 = 25,60 Watt

Setelah q_1, q_2, dan q_3 diketahui, maka q_{total} dapat dicari dengan rumus:

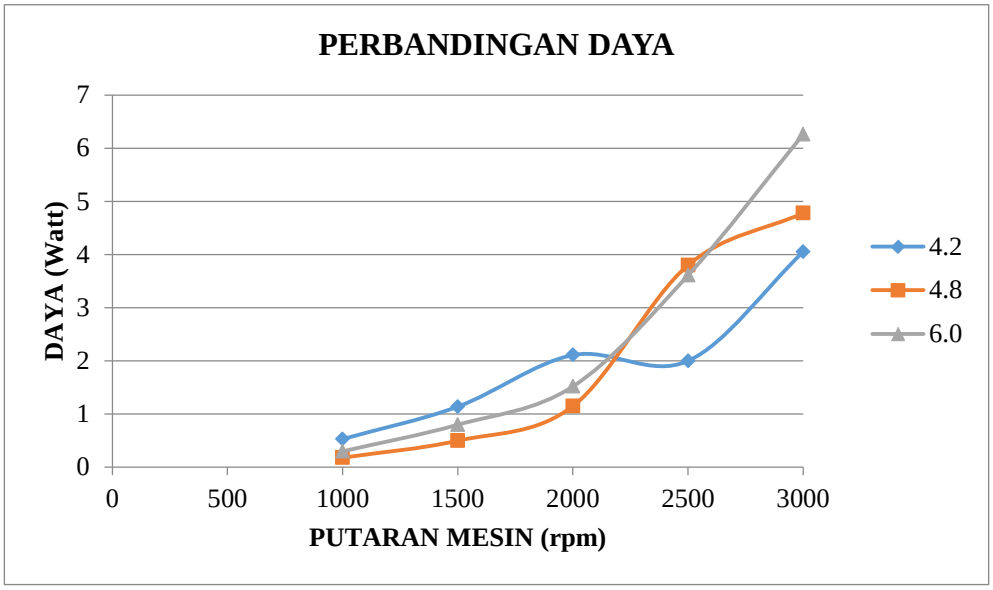
$q_{total} = q_1 + q_2 + q_3$

q_{total} = 8924,93Watt + 3313,16 Watt + 25,60 Watt

q_{total} = 12263,69 Watt

4.2 Analisa Grafik Daya yang Dihasilkan

Setelah mendapatkan data dari hasil percobaan di lapangan, peneliti mencoba menarik kesimpulan yang akan ditampilkan dalam grafik daya dan putaran mesin yang dimana sumbu Y merupakan besaran daya sedangkan sumbu X merupakan besarnya putaran mesin. Lebih jelasnya bisa dilihat dari tabel perbandingan dibawah ini.



Gambar 4.4 Perbandingan Daya pada Setiap Kecepatan Angin

4.2.1 Analisa Daya pada Kecepatan Angin 4,2 m/s

Pada saat kecepatan angin ini, total daya yang dihasilkan oleh kedelapan termoelektrik ini selalu berubah-ubah. Tabel yang dihasilkan adalah sebagai berikut.

Tabel 4.2 Data Hasil Aliran Listrik pada Kecepatan Angin 4,2 m/s

Kecepatan Fluida (m/s)	Putaran Mesin (rpm)	V (Volt)	I (Ampere)	P (Watt)
4.2	1000	2,77	0,18	0,53
	1500	4,22	0,26	1,14
	2000	5,63	0,37	2,11
	2500	5,60	0,35	2,00
	3000	9,78	0,42	4,05

Jika dilihat dari tabel diatas, total daya pada saat kecepatan 4,2 m/s selalu berubah-ubah. Ketika mesin pada putaran 1000 rpm, total tegangan yang dikeluarkan dari kedelapan rangkaian termoelektrik yang disusun secara paralel + seri adalah 2,77 Volt dan arus yang dikeluarkan sebesar 0,18 Ampere, sehingga total daya yang dihasilkan sangat kecil, yakni 0,53 Watt.

Jika melihat tren pada setiap kecepatan putaran mesin dari kecepatan 1500 rpm sampai 2500 rpm, kenaikan tegangan tidak terlalu signifikan. Begitu pun arus yang dikeluarkan oleh rangkaian termoelektrik itu, kecuali pada saat kondisi kecepatan putaran mesin 2500 rpm. Pada kondisi ini, tegangan dan arus yang keluar malah cenderung turun. Alhasil dayanya pun akan turun juga. Hal ini disebabkan oleh putaran mesin yang tinggi sehingga knalpot tempat profil segitiga dan sirip pendingin berada mengalami guncangan. Kondisi ini menyebabkan salah satu termoelektrik merosot dari tempatnya dan hanya setengah bagian dari permukaan termoelektrik tersebut yang menyentuh profil segitiga dan sirip pendingin.

Baru setelah posisi termoelektrik dipindahkan ke posisi semula, kenaikan tegangan dan arus yang keluar kembali normal dan malah meningkat cukup

signifikan pada saat kecepatan putaran mesin 3000 rpm. Hal ini dibuktikan pada besarnya selisih ΔT pada kedua sisi termoelektrik yang menyentuh angka 36^0C.

Dari hasil pengujian kecepatan angin yang pertama ini, peneliti berkesimpulan bahwa pada saat kondisi kecepatan angin 4,2 m/s tegangan dan arus mengalami tren kenaikan yang stabil, meskipun pada saat tren arus mengalami penurunan satu fase. Ini bisa dilihat dari ΔT pada kedua sisi termoelektrik yang berturut-turut menyentuh angka 6^0C, 16^0C, 25^0C, 31^0C, dan 36^0C.

4.2.2 Analisa Daya pada Kecepatan Angin 4,8 m/s

Setelah melakukan seksi uji yang pertama, langkah selanjutnya peneliti akan menaikkan kecepatan angin menjadi 4,8 m/s. Peneliti melakukan hal ini untuk melihat bagaimana pengaruh sirip pendingin terhadap besarnya daya yang dihasilkan oleh rangkaian termoelektrik tersebut. Tabelnya dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 4.3 Data Hasil Aliran Listrik pada Kecepatan Angin 4,8 m/s

Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Mesin (rpm)	V (Volt)	I (Ampere)	P (Watt)
4,8	1000	1,37	0,14	0,18
	1500	2,18	0,24	0,50
	2000	3,40	0,35	1,15
	2500	8,08	0,47	3,80
	3000	10,06	0,48	4,78

Pada tahap awal pengujian kecepatan angin 4,8 m/s saat kecepatan putaran mesin 1000 rpm, keluaran tegangan, arus, dan dayanya lebih kecil dibanding pada saat kecepatan angin 4,2 m/s. Dan ini berlanjut dengan kecepatan angin yang sama sampai pada kecepatan putaran mesin 2000 rpm. Untuk tegangan

besarannya menurun drastis, sedangkan untuk keluaran arus penurunannya tidak terlalu signifikan sehingga dayanya berkurang dibanding pengujian yang pertama. Hal ini disebabkan karena kurangnya pelepasan panas pada sirip pendingin dan penyerapan panas pada profil segitiga serta ketahanan dari salah satu termoelektrik yang mulai berkurang. Ini terlihat dari ΔT kedua sisi termoelektrik yang menyentuh angka 11^0C, 15^0C, 22^0C pada saat kecepatan putaran mesin 1000 rpm, 1500 rpm, dan 2000 rpm. Lebih kecil jika dibandingkan dengan percobaan kecepatan angin yang pertama

Namun pada saat kecepatan putaran mesin 2500 rpm dan 3000 rpm, besaran yang dikeluarkan oleh rangkaian termoelektrik tersebut baik tegangan maupun arus mengalami kenaikan yang sangat besar. Ini terlihat dari ΔT antara sirip pendingin dan profil segitiga pada kecepatan putaran mesin masing-masing 2500 rpm dan 3000 rpm yang mencapai 36^0C dan 38^0C. Kenaikan yang signifikan ini dipengaruhi oleh kekuatan termoelektrik yang keluar hanya pada saat kondisi dimana putaran mesin yang tinggi dan pada putaran mesin yang rendah termoelektrik itu tidak bekerja dengan baik ditambah adanya laju aliran udara sehingga menyebabkan perbedaan suhu yang sangat kecil.

Dari hasil pengujian dengan kecepatan angin yang kedua ini, peneliti berkesimpulan bahwa kecepatan angin yang lebih tinggi hanya mampu mempengaruhi kenaikan daya yang dihasilkan pada saat kondisi mesin berputar pada rotasi tinggi dan tergantung kondisi dari ketangguhan termoelektrik itu sendiri. Padahal secara teori seharusnya ketika kecepatan angin dinaikkan, maka keluaran tegangan dan arus dari rangkaian termoelektrik juga akan meningkat.

4.2.3 Analisa Daya pada Kecepatan Angin 6,0 m/s

Pada kecepatan angin yang terakhir ini, pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah kecepatan angin berpengaruh pada keluaran daya yang dihasilkan oleh rangkaian termoelektrik. Tabelnya bisa dilihat dibawah ini.

Tabel 4.4 Data Hasil Aliran Listrik pada Kecepatan Angin 6,0 m/s

Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Mesin (rpm)	V (Volt)	I (Ampere)	P (Watt)
6,0	1000	1,76	0,17	0,30
	1500	3,01	0,26	0,80
	2000	4,27	0,35	1,52
	2500	8,55	0,42	3,61
	3000	10,23	0,60	6,26

Dari data percobaan diatas terlihat jelas ada peningkatan dari hasil pengujian sebelumnya, namun pada pengujian kedua dan ketiga di kecepatan putaran mesin 1000 rpm sampai dengan 2000 rpm masih lebih rendah keluaran tegangan, arus, dan dayanya dibanding pada pengujian pertama. Ini dikarenakan pada pengujian pertama, tahanan setiap termoelektrik masih bagus dibanding pada pengujian kedua dan ketiga. Untuk kecepatan fluida 6,0 m/s ini keluaran tegangan dan arusnya tidak menemui kendala karena terus meningkat pada setiap penambahan kecepatan putaran mesin. Alhasil dayanya pun secara bertahap akan meningkat juga. Sedangkan jika dibandingkan dengan tiga kecepatan angin, temperatur ujung sirip pendingin di kecepatan ini adalah yang paling rendah, yaitu 33^0C.

Jika dibandingkan dengan dua pengujian sebelumnya, di kecepatan angin 6,0 m/s inilah tegangan, arus, dan daya maksimal yang mampu dihasilkan dari rangkaian delapan termoelektrik. Ini terlihat dari ΔT kedua sisi termoelektrik yang

mencapai selisih sekitar 50^0C. Sedangkan ujung sirip pendinginnya mencapai 40^0C, lebih rendah dibanding kecepatan pada pengujian sebelumnya.

Dari hasil pengujian dengan kecepatan angin yang ketiga ini, peneliti berkesimpulan bahwa pengaruh kecepatan angin sangat berarti terutama pada kecepatan putaran mesin yang tinggi. Namun untuk besaran tegangan, arus, dan daya sangat bervariasi nilainya tergantung dari kekuatan, ketahanan, dan jenis-jenis dari termoelektrik itu sendiri. Jika kecepatan angin dan kecepatan putaran mesin ditingkatkan, maka daya yang dihasilkan termoelektrik akan semakin besar kerena kecepatan angin berpengaruh positif terhadap kecepatan putaran mesin.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Kecepatan putaran mesin berpengaruh positif terhadap keluaran tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh rangkaian modul termoelektrik
2. Kecepatan angin sebagai pendingin sirip pendingin berpengaruh positif terhadap kecepatan putaran mesin
3. Penyebaran pada setiap sirip pendingin tidak sama, hal ini menyebabkan keluaran daya dari setiap termoelektrik modul TEG SP 1848-27145 SA berbeda-beda

5.2 Saran

Untuk penelitian lebih lanjut, peneliti mempunyai saran sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan TEG dengan seri yang lebih baik dari yang digunakan pada penelitian ini
2. Beri isolator pada sepanjang kabel termoelektrik agar tidak mudah putus
3. Untuk ke depannya, menggunakan pendingin tambahan seperti intercooler agar perbedaan suhu antara sirip pendingin dan profil segitiga lebih besar
4. Gunakan kondisi mesin yang pembakaran dalamnya jauh lebih baik agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal

DAFTAR PUSTAKA

Aslimeri, dkk. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Departemen Pendidikan Nasional, 2008.

Ginting, Raja Ulungan. *Dasar-dasar Termodinamika Teknik*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, 1989.

Incropera, Frank. P & David P. DeWitt. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Ottawa: John Wiley & Son. Inc, 1996.

Kreith, Frank. *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*, terj. Arko Prijono. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1997.

Tipler, Paul. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Erlangga, 1998.

Wood, Bernard. *Penerapan Termodinamika*. Jakarta: Erlangga, 1988.

Zemansky, Mark. *Kalor dan Termodinamika*, terj. The Houw Liong. Bandung: Penerbit ITB, 1986.

Badan Pusat Statistik. 2014. Perkembangan Jumlah kendaraan Bermotor Menurut Jenis Tahun 1987-2013. http://www.bps.go.id. (diakses 01 Maret 2014).

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Rata-rata Hasil dari Tiga Kali Pengambilan Data

Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Mesin (rpm)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_3 (°C)	T_4 (°C)	T_5 (°C)	T_6 (°C)	T_7 (°C)	T_8 (°C)
4,2	1000	38	35	35	32	85	43	51	30
		43	32	30	29	85	42	40	28
		44	38	36	32	85	48	45	29
		41,67	35	33,67	31	85	44,33	45,33	29
	1500	58	42	41	35	103	51	61	29
		49	37	34	35	99	45	54	29
		62	41	41	35	105	55	62	29
		56,33	40	38,67	35	102,33	50.,33	59	29
	2000	68	46	45	37	125	56	72	29
		70	43	43	37	115	60	64	28
		72	47	47	39	135	57	77	29
		70	45,33	45	37,67	125	57,67	71	28,67
	2500	71	50	47	38	147	61	82	29
		87	49	50	45	136	72	76	29
		87	52	53	41	155	85	88	30
		81,67	50,33	50	41,33	146	72,67	82	29,33
	3000	85	54	55	49	186	79	89	30
		97	51	57	51	157	95	93	29
		91	59	60	45	183	93	107	30
		91	54.67	57,33	48,33	175,33	89	96,33	29,67

LAMPIRAN 2 Rata-rata Hasil dari Tiga Kali Pengambilan Data

Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Mesin (rpm)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_3 (°C)	T_4 (°C)	T_5 (°C)	T_6 (°C)	T_7 (°C)	T_8 (°C)
4,8	1000	37	32	32	30	73	39	42	29
		53	37	39	38	97	41	58	28
		45	35	36	34	85	40	50	29
		45	34,67	35,67	34	85	40	50	28,67
	1500	47	36	37	34	102	46	53	29
		59	41	42	38	113	67	62	28
		53	39	40	36	108	57	58	29
		53	38,67	39,67	36	107,67	56,67	57,67	28,67
	2000	58	38	40	36	122	52	63	29
		70	47	47	41	138	63	69	28
		64	43	44	39	130	58	66	29
		64	42,67	43,67	38,67	130	57,67	66	28,67
	2500	61	44	44	39	139	68	79	30
		88	53	54	47	169	76	83	28
		75	49	49	43	154	72	81	29
		74,67	48,67	49	43	154	72	81	29
	3000	83	46	50	44	161	72	82	30
		98	59	56	46	216	81	98	29
		91	53	53	45	189	77	93	29
		90,67	52,67	53	45	188,67	76,67	91	29,33

LAMPIRAN 3 Rata-rata Hasil dari Tiga Kali Pengambilan Data

Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Mesin (rpm)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_3 (°C)	T_4 (°C)	T_5 (°C)	T_6 (°C)	T_7 (°C)	T_8 (°C)
6,0	1000	36	32	32	32	65	40	40	30
		52	37	39	35	86	48	56	30
		52	37	36	33	86	50	49	29
		46,67	35,33	35,67	33,33	79	46	48,33	29,67
	1500	44	33	36	34	88	53	50	30
		59	42	40	35	108	58	61	30
		61	41	39	33	107	58	60	30
		54,67	38,67	38,33	34	101	56,33	57	30
	2000	57	39	39	35	106	60	60	31
		61	42	41	35	120	64	66	30
		64	44	43	35	134	68	72	30
		60,67	41,67	41	35	120	64	66	30,33
	2500	73	43	44	39	132	81	76	30
		81	47	47	39	150	84	83	29
		88	51	49	39	167	86	90	29
		80,67	47	46,67	39	149,67	83,67	83	29,33
	3000	86	47	50	42	152	98	89	30
		81	48	54	41	195	105	105	30
		75	48	58	39	237	111	120	29
		80,67	47,67	54	40,67	194,67	104,7	104,67	29,67

LAMPIRAN 4 Tabel Hasil Temperatur pada Tiap Titik Sensor

Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Mesin (rpm)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_3 (°C)	T_4 (°C)	T_5 (°C)	T_6 (°C)	T_7 (°C)	T_8 (°C)	V (Volt)	I (Ampere)	P (Watt)
4,2	1000	41,67	35	33,67	31	85	44,33	45,33	29	2,77	0,18	0,53
	1500	56,33	40	38,67	35	102,33	50,33	59	29	4,22	0,26	1,14
	2000	70	45,33	45	37,67	125	57,67	71	28,67	5,63	0,37	2,11
	2500	81,67	50,33	50	41,33	146	72,67	82	29,33	5,60	0,35	2,00
	3000	91	54,67	57,33	48,33	175,33	89	96,33	29,67	9,78	0,42	4,05
4,8	1000	45	34,67	35,67	34	85	40	50	28,67	1,37	0,14	0,18
	1500	53	38,67	39,67	36	107,67	56,67	57,67	28,67	2,18	0,24	0,50
	2000	64	42,67	43,67	38,67	130	57,67	66	28,67	3,40	0,35	1,15
	2500	74,67	48,67	49	43	154	72	81	29	8,08	0,47	3,80
	3000	90,67	52,67	53	45	188,67	76,67	91	29,33	10,06	0,48	4,78
6,0	1000	46,67	35,33	35,67	33,33	79	46	48,33	29,67	1,76	0,17	0,30
	1500	54,67	38,67	38,33	34	101	56,33	57	30	3,01	0,26	0,80
	2000	60,67	41,67	41	35	120	64	66	30,33	4,27	0,35	1,52
	2500	80,67	47	46,67	39	149,7	83,67	83	29,33	8,55	0,42	3,61
	3000	80,67	47,67	54	40,67	194,7	104,7	104,67	29,67	10,23	0,60	6,26

LAMPIRAN 5 Tabel Total Energi yang Dilepaskan Oleh Sirip Pendingin

Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Mesin (rpm)	q_1 (Watt)	q_2 (Watt)	Reynold	Nusselt	Prandtl	h (W/m2K)	q_3 (Watt)	q_{total} (Watt)
4,2	1000	1358,04	982,08	21791,22	87,23	0,706	27,53	2,01	2342,13
	1500	991,57	2168,57					10,04	3170,18
	2000	371,65	3071,18					15,39	3458,22
	2500	122,73	3891,71					26,74	4037,18
	3000	1983,40	4139,38					36,78	6159,56
4,8	1000	1855,79	1350,36	24904,26	93,25	0,706	29,44	8,59	3214,17
	1500	1734,18	2087,18					12,88	3834,24
	2000	743,06	3110,42					18,61	3872,09
	2500	2354,05	3890,08					27,90	6272,03
	3000	122,79	4629,97					32,19	4784,95
6,0	1000	616,04	1350,53	31130,32	104,26	0,706	32,91	7,99	1974,56
	1500	865,19	2006,48					9,60	2881,27
	2000	1980,26	2415,80					12,00	4408,06
	2500	866,61	4177,15					21,59	5065,35
	3000	8924,93	3313,16					25,60	12263,69

LAMPIRAN 6 Tabel Nilai Properties Gas pada Tekanan Atsmosfer

TABLE A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure[a]

T (K)	ρ (kg/m³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m²)	$\nu \cdot 10^6$ (m²/s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m²/s)	Pr
Air							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
Ammonia (NH_3)							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

LAMPIRAN 7 Tabel Nilai Properties Sifat Zat Padat

TABLE A.1 Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids[a]

Composition	Melting Point (K)	Properties at 300 K: ρ (kg/m^3)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m^2/s)	Properties at Various Temperatures (K): k (W/m · K)/c_p (J/kg · K) 100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Aluminum															
Pure	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218					
						482	798	949	1033	1146					
Alloy 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	65	163	186	186						
						473	787	925	1042						
Alloy 195, Cast (4.5% Cu)		2790	883	168	68.2			174	185						
								—	—						
Beryllium	1550	1850	1825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8	78.7			
						203	1114	2191	2604	2823	3018	3227	3519		
Bismuth	545	9780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04							
						112	120	127							
Boron	2573	2500	1107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85				
						128	600	146	1892	2160	2338				
Cadmium	594	8650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7							
						198	222	242							
Chromium	2118	7160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	61.9	57.2	49.4	
						192	384	484	542	581	616	682	779	937	
Cobalt	1769	8862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1	49.3	42.5		
						236	379	450	503	550	628	733	674		
Copper															
Pure	1358	8933	385	401	117	482	413	393	379	366	352	339			
						252	356	397	417	433	451	480			
Commercial bronze (90% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	14		42	52	59						
							785	460	545						
Phosphor gear bronze (89% Cu, 11% Sn)	1104	8780	355	54	17		41	65	74						
							—	—	—						
Cartridge brass (70% Cu, 30% Zn)	1188	8530	380	110	33.9	75	95	137	149						
							360	395	425						
Constantan (55% Cu, 45% Ni)	1493	8920	384	23	6.71	17	19								
						237	362								
Germanium	1211	5360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4	17.4			
						190	290	337	348	357	375	395			

RIWAYAT HIDUP

Panji Bagus Tri Utomo. Tepatnya pada tanggal 26 Desember 1990 dilahirkan di Jakarta. Anak ketiga dari tiga bersaudara dari Bapak Ariyanto dan Ibu Tri Pratiwi ini bertempat tinggal di Baranang Siang 4 blok B No. 43 RT 03 RW 10 Tanah baru, Bogor. Panji adalah panggilan peneliti, menempuh pendidikan di TK Dharma Kartini Bogor, SD Negeri Polisi 4 Bogor, SMP Negeri 1 Bogor, SMA PLUS YPHB Bogor, dan melanjutkan studi ke Universitas Negeri Jakarta, fakultas teknik, jurusan teknik mesin. Semasa sekolah peneliti pernah mengikuti beberapa kegiatan ekstra kurikulier, seperti pecinta alam, tenis meja, dan futsal.