



PENGARUH LUAS PERMUKAAN HEAT SINK TERHADAP TEGANGAN LISTRIK YANG DIHASILKAN THERMOELEKTRIK

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



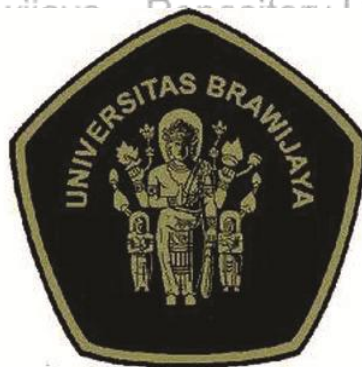
Disusun oleh :

**SIDIQ DARMAWAN
NIM. 115060200111025-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2015**

**LEMBAR PERSETUJUAN****PENGARUH LUAS PERMUKAAN *HEAT SINK* TERHADAP TEGANGAN LISTRIK YANG DIHASILKAN THERMOELEKTRIK****SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

SIDIQ DARMAWAN**NIM. 11506020011125-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I**Dosen Pembimbing II****Dr.Eng.. Widya Wijayanti, ST.,MT****NIP. 19750802 199903 2 002****Purnami, ST.,MT****NIP. 19770707 200812 1 005**

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan Tuhan Yesus Kristus, karena hanya dengan kasih-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Pengaruh Luas Permukaan Heat sink Terhadap Tegangan Listrik Yang Dihasilkan Thermoelektrik"**.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat bagi mahasiswa jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang untuk memperoleh gelar sarjana Teknik. Penulis juga tidak lupa mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Dr. Eng. Nurkholis Hamidi ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Bapak Purnami ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin.
2. Dr. Eng. Widya Wijayanti. ST., MT. selaku dosen pembimbing I skripsi atas semua ilmu dan saran yang telah diberikan selama penyusunan skripsi.
3. Purnami, ST., MT. selaku pembimbing II skripsi, Ketua Program Studi Teknik Mesin, dan KKDK Konversi Energi yang memberikan arahan serta bimbingan guna kesempurnaan penulisan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen pengajar dan Staf administrasi Jurusan Teknik Mesin.
5. Kedua Orang Tua penulis yaitu Ayahanda Wido Suwarno dan Bunda Supini yang telah menjadi motivasi paling besar dan memberikan segala yang sangat berarti bagi penulis. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya.
6. Kekasih Divina Sekar Melati yang selalu memberikan semangat.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, yang telah banyak membantu penulis selama proses penyusunan skripsi ini.

Dengan keterbatasan ilmu yang dimiliki penulis, tentunya skripsi ini banyak membutuhkan masukan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi kita semua. Amiin

Malang, April 2015

Penulis



**DAFTAR ISI****KATA PENGANTAR**..... i**DAFTAR ISI**..... iii**DAFTAR TABEL**..... iv**DAFTAR GAMBAR**..... vi**RINGKASAN**..... vii**BAB I PENDAHULUAN**..... 1

1.1 Latar Belakang..... 1

1.2 Rumusan Masalah..... 2

1.3 Batasan Masalah..... 2

1.4 Tujuan Penelitian..... 2

1.5 Manfaat Penelitian..... 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... 4

2.1 Energi Panas dan Perpindahan Panas..... 4

2.2 Thermoelektrik..... 8

2.2.1 Effect Seeback dan Effect Peltier..... 15

2.2.2 Material Thermoelektrik..... 18

2.3 *Heat sink*..... 21

2.4 Hipotesis..... 25

BAB III METODE PENELITIAN..... 26

3.1 Metode Penelitian..... 26

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian..... 26

3.3 Variabel Penelitian..... 26

3.4 Peralatan Penelitian..... 27

3.5 Skema Instalasi Penelitian..... 34

3.6 Prosedur Penelitian..... 35

3.7 Diagram Alir Penelitian..... 36

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 37

4.1 Data Hasil Penelitian dan Pengolahan Data..... 37

4.1.1 Metode Pengambilan Data..... 37

4.1.2 Data Hasil Penelitian..... 37

4.2 Hasil dan Pembahasan..... 41



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data Hasil Penelitian Untuk <i>Heat sink A</i>	38
Tabel 4.2	Data Hasil Penelitian Untuk <i>Heat sink B</i>	38
Tabel 4.3	Data Hasil Penelitian Untuk <i>Heat sink C</i>	38



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perpindahan panas konduksi	5
Gambar 2.2	Perpindahan panas konveksi	6
Gambar 2.3	Perpindahan panas konveksi natura dan konveksi paksa	7
Gambar 2.4	Perpindahan panas radiasi	8
Gambar 2.5	Jenis thermoelektrik semikonduktor tipe p dan tipe n	10
Gambar 2.6	Eksperimen efek <i>Seebeck</i> dan efek <i>Peltier</i>	15
Gambar 2.7	Termokopel Sempel	16
Gambar 2.8	aliran elektron pada suhu ruang	18
Gambar 2.9	Doping silicon dengan atom pentavalent	20
Gambar 2.10	Doping silicon dengan atom trivalent	20
Gambar 2.11	<i>Heat sink</i>	22
Gambar 2.12	Jenis jenis <i>heat sink</i>	22
Gambar 2.13	Perpindahan panas pada <i>heat sink</i>	24
Gambar 2.14	Kemampuan membuang panas pada <i>heat sink</i>	25
Gambar 3.1	Heater	27
Gambar 3.2	Reservoir Panas	28
Gambar 3.3	Thermoelektrik	28
Gambar 3.4	<i>Heat sink A</i>	29
Gambar 3.5	<i>Heat sink B</i>	29
Gambar 3.6	<i>Heat sink C</i>	30
Gambar 3.7	<i>Heat sink A,B,C</i>	30
Gambar 3.8	Thermopasta	31
Gambar 3.9	Peredam Panas	31
Gambar 3.10	Data Logger	32
Gambar 3.11	Sensor Suhu	32
Gambar 3.12	Sensor Tegangan	33
Gambar 3.13	Mur Baut	33
Gambar 3.14	Akrilik	34
Gambar 3.15	Skema Instalasi Penelitian	34
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Suhu Terhadap Waktu <i>Heating rate</i> dan <i>Cooling rate</i> Pada Semua Variasi <i>Heat Sink</i>	41



Gambar 4.2. Grafik Hubungan Delta T Terhadap Waktu Pada Semua Variasi <i>Heat Sink</i>	43
Gambar 4.3. Grafik Hubungan Voltase Terhadap Waktu Pada Semua Variasi <i>Heat Sink</i>	45
Gambar 4.4. Grafik Hubungan Delta Suhu dan Voltase Terhadap Waktu dan <i>Cooling</i> Pada Semua Variasi <i>Heat Sink</i>	47

RINGKASAN

SIDIQ DARMAWAN, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April 2015, *Pengaruh Luas Permukaan Heat Sink Terhadap Tegangan Listrik Yang Dihasilkan Thermoelektrik*, Dosen Pembimbing : Widya Wijayanti dan Purnami.

Teknologi termoelektrik merupakan teknologi yang bisa diandalkan dimasa depan untuk mengatasi krisis energi karena teknologi ini mampu mengubah energi panas menjadi energi listrik secara langsung. Sumber energi panas yang ada didunia ini sangat melimpah tapi belum adanya teknologi yang mampu mengkonversinya secara langsung membuat energi panas seperti panas matahari dan panas losses mesin konversi energi kurang dimanfaatkan dengan baik. Padahal sumber energi panas didunia adalah sumber energi yang terbarukan. Teknologi termoelektrik merupakan teknologi dengan rekayasa material semikonduktor tipe P dan tipe N yang disusun secara seri secara elektrik sehingga dapat mengubah energi panas menjadi listrik secara langsung menggunakan prinsip pergerakan elektron pada jalur konduksi dan pergerakan *hole* pada jalur valensi sehingga ketika semikonduktor tersebut menerima energi panas dari luar maka semikonduktor tersebut akan menghasilkan tegangan listrik. Teori lain yang mendukung adalah effect seeback yang menyatakan bila terdapat perbedaan suhu antara dua material yang berbeda maka akan dihasilkan tegangan listrik pada sambungan material itu.

Oleh karena itu dilakukan penelitian tentang termoelektrik yakni pengaruh luas permukaan *heat sink* terhadap tegangan listrik yang dihasilkan termoelektrik. Luas permukaan *heat sink* yang bervariasi dalam penelitian ini adalah 468 cm², 936 cm², 1404 cm² data yang akan diambil adalah perbedaan suhu dan tegangan listrik yang dihasilkan termoelektrik setiap 30 detik selama 15 menit.

Didapatkan hasil penelitian semakin besar luas permukaan *heat sink* semakin besar tegangan listrik yang dihasilkan termoelektrik.

Kata kunci : elektron, *heat sink*, *hole*, panas, seeback, tegangan, termoelektrik,



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Thermoelektrik adalah teknologi rekayasa material baru yang dapat mengkonversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung. Thermoelektrik terdiri dari bahan semikonduktor tipe P dan semikonduktor Tipe N. Prinsip dasar konversi energi pada thermoelektrik adalah berdasarkan effect seeback. Effect seeback adalah teori yang mengatakan bahwa ketika ada perbedaan suhu pada dua jenis material yang berbeda maka akan ada aliran elektron.

Bahan thermoelektrik ini terdiri dari dua sisi yaitu sisi panas dan sisi dingin. Sisi panas dijaga agar suhu selalu panas, pada sisi dingin suhu dijaga juga agar selalu dingin. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan perbedaan suhu yang tinggi antara kedua sisi thermoelektrik, karena semakin tinggi perbedaan suhu pada sisi thermoelektrik maka elektron yang mengalir pada thermoelektrik juga semakin banyak.

Sumber panas yang digunakan untuk sisi panas thermoelektrik dapat berasal dari panas matahari, panas dari *losses* sistem konversi energi dan sumber panas lainnya. Sedangkan pada sisi dingin harus dijaga dingin dengan menggunakan media pendingin seperti *heat sink*. *Heat sink* merupakan salah satu media pendingin yang digunakan untuk menjaga agar suhu sisi dingin thermoelektrik tetap dingin. *Heat sink* berfungsi untuk membuang panas yang berasal dari sisi panas thermoelektrik ke lingkungan. Semakin luas permukaan *heat sink* maka semakin besar juga kemampuan *heat sink* untuk membuang panas ke lingkungan. Saat ini berbagai penelitian tentang thermoelektrik hanya melakukan penelitian dengan mengatur delta suhu konstan sehingga hanya didapatkan hasil perbandingan antara perbedaan suhu dengan voltase, padahal masalah yang dihadapi di dunia nyata adalah bagaimana merancang sistem pendinginan yang baik pada thermoelektrik. Penelitian sebelumnya cenderung membuat sisi dingin thermoelektrik tetap dingin dengan menggunakan air dingin yang dikontrol menggunakan energi listrik, padahal pada dunia nyata metode ini tidak dapat diterapkan karena pendinginan metode pendinginan ini membutuhkan kerja listrik untuk mendinginkan air sehingga metode ini tidak efisien.

Penguasaan teknologi thermoelektrik ini sangat penting dimasa depan, sehingga kita bisa mengkonversi energi panas menjadi listrik dengan lebih optimal.



Pada penelitian ini akan dilakukan penelitian pengaruh luas permukaan *heat sink* terhadap tegangan listrik yang dapat dihasilkan termoelektrik, karena luas permukaan *heat sink* mempengaruhi suhu pengkondisian pada sisi dingin termoelektrik. Semakin luas permukaan *heat sink* maka semakin besar juga kemampuan *heat sink* dalam membuang panas ke lingkungan sehingga suhu pada sisi dingin termoelektrik dapat dijaga agar tetap dingin. Penelitian ini diharapkan dapat diterapkan untuk mengkonversi energi panas dari matahari maupun *losses* energi dari mesin konversi energi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang menjadi permasalahan utama pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh luas permukaan *heat sink* terhadap tegangan listrik yang dihasilkan termoelektrik untuk mendesain sistem konversi energi panas yang efisien.

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas dan terfokus, maka perlu dilakukan batasan sebagai berikut:

1. Modul Termoelektrik yang digunakan memiliki spesifikasi yang sama.
2. Untuk memaksimalkan perpindahan panas digunakan thermopasta.
3. Tidak ada perpindahan panas konveksi dari reservoir panas ke lingkungan
4. Pendinginan pada *heat sink* menggunakan konveksi natural

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian yang dilakukan adalah untuk mendesain sistem konversi energi panas menjadi listrik yang efisien untuk diterapkan pada dunia nyata, untuk mengkonversi panas matahari maupun *losses* energi dari suatu mesin konversi energi menggunakan *heat sink* sebagai media pendinginan termoelektrik dengan konveksi natural.



1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah:

- Menganalisa tegangan listrik yang dihasilkan termoelektrik dengan menggunakan pendinginan *heat sink* dengan konveksi natural
- Menambah penelitian bagi dunia ilmu pengetahuan khususnya konversi energi
- Dapat dijadikan sebagai referensi tambahan bagi mahasiswa untuk penelitian penelitian selanjutnya tentang termoelektrik.



BAB II

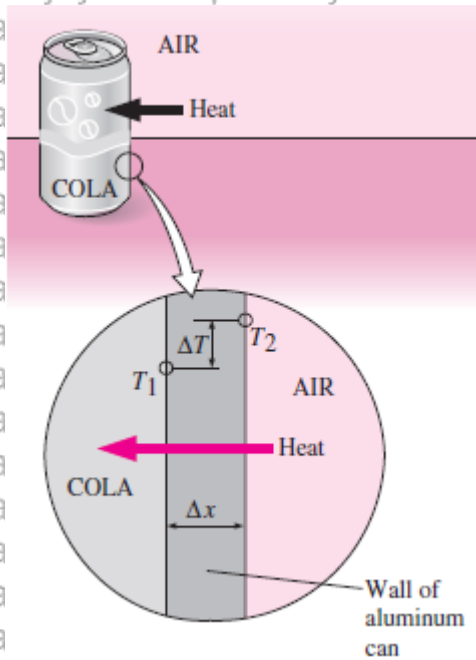
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Panas dan Perpindahan Panas

Energi panas adalah getaran dan gerakan dari atom dan molekul di dalam zat. Ketika suatu objek memanas maka atom-atom dan molekul-molekulnya akan bergerak dan bertabrakan lebih cepat. Energi panas adalah segala kemampuan yang terjadi akibat adanya pengaruh panas. Matahari merupakan sumber energi panas terbesar di muka bumi. Bumi menjadi hangat karena adanya energi panas matahari. Sifat-sifat energi panas antara lain sebagai berikut: Tidak dapat dilihat, didengar, tidak mempunyai bau dan dapat berpindah ke tempat lain.

Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari tentang cara untuk meramalkan perpindahan (distribusi) energi berupa panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur di antara benda atau material. Panas dapat berpindah melalui tiga cara yang berbeda yaitu perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi.

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan kalor melalui zat penghantar tanpa disertai perpindahan bagian-bagian zat itu. Perpindahan kalor dengan cara konduksi pada umumnya terjadi pada zat padat. Perpindahan panas secara konduksi pada benda padat dapat terjadi karena kombinasi getaran molekul pada kisi kisinya serta perpindahan energi oleh elektron bebas yang sebelumnya diam akan bergetar dengan cepat sehingga menumbuk atom atom dan elektron disekitarnya. Dalam perpindahan panas konduksi, perpindahan panas terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Bila molekul – molekul di satu daerah memperoleh energi kinetik rata – rata yang lebih besar daripada energi kinetik yang dimiliki oleh molekul – molekul disekitarnya, sebagaimana yang diwujudkan pada benda yang berbeda suhu, maka molekul – molekul yang memiliki energi lebih besar tersebut akan memindahkan sebagian energinya ke molekul – molekul didaerah yang bersuhu rendah. Perpindahan panas secara konduksi melalui sebuah dinding dapat dilihat pada gambar 2.1 pada gambar tersebut memperlihatkan perpindahan panas melalui dinding alumunium pada botol air minum. Perpindahan panas ini tidak disertai perpindahan molekul dan hanya terjadi pada dindingnya saja.



Gambar 2.1 Perpindahan panas konduksi
Sumber: (Cengel 2002, 118)

Sedangkan untuk menghitung perpindahan panas konduksi rumus dasar nya adalah:

$$Q_{\text{konduksi}} = K A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

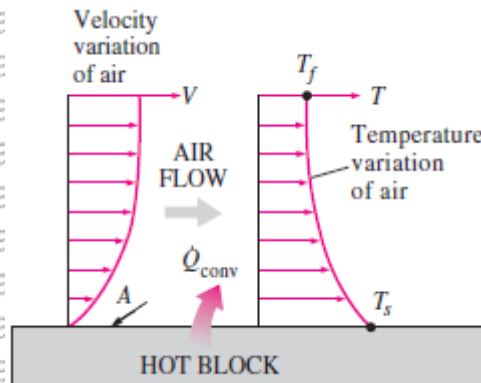
(Cengel 2002: 118) (2-1)

Keterangan:

- Q = laju perpindahan panas (Watt)
- K = konduktivitas panas (W/m.°C)
- A = luasan perpindahan panas arah normal Q (m²)
- ΔT = beda temperatur (°C)
- X = ketebalan bahan (m)

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas melalui zat penghantar yang disertai dengan perpindahan bagian-bagian zat itu. Pada umumnya zat penghantar yang dipakai berupa zat cair dan gas. Semakin cepat gerakan fluida maka akan semakin besar laju perpindahan panas konveksinya. Panas berpindah karena adanya aliran zat yang dipanaskan akibat adanya perbedaan massa jenis. Massa jenis bagian yang dipanaskan lebih kecil daripada massa jenis bagian zat yang tidak dipanaskan. Contoh konveksi adalah memanaskan air dalam panci hingga mendidih.

Gambar 2.2 adalah contoh perpindahan panas konveksi yang terjadi pada plat datar. Pada perpindahan panas ini panas berpindah dari plat ke lingkungan karena perbedaan suhu antara pelat datar dengan lingkungan.



Gambar 2.2 Perpindahan panas konveksi

Sumber: (Cengel 2002, 119)

Persamaan dasar yang mendasari proses perpindahan panas konveksi adalah:

$$Q_{konveksi} = h A (T_s - T_{\infty})$$

(Cengel 2002: 119) (2-2)

Keterangan:

Q = laju perpindahan panas (Watt)

h = koefisien perpindahan panas ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

A = luasan perpindahan panas arah normal Q (m^2)

T_s = temperatur permukaan benda ($^\circ C$)

T_{∞} = temperatur fluida ($^\circ C$)

Perpindahan panas konveksi ada dua macam, yaitu:

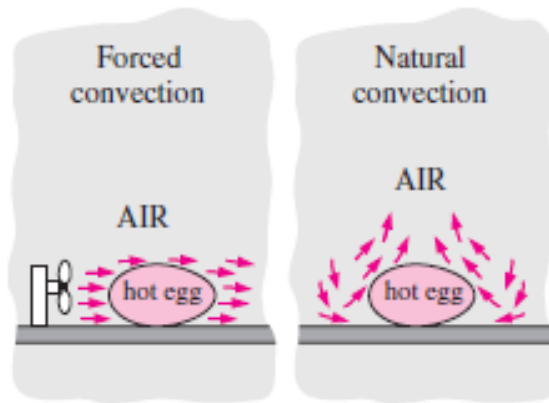
I. Konveksi alami (*natural convection*)

Pada konveksi alami gerakan perpindahan fluida terjadi karena adanya perbedaan densitas atau kerapatan fluida yang disebabkan oleh adanya perbedaan atau gradient temperatur, proses ini terjadi secara alamiah.



2. Konveksi paksa (*forced convection*)

Pada konveksi paksa fluida dipaksa bergerak oleh adanya gaya atau energi dari luar, misalnya oleh kipas. Perpindahan panas yang terjadi akan lebih tinggi dibandingkan perpindahan panas dengan konveksi alami. Berikut adalah gambar perpindahan panas konveksi natural dan paksa.



Gambar. 2.3 Perpindahan panas konveksi natura dan konveksi paksa

Sumber: (Cengel 2002, 120)

Sedangkan perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas tanpa memerlukan zat perantara. Pancaran panas hanya terjadi dalam gas atau ruang hampa, misalnya penghantaran panas matahari ke bumi melalui ruang hampa udara. Alat yang digunakan untuk mengetahui adanya pancaran kalor yang dinamakan termoskop. Termoskop diferensial dipakai untuk menyelidiki sifat pancaran berbagai permukaan. Contoh radiasi adalah perpindahan panas dari cahaya matahari ke bumi. Radiasi panas juga dapat terjadi pada lampu pijar listrik yang sedang menyala dan api unggun yang sedang menyala. Pada saat kita berada di sekitar api unggun yang sedang menyala, tubuh kita terasa hangat karena adanya radiasi panas yang dipancarkan oleh api unggun, inilah distribusi energi berupa panas yang terjadi melalui pancaran gelombang cahaya dari suatu zat ke zat yang lain tanpa zat perantara. Berikut adalah contoh gambar perpindahan panas secara radiasi.



Gambar 2.4 Perpindahan panas radiasi
Sumber: (Cengel 2002, 120)

Persamaan dasar yang mendasari perpindahan panas radiasi adalah :

$$Q_{emit} = \epsilon \times \sigma \times A \times T^4$$

(Cengel 2002: 120) (2-3)

Keterangan:

Q = panas yang dipancarkan (Watt)

ϵ = emisivitas permukaan benda (0 s.d. 1)

A = luas perpindahan panas (m^2)

T = temperatur permukaan benda ($^{\circ}C$)

σ = konstanta Steven Boltzmann ($W/m^2.K^4$)

Untuk benda hitam sempurna nilai emisivitasnya (ϵ) adalah 1 dan besar nilai

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2.K^4$$

2.2 Thermoelctrik

Energi panas dapat langsung diubah menjadi energi listrik menggunakan thermoelctrik, efisiensi thermis maksimum yang dapat dihasilkan sistem ini adalah $(1-T_L/T_H)$. Operasi sistem thermoelctrik tergantung oleh effect seeback. Menurut effect seeback, sebuah voltase timbul dalam sirkuit dari dua material yang berbeda jika kedua simpangan ini dijaga pada temperatur yang berbeda (Archie W. Culp 1985). Koefisien seeback S adalah sifat material dan memberikan perubahan potensial thermoelctrik (E_s) dengan suhu (T) atau seperti rumus dibawah ini



$$S = \frac{dE_s}{dT}$$

(Culp 1985: 386) (2-4)

Keterangan :

S : Koefisien seeback (V/ K)

dE_s : Kecepatan perubahan potensial termoelektrik (V)

dT : Suhu (K)

Koefisien seeback sangat dipengaruhi oleh temperature. Potensial Termoelektrik terinduksi E_s yang ditimbulkan dalam suatu sirkuit yang terdiri dari dua material bisa dihitung dengan persamaan berikut:

$$E_s = \int_{T_L}^{T_H} (S_a - S_b) dT = \int_{T_L}^{T_H} S_{ab} dT$$

(Culp 1985: 386) (2-5)

Keterangan:

E_s : Potensial termoelektrik (V)

T_H : Temeperatur High (K)

T_L : Temperatur Low (K)

S_{ab} : Koefisien Seeback kombinasi (V/K)

Koefisien seeback untuk semikonduktor tipe p dan tipe n memiliki nilai yang tinggi. Material semikonduktor tipe p dan tipe n ini pada umumnya adalah material yang dipakai sebagai material termoelektrik. Semikonduktor tipe n ialah jenis semikonduktor murni yang dicampuri dengan unsur golongan pentavalen atau golongan 5 sehingga semikonduktor ini memiliki kelebihan satu elektron dari yang dibutuhkan untuk memebuhi ikatan valensi. Jadi material mempunyai elektron negatif ekstra. Semikonduktor tipe p ialah semikonduktor murni yang dicampuri unsur golongan trivalent atau golongan tiga, hal ini menyebabkan atom akan kekurangan 1 elektron untuk stabil. Ini akan menimbulkan hole positif. Dalam termoelektrik ini elektron pada tipe n dan hole pada tipe p akan berpindah ke bagian yang dingin dan mereka akan ditumpuk dan digabungkan sehingga menghasilkan potensial termoelektrik (Archie W. Culp 1985)

Koefisien berharga positif berasal dari semikonduktor tipe p dan koefisien berharga negatif berasal dari semikonduktor tipe n. gambar termoelektrik ditunjukkan

pada gambar 2.5 seperti terlihat pada gambar, kaki atau elemen generator dihubungkan seri untuk mengalirkan arus dan dihubungkan paralel untuk mengalirkan panas. Tahanan listrik total dari thermoelektrik adalah R_g dan untuk suatu hubungan seri, merupakan jumlah tahanan dari tiap tiap tahanan kaki:

$$R_g = m(R_p + R_n) \quad (\text{Culp 1985: 388}) (2-6)$$

$$R_p = \frac{\rho_p L_p}{A_p} \quad \text{dan} \quad R_n = \frac{\rho_n L_n}{n} \quad (\text{Culp 1985: 388}) (2-7)$$

Keterangan:

R_g : Tahanan total (ohm)

m : jumlah pasangan kaki p-n

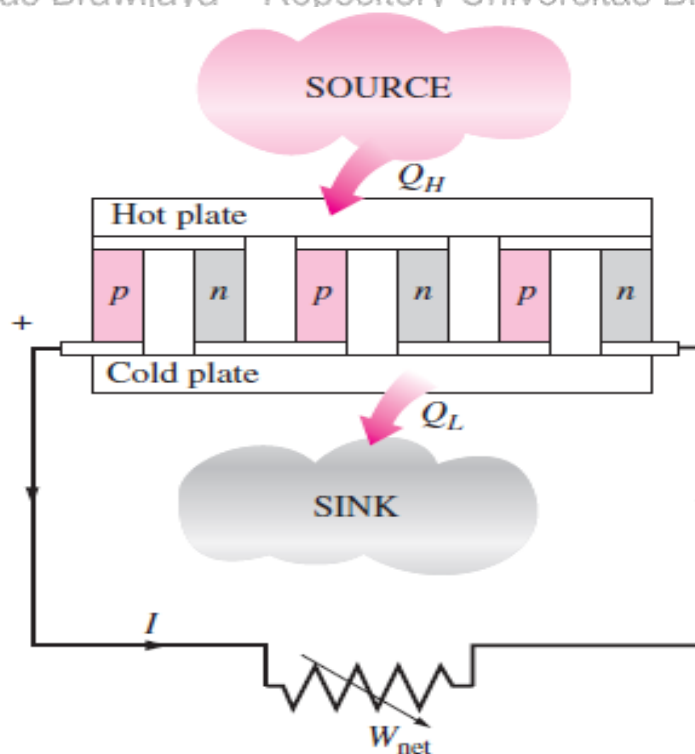
R_p : Tahanan semikonduktor tipe p (ohm)

R_n : Tahanan semikonduktor tipe n (ohm)

ρ_p, ρ_n : Hambatan Jenis semikonduktor (ohm m)

L_n, L_p : Panjang semikonduktor (m)

A_p, A_n : Luas penampang semikonduktor (m^2)



Gambar 2.5 Jenis thermoelektrik semikonduktor tipe p dan tipe n

Sumber: (Cengel 2002, 661)



Konduktivitas termal termoelektrik adalah K_g , adalah sama dengan jumlah konduktivitas kaki kaki semikonduktor tipe p-n. Berikut adalah persamaanya:

$$K_g = m(K_p + K_n)$$

(Culp 1985: 389) (2-8)

$$K_p = \frac{K_p A_p}{L_p} \quad \text{dan} \quad K_n = \frac{K_n A_n}{L_n}$$

(Culp 1985: 389) (2-9)

Keterangan:

K_g : Konduktivitas termoelektrik (Watt)

m : Jumlah pasangan kaki p-n

K_p, K_n : Konduktivitas termal semikonduktor (Watt/m.K)

K_p, K_n : Konduktivitas termal (Watt/m.K)

A_p, A_n : Luas permukaan semikonduktor (m^2)

L_p, L_n : Panjang semikonduktor (m)

Keseimbangan energi pada kedua sisi panas dan dingin dipengaruhi oleh empat faktor utama yaitu:

- Terdapat sejumlah perpindahan panas sambungan ke sekelilingnya sebesar $\pm Q$.
- Terdapat sejumlah perpindahan panas melalui generator dari sambungan panas ke bagian yang dingin dalam hal ini melalui semikonduktor tipe p dan tipe n sebesar $\pm K_g \Delta T$
- Perpindahan panas karena efek pendinginan peltier $\pm \pi_{pn} I = \pm T_{(L \text{ atau } H)} i S_{pn}$
- Terdapat penghamburan daya diperalatan karena pemanasan joule dan dapat ditunjukkan bahwa secara efektif separuh dari panas tahanan ditimbulkan dalam masing masing sambungan sebesar $\pm i^2 R_g/2$.

Dibagian sambungan panas, jumlah perpindahan panas peltier ialah $m\pi_{pn} i$ atau $m T_{(L \text{ atau } H)} i S_{pn}$, dalam watt dimana

$$S_{pn} = \int_{T_L}^{T_H} \frac{(S_p - S_n) dT}{T_H + T_L}$$

(Culp 1985: 389) (2-10)

Keterangan:

S_{pn} : koefisien seeback semikonduktor total (V/K)



T_H : Temperatur High (K)

T_L : Temperatur Low (K)

S_p, S_n : Koefisien seeback semikonduktor tipe p dan tipe n (V/K)

T_H : Temperatur High (K)

T_L : Temperatur Low (K)

Energi yang masuk ke sisi panas termoelektrik adalah sama dengan energi dari panas luar dan pemansan joule pada termoelektrik, sedangkan energi yang dilepaskan pada sisi dingin termoelektrik adalah perpindahan panas melalui generator dari sambungan panas ke bagian yang dingin dan efek pendinginan peltier. Kombinasi untuk bentuk rumus ini adalah

$$Q_H = m \cdot S_{pn} T_H i + K_g (T_H - T_L) - \frac{I^2 R_g}{2} \quad \text{(Culp 1985: 389) (2-11)}$$

$$-Q_L = m \cdot S_{pn} T_L i + K_g (T_H - T_L) + \frac{I^2 R_g}{2} \quad \text{(Culp 1985: 389) (2-12)}$$

Effisiensi termis termoelektrik dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta_{\text{termis}} = \frac{I^2 R_o}{Q_H} = \frac{I^2 R_o}{m \cdot S_{pn} T_H i + K_g (T_H - T_L) - \frac{I^2 R_g}{2}} \times 100\% \quad \text{(Culp 1985: 389) (2-13)}$$

Keterangan:

Q_H : Panas yang masuk ke termoelektrik (Watt)

Q_L : Panas yang dilepas kelingkungan (Watt)

m : Jumlah sambungan semikonduktor p-n

S_{pn} : koefisien seeback semikonduktor total (V/K)

T_H : Temperatur High (K)

T_L : Temperatur Low (K)

K_g : Konduktivitas termoelektrik (Watt)

η_{termis} : Effisiensi termis (%)

I : Arus (Ampere)

R_o : Hambatan dari luar (ohm)



Dengan mengalikan pembilang dan penyebut dengan $\Delta T / R_g i^2$ dan jika M adalah perbandingan tahanan beban luar dan tahanan termoelektrik $M = R_o / R_g$, maka persamaan efisiensi menjadi seperti dibawah ini:

$$\eta_{\text{termis}} = \frac{M \Delta T}{\frac{m \cdot S_{pn} T_H \Delta T}{i R_g} + \frac{K_g \Delta T}{i R_g} + \frac{\Delta T}{2}} \times 100\% \quad (\text{Culp 1985: 390}) (2-14)$$

Keterangan:

- η_{termis} : Effisiensi termis (%)
- M : Perbandingan R_o/R_g
- ΔT : Perbedaan suhu (K)
- m : Jumlah sambungan semikonduktor p-n
- S_{pn} : Koefisien seeback semikonduktor total (V/K)
- T_H : Temperatur High (K)
- K_g : Konduktivitas termoelektrik (Watt)
- R_g : Tahanan total (ohm)
- I : Arus (Ampere)

Arus dalam termoelektrik adalah sama dengan tegangan total yang dibangkitkan dibagi dengan tahanan total dalam termoelektrik, untuk menghitung besar arus dapat dirumuskan seperti dibawah ini.

$$I = \frac{V_t}{R_t} = \frac{m \cdot S_{pn} \Delta T}{R_g + R_o} = \frac{m \cdot S_{pn} (T_H - T_L)}{R_g (1 + M)} \quad (\text{Culp 1985: 390}) (2-15)$$

Keterangan:

- I : Arus (Ampere)
- V_t : Tegangan total (V)
- R_t : Hambatan total termoelektrik dan luar (ohm)
- m : Jumlah sambungan semikonduktor p-n
- S_{pn} : koefisien seeback semikonduktor total (V/K)
- ΔT : perbedaan suhu (K)
- R_g : Tahanan total termoelektrik (ohm)
- R_o : Hambatan dari luar (ohm)



T_H : Temperatur High (K)

T_L : Temperatur Low (K)

M : Perbandingan R_o/R_g

Kemudian nilai ini dimasukan ke dalam persamaan (2-14)

$$\eta_{termis} = \frac{M \Delta T}{(1 + M)T_H + \frac{(1+M)^2}{Z} - \frac{\Delta T}{2}} \times 100\% \quad \text{(Culp 1985: 390) (2-16)}$$

$$Z = \frac{m^2 S_{pn}^2}{K_g R_g} \quad \text{(Culp 1985: 390) (2-17)}$$

Keterangan:

η_{termis} : Efisiensi termis (%)

M : Perbandingan R_o/R_g

ΔT : perbedaan suhu (K)

T_H : Temperatur High (K)

m : Jumlah sambungan semikonduktor p-n

S_{pn} : koefisien seeback semikonduktor total (V/K)

K_g : Konduktivitas termoelektrik (Watt)

R_g : Tahanan total (ohm)

Untuk memaksimalkan efisiensi termoelektrik maka yang harus dilakukan adalah mengoptimumkan nilai Z dan M. Faktor yang mempengaruhi nilai Z adalah besarnya nilai $K_g R_g$, nilai minimum $K_g R_g$ akan memberikan nilai optimum Z. Voltase keluaran Thermoelektrik adalah sama dengan voltase total yang dibangkitkan, dikurangi penurunan voltase internal didalam termoelektrik.

$$V_{out} = \{m \cdot S_{pn} (T_H - T_L) - I R_g\} \quad \text{(Culp 1985: 390) (2-18)}$$

Keterangan:

V_{out} : Voltase (V)

m : Jumlah sambungan semikonduktor p-n

S_{pn} : koefisien seeback semikonduktor total (V/K)

T_H : Temperatur High (K)

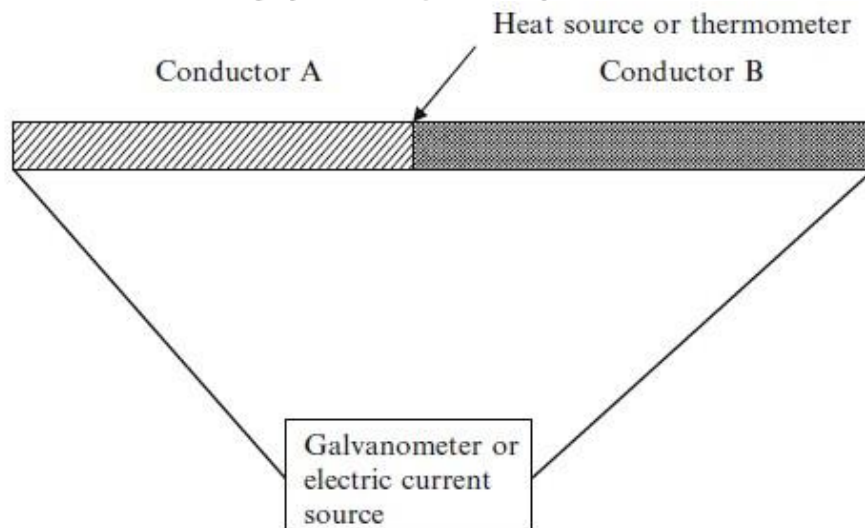
T_L : Temperatur Low (K)

I : Arus (Ampere)

R_g : Hambatan dalam thermoelektrik (ohm)

2.2.1 Effect Seebeck dan Effect Peltier

Efek *Seebeck* adalah sebuah fenomena dimana perbedaan temperatur pada semikonduktor yang menghasilkan beda potensial diantara kedua ujungnya, sedangkan efek *Peltier* adalah sebuah fenomena dimana terjadi perbedaan temperatur yang diakibatkan oleh pemberian beda potensial pada ujung semikonduktor. (Goldsmid 2009)

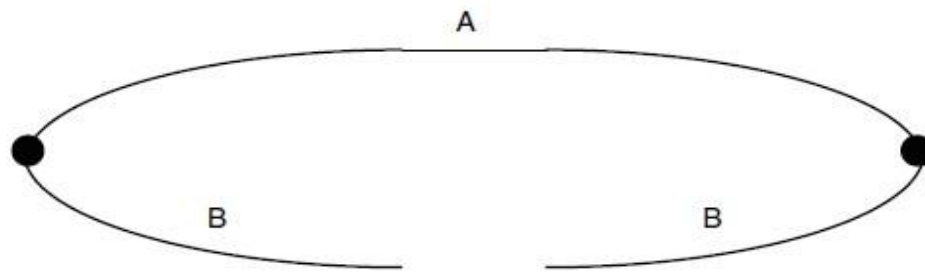


Gambar 2.6 Eksperimen efek *Seebeck* dan efek *Peltier*

Sumber : (Goldsmid, 2009 : 2)

Gambar 2.6 menjelaskan mengenai efek Seebeck dan efek Peltier yang terjadi pada dua jenis konduktor yang berbeda, dengan menempatkan sumber panas diantara kedua konduktor, kemudian kedua ujung konduktor dihubungkan dengan galvanometer maka dapat terlihat bahwa terdapat *Electromotive Force (EMF)*, apabila kedua ujung dihubungkan dengan sumber listrik dan pada sambungan antara kedua konduktor diberikan termometer maka terlihat ada efek pemanasan atau pendinginan yang bergantung pada arah arus listriknya.

Percobaan diatas menghasilkan sebuah alat bernama termokopel, besarnya beda potensial pada ujung-ujung termokopel sebanding dengan perbedaan temperatur, antara sambungan kedua termokopel dengan ujung yang terhubung dengan alat ukur.



Gambar 2.7 Termokopel Sempel

Sumber : (Goldsmid, 2009 : 3)

Pada Gambar 2.9 Kedua ujung dari konduktor A akan dihubungkan dengan konduktor B yang kedua ujungnya akan dihubungkan dengan Voltmeter. Asumsikan konduktor yang digunakan adalah isotropis, apabila terdapat perbedaan temperatur sebesar ΔT diantara sambungan termokopel dan kedua ujung konduktor B, maka akan didapatkan beda potensial sebesar V diantara kedua ujung konduktor B. Koefisien ini disebut sebagai koefisien seeback. Seebeck (α_{AB}) dapat didefinisikan sebagai rasio antara V terhadap ΔT seperti dalam persamaan

$$\alpha_{ab} = \frac{V}{\Delta T} \quad (\text{Goldsmid, 2009 : 3}) \quad (2-19)$$

keterangan :

α_{AB} = Koefisien Seebeck (Volt/K)

V = Beda Potensial (Volt)

ΔT = Perbedaan temperatur (K)

Dengan menggunakan termokopel yang sama, koefisien Peltier (π_{AB}) dapat didefinisikan sebagai rasio dari kecepatan pemanasan atau pendinginan pada sambungan terhadap arus listrik. jika arus listrik dialirkan akan terjadi perbedaan temperature pada sambungan kedua material, akan terjadi pembuangan panas dan penyerapan panas. Dengan effect ini bila dua material yang berbeda apabila dialiri arus listrik akan menghasilkan kalor, sesuai dengan persamaan berikut :



$$Q = \Pi_{AB} I \quad (\text{Goldsmid, 2009 : 3}) \quad (2-20)$$

Keterangan:

Q = Aliran Kalor (W)

Π_{AB} = Koefisien Peltier (Volt)

I = Arus Listrik (Ampere)

Diketahui bahwa lebih mudah untuk melakukan pengukuran dari koefisien seebeck daripada koefisien peltier. Penemuan kelvin menarik satu persamaan yang akan menuliskan persamaan koefisien peltier dalam bentuk koefisien seebeck.

Persamaan kelvin tersebut ialah :

$$\pi_{AB} = \alpha_{AB} T. \quad (\text{Goldsmid, 2009 : 4}) \quad (2-21)$$

keterangan :

π_{AB} = Koefisien Peltier (V)

α_{AB} = Koefisien Seebeck (Volt/K)

T = Temperatur (K)

Salah satu penemuan kelvin yang lain adalah penggabungan antara koefisien seebeck dan koefisien thomson. Koefisien thomson (τ) itu sendiri dapat didefinisikan sebagai rata rata kecepatan pemanasan atau pendinginan per satuan panjang yang menghasilkan arus pada konduktor yang memiliki beda temperatur. Hubungan tersebut digambarkan dalam persamaan berikut :

$$\tau_A - \tau_B = T \frac{d\alpha_{AB}}{dT}. \quad (\text{Goldsmid, 2009 : 4}) \quad (2-22)$$

keterangan :

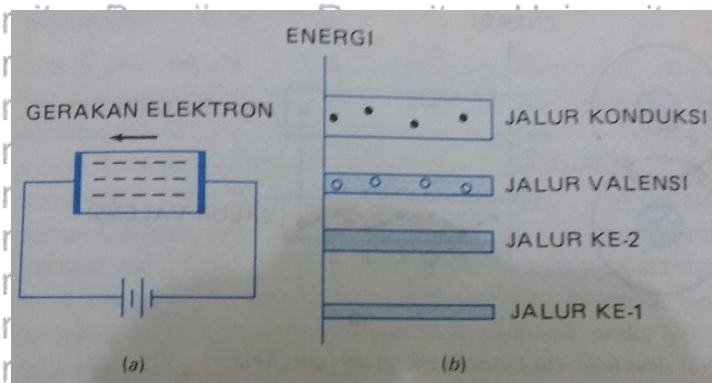
$\tau_A - \tau_B$ = Koefisien Thomson (V/K)

T = Temperatur (K)

$d \alpha_{AB}/d T$ = Turunan koefisien Seebeck terhadap Temperatur

2.2.2 Material Thermoelektrik

Material thermoelektrik terdiri dari bahan semikonduktor tipe P dan Tipe N. Didalam sebuah semikonduktor intristik, seperti misalnya germanium murni atau silikon murni, terdapat dua jenis pembawa arus antara lain adalah elektron dan hole. Elektron elektron pembawa arus adalah elektron elektron pada tingkat energi tertinggi didalam elektron valensi atau pita valensi, yang telah menerima cukup energi biasanya energi panas dan elektron tersebut berpindah ke pita konduksi. Bila suhu dinaikan diatas nol mutlak, maka akan terjadi perubahan. Energi panas yang diberikan akan melepaskan beberapa ikatan kovalen, yaitu elektron elektron valensi pindah ke jalur konduksi, diberi symbol dengan tanda minus pada gambar 2.10. dengan pengaruh panas elektron ini bebas bergerak kekiri dan membangkitkan arus. (malvino 2011). Energi panas yang diterima semikonduktor itulah yang membuat elektron pada kulit valensi berpindah ke kulit konduksi sehingga elektron elektron yang berpindah ke kulit konduksi atau pita konduksi disebut elektron pembawa arus. Perpindahan elektron dari pita valensi ke pita konduksi tersebut melewati celah yang relatif sempit.



Gambar 2.8 aliran elektron pada suhu ruang

Sumber: (Malvino, 2011; 23)

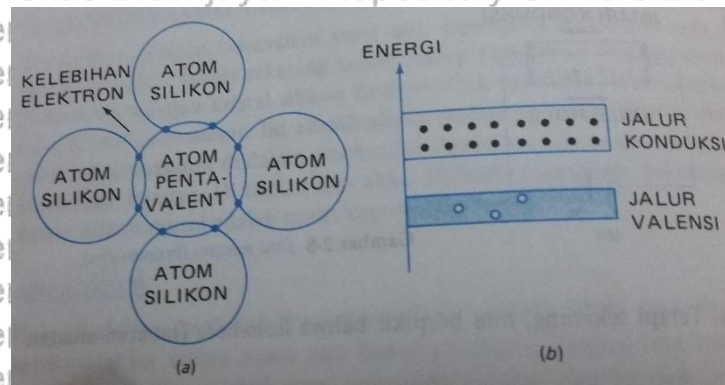
Untuk bahan bahan semikonduktor yang tipikal biasanya celah energi ini besarnya sekitar satu elektronvolt. Tempat tempat kosong yang ditinggalkan oleh elektron elektron tersebut menunjukkan tingkat tingkat energi yang tidak terisi didalam pita valensi, yang juga dapat berpindah dari satu atom ke atom lainnya didalam satu Kristal. Tempat tempat kosong ini disebut hole (lubang), hole ini merupakan pembawa muatan positif (+) yang memiliki muatan $+e$, mobilitas μ_h dan massa efektif yang setara dengan massa elektron. Elektron dan hole bergerak dalam pengaruh medan listrik dan keduanya bergerak kearah yang berlawanan, sehingga masing masingnya memberikan kontribusi

pada arus total kearah yang sama. Hal ini seperti pada definisi arus listrik yaitu pergerakan muatan positif.

Konsentrasi elektron dan hole sangat dipengaruhi oleh suhu. Pada suhu 300K, kerapatan muatan volume yang diberikan oleh elektron dan hole adalah 0.0024 C/m^3 didalam bahan silicon intristik. Nilai nilai ini menghasilkan konduktifitas sebesar 0.00035 S/m didalam silicon murni. Seiring dengan naiknya suhu mobilitas akan berkurang tetapi kerapatan muatan akan meningkat dengan sangat cepat. Hal ini menyebabkan konduktivitas silikon akan bertambah dengan faktor kelipatan 10 saat suhu naik dari 300 K ke 330 K dan berkurang dengan factor kelipatan 10 jika suhu turun dari 300 K ke 275 K. Konduktivitas semikonduktor naik seiring bertambahnya suhu atau kenaikan suhu, sebaliknya konduktivitas konduktor logam turun seiring naiknya suhu. Hal ini adalah salah satu perbedaan yang menyolok antara bahan konduktor logam dan semikonduktor intristik.

Jumlah total pembawa muatan dan besarnya konduktivitas dapat ditingkatkan secara dramatis dengan menyuntikan sedikit bahan pengotor atau impuritis kedalam semikonduktor murni. Bahan pengotor "donor" dapat memberikan sejumlah elektron tambahan kedalam semikonduktor murni dan menghasilkan semikonduktor tipe-n, sedangkan bahan akseptor membuat jumlah hole didalam semikonduktor murni bertambah dan membentuk bahan tipe-p. Proses pencampuran bahan semikonduktor murni dengan bahan pengotor ini dikenal sebagai doping. (William H.Hayt 2006)

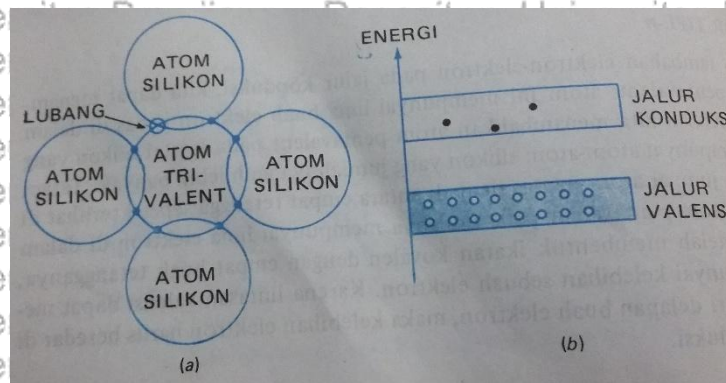
Untuk memperoleh tambahan elektron elektron pada jalur konduksi, kita dapat menambahkan atom atom pentavalent atau atom pada golongan lima, atom ini memiliki lima buah elektron bebas didalam lintasan valensinya. Setelah kita menambahkan atom pentavalent pada atom silicon yang murni, kita tetap memiliki atom atom silicon yang jumlahnya lebih banyak. Tetapi kita akan memiliki atom pentavalent seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11. atom pentavalent pada mulanya mempunyai lima atom didalam lintasan valensinya. Setelah membentuk ikatan kovalen dengan empat buah elektron disekitarnya. Atom ini memnjadi kelebihan satu elektron. Karena lintasan valensi ini tidak dapat menampung elektron diatas 8 maka satu elektron ini akan beredar di lintasan konduksi.



Gambar 2.9 Doping silicon dengan atom pentavalent

Sumber: (Malvino,2011:26)

Gambar 2.11b memperlihatkan jalur jalur energi dari suatu Kristal yang telah didoping sebuah impuritas pentavalent. Kita mempunyai sejumlah besar elektron pada jalur konduksi yang dihasilkan melalui doping. Hanya sedikit hole yang diperoleh melalui energi panas. Kita sebut elektron sebagai pembawa mayoritas dan hole sebagai pembawa minoritas. Silikon yang didoping seperti ini disebut semikonduktor tipe n, dimana n adalah singkatan dari negatif. Hal yang terpenting ialah atom pentavalent sering disebut atom donor, sebab atom tersebut menghasilkan elektron elektron pada jalur konduksi. Contoh contoh impuritas donor adalah arsenic, antimony dan fosfor.



Gambar 2.10 Doping silicon dengan atom trivalent

Sumber: (Malvino,2011:26)

Metode yang digunakan untuk mendapatkan hole adalah dengan mendoping semikonduktor murni menggunakan impuritas trivalent atau golongan 3. Setelah kita menambahkan impuritas trivalent kita akan melihat setiap atom trivalent dikelilingi oleh empat atom silicon. Seperti terlihat pada gambar 2.12, karena setiap atom trivalent

hanya membawa 3 elektron valensi, maka hanya tujuh buah elektron yang akan beredar didalam lintasan valensinya. Dengan kata lain sebuah hole terjadi didalam setiap atom trivalent. Dengan mengatur jumlah penambahan impuritas, kita dapat mengatur jumlah hole didalam Kristal yang didoping.

Suatu semikonduktor yang didoping oleh impuritas trivalent disebut semi konduktor tipe p, p adalah singkatan dari positif. Seperti terlihat pada gambar 2.12 b, hole dari semikonduktor tipe p jauh lebih banyak dari pada elektron pada jalur konduksi. Dengan alasan ini maka hole adalah pembawa mayoritas didalam semikonduktor tipe p, sedangkan elektron pada jalur konduksi merupakan pembawa minoritas. Atom atom trivalent juga disebut atom atom akseptor karena setiap hole yang mereka sumbangkan dapat menerima sebuah elektron sewaktu penggabungan kembali. Atom atom yang termasuk atom trivalent antara lain adalah alumunium, boron dan gallium.

2.3 Heat Sink

Heat Sink adalah media atau alat pembuang panas yang berbentuk *extended surface* atau perluasan permukaan. Tujuan dari *heat sink* adalah untuk memperluas luas permukaan sehingga perpindahan panas dapat terjadi dengan cepat. Kalor yang dihantarkan melalui benda sering harus dibuang (atau dilepaskan) melalui proses konveksi. Contohnya kerugian kalor karena konduksi melalui dinding tanur harus dilepas kelingkungan melalui konveksi. Alat penukar panas diterapkan dengan susunan berheat sink untuk membuang panas. Kalor dihantarkan melalui *heat sink* dan akhirnya kalor dilepaskan kelingkungan melalui proses konveksi, analisa sistem konduksi dan konveksi sangat penting.

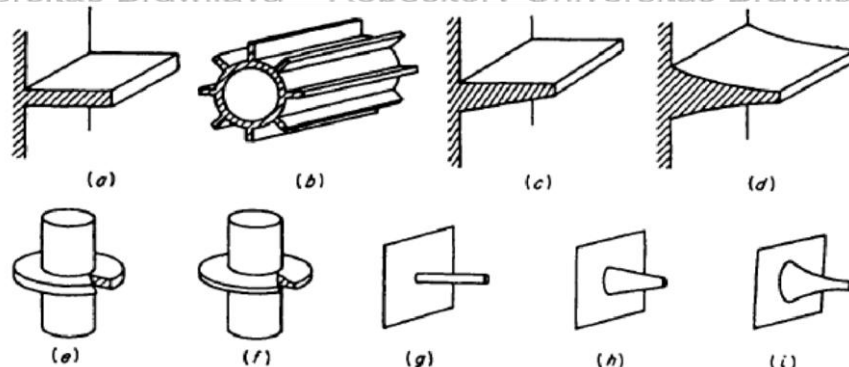
Prinsip dasar yang mendasari proses perpindahan panas pada konveksi adalah konduksi pada sisi masuk panas dan konveksi pada pembuangan panas. Berikut adalah gambar *heat sink*. Semakin besar luas permukaan *heat sink* maka semakin besar kemampuan *heat sink* untuk membuang panas



Gambar 2.11 *Heat sink*

Sumber Anonymous

Pembelajaran tentang heat sink dipengaruhi oleh beberapa factor antara lain adalah berat, volume, dan luas permukaan. Permukaan-permukaan heat sink akan menyerap panas maupun membuang panas. Berikut adalah jenis-jenis heat sink yang ada.



Gambar 2.12 jenis-jenis *heat sink*

Sumber: Anonymous

Hal penting dalam menganalisis geometri *heat sink* adalah asumsi-asumsi yang diambil untuk menentukan dan membatasi masalah dan tentunya menyederhanakan penyelesaiannya. Analisis dari tiga geometri dasar *heat sink* dapat dilakukan dengan mengacu pada asumsi Murray-Gardner, yaitu:

- Aliran panas dalam heat sink dan temperaturnya tetap konstan terhadap waktu.
- Material heat sink adalah homogen, konduktivitas termal sama di segala arah, dan tetap konstan.

- c. Koefisien perpindahan panas konveksi di permukaan *heat sink* konstan dan seragam di keseluruhan permukaan *heat sink*.
- d. Temperatur dari medium lingkungan *heat sink* konstan.
- e. Ketebalan *heat sink* adalah kecil, dibandingkan dengan tinggi dan panjangnya, sehingga gradien temperatur melewati ketebalan *heat sink* dan perpindahan panas dari tepi *heat sink* dapat diabaikan.
- f. Temperatur dasar *heat sink* adalah seragam.
- g. Tidak ada tahanan kontak dimana dasar *heat sink* digabung dengan permukaan utama.
- h. Tidak ada sumber panas di dalam *heat sink* itu sendiri.
- i. Panas yang ditransfer melalui ujung *heat sink* diabaikan dibandingkan dengan panas yang meninggalkan permukaan lateralnya.
- j. Perpindahan panas ke atau dari *heat sink* sebanding terhadap kelebihan temperatur antara *heat sink* dan medium sekitar.

Pengaruh luas permukaan *heat sink* memiliki hubungan dengan kemampuan perpindahan panas konveksi pada *heat sink*. Seperti rumus dibawah ini. Persamaan dasar yang mendasarim proses perpindahan panas konveksi pada *heat sink* adalah:

$$Q_{konveksi} = h A (T_s - T_{\infty})$$

(Cengel 2002: 119) (2-23)

Dimana:

Q = laju perpindahan panas (Watt)

h = koefisien perpindahan panas ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

A = luasan perpindahan panas arah normal Q (m^2)

T_s = temperatur permukaan benda ($^\circ C$)

T_{∞} = temperatur fluida ($^\circ C$)

Semakin luas permukaan *heat sink* maka semakin tinggi pula kemampuan *heat sink* untuk melakukan perpindahan panas konveksi yang tinggi juga. Kemampuan memindahkan panas pada *heat sink* melalui 2 permukaan yakni permukaan unfin dan permukaan fin. Berikut adalah rumus untuk menghitung kemampuan memindahkan panas pada *heat sink*.

$$\begin{aligned}
 Q_{total\ heat\ sink} &= Q_{unfin} + Q_{fin} \\
 &= hA_{unfin}(T_s - T_\infty) + hA_{fin}(T_s - T_\infty) \\
 &= h(A_{unfin} + A_{fin})(T_s - T_\infty)
 \end{aligned}$$

(Cengel 2002: 187) (2-24)

Dimana :

$Q_{total\ heat\ sink}$ = laju total perpindahan panas (Watt)

Q_{unfin} = laju perpindahan panas pada unfin (Watt)

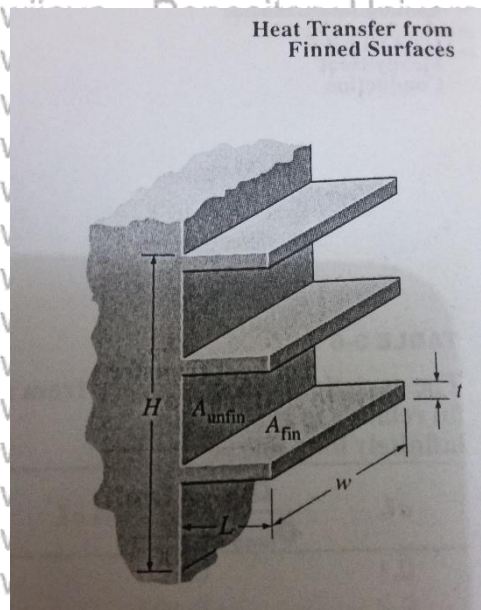
Q_{fin} = laju perpindahan panas pada fin (Watt)

H = koefisien perpindahan panas ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

A = luasan perpindahan panas arah normal Q (m^2)

T_s = temperatur permukaan benda ($^\circ C$)

T_∞ = temperatur fluida ($^\circ C$)

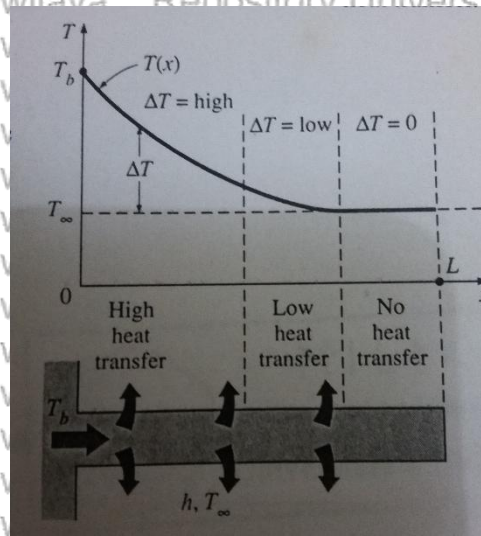


Gambar 2.13 perpindahan panas pada heat sink

Sumber: (Cengel 1998, 187)

Pada setiap sirip heat sink memiliki kemampuan membuang panas yang berbeda-beda tergantung jarak dari sumber panasnya. pada sirip paling dekat dengan sumber panas memiliki kemampuan membuang panas yang paling tinggi sedangkan pada jarak

yang paling jauh memiliki kemampuan membuang panas paling rendah. Berikut adalah grafik kemampuan membuang panas pada sirip heat sink.



Gambar 2.14 Kemampuan membuang panas pada heat sink

Sumber: (Cengel 1998, 187)

2.4. Hipotesis

Semakin besar luas permukaan heat sink maka semakin besar tegangan listrik yang dihasilkan termoelektrik, hal ini disebabkan semakin besar luas permukaan heat sink maka perbedaan suhu yang terjadi pada kedua sisi Termoelektrik akan semakin besar. Karena semakin besar luas permukaan heat sink maka panas akan mengalir kelingkuangan dengan cepat dan perbedaan suhu yang terjadi pada sisi termoelektrik akan semakin tinggi. Menurut effect seeback Perbedaan suhu berbanding lurus dengan tegangan listrik.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Bagian ini membahas rancangan penelitian yang dilakukan, alat dan bahan yang dibutuhkan dan prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini. Pembahasan dalam rancangan penelitian meliputi perancangan reservoir panas, heat sink dan analisis gradien suhu dan tegangan listrik yang dihasilkan termoelektrik.

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium mesin mesin fluida jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya bulan Februari 2015 sampai selesai

3.3. Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya dapat diubah ubah dengan metode tertentu untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari obyek penelitian, sehingga dapat diperoleh hubungan antara keduanya (Murdalis,2006:20). Variabel Bebas dalam penelitian ini adalah Luas permukaan heat sink. Luas heat sink yang divariasikan sebagai berikut : 468 cm^2 , 936 cm^2 , 1404 cm^2

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan (Murdalis,2006: 20). Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah tegangan listrik yang dihasilkan termoelektrik dan Perbedaan suhu

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan peneliti dan dikondisikan konstan (Murdalis, 2006:20). Dalam penelitian ini variabel terkontrol adalah waktu pemanasan dan daya heater.



3.4. Peralatan Penelitian

1. Heater

Heater digunakan sebagai pemanas air pada reservoir panas sehingga suhu air dapat meningkat, heater yang digunakan memiliki spesifikasi daya

1000Watt

Spesifikasi

Daya : 1000W

Heating Rate : 14⁰C/menit



Gambar 3.1 Heater

2. Reservoir Air Panas

Reservoir air panas ini digunakan sebagai wadah air yang akan dipanaskan menggunakan heater, reservoir ini akan menempel pada

Thermoelektrik pada sisi panas Thermoelektrik. Reservoir ini akan menjadi sumber panas yang akan dikonversi ke listrik.

Spesifikasi

Dimensi : 15 cm x 8 cm x 8 cm

Material : Alumunium



Gambar 3.2 Reservoir Panas

3. Modul Thermoelektrik

Modul Thermoelektrik adalah alat yang akan digunakan untuk mengkonversi energi panas menjadi energi listrik

Spesifikasi :

Dimensi : 40 mm x 40 mm x 4 mm

Tipe : TEC-12706



Gambar 3.3 Thermoelektrik



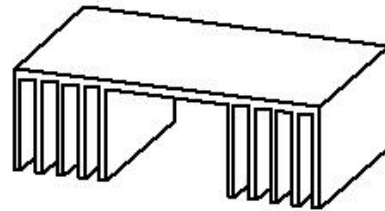
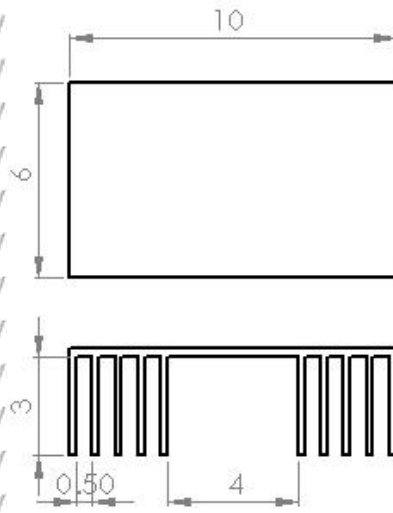
4. Heat Sink

Heat sink adalah alat yang digunakan untuk membuang panas pada sisi termoelektrik. Ada 3 maca heat sink yang digunakan.

Spesifikasi Heat sink A

Material : Alumunium

Luas Permukaan : 468 cm²

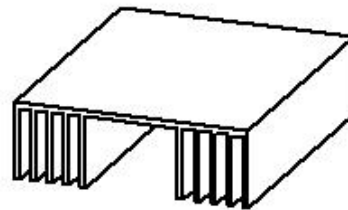
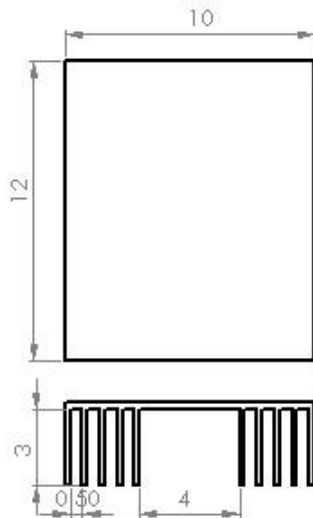


Gambar 3.4 Heat Sink A

Spesifikasi Heat sink B

Material : Alumunium

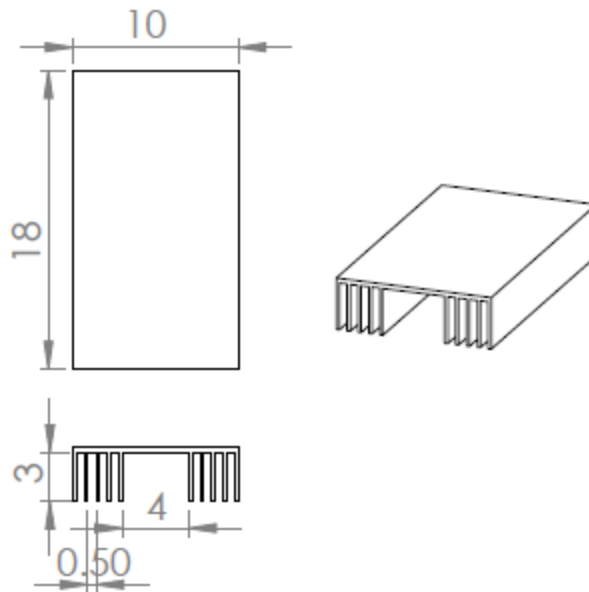
Luas Permukaan : 936 cm²



Gambar 3.5 Heat Sink B



Spesifikasi Heat sink C
Material : Alumunium
Luas Permukaan : 1404 cm²



Gambar 3.6 Heat Sink C



Gambar 3.7 Heat Sink A,B,C



5. Thermopasta

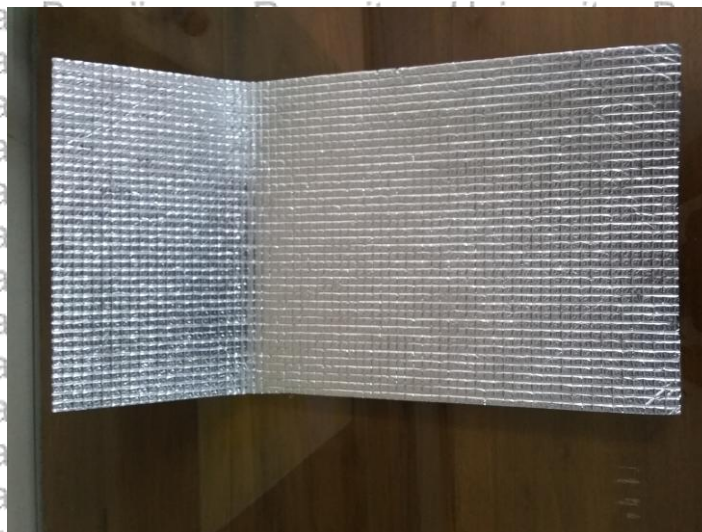
Digunakan sebagai media untuk meningkatkan konduktifitas thermal pada Thermoelektrik



Gambar 3.8 Thermopasta

6. Peredam Panas

Digunakan untuk isolasi disekitar reservoir panas agar panas tidak terbuang kelingkuangan melalui konveksi dinding reservoir panas.

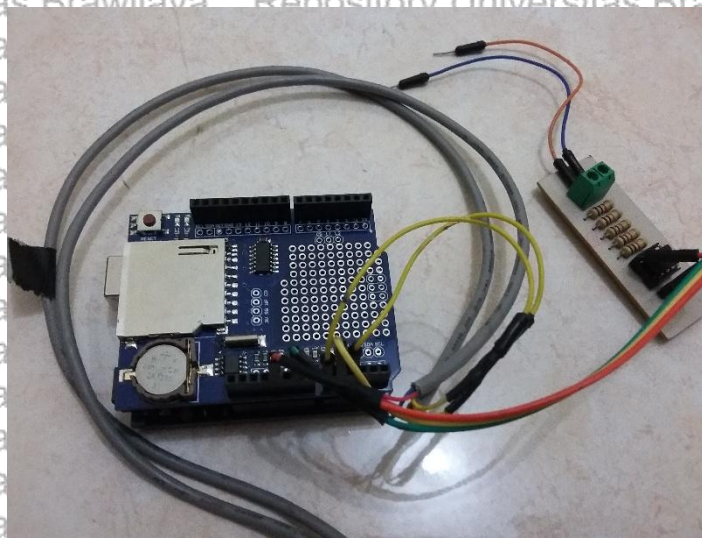


Gambar 3.9 Peredam Panas



7. Data Logger

Digunakan sebagai alat penyimpan data hasil penelitian, data logger ini menggunakan arduino uno dengan sensor suhu LM 35 water proof dan sensor tegangan. Sensor suhu digunakan untuk mengambil data suhu pada reservoir panas dan pada heat sink. Sensor tegangan digunakan untuk mengambil data tegangan listrik yang dihasilkan Thermoelektrik.



Gambar 3.10 Data Logger

8. Sensor Suhu LM 35

Sensor suhu lm 35 adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu pada penelitian ini

Range suhu: 0-100 celcius



Gambar 3.11 Sensor Suhu



9. Sensor Tegangan

Sensor tegangan digunakan untuk mengukur tegangan yang dihasilkan Thermoelektrik generator

Input tegangan : 0-100 volt



Gambar 3.12 Sensor Tegangan

10. Akrilik dan Mur Baut

Akrilik dan mur baut digunakan untuk mengeratkan atau mengunci reservoir panas dan heatsink agar thermoelektrik lebih berkontak dengan reservoir panas dan heat sink

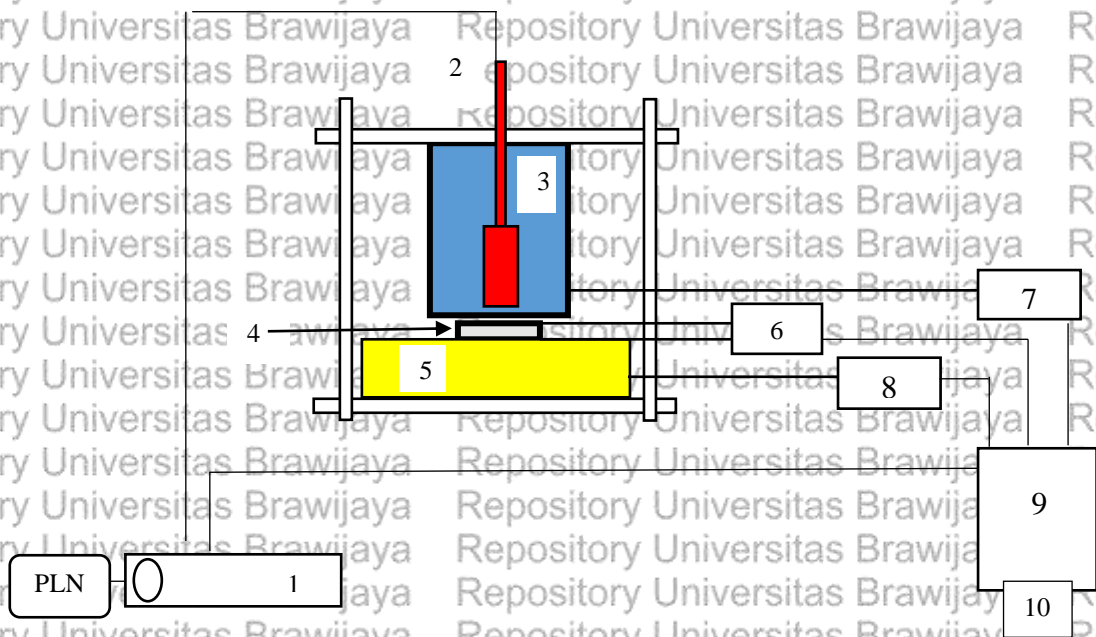


Gambar 3.13 Mur Baut



Gambar 3.14 Akrilik

3.5. Skema Instalasi Penelitian



Keterangan :

- 1. Sumber Listrik
- 2. Heater
- 3. Reservoir Panas
- 4. Thermoelektrik
- 5. Heat Sink
- 6. Sensor Tegangan DC
- 7. Sensor Suhu LM 35
- 8. Sensor Suhu LM 35
- 9. Data Logger
- 10. Memory Card

Gambar 3.15 Skema Instalasi Penelitian

Gambar skema instalasi diatas menggambarkan proses awal hingga akhir dalam pengujian thermoelektrik. Langkah pertama nyalakan heater (2) pada reservoir panas (3) dengan menyalakan tombol ON pada sumber listrik (1) yang otomatis listrik akan mengalir dan menyalakan Heater dan Data Logger (9). Fungsi dari heater adalah untuk memanaskan air yang ada didalam reservoir panas dan fungsi dari data logger (9) adalah untuk mengumpulkan data yang berupa inputan suhu pada reservoir panas (7), tegangan listrik (6), suhu pada heat sink (8).

Panas dari reservoir panas akan mengalir ke heat sink (5) melalui Thermoelektrik (4). Thermoelektrik akan menghasilkan Tegangan yang nanti akan diukur oleh sensor tegangan (9). Setelah heater dinyalakan selama 4 menit matikan heater, tunggu selama 11 menit lagi lalu matikan data logger. maka data akan tersimpan dalam memory card (10) yang ada di data logger. File data akan tersimpan dalam bentuk file Microsoft excel.

3.6. Prosedur Penelitian

a. Persiapan Penelitian

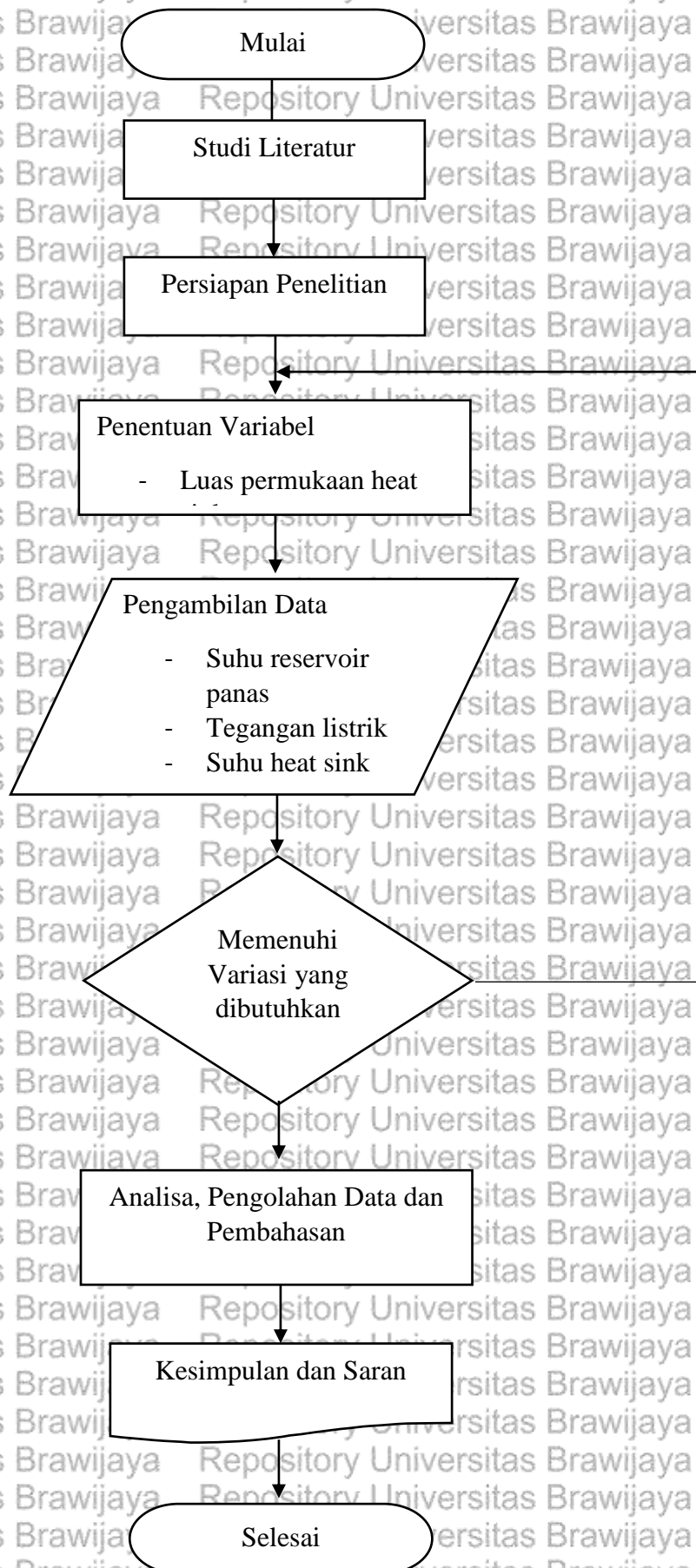
1. Mempersiapkan alat dan bahan yang digunakan untuk pembuatan instalasi penelitian.
2. Merangkai alat dan menempatkan bahan yang telah dibuat pada instalasi sesuai dengan mekanisme untuk pengambilan data

b. Pelaksanaan Penelitian

1. Memastikan semua alat terpasang dengan benar
2. Memasang sensor suhu pada reservoir panas, sensor tegangan pada Thermoelektrik dan sensor suhu pada heat sink
3. Memasukan air sebanyak 250 ml kedalam reservoir panas lalu tutup reservoir panas dengan mur baut.
4. Tekan tombol on pada sumber listrik maka heater dan data logger akan menyala.
5. Setelah 4 menit matikan heater
6. Setelah 15 menit matikan data logger.
7. Kemudian dilakukan langkah langkah seperti diatas untuk variasi yang lain



3.7. Diagram Alur Penelitian





BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Hasil Penelitian dan Pengolahan Data

4.1.1. Metode Pengambilan Data

Data Penelitian diperoleh melalui penelitian yang dilakukan di Laboratorium Mesin Mesin Fluida Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Penelitian ini dilakukan dengan memasang 2 modul termoelektrik yang disusun secara seri lalu tegangan listrik diukur dengan sensor tegangan dengan variasi luas permukaan *heat sink* dengan pendingin konveksi natural. Tegangan akan diukur selama 15 menit dengan ketentuan pemanasan heater pada reservoir panas selama 4 menit di awal penelitian setelah 4 menit heater dimatikan tetapi penelitian tetap berlangsung selama 15 menit. Suhu pada reservoir panas dan *heat sink* akan diukur menggunakan sensor suhu. Pengambilan data dilakukan selama 15 menit dengan sampel data setiap 30 detik.

4.1.2. Data Hasil Penelitian

Data hasil penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium Mesin Mesin Fluida Teknik Mesin Universitas Brawijaya adalah sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian untuk *Heat Sink A*

No	Waktu	Suhu Reservoir Panas	Suhu <i>Heat sink</i>	Tegangan	Perbedaan Suhu
1	0	30.31	26.88	0.05	3.43
2	30	35.19	26.88	0.22	8.31
3	60	41.55	26.88	0.54	14.67
4	90	47.41	27.86	0.96	19.55
5	120	54.75	28.84	1.43	25.91
6	150	61.1	30.31	1.88	30.79
7	180	68.43	32.26	3.28	36.17
8	210	75.76	35.19	3.58	40.57
9	240	81.14	39.1	3.28	42.04
10	270	84.07	42.04	2.72	42.03
11	300	85.05	44.48	2.17	40.57
12	330	86.03	46.92	1.95	39.11
13	360	86.03	48.39	1.8	37.64
14	390	86.03	48.88	1.65	37.15
15	420	86.03	49.86	1.56	36.17
16	450	86.03	49.86	1.48	36.17
17	480	85.54	50.84	1.38	34.7
18	510	85.05	51.32	1.31	33.73
19	540	85.05	51.81	1.23	33.24
20	570	84.07	51.81	1.18	32.26
21	600	83.58	52.3	1.14	31.28
22	630	83.58	52.79	1.09	30.79
23	660	83.1	53.28	1.04	29.82
24	690	82.61	53.77	0.99	28.84
25	720	82.12	53.77	0.96	28.35
26	750	82.12	54.75	0.91	27.37
27	780	81.63	54.26	0.89	27.37
28	810	81.63	54.75	0.86	26.88
29	840	80.65	54.75	0.86	25.9
30	870	80.65	54.75	0.84	25.9
31	900	80.16	54.75	0.81	25.41
		Rata Rata		1.42	30.07

Tabel 4.2 Data Hasil Penelitian untuk *Heat Sink B*

No	Waktu	Suhu Reservoir Panas	Suhu <i>Heat sink</i>	Tegangan	Perbedaan Suhu
1	0	29.82	29.33	0	0.49
2	30	33.73	29.33	0.02	4.4
3	60	38.62	29.33	0.37	9.29
4	90	44.48	29.33	0.86	15.15
5	120	51.32	30.31	1.33	21.01
6	150	57.68	31.28	1.83	26.4
7	180	65.99	32.26	3.16	33.73
8	210	79.67	35.2	3.7	44.47
9	240	83.9	38.15	3.48	45.75
10	270	86.01	41.59	2.94	44.42
11	300	87.01	43.35	2.3	43.66
12	330	88.47	45.32	2.02	43.15
13	360	87.98	45.46	1.83	42.52
14	390	87.98	46.44	1.68	41.54
15	420	86.52	47.41	1.58	39.11
16	450	87.01	48.39	1.48	38.62
17	480	86.52	48.88	1.43	37.64
18	510	86.03	49.37	1.38	36.66
19	540	85.54	49.86	1.33	35.68
20	570	84.56	50.35	1.28	34.21
21	600	85.05	50.84	1.21	34.21
22	630	84.07	51.32	1.18	32.75
23	660	83.58	50.84	1.16	32.74
24	690	82.61	51.32	1.11	31.29
25	720	82.61	51.32	1.09	31.29
26	750	82.12	51.32	1.06	30.8
27	780	82.12	51.32	1.04	30.8
28	810	81.14	51.81	1.01	29.33
29	840	80.65	51.81	1.01	28.84
30	870	80.65	51.81	1.01	28.84
31	900	80.16	52.3	0.96	27.86
		Rata-Rata		1.48	31.50

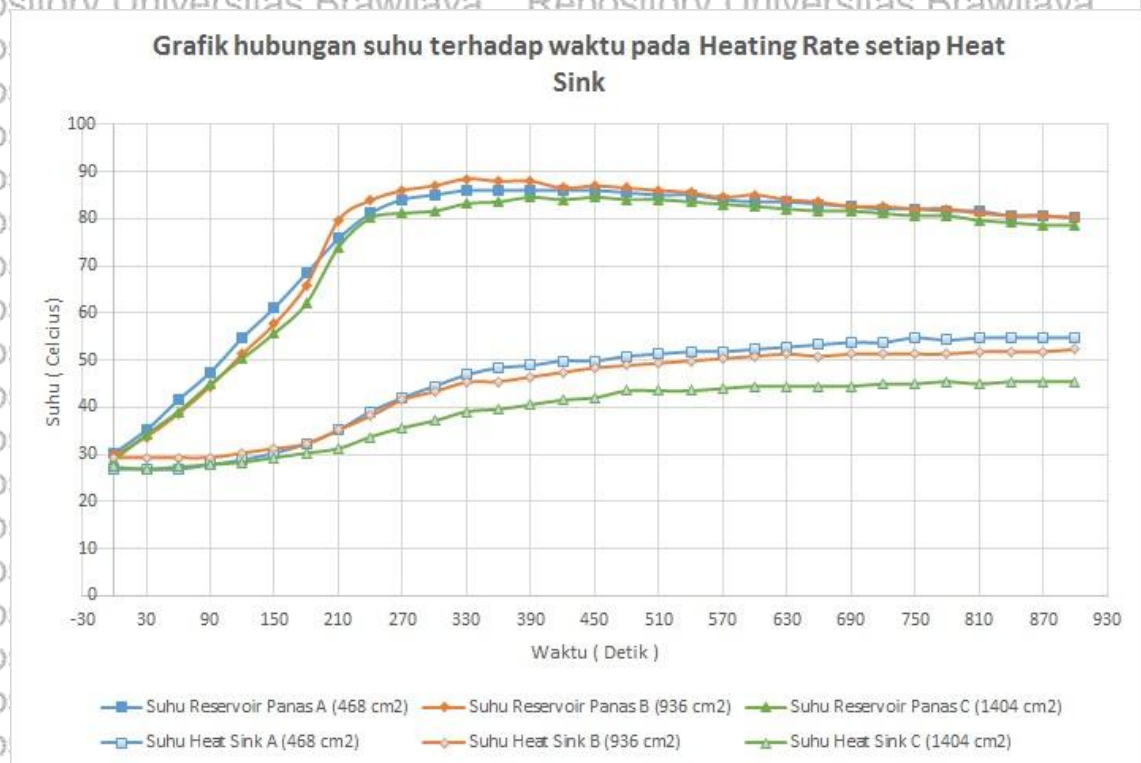
Tabel 4.3 Data Hasil Penelitian untuk *Heat Sink C*

No	Waktu	Suhu Reservoir Panas	Suhu <i>Heat sink</i>	Tegangan	Perbedaan Suhu
1	0	28.84	27.37	0	1.47
2	30	34.22	26.88	0.17	7.34
3	60	39.1	27.37	0.62	11.73
4	90	44.97	27.86	1.14	17.11
5	120	50.35	28.35	1.68	22
6	150	55.72	29.33	2.12	26.39
7	180	62.08	30.31	3.16	31.77
8	210	73.94	31.26	3.97	42.68
9	240	80.16	33.73	3.83	46.43
10	270	81.16	35.68	3.31	45.48
11	300	81.65	37.15	2.69	44.5
12	330	83.21	39.1	2.39	44.11
13	360	83.58	39.59	2.17	43.99
14	390	84.56	40.57	2.02	43.99
15	420	84.07	41.55	1.9	42.52
16	450	84.56	42.04	1.83	42.52
17	480	84.07	43.5	1.75	40.57
18	510	84.07	43.5	1.68	40.57
19	540	83.58	43.5	1.63	40.08
20	570	83.1	43.99	1.58	39.11
21	600	82.61	44.48	1.56	38.13
22	630	82.12	44.48	1.48	37.64
23	660	81.63	44.48	1.46	37.15
24	690	81.63	44.48	1.43	37.15
25	720	81.14	44.97	1.38	36.17
26	750	80.65	44.97	1.36	35.68
27	780	80.65	45.46	1.33	35.19
28	810	79.67	44.97	1.33	34.7
29	840	79.19	45.46	1.28	33.73
30	870	78.7	45.46	1.26	33.24
31	900	78.7	45.46	1.23	33.24
		Rata-Rata		1.77	34.40

4.2. Hasil dan Pembahasan

Pembahasan ini dibuat untuk mengetahui pengaruh luas permukaan *heat sink* pada pendinginan konveksi natural terhadap tegangan listrik yang dihasilkan termoelektrik. Data dari setiap tabel akan disajikan dalam bentuk grafik kemudian akan dilakukan analisis terhadap grafik tersebut.

4.2.1. Grafik Hubungan Suhu Terhadap Waktu *Heating rate* dan *Cooling Rate* Pada Semua Variasi *Heat Sink*



Gambar 4.1. Grafik Hubungan Suhu Terhadap Waktu *Heating rate* dan *Cooling rate* Pada Semua Variasi *Heat Sink*

Berdasarkan Gambar 4.1 ditunjukkan besarnya nilai *heating rate* dan *cooling rate* pada semua variasi *heat sink*. Dapat terlihat bahwa pada proses pemanasan menggunakan heater pada reservoir panas akan membuat suhu dinding reservoir naik sampai suhu tertentu. Pengukuran suhu pada reservoir panas ini menggunakan sensor suhu yang ditempelkan pada dinding reservoir panas dekat dengan termoelektrik dengan asumsi bahwa nilai panas yang diterima termoelektrik sama dengan panas yang diukur menggunakan sensor. Proses pemanasan dilakukan selama 4 menit menggunakan heater dengan daya 1000 Watt. Setelah itu heater dimatikan dan dibiarkan

selama 11 menit data. Dapat dilihat pada detik ke 240 suhu pada *heat sink* A adalah 80.16, pada *heat sink* B 83.9 dan pada *heat sink* C 81.16. Grafik *heating rate* ini memiliki kecenderungan yang sama, ada beberapa perbedaan hal ini disebabkan karena sebagian panas mengalir ke *heat sink*. Proses mengalirnya panas dari reservoir panas ke *heat sink* dapat dilihat pada detik 900 bahwa nilai *heating rate* *heat sink* C paling rendah. Hal ini disebabkan panas *heat sink* C mengalir ke *heat sink* lebih banyak dibandingkan pada *heat sink* A dan B karena luas permukaan *heat sink* C paling besar. Semakin besar luas permukaan *heat sink* semakin besar juga kemampuan *heat sink* melepas panas kelingungan.

Pada grafik *cooling rate* data diambil dari suhu *heat sink* menggunakan sensor suhu yang ditempelkan pada bagian *heat sink* dekat dengan termoelektrik. Dapat terlihat bahwa suhu *heat sink* memiliki kecenderungan naik sampai detik ke 900 tetapi kecepatan naiknya suhu pada *heat sink* terjadi paling cepat pada detik 180-240 karena pada waktu tersebut suhu air pada reservoir panas sudah tinggi dan mudah mengalir ke *heat sink*. Dari grafik dapat dilihat bahwa suhu akhir *heat sink* berbeda beda pada setiap variasi *heat sink*, *heat sink* A adalah memiliki suhu 54.75, *heat sink* B memiliki suhu 52.3 dan pada *heat sink* C memiliki suhu 45.46. suhu tertinggi terjadi pada *heat sink* A karena *heat sink* A memiliki luas permukaan paling kecil sehingga sulit untuk melepas panas kelingungan.

Perbedaan luas permukaan *heat sink* akan mempengaruhi proses perpindahan panas konveksi dari *heat sink* ke lingkungan. Berikut sesuai dengan rumus berikut ini:

$$\frac{Q_{konveksi}}{t} = h A (T_s - T_{\infty})$$

Keterangan:

Q/t : Laju aliran kalor (W/s)

h : koefisien heat transfer konveksi (W/m²)

A : luas permukaan (m²)

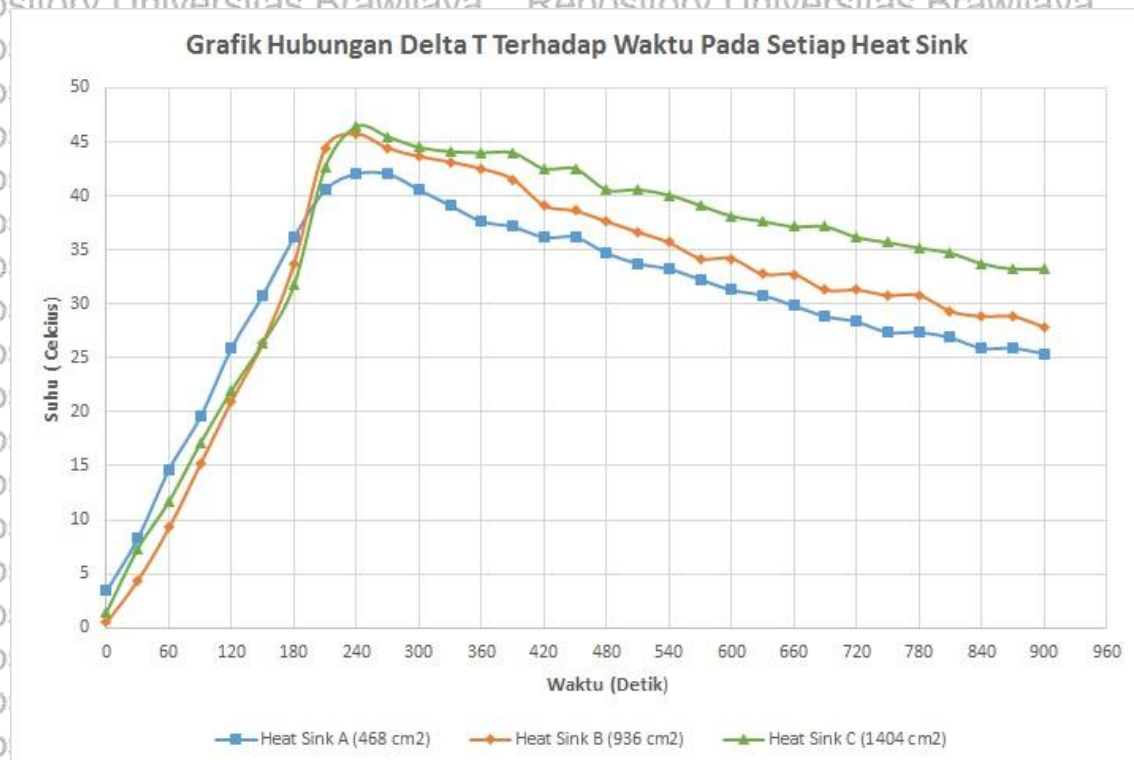
T_s : Temperatur permukaan (°C)

T_{∞} : Tempertur lingkungan (°C)

Dari rumus diatas dapat diketahui dengan nilai temperatur permukaan, temperatur lingkungan dan koefisien heat transfer konveksi adalah pada setiap *heat sink* tetapi yang mempengaruhi laju perpindahan panas konveksi adalah luas

permukaannya (A). Luas permukaan berbanding lurus dengan nilai laju perpindahan panas konveksinya. Semakin besar luas permukaan maka semakin besar laju perpindahan panas konveksinya. Sehingga panas dapat terbuang kelingkrungan dengan cepat.

4.2.2. Grafik Hubungan Delta Suhu Terhadap Waktu Pada Semua Variasi *Heat Sink*



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Delta T Terhadap Waktu Pada Semua Variasi *Heat sink*

Gambar 4.2 menunjukkan grafik hubungan delta suhu terhadap waktu pada setiap variasi *heat sink*. Besarnya delta suhu pada detik 0 sampai 240 terjadi penyimpangan, karena pada saat itu delta suhu pada *heat sink* A memiliki nilai paling tinggi dari detik 0-180 tapi pada detik 180-240 nilai delta suhu paling tinggi adalah pada *heat sink* B. Setelah detik 240 nilai delta suhu paling tinggi adalah pada *heat sink* C.

Penyimpangan pertama pada detik 0-180 yakni nilai ΔT tertinggi pada *heat sink* A dikarenakan pada saat detik 0 atau *starting up* penelitian nilai delta suhu pada variasi *heat sink* A sudah memiliki delta suhu sebesar 3.43°C , sedangkan pada variasi *heat sink* B dan C berturut-turut adalah 1.47°C dan 0.49°C , hal ini menyebabkan delta

suhu *heat sink* A menjadi paling tinggi pada detik 0-180. Karena hampir setiap titik dari detik 0-180 selisih delta suhu *heat sink* A dan *heat sink* B, C sebesar 3 °C. Tetapi setelah melewati detik 180 delta suhu *heat sink* A turun.

Penyimpangan kedua pada detik 210-240 nilai delta suhu tertinggi terjadi pada *heat sink* B hal ini disebabkan karena beberapa faktor hal ini terjadi diwaktu pemanasan berlangsung, faktor posisi heater yang terlalu dekat dengan sensor pada *heat sink* 2 juga memiliki pengaruh. Perbedaan delta suhu yang terjadi pada *heat sink* B di detik 210-240 adalah 2 °C.

Tetapi setelah detik 240 atau setelah heater dimatikan nilai delta suhu tertinggi adalah *heat sink* C karena *heat sink* C memiliki kemampuan perpindahan panas konveksi yang paling tinggi jadi suhu *heat sink* C tidak mudah naik. Panas yang masuk ke *heat sink* akan cepat dilepas kelingkuangan dengan konveksi natural. Karena panas mengalir dari temperatur tinggi ke temperature rendah. Semakin besar luas permukaan yang mengalirkan panas maka semakin besar panas yang berpindah kelingkuangan. Prinsip ini sesuai dengan rumus berikut:

$$\frac{Q_{konveksi}}{t} = h A (T_s - T_{\infty})$$

Keterangan :

Q/t : Laju aliran kalor (W/s)

h : koefisien heat transfer konveksi (W/m²)

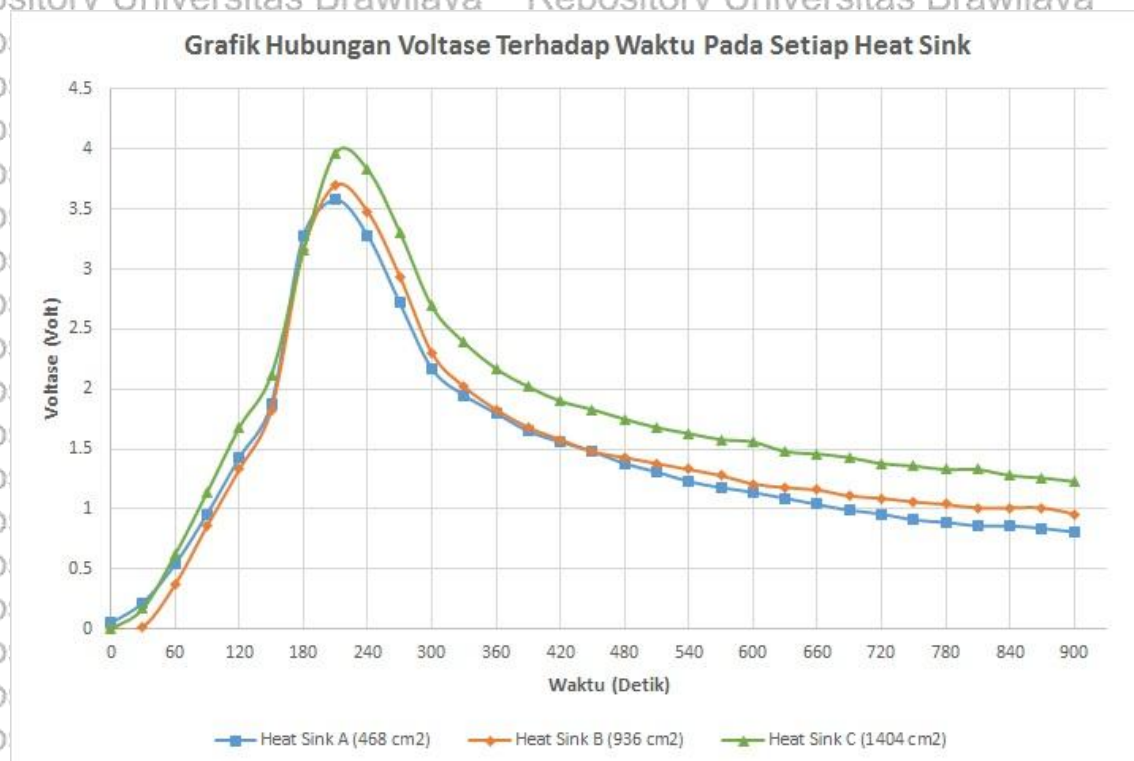
A : luas permukaan (m²)

T_s : Temperatur permukaan (C)

T_{∞} : Tempertur lingkungan (C)

Dari rumus diatas dapat diketahui dengan nilai temperatur permukaan, temperatur lingkungan dan koefisien heat transfer konveksi adalah sama pada setiap variasi *heat sink*, tetapi yang mempengaruhi kemampuan perpindahan panas konveksi adalah luas permukaannya (A). luas permukaan berbanding lurus dengan laju perpindahan panas konveksinya. Semakin besar luas permukaan maka semakin besar kemampuan perpindahan panas konveksinya. Hal ini akan menyebabkan suhu pada *heat sink* C akan lebih rendah dibandingkan dengan suhu *heat sink* B dan *heat sink* A. Maka nilai delta suhu pada heatsink C paling tinggi setelah detik 240. Hal ini disebabkan karena kemampuan melepas panas kelingkuangan *heat sink* C paling besar dibandingkan yang lain.

4.2.3. Grafik Hubungan Voltase Terhadap Waktu Pada Semua Variasi *Heat sink*



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Voltase Terhadap Waktu Pada Semua Variasi *Heat sink*

Pada gambar 4.3 dapat dilihat grafik hubungan voltase terhadap waktu pada setiap variasi *heat sink*. Pada grafik dapat dilihat bahwa *heat sink* C memiliki produktifitas tegangan listrik yang paling tinggi dari pada *heat sink* lainnya hal ini disebabkan beda suhu pada *heat sink* C paling tinggi dibandingkan yang lainnya. Hal ini sesuai dengan prinsip effect seeback yang menyatakan bahwa ketika ada perbedaan suhu pada dua material maka akan terjadi aliran listrik. Semakin besar perbedaan suhu maka semakin besar tegangan listrik yang akan terjadi. Berikut dinyatakan dalam rumus seeback

$$V = \alpha_{ab} \times DT$$

Keterangan:

V : Tegangan Listrik (V)

α_{ab} : Koeffisien seeback (V/°C)

DT : Perbedaan Suhu (°C)

Semakin tinggi nilai perbedaan suhu maka semakin tinggi juga tegangan listrik yang akan dihasilkan termoelektrik. Karena perbedaan suhu berbanding lurus dengan tegangan listrik. Perbedaan suhu ini akan berhubungan dengan pergerakan elektron yang ada didalam sel termoelektrik. Semakin besar perbedaan suhu semakin besar pula kecepatan elektron mengalir dan semakin cepat juga terbentuknya hole dan elektron dijalur konduksi. Perbedaan suhu ini akan menyebabkan elektron akan mengalir dari suhu tinggi kerendah dan akhirnya akan menyebabkan timbulnya tegangan listrik pada termoelektrik, semakin tinggi perbedaan suhu semakin cepat panas mengalir dan semakin tinggi juga aliran elektron yang akan menyebabkan tegangan listrik.

Pada grafik sebelum dan setelah detik 240 memiliki perbedaan tegangan listrik yang dihasilkan. Pada beda yang sama pada detik setelah 240 menghasilkan tegangan listrik yang lebih rendah dibandingkan sebelum detik 240, hal ini disebabkan karena sebelum detik 240 ada energi dari heater yang mengalir. Hal itu seperti rumus dibawah

$$Q_{\text{sebelum detik 240}} = Q_{\text{air}} + Q_{\text{heater}}$$

$$Q_{\text{setelah detik 240}} = Q_{\text{air}}$$

Keterangan

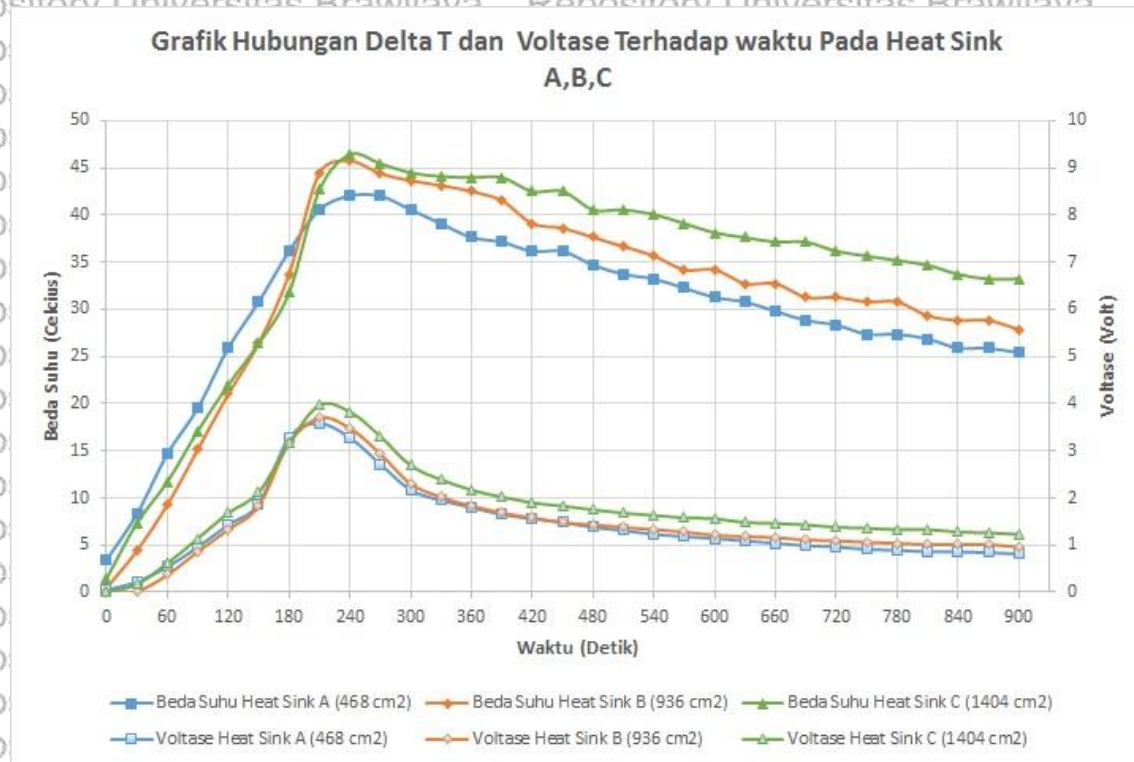
Q : Energi (W)

Q_{air} : Energi didalam air (W)

Q_{heater} : Energi heater (W)

Jadi walaupun memiliki beda suhu yang sama tetapi memiliki densitas energi yang berbeda maka tegangan listrik yang dihasilkan juga berbeda. Densitas energi sebelum detik 240 lebih tinggi dibandingkan densitas energi setelah detik 240. Hal ini dikarenakan pada detik sebelum 240 ada energi tambahan dari energi heater, tetapi setelah detik 240 energi hanya dari energi air.

4.2.4. Grafik Hubungan Delta Suhu dan Voltase Terhadap Waktu Pada Semua Variasi *Heat sink*



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Delta Suhu dan Voltase Terhadap waktu Pada Semua Variasi *Heat sink*

Pada gambar 4.4 dapat dilihat hubungan beda suhu dan voltase terhadap waktu pada variasi setiap *heat sink*. Dari gambar terlihat bahwa besarnya nilai voltase berbanding lurus dengan nilai ΔT . Hal ini sesuai dengan teori effect seeback seperti rumus dibawah ini:

$$V = \alpha_{ab} \times DT$$

Keterangan:

V : Tegangan Listrik (V)

α_{ab} : Koefisien seeback ($V/^{\circ}C$)

DT : Perbedaan Suhu ($^{\circ}C$)

Semakin tinggi nilai perbedaan suhu maka semakin tinggi juga tegangan listrik yang akan dihasilkan thermoelektrik. Karena perbedaan suhu berbanding lurus dengan tegangan listrik. Perbedaan suhu pada thermoelektrik ini akan menyebabkan pergerakan elektron dan akhirnya akan menyebabkan terbentuknya hole yang bermuatan positif yang akan menghasilkan tegangan listrik. Jika terjadi perbedaan suhu maka akan ada

panas yang mengalir dari suhu yang tinggi ke suhu yang lebih rendah. Proses mengalirnya panas ini akan disertai oleh pergerakan elektron yang akan menyebabkan timbulnya tegangan listrik pada elemen termoelektrik, semakin tinggi perbedaan suhu semakin cepat panas mengalir dan semakin tinggi juga aliran elektron yang akan menghasilkan tegangan listrik.

Besarnya Voltase tergantung besarnya nilai perbedaan suhu pada sisi termoelektrik, Pada variasi *heat sink A* nilai voltase tertinggi terjadi pada detik 210 dengan nilai 3.58 volt dan tegangan pada detik 900 adalah 0.81 volt. Pada *Heat sink B* nilai voltase tertinggi terjadi pada detik 210 dengan nilai 3.7 volt dan tegangan pada detik 900 adalah 0.96 volt. Pada variasi *heat sink C* nilai voltase tertinggi terjadi pada detik 210 dengan nilai 3.97 volt dan tegangan pada detik terakhir yaitu detik 900 adalah 1.23 volt. Terdapat penyimpangan pada detik 240 terjadi delta T paling tinggi tetapi tegangan listrik teringgi terjadi pada detik 210. Hal ini disebabkan karena pada detik 240 energi yang dikonversi menjadi energi listrik hanya energi dari air atau Q_{air} . Tetapi dibawah pada detik 210 energi yang dikonversi adalah energi air dan energi heater seperti pada rumus dibawah ini:

$$Q_{sebelum\ detik\ 240} = Q_{air} + Q_{heater}$$

$$Q_{setelah\ detik\ 240} = Q_{air}$$

Keterangan

Q : Energi (W)

Q_{air} : Energi didalam air (W)

Q_{heater} : Energi heater (W)

Jadi sekalipun memiliki beda yang sama tetapi memiliki densitas energi yang berbeda maka tegangan listrik yang dihasilkan juga berbeda. Densitas energi sebelum detik 240 lebih tinggi dibandingkan densitas energi setelah detik 240. Hal ini dikarenakan pada detik sebelum 240 ada energi tambahan dari energi heater, tetapi setelah detik 240 energi hanya dari energi air.



BAB V

PENUTUP

Pada bab ini akan disimpulkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran yang diberikan untuk memperbaiki penelitian kedepan

5.1. Kesimpulan

1. Semakin besar luas permukaan heat sink maka semakin besar tegangan listrik yang dihasilkan termoelektrik, karena perbedaan suhu yang dihasilkan akan semakin besar juga.
2. Semakin besar luas permukaan heat sink maka semakin besar panas yang mampu dilepas kelingkuangan.
3. Densitas energi dari suatu sumber panas akan mempengaruhi tegangan listrik yang dihasilkan termoelektrik.
4. Tegangan listrik tertinggi didapatkan pada heat sink ke 3 dengan voltase pada detik ke 210 adalah 3.97 volt

5.2. Saran

1. Penempatan sensor suhu sebaiknya diletakkan dengan benar karena akan mempengaruhi hasil penelitian jika penempatan sensor suhu tidak baik
2. Sistem pendinginan pada heat sink sebaiknya menggunakan heat sink dengan berbagai jenis perlakuan konveksi natural dan konveksi paksa
3. Termoelektrik sebaiknya ditangani dengan baik karena sangat sensitif
4. Pada suhu tinggi atau delta suhu tinggi disarankan menggunakan Termoelektrik khusus untuk suhu tinggi



DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus, A., Boles, Michael A. 2002, *Thermodynamic*. McGraw-Hill, Singapore
- Cengel, Yunus. 1998 "*Heat Transfer A Practical Approach*" McGraw-Hill, Singapore
- Culp, Archie W. 1985. "*Principles of Energy Conversion*. Erlangga, Jakarta
- Goldsmid, H Julian 2010. "*Introduction to Thermoelectricity*" Springer, Australia
- Hayt, William H., Buck, John A. 2006, "*Elektro magnetika*" Erlangga, Jakarta
- MacDonald, D.K.C. 2006. *Thermoelectricity An Introduction to the principles*. Dover
Publication. New York
- Malvino, Albert. 2011. *Prinsip Prinsip Elektronika*. Erlangga, Jakarta
- Murdalis, Drs. 2006: *Metode Penelitian (Suatu Pendekatan Proposal)*, Bumi
Aksara, Jakarta.
- Tritt, Terry M. 2007. *Recent Trends In Thermoelectric Material Research 1*. Academic
Press. USA