

RANCANG BANGUN SISTEM KONVERSI ENERGI TERMAL
AIR MENJADI LISTRIK MENGGUNAKAN TERMOELEKTRIK



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

ISFAN FAJAR S.

442 14 006

M. FADEL MARJAN BASIR

442 14 014

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2018

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini dengan judul “**Rancang Bangun Sistem Konversi Energi Termal Air Menjadi Listrik Menggunakan Termoelektrik**” oleh M. Fadel Marjan Basir NIM 442 14 014 dan Isfan Fajar S. NIM 442 14 006 dinyatakan layak untuk diujikan.

Makassar, 20 Agustus 2018

Pembimbing I

Pembimbing II



Ir. Herman, M.T.
NIP 19580606 198903 1 101



A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M.EngSc., Ph.D.
NIP 19760804 200112 1 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi



Ir. La Ode Musa, M.T.
NIP 19601231 199003 1 021

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, hari Senin tanggal 20 Agustus 2018, Tim Penguji Ujian Sidang Tugas Akhir telah menerima skripsi mahasiswa: Isfan Fajar S. 442 14 006 dan M. Fadel Marjan Basir 442 14 014, dengan judul "RANCANG BANGUN SISTEM KONVERSI ENERGI TERMAL AIR MENJADI LISTRIK MENGGUNAKAN TERMOELEKTRIK"

Makassar, 20 Agustus 2018

Tim Ujian Sidang

- | | | |
|--|-----------------|---|
| 1. Ir. Makmur Saini, M.Si., Ph.D. | (Ketua) | () |
| 2. Muh. Yusuf Yunus, S.ST., M.T. | (Sekretaris) | () |
| 3. Apollo, S.T., M.Eng. | (Anggota) | () |
| 4. Sukma Abadi, S.T., M.T. | (Anggota) | () |
| 5. Ir. Herman, M.T. | (Pembimbing I) | () |
| 6. A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D | (Pembimbing II) | () |

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulisan skripsi ini yang berjudul **”Rancang Bangun Sistem Konversi Energi Termal Air Menjadi Listrik Menggunakan Termoelektrik”** dapat diselesaikan dengan baik.

Skripsi ini merupakan hasil penelitian yang dilaksanakan mulai tanggal 1 Februari sampai dengan 30 Agustus tahun 2018 dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- 2.1 Orang tua kami yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, dan bantuan baik berupa materi maupun berupa doa, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
- 2.2 Bapak Dr. Ir. Hamzah Yusuf, M.S. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang;
- 2.3 Bapak Dr. Jamal, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang;
- 2.4 Bapak Ir. La Ode Musa, M.T. selaku Ketua Program Studi D-4 Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang;
- 2.5 Bapak Ir. Herman, M.T., sebagai pembimbing I dan Bapak A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D sebagai pembimbing II yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;

6. Dosen dan tenaga kependidikan Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Pembangkit Energi yang telah membimbing kami selama perkuliahan sejak semester 1 hingga semester akhir. Semoga Allah membalas semua kebaikan dan ketulusan kalian;
7. Sahabat-sahabat kami yang banyak memberikan dorongan agar cepat selesai dan rekan-rekan lainnya yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu pada kesempatan ini;
8. Seluruh teman-teman kuliah Teknik Pembangkit Energi 2014.

Penulis juga menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat membutuhkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan agar dimasa yang akan datang dapat lebih baik lagi.

Akhir kata, semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat kepada kita semua.

Makassar, 20 Agustus 2018



Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	hal
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENERIMAAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
SURAT PERNYATAAN.....	ix
RINGKASAN.....	x
BAB I PENDAHULUAN	xii
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Thermoelectric	4
2.1.1 Efek Thermoelectric	4
2.1.2 Pemanfaatan Termoelektrik	6
2.2 Kalor	9
2.3 Perpindahan Panas.....	12
2.3.1 Perpindahan Panas Konduksi.....	13
2.3.2 Perpindahan Panas Konduksi.....	14
2.4 Isolasi Termal.....	16
2.5 Efisiensi Termal	18
2.6 Hukum Ohm.....	19
2.7 Fluida Cair	20
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Studi Literatur	23
3.2 Perancangan Alat	24

3.2.1	Skema Alat Rancang Bangun Konversi Energi Termal Fluida	24
3.2.2	Detail Peralatan Rancang Bangun Konversi Energi Termal Fluida	27
3.2.3	Variabel yang Divariasikan	32
3.2.4	Variabel yang Diukur	33
3.2.5	Perhitungan Potensi Energi Air Panas	34
3.3	Pengujian	34
3.3.1	Variasi Modul Termoelektrik Dirangkai Beban Nol	34
3.3.2	Variasi Modul Termoelektrik Dirangkai Beban	35
3.4	Hasil Pengujian	37
3.5	Analisa Hasil Pengujian	37
3.5.1	Pengujian Beban Nol	37
3.5.2	Pengujian Beban 10Ω	37
3.5.3	Analisa Efisiensi Pengujian	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Hasil	39
4.1.1	Rancang Bangun	39
4.1.2	Hasil Pengujian Beban Nol	40
4.1.3	Hasil Pengujian Beban 10Ω	45
4.2	Pembahasan	51
4.2.1	Rancang Bangun (<i>Prototype</i>)	51
4.2.2	Beban Nol	53
4.2.3	Beban 10Ω	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		62
5.1	Kesimpulan	62
5.2	Saran	62
DAFTAR PUSTAKA		63

DAFTAR TABEL

	hal
Tabel 1. Kalor Jenis.....	12
Tabel 2. Konduktivitas Termal	16
Tabel 3. Beban Nol Volume 1 Liter	38
Tabel 4. Beban Nol Volume 2 Liter	39
Tabel 5. Beban Nol Volume 3 Liter	40
Tabel 6. Beban 10Ω Volume 1 Liter.....	44
Tabel 7. Beban 10Ω Volume 2 Liter.....	45
Tabel 8. Beban 10Ω Volume 3 Liter.....	46



DAFTAR GAMBAR

	hal
Gambar 1. Modul termoelektrik	4
Gambar 2. Struktur termoelektrik	5
Gambar 3. Skema Seebeck.....	8
Gambar 4. Skema efek Peltier	9
Gambar 5. Proses perpindahan panas secara konduksi	15
Gambar 6. Proses perpindahan panas secara konveksi	17
Gambar 7. Diagram Aliran Tahapan Penelitian	23
Gambar 8. Skema Rancang Bangun.....	24
Gambar 9. Tampak Depan	25
Gambar 10. Tampak Atas	25
Gambar 11. Bagian Tutup	26
Gambar 12. Tampak Bawah	26
Gambar 13. Termoelektrik tipe TEG SP1848-27145	28
Gambar 14. Skema Rangkaian	34
Gambar 15. Komponen Rancang Bangun.....	39
Gambar 16. Pengujian Rancang Bangun	40
Gambar 17. Grafik Rugi – Rugi Energi untuk Pengujian Beban Nol	51
Gambar 18. Grafik ΔT terhadap waktu	53
Gambar 19. Grafik tegangan terhadap waktu	54
Gambar 20. Grafik ΔT terhadap waktu	55
Gambar 21. Grafik tegangan terhadap waktu.	55
Gambar 22. Grafik arus terhadap waktu	56
Gambar 23. Grafik daya terhadap waktu	57
Gambar 25. Grafik efisiensi permenit terhadap volume 2 liter	58
Gambar 26. Grafik efisiensi permenit terhadap waktu volume 3 liter.....	59
Gambar 27. Grafik efisiensi permenit terhadap ΔT volume 1 liter	60
Gambar 28. Grafik efisiensi terhadap ΔT volume 2 liter	60
Gambar 29. Grafik efisiensi terhadap ΔT Volume 3 liter	

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Isfan Fajar S.

NIM : 442 14 006

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul "RANCANG BANGUN SISTEM KONVERSI ENERGI TERMAL AIR MENJADI LISTRIK MENGGUNAKAN TERMOELEKTRIK" merupakan gagasan dan hasil karya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.



Isfan Fajar S.

NIM 442 14 006

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Fadel Marjan Basir

NIM : 44214014

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul "RANCANG BANGUN SISTEM KONVERSI ENERGI TERMAL AIR MENJADI LISTRIK MENGGUNAKAN TERMOELEKTRIK" merupakan gagasan dan hasil karya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 20 Agustus 2018



M. Fadel Marjan Basir

NIM 442 14 014

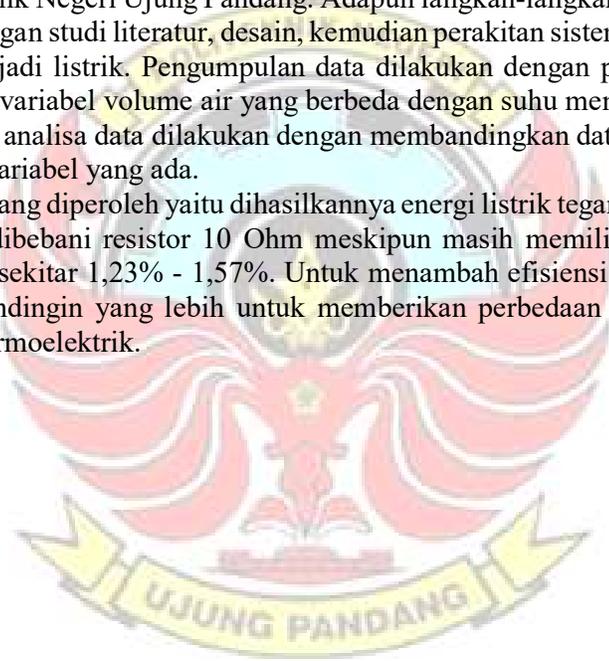
RANCANG BANGUN SISTEM KONVERSI ENERGI TERMAL AIR MENJADI LISTRIK MENGGUNAKAN TERMOELEKTRIK

RINGKASAN

Kebutuhan energi dalam keberlangsungan hidup manusia terus meningkat setiap waktunya. Energi listrik adalah salah satu energi yang paling dibutuhkan. Namun sampai saat ini masih banyak energi yang dapat dikonversi menjadi energi listrik yang tidak dimanfaatkan dengan baik, salah satunya adalah panas pada air. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menyediakan alat yang mampu mengkonversi energi panas pada air menjadi energi listrik

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Adapun langkah-langkah rancang bangun ini diawali dengan studi literatur, desain, kemudian perakitan sistem konversi energi panas air menjadi listrik. Pengumpulan data dilakukan dengan pengujian dengan menggunakan variabel volume air yang berbeda dengan suhu mendekati titik didih air, sedangkan analisa data dilakukan dengan membandingkan data hasil pengujian antara setiap variabel yang ada.

Hasil yang diperoleh yaitu dihasilkannya energi listrik tegangan rendah yang cukup untuk dibebani resistor 10 Ohm meskipun masih memiliki efisiensi yang rendah, yakni sekitar 1,23% - 1,57%. Untuk menambah efisiensi yang dihasilkan, diperlukan pendingin yang lebih untuk memberikan perbedaan suhu yang besar pada modul termoelektrik.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan pokok bagi manusia. Selama masih menjalani kehidupan kebutuhan akan energi tidak akan pernah berakhir. Pertimbangan penggunaan energi pada masa sekarang ini mencakup banyak aspek. Dahulu penggunaan energi hanya berorientasi pada pemanfaatan energi sebesar-besarnya tanpa memperhatikan efek samping terhadap lingkungan akibat dari pemanfaatan energi tersebut (Elektro Indonesia, 1995)

Media penyimpanan energi sudah cukup banyak ditemukan pada saat sekarang ini, seperti misalnya *battery*, kapasitor dan banyak lagi media penyimpanan energi yang lainnya (Yulianto, 2017). Akan tetapi, media penyimpanan energi tersebut tergolong cukup mahal sehingga diperlukan alternatif lain untuk media penyimpanan energi.

Fluida cair, khususnya air panas 100°C , memiliki potensi energi yang cukup besar. Dimana 1 kg air panas 100°C (1 liter air panas 100°C) memiliki potensi energi sebesar 271700 Joule atau 75,47222 Watt hour. Hal tersebut menunjukkan bahwa air panas 100°C memiliki potensi energi yang cukup besar, melebihi aki yang rata-rata digunakan pada sepeda motor yang memiliki spesifikasi 12V 5Ah yang memiliki daya 60 Watt hour. Perbandingan tersebut dapat diartikan bahwa fluida cair air panas 100°C memiliki potensi energi yang bagus.

Fluida cair air sudah mulai digunakan untuk menyimpan energi matahari dalam bentuk termal fluida (Duffle,2006). Dengan menggunakan *thermoelectric*, panas dari fluida bisa di konversi menjadi energi listrik. Namun,

sampai saat sekarang ini belum ada peralatan yang dibuat untuk maksud tersebut. Maka dalam Tugas Akhir ini akan dibuat Rancang Bangun Konversi Energi Termal Air Menjadi Energi Listrik Menggunakan Termoelektrik untuk mengetahui seberapa besar energi listrik yang dapat diperoleh dari potensi energi panas air per satuan volume.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menghitung efektivitas energi thermal fluida menjadi energi listrik?
2. Bagaimana menggunakan energi thermal melalui media *thermoelectric*?
3. Bagaimana merancang sistem konversi energi menggunakan *thermoelectric*?

1.3 Tujuan

Penulisan tugas akhir ini mempunyai tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui efektivitas konversi energi thermal fluida menjadi energi listrik.
2. Mendapatkan data energi listrik per satuan volume yang dapat dikonversi dari thermal fluida menjadi energi listrik dengan menggunakan *thermoelectric*.

3. Mampu merancang bangun sistem konversi energi menggunakan *thermoelectric*.

1.4 Batasan Masalah

Pada Tugas Akhir ini batasan masalahnya sebagai berikut:

1. Modul Termoelektrik yang digunakan adalah Termoelektrik tipe TEG SP1848-27145 sebanyak 4 buah modul.
2. Wadah yang digunakan adalah wadah logam yang berbahan dasar aluminium.
3. Penggunaan energi thermal berasal dari air yang memiliki massa jenis yang lebih ringan, air dipanaskan secara manual menggunakan peralatan bantu.
4. Pendinginan heatsink hanya dibiarkan begitu saja menyesuaikan dengan temperatur ruangan.
5. Beban yang digunakan adalah Resistor 10Ω .
6. Pengambilan data diambil selama 30 menit, data diambil setiap menitnya.

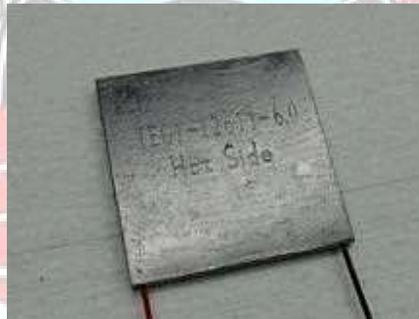
1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah agar rancang bangun yang telah di buat dapat menjadi acuan untuk penyempurnaan pada tugas akhir selanjutnya dan data energi yang telah didapatkan bisa dimanfaatkan sebagai pembandingan untuk pengambilan data energi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Thermoelectric

Teknologi *thermoelectric* adalah teknologi yang bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (generator *thermoelectric*), atau sebaliknya, dari listrik menghasilkan dingin (pendingin *thermoelectric*). Untuk menghasilkan listrik, material *thermoelectric* cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Dari rangkaian itu akan dihasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai (Ryuanuargo, 2013).

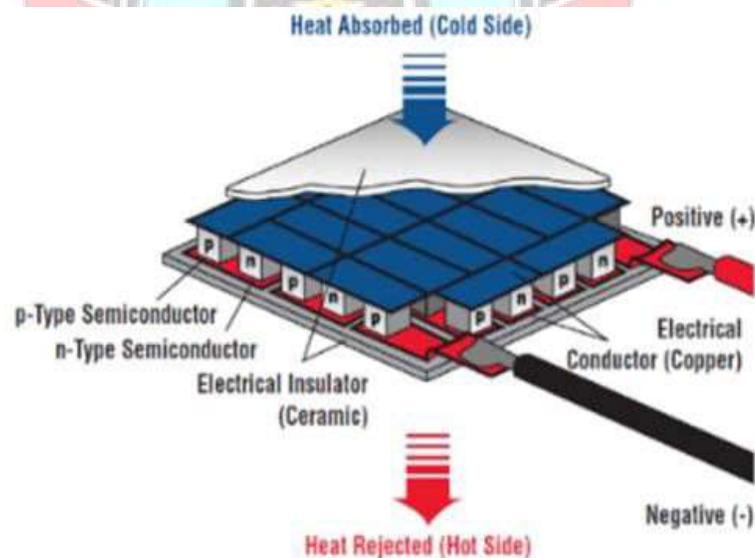


Gambar .1 Modul termoelektrik (Ryuanuargo, 2013)

Modul termoelektrik adalah sirkuit terintegrasi dalam bentuk solid yang menggunakan tiga prinsip termodinamika yang dikenal sebagai efek Seebeck, Peltier dan Thompson. Konstruksinya terdiri dari pasangan material semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang membentuk termokopel yang memiliki bentuk seperti sandwich antar dua wafer keramik tipis. Modul ini dapat digunakan untuk menghasilkan panas dan dingin di masing-masing sisinya jika arus listrik digunakan biasanya diaplikasikan sebagai sistem pendingin, misalnya kotak

pendingin vaksin atau untuk menghasilkan listrik ketika panas dan dingin digunakan sebagai perbedaan temperaturnya.

Termoelektrik itu sendiri umumnya menggunakan bahan yang bersifat semikonduktor atau dengan kata lain menggunakan solid-state technology. Adapun struktur dari termoelektrik dapat dilihat pada Gambar 2. Pada Gambar tersebut ditunjukkan struktur termoelektrik yang terdiri dari suatu susunan elemen tipe-P, yakni material yang kekurangan elektron, dan terdiri juga dari susunan elemen tipe- N, yakni material yang kelebihan elektron. Panas masuk pada salah satu sisi dan dibuang dari sisi lainnya. Transfer panas tersebut menghasilkan suatu tegangan yang melewati sambungan termoelektrik dan besarnya tegangan listrik yang dihasilkan sebanding dengan gradien temperatur.



Gambar 2. Struktur termoelektrik

2.1.1 Efek Thermoelectric

Efek *thermoelectric* merupakan peristiwa konversi energi secara langsung dari perubahan temperatur menjadi elektrik maupun sebaliknya. Efek *thermoelectric* dipengaruhi oleh tiga efek yaitu efek Seebeck, efek Peltier, dan efek Thomson (Andreas, 2016).

a. Efek Seebeck

Efek seebeck merupakan fenomena yang mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Jika ada dua bahan yang berbeda yang kemudian kedua ujungnya disambungkan satu sama lain maka akan terjadi dua sambungan dalam satu loop. Jika terjadi perbedaan temperatur di antara kedua sambunga ini, maka akan terjadi arus listrik akan terjadi. Prinsip ini lah yang digunakan *thermoelectric* 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 temperatur disini dapat diubah menjadi tegangan listrik, maka prinsip ini juga digunakan sebagai sensor temperatur yang dinamakan thermocouple (Neutron,2016).

Efek Seebeck merupakan efek munculnya tegangan kecil pada sambungan dua buah logam atau semikonduktor karena perbedaan temperatur dua logam atau semikonduktor tersebut. Tegangan yang muncul pada sambungan bahan berbanding lurus

dengan beda temperatur pada kedua bahan. Semakin besar beda temperatur, semakin besar tegangan yang didapat. Secara matematis, dapat dituliskan:

$$\Delta V \approx \Delta T \quad (1)$$

Dimana:

ΔV = Tegangan yang dihasilkan (V)

ΔT = Perbedaan temperatur (K)

Konstanta kesebandingan dari tegangan dan perubahan temperatur disebut koefisien Seebeck (S). Sehingga rumus (1) dapat ditulis menjadi:

$$\Delta V = S \Delta T \quad (2)$$

Dimana:

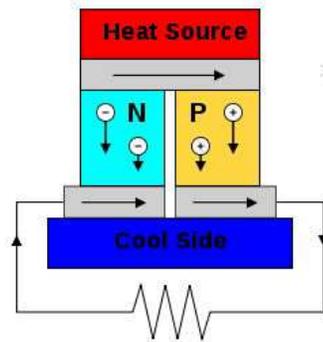
S = Koefisien Seebeck (V/K)

Dari persamaan diatas, nilai konstanta Seebeck dapat dirumuskan sebagai:

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (3)$$

Secara fisis, efek Seebeck terjadi karena pembawa muatan listrik pada bahan akan cenderung bergerak karena adanya perbedaan panas. Dengan hal ini dan sifat logam dan semikonduktor yang pembawa muatan di dalamnya dapat bergerak

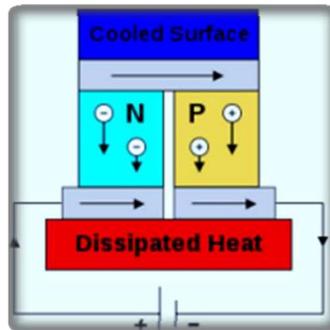
bebas maka efek Seebeck terjadi. Ilustrasi yang menjelaskan hal ini dapat dilihat di Gambar 3 (Andreas, 2016)



Gambar 3. Skema Seebeck

b. Efek Peltier

Penemuan Seebeck memberikan inspirasi pada Jean Charles Peltier untuk melihat kebalikan dari fenomena tersebut. Dia mengalirkan listrik pada dua buah logam yang direkatkan dalam sebuah rangkaian. Ketika arus listrik dialirkan, terjadi penyerapan panas pada sambungan kedua logam tersebut dan pelepasan panas pada sambungan yang lainnya. Pelepasan dan penyerapan panas ini saling berbalik begitu arah arus dibalik. Hal ini menyebabkan terdapat logam yang memiliki temperature lebih tinggi (panas) dan logam dengan temperature lebih rendah (dingin) (Ryuanargo, 2013). Ilustrasi efek peltier dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema Efek Peltier (Ryanunargo, 2013)

c. Efek Thomson

Efek Thomson telah diprediksi dan diamati oleh William Thomson (Lord Kelvin) pada tahun 1851. Efek ini menggambarkan pemanasan atau pendinginan dari konduktor berarus listrik dengan perbedaan temperatur. Setiap konduktor berarus listrik (kecuali superkonduktor) jika memiliki perbedaan temperatur antara dua titik akan menyerap atau memancarkan panas, tergantung pada material (Neutron, 2016).

2.1.2 Pemanfaatan Termoelektrik

a. Pembangkit Daya (*Power Generation*)

Dengan menggunakan Termoelektrik, panas yang dihasilkan selama proses yang alami pembangkit akan diubah menjadi listrik, sehingga panas yang dihasilkan tidak terbuang secara percuma dan energi yang dihasilkan oleh pembangkit menjadi lebih besar, serta efisiensi energi menjadi lebih tinggi.

Thermoelectric juga mungkin dapat digunakan pada sistem solar thermal energy.

b. Kendaraan Bermotor

Pemanfaatan energi panas yang terbuang pada kendaraan bermotor dengan mengubahnya menjadi energi listrik. Konsep yang digunakan adalah konsep Seebeck. Apabila terdapat dua sumber temperatur yang berbeda pada dua material semi konduktor maka akan mengalir arus listrik pada material tersebut. Konsep ini lebih dikenal dengan pembangkit termoelektrik.

Dengan menggunakan Teknologi Thermoelectric ini apabila diterapkan pada kendaraan bermotor dimana gas buang pada mesin motor bakar berkisar antara 200-300°C sementara temperatur lingkungan berkisar antara 30-35°C maka dengan adanya beda temperatur ini akan diperoleh gaya gerak listrik yang kemudian dapat digunakan untuk menggerakkan motor listrik atau disimpan di dalam baterai. Apabila dapat diterapkan di kendaraan *hybrid* maka konsumsi bahan bakar pada kendaraan bermotor akan semakin hemat. Dengan berkurangnya konsumsi bahan bakar maka dapat pula mengurangi emisi gas buang ke lingkungan.

c. Mesin Pendingin

Termoelektrik sebagai pendingin dibuat menjadi sebuah modul semikonduktor yang jika dialiri arus listrik DC maka kedua sisi modul termoelektrik ini akan mengalami panas dan dingin. Sisi dingin inilah yang dimanfaatkan sebagai pendingin produk.

d. Konverter Termionik

Pembangkit listrik dengan termionik adalah mengubah energi panas menjadi energi listrik dengan menggunakan emisi termionik. Emisi termionik adalah terlepasnya electron dari permukaan logam yang lebih panas ke permukaan logam lainnya yang dipanasi bersama sama. Emisi Termionik juga dikenal sebagai emisi thermal elektron. Proses ini sangat penting dalam pengoperasian berbagai perangkat elektronik dan dapat digunakan untuk pembangkit daya atau pendinginan.

Penggunaan modul termoelektrik pada penelitian ini, memanfaatkan panas dari air yang akan diterima terlebih dahulu oleh wadah logam sebelum ke termoelektrik. Perpindahan panas tersebut akan dibahas pada pembahasan berikutnya.

2.2 Kalor

Kalor adalah sesuatu yang dipindahkan diantara sebuah sistem dan sekelilingnya sebagai akibat dari hanya perbedaan temperatur. Nilai kalor jenis dari beberapa jenis benda dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 1. Kalor Jenis (pada tekanan tetap 1 atm dan temperatur 20°) (Halliday dan J Walker,2001)

Zat	Kalor Jenis (c)	
	kcal/kg°C	J/kg°C
Aluminium	0,22	900
Tembaga	0,093	390
Kaca	0,20	840
Besi atau baja	0,11	450
Timah hitam	0,031	130
Marmer	0,21	860
Perak	0,056	230
Kayu	0,4	1.700
Alkohol (etil)	0,58	2.400
Air raksa	0,033	140
Air		
Es (-5 °C)	0,50	2.100
Cair (15 °C)	1,00	4.186
Uap (110 °C)	0,48	2.010
Tubuh manusia (rata-rata)	0,83	3.470
Protein	0,4	1.700

Konsep kalor sebagai sebuah zat yang jumlah seluruhnya tetap konstan akhirnya tidak mendapat dukungan eksperimen. Kalor dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (4)$$

Dimana:

Q = Banyaknya kalor yang diperlukan (Joule)

m = Massa suatu zat yang diberi kalor (Kg)

c = Kalor Jenis zat (J/Kg°C)

ΔT = Perubahan temperatur zat (°C)

Kalor jenis (c) adalah besaran karakteristik dari suatu zat. Kalor jenis suatu zat dinyatakan dalam satuan $J/Kg^{\circ}C$ atau $kcal/ Kg^{\circ}C$. Untuk air pada temperature $15^{\circ}C$ dan tekanan tetap 1 atm, $c_{air} = 1 kcal/Kg^{\circ}C = 4.19 \times 10^3 J/Kg^{\circ}C$.

Jika temperaturnya tinggi maka kalor yang dikandung oleh benda sangat besar, begitu juga sebaliknya jika temperaturnya rendah maka kalor yang dikandung sedikit (Andrean, 2013).

2.3 Perpindahan Panas

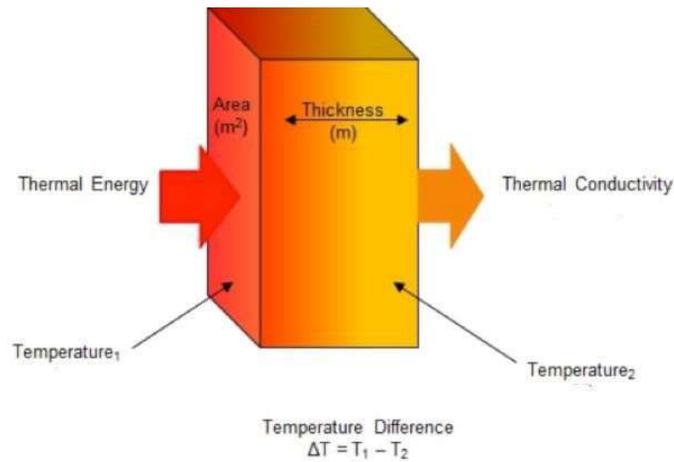
Kalor dari suatu zat dapat bergerak karena adanya perbedaan temperatur, sehingga memungkinkan terjadinya perpindahan panas (heat transfer). Dimana, energi kalor akan berpindah dari temperatur media yang lebih tinggi ke temperatur media yang lebih rendah. Proses perpindahan panas akan terus berlangsung sampai ada kesetimbangan temperatur yang terjadi pada kedua media tersebut (F. Keith dan A. Priyono, 1986).

Dari teori sebelumnya telah diketahui bahwa energi yang pindah itu dinamakan kalor atau panas (heat). Ilmu perpindahan kalor tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari suatu benda ke benda lain, tetapi juga dapat meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Pokok bahasan dari perpindahan panas adalah masalah laju perpindahan, inilah yang membedakan ilmu perpindahan kalor dari ilmu termodinamika (Tripler, 2001).

Termodinamika membahas sistem dalam keseimbangan, ilmu ini dapat digunakan untuk meramal energi yang diperlukan untuk mengubah sistem dari suatu keadaan seimbang ke keadaan seimbang lain, tetapi tidak dapat meramalkan kecepatan perpindahan itu. Hal ini disebabkan karena pada waktu proses perpindahan itu berlangsung, sistem tidak berada dalam keadaan seimbang. Proses terjadinya perpindahan panas dapat terjadi secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

2.3.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah distribusi energi berupa panas yang terjadi pada benda atau medium yang diam (padat) bertemperatur tinggi ke bagian benda yang bertemperatur rendah atau terdapat gradien temperatur pada benda tersebut. Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Persamaan laju konduksi dikenal dengan Hukum Fourier (Fourier Law of Heat Conduction) tentang konduksi.



Gambar 5. Proses perpindahan panas secara konduksi (Tripler, 2001)

Rumus dasar perpindahan panas secara konduksi adalah:

$$Q = \frac{k A \Delta T}{x} \quad (5)$$

Keterangan:

Q = Laju perpindahan panas (Watt)

K = Konduktivitas termal (W/m.°C)

A = Luasan perpindahan panas arah normal Q (m²)

ΔT = Beda temperatur (°C)

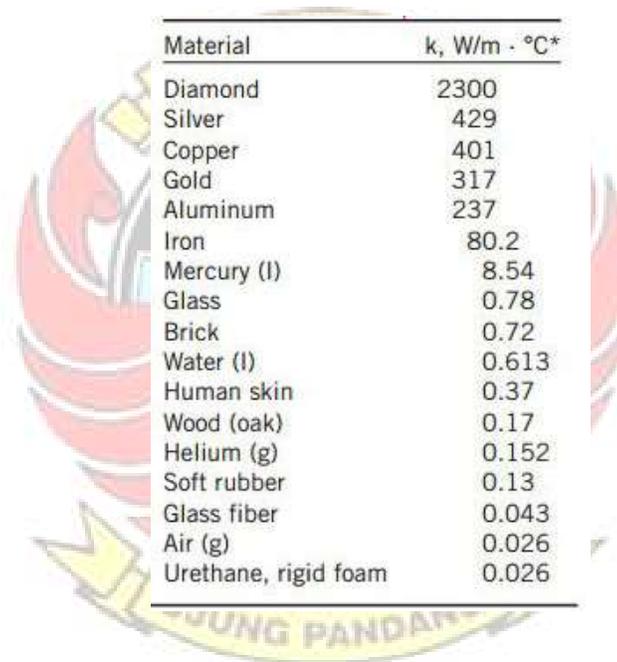
X = Ketebalan bahan (m)

Konduktivitas termal merupakan fenomena transport dimana perbedaan temperatur menyebabkan transfer energi termal dari suatu daerah benda panas ke daerah lain yang lebih rendah temperaturnya hingga terjadi keseimbangan termal. Keseimbangan panas terjadi apabila panas sama dengan jumlah panas benda yang dipanaskan dengan panas yang disebarkan oleh benda tersebut ke medium sekitarnya (Cengel,2003).

Suatu zat yang memiliki konduktivitas termal (k) besar, menghantarkan kalor dengan cepat dan dinamakan konduktor yang baik. Umumnya logam masuk kedalam kategori ini. Adapun zat yang memiliki konduktivitas termal (k) kecil, merupakan penghantar kalor yang buruk disebut isolator.

Berikut tabel konduktivitas termal berbagai zat:

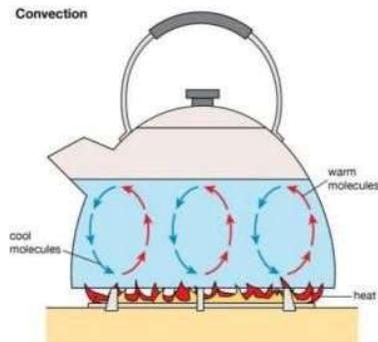
Tabel 2. Konduktivitas termal (k) berbagai zat (Cengel, 2003)



Material	k , W/m · °C*
Diamond	2300
Silver	429
Copper	401
Gold	317
Aluminum	237
Iron	80.2
Mercury (l)	8.54
Glass	0.78
Brick	0.72
Water (l)	0.613
Human skin	0.37
Wood (oak)	0.17
Helium (g)	0.152
Soft rubber	0.13
Glass fiber	0.043
Air (g)	0.026
Urethane, rigid foam	0.026

2.3.2 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dari suatu permukaan media padat atau fluida yang diam menuju fluida yang mengalir atau bergerak, begitu pula sebaliknya, yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur.



Gambar 6. Proses perpindahan panas secara konveksi (Cengel, 2003)

Perpindahan panas secara konveksi ada dua macam, yaitu:

- a. Konveksi alami (*natural convection*)

Adalah perpindahan panas konveksi yang terjadi karena berubahnya densitas fluida tersebut yang disebabkan adanya pemanasan.

- b. Konveksi paksa (*forced convection*)

Adalah perpindahan panas konveksi yang berlangsung dengan bantuan peralatan mekanis, misalnya udara yang dihembuskan di atas plat oleh kipas. Rumus dasar perpindahan panas secara konveksi adalah:

$$Q = h A_s(T_s - T_\infty) \quad (6)$$

Keterangan:

Q = Laju perpindahan panas (Watt)

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

A_s = Luas permukaan perpindahan panas (m^2)

T_s = Temperatur permukaan benda ($^{\circ}C$)

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

2.4 Isolasi Termal

Untuk menahan laju perpindahan panas, diperlukan sebuah metode untuk melakukan hal tersebut, yaitu berupa isolasi termal. Panas atau kalor bisa dipindahkan dengan cara konduksi, konveksi, dan radiasi atau ketika terjadi perubahan wujud. Aliran panas dapat dikendalikan dengan proses ini, tergantung pada sifat material yang digunakan. Bahan yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas itu disebut isolator atau insulator. Panas dapat lepas, tapi isolator mengurangi panas yang lepas tersebut atau memperkecil perpindahan energi panas.

Kemampuan insulasi suatu bahan diukur dengan konduktivitas termal (k). Konduktivitas termal yang rendah berarti memiliki kemampuan insulasi yang tinggi. Sebagian besar gas, termasuk udara adalah konduktor yang buruk, berarti insulator yang baik. Dari beberapa isolator yang cukup ekonomis dan mudah didapat, dari beberapa literatur ditemukan Styrofoam.

Styrofoam adalah suatu material yang terbuat dari butiran polistiren yang dibuat dengan cara dicetak (*moulding*). Karakteristik *Styrofoam* yang ringan dan memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah berguna sebagai isolasi termal

dalam penelitian ini. Nilai konduktivitas termal Styrofoam sendiri adalah 0.033 W/m.°C (Andersen,2011).

2.5 Efisiensi Termal

Dalam termodinamika, efisiensi termal adalah ukuran tanpa dimensi yang menunjukkan performa peralatan termal seperti mesin pembakaran dalam dan sebagainya (Howell dan Buckius, 1987). Panas yang masuk adalah energi yang didapatkan dari sumber energi. Output yang diinginkan dapat berupa panas atau kerja, atau keduanya. Jadi, termal efisiensi dapat dirumuskan dengan:

$$\eta_{th} = \frac{\text{Energi yang didapatkan (output)}}{\text{Energi yang dimasukkan (input)}} \quad (7)$$

Berdasarkan hukum pertama termodinamika, output tidak bisa melebihi input, sehingga:

$$0 \leq \eta_{th} \leq 1$$

Untuk alat konversi seperti pemanas ruangan, boiler, atau pembakar, efisiensi termalnya dirumuskan dengan:

$$\eta_{th} = \frac{Q_{keluar}}{Q_{masuk}}$$

2.6 Hukum Ohm

Hukum Ohm adalah suatu pernyataan bahwa besar arus listrik yang mengalir melalui sebuah penghantar selalu berbanding lurus dengan beda potensial yang diterapkan kepadanya (Ofid, 2016). Sebuah benda penghantar dikatakan mematuhi hukum Ohm apabila nilai resistansinya tidak bergantung terhadap besar dan polaritas beda potensial yang dikenakan kepadanya. Walaupun pernyataan ini tidak selalu berlaku untuk semua jenis penghantar, namun istilah "hukum" tetap digunakan dengan alasan sejarah. Secara hokum Ohm di- ekspresikan dengan persamaan:

$$V = I \times R \quad (9)$$

Dimana:

- I adalah arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar dalam satuan Ampere.
- V adalah tegangan listrik yang terdapat pada kedua ujung penghantar dalam satuan volt.
- R adalah nilai hambatan listrik (resistansi) yang terdapat pada suatu penghantar dalam satuan Ohm.

Hukum ini dicetuskan oleh George Simon Ohm, seorang fisikawan dari Jerman pada tahun 1825 dan dipublikasikan pada sebuah paper yang berjudul *The Galvanic Circuit Investigated Mathematically* pada tahun 1827.

2.7 Fluida Cair

Air menutupi sekitar 70% permukaan bumi, dengan jumlah sekitar 1.368 juta km³ (Angel dan Wolseley, 1992). Air terdapat dalam berbagai bentuk, misalnya uap air, es, cairan, dan salju. Air tawar terutama terdapat di sungai, danau, air tanah (ground water), dan gunung es (glacier). Semua badan air di daratan dihubungkan dengan laut dan atmosfer melalui siklus hidrologi yang berlangsung secara kontinu.

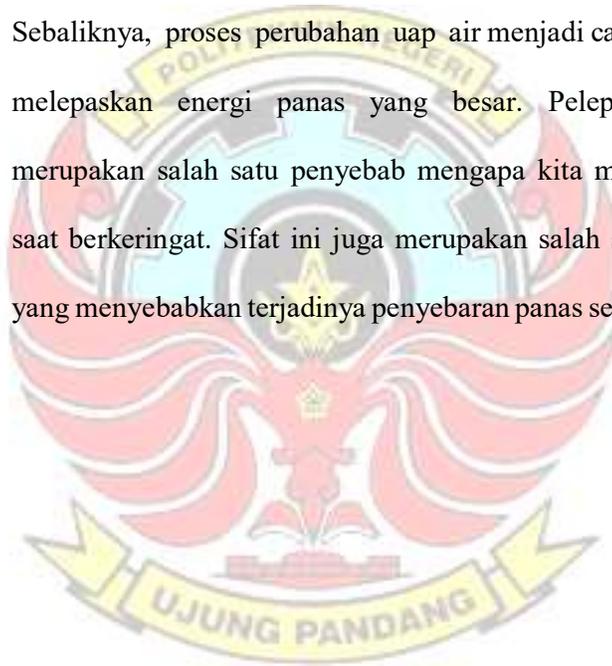
- Sifat Air

Air memiliki karakteristik yang khas yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia yang lain. Karakteristik tersebut adalah sebagai berikut (Dugan, 1972; Hutchinson, 1975; Miller, 1992).

1. Pada kisaran suhu yang sesuai bagi kehidupan, yakni 0°C (32°F) – 100°C, air berwujud cair. Suhu 0°C merupakan titik beku (freezing point) dan suhu 100°C merupakan titik didih (boiling point) air. Tanpa sifat tersebut, air yang terdapat di dalam jaringan tubuh makhluk hidup maupun air yang terdapat di laut, sungai, danau, dan badan air yang lain akan berada dalam bentuk gas atau padatan; sehingga tidak akan terdapat kehidupan di muka bumi ini, karena sekitar 60% - 90% bagian sel makhluk hidup adalah air (Pecl, 1990).
2. Perubahan suhu air berlangsung lambat sehingga air memiliki sifat sebagai penyimpan panas yang sangat baik. Sifat ini memungkinkan air tidak menjadi panas atau dingin dalam seketika. Perubahan suhu air yang lambat mencegah terjadinya stress

pada makhluk hidup karena adanya perubahan suhu yang mendadak dan memelihara suhu bumi agar sesuai bagi makhluk hidup. Sifat ini juga menyebabkan air sangat baik digunakan sebagai pendingin mesin.

3. Air memerlukan panas yang tinggi dalam proses penguapan. Penguapan (evaporasi) adalah proses perubahan air menjadi uap air. Proses ini memerlukan energi panas dalam jumlah yang besar. Sebaliknya, proses perubahan uap air menjadi cairan (kondensasi) melepaskan energi panas yang besar. Pelepasan energi ini merupakan salah satu penyebab mengapa kita merasa sejuk pada saat berkeringat. Sifat ini juga merupakan salah satu factor utama yang menyebabkan terjadinya penyebaran panas secara baik di bumi.



BAB III METODE PENELITIAN

Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu:



Gambar 7. Diagram aliran tahapan penelitian

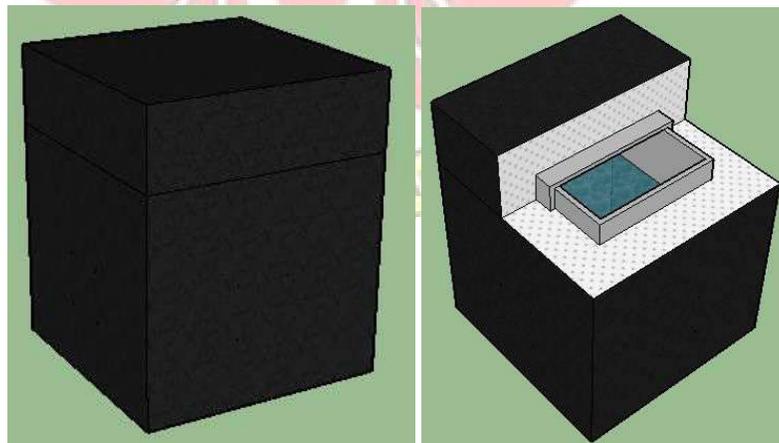
3.1 Studi Literatur

Penelitian ini diawali studi literatur dengan pengumpulan literature tentang *hermoelectric*, efek seebeck, efek peltier, perpindahan panas (*heat transfer*), dan konduktivitas termal. Dari hasil studi ini maka didapatkan rumusan penelitian. Kemudian dibuat perancangan rangkaian alat uji dari pengujian modul *thermoelectric* tersebut. Langkah selanjutnya yaitu dilakukan beberapa tahap pengujian pada alat uji tersebut.

3.2 Perancangan Alat

3.2.1 Skema Alat Rancang Bangun Konversi Energi Termal Fluida

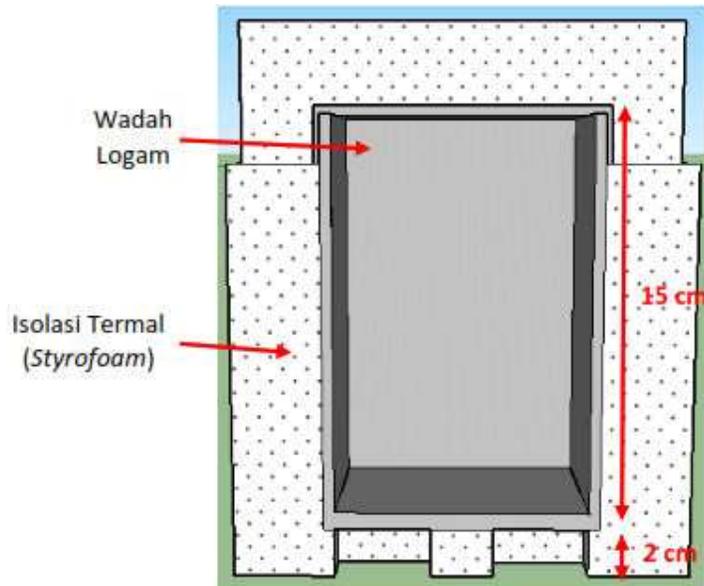
Desain model pembangkit listrik menggunakan modul termoelektrik dengan sumber energi panas dari cahaya matahari dapat dilihat pada Gambar 8.



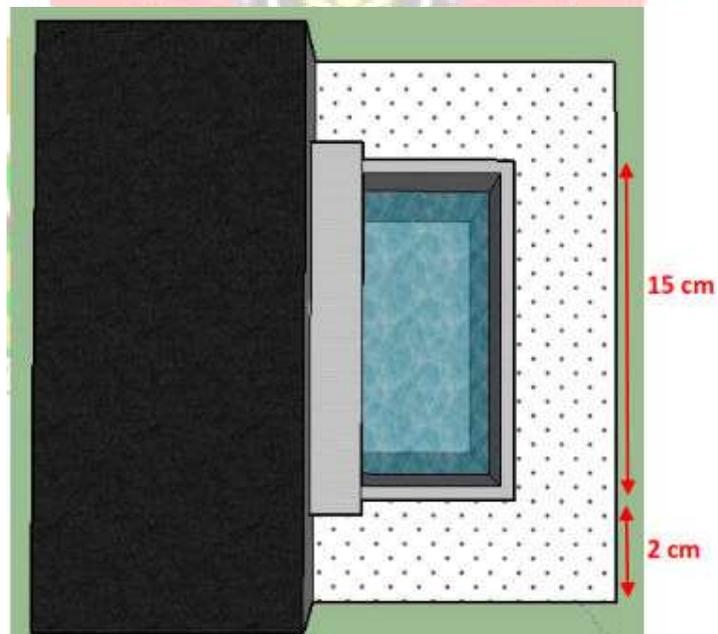
Gambar 8. Skema rancang bangun

Gambar 8. diatas adalah skema dari rancang bangun yang akan dilakukan dalam penelitian.

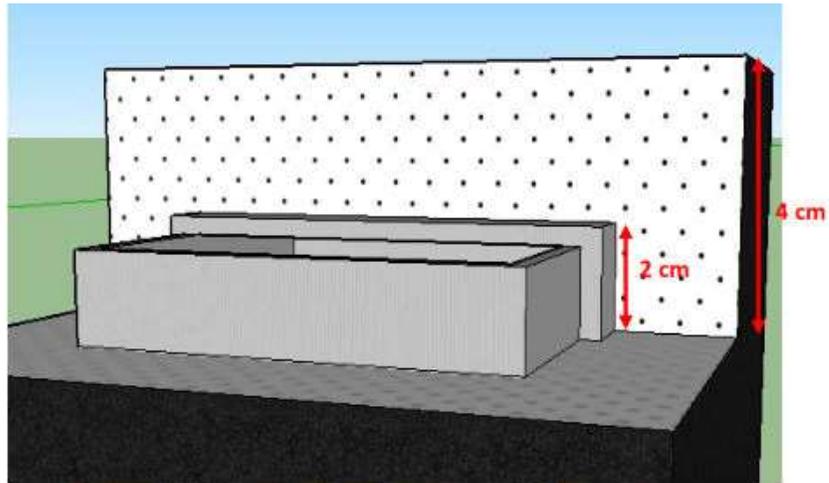
Berikut detail dari alat yang akan digunakan:



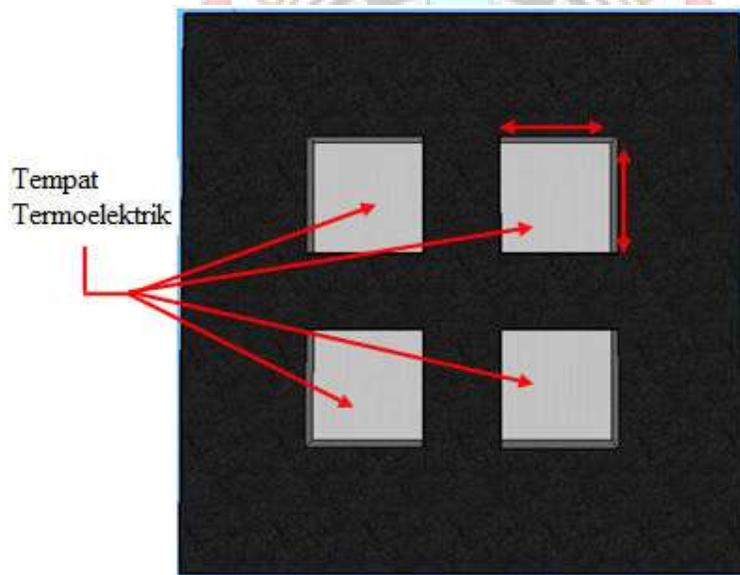
Gambar 9. Tampak Depan (dipotong)



Gambar 10. Tampak Atas



Gambar 11. Bagian Tutup



Gambar 12. Tampak Bawah

Adapun rincian komponen pembangun rancang bangun tersebut adalah sebagai berikut:

1. Fluida Cair
2. Wadah logam

3. Termoelektrik TEG-SP1848-27145
4. Isolasi Panas
5. Heatsink
6. Pasta termal
7. Gelas ukur
8. Multimeter
9. Jumper
10. Thermometer
11. Infrared termometer

3.2.2 Detail Peralatan Rancang Bangun Konversi Energi Termal Fluida

a. Peralatan Utama

Alat-alat yang digunakan dalam rancang bangun tersebut adalah sebagai berikut:

- Fluida Cair (Air)

Pada penelitian ini, fluida cair yang digunakan adalah fluida cair yang dapat ditemukan dalam skala besar yaitu air, dimana air yang memiliki kalor jenis yang cukup besar yaitu $4180 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$, yang artinya air dapat menyimpan kalor cukup besar sehingga cocok untuk dijadikan variabel utama dalam Pembangkit Listrik Tenaga Termal Fluida.

- Wadah Logam

Dalam penelitian ini, wadah logam digunakan untuk menampung zat cair yang akan digunakan sebagai variabel utama dalam menyimpan kalor. Wadah logam yang akan digunakan adalah wadah berbahan dasar aluminium. Pemilihan bahan aluminium sebagai bahan dasar dari wadah logam ini adalah dikarenakan aluminium yang memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi ketimbang besi (tabel 1. $k_{\text{aluminium}} = 202 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, $k_{\text{besi}} = 73 \text{ W/m}^\circ\text{C}$), sehingga hal tersebut menyebabkan aluminium dapat menghantarkan panas lebih baik ketimbang besi karena sumber panas terdapat pada fluida cair (air). Wadah logam yang digunakan adalah wadah dengan dimensi 15cm x 15cm x 15cm. hal ini dimaksudkan agar volume air yang akan diujicobakan (3L) dapat cukup untuk ditampung di dalam wadah tersebut.

- Termoelektrik TEG SP1848-27145

Pada penelitian ini, jenis modul termoelektrik yang digunakan adalah termoelektrik jenis TEG SP1848-27145.



Gambar 13. Termoelektrik tipe TEG SP1848-27145

Ada beberapa jenis lain dari modul termoelektrik, seperti salah satunya TEC 12706. Yang membedakan modul termoelektrik ini adalah modul TEC merupakan modul termoelektrik yang digunakan sebagai pendingin atau pemanas. Sedangkan modul TEG merupakan modul keluaran pabrik yang digunakan sebagai pembangkit energi yang memanfaatkan perbedaan temperatur sebagai sumber energinya.

Pada penelitian ini, jumlah modul yang digunakan adalah 4 modul termoelektrik, dimana modul tersebut akan terpasang disisi bawah dari wadah logam tersebut. Hal ini dimaksudkan agar modul termoelektrik dapat selalu menerima kalor yang lepas dari wadah logam tersebut. Jumlah termoelektrik sebanyak 4 buah tersebut digunakan agar mendapatkan energi tegangan sebesar 3V untuk masing-masing termoelektrik tersebut, sehingga akan mendapatkan tegangan total sebesar 12V.

- Insulasi Termal

Dalam penelitian ini, digunakan insulasi termal berbahan *styrofoam*. Tujuan digunakan insulasi termal ini agar temperatur dari dalam wadah logam tersebut tidak mudah terbuang keluar, sehingga dapat menyimpan energi panas dari fluida cair tersebut. Penggunaan *styrofoam* pada penelitian ini, dikarenakan Styrofoam memiliki konduktivitas termal yang sangat kecil yaitu 0,033 W/m°C. Hal ini memungkinkan styrofoam tersebut

menahan temperatur agar tidak cepat keluar dari wadah logam tersebut sehingga energi yang didapatkan bisa lebih maksimal.

- *Heatsink*

Pada penelitian ini, penggunaan heatsink adalah untuk bagian pendingin dari modul termoelektrik tersebut. Hal ini dikarenakan energi yang dihasilkan dari termoelektrik merupakan energi yang berasal dari perbedaan temperatur. Perbedaan temperatur akan dapat ditunjang dengan adanya heatsink karena dapat membantu mendinginkan bagian tngin dari modul termoelektrik tersebut. Untuk penelitian ini sistem pendinginan heatsink hanya menggunakan udara dari temperatur ruangan.

- *Pasta Termal*

Pasta termal adalah pasta penghantar panas sangat tinggi yang digunakan diantara dua buah objek/benda agar dapat menghantarkan panas yang lebih baik. Thermal paste mengisi rongga mikroskopis yang terbentuk diantara dua buah objek yang dapat menjebak udara masuk diantaranya sehingga mengakibatkan kerugian pelepasan panas menuju ke heatsink. Udara adalah konduktor panas yang sangat buruk. *Thermal Interface Materials* (TIM) dapat mengkonduksikan (menghantarkan) panas hingga 100 kali lebih besar dari pada udara. Namun, *thermal paste* tidak lebih baik dari konduktor

tembaga. *Thermal paste* yang terlalu banyak juga akan menghambat proses pelepasan panas sehingga kinerja *heatsink* tidak bisa maksimal.

- Modul step up atau penaik tegangan DC XL6009

Modul step up ini berguna untuk mengatasi perbedaan tegangan sehingga memerlukan sebuah modul regulator untuk menyesuaikan tegangan. Modul regulator penaik tegangan ini menggunakan bahan solid capacitor dan PCB, menyesuaikan tegangan dengan memutar potensio yang ada pada board.

b. Peralatan Pendukung

Alat-alat yang telah disebutkan diatas adalah komponen utama pembentuk dari rancang bangun PLTTF yang akan dilakukan dalam penelitian. Beberapa peralatan pendukung yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- Gelas Kimia (*Beaker Glass*)

Penggunaan gelas kimia pada penelitian ini adalah agar penentuan volume fluida cair yang akan digunakan dalam variasi dapat diukur dengan tepat.

- Multimeter

Multimeter adalah alat bantu dalam penelitian ini yang memiliki fungsi utama dalam pengukuran Arus dan Tegangan dari setiap jenis variasi yang dilakukan.

- *Jumper*

Peranan *jumper* cukup penting pada penelitian ini. Pasalnya penggunaan *jumper* akan mempermudah peneliti dalam memasang rangkaian dan mengganti bentuk rangkaian, sehingga dapat meminimalisir kerusakan pada alat yang akan diteliti.

- Thermometer Air Raksa

Penggunaan termometer pada penelitian ini adalah sebagai alat ukur temperature yang menjadi salah satu tolak ukur dalam penelitian ini.

3.2.3 Variabel yang Divariasikan

Variabel yang akan divariasikan dalam penelitian ini adalah:

- a. Volume Fluida Cair (Air)

Variasi variabel fluida air dilakukan dengan 3 volume air yang berbeda, yaitu 1 liter, 2 liter, dan 3 liter. Tujuan dari memvariasikan volume fluida air adalah sebagai pembanding peningkatan energi terhadap kenaikan volume air. Pada perhitungan potensi energi didapatkan setiap kenaikan volume air 2 kali atau 3 kali, akan menghasilkan potensi energi 2 kali dan 3 kali juga. Hal ini akan dibandingkan dengan pengujian dimana akan dilihat apakah penambahan volume air akan menaikkan energi listrik yang didapat dengan jumlah yang sama, atau akan membuang lebih banyak energi akibat hilangnya temperatur.

b. Pengujian Alat Beban Nol

Pengujian alat beban nol dilakukan langsung dengan cara merangkai modul termoelektrik secara seri dan diukur menggunakan multimeter. Tujuan dari pengukuran tanpa beban ini adalah untuk melihat tegangan keluaran yang mampu dihasilkan oleh alat, pengujian dilakukan sebanyak 3 variasi data berdasarkan variasi volume. Pengambilan data dilakukan setiap 1 menit selama 30 menit.

c. Pengujian Alat dengan Beban (hambatan 10Ω)

Pada pengujian dengan beban listrik 10Ω data keluaran yang diperoleh berupa tegangan, arus dan daya. Pada data daya kita menggunakan perhitungan rumus umum $P = V \times I$ untuk memperoleh nilainya. Pengujian menggunakan beban listrik tetap ini dilakukan sebanyak 3 variasi pengujian berdasarkan variasi volume.

3.2.4 Variabel yang Diukur

Dalam penelitian ini variabel yang diukur yaitu:

- a. Temperatur sisi dingin modul termoelektrik (T_c)
- b. Temperatur fluida cair (T_h)
- c. Tegangan yang dihasilkan (V)
- d. Arus listrik pada rangkaian (I)

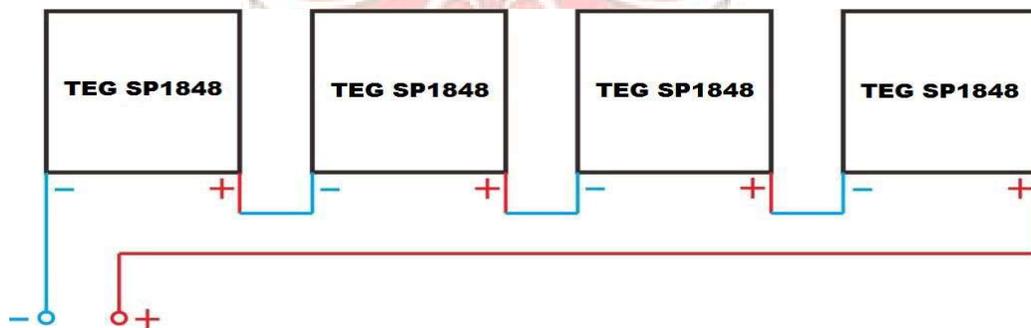
3.2.5 Perhitungan Potensi Energi Air Panas

Pada bagian ini dilakukan perhitungan potensi energi panas teoritis dari air. Hasil dari perhitungan ini akan digunakan untuk mengetahui efisiensi pembangkit energi listrik menggunakan termoelektrik. Proses perhitungan dilakukan dengan persamaan (4).

3.3 Pengujian

Pengujian alat pada penelitian ini menggunakan metode langsung yaitu penulis mengumpulkan data dengan menguji langsung alat yang telah dibuat.

Dalam penelitian ini modul termoelektrik yang digunakan berjumlah empat modul termoelektrik. Empat modul termoelektrik ini diuji dengan dirangkai secara seri skema rangkaian empat modul termoelektrik dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 14. Skema Rangkaian

3.3.1 Variasi Modul Termoelektrik Dirangkai Beban Nol

Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Percobaan pertama adalah modul termoelektrik dirangkai secara seri tanpa adanya menggunakan beban, dengan volume Air sebanyak 1L.
- b. Penelitian diawali dengan pemasangan modul termoelektrik sebanyak 4 buah di sisi wadah logam yang akan digunakan untuk menampung Air tersebut.
- c. Pada penelitian ini, digunakan langsung air yang sudah dipanaskan mencapai temperatur 100°C , mengestimasi air tersebut telah dipanaskan oleh sinar matahari.
- d. Air panas tersebut dimasukkan termoelektrik wadah logam, dan diukur temperatur, tegangan, serta arusnya.
- e. Pengambilan data ini diambil selama 30 menit, data diambil setiap menitnya.
- f. Melakukan langkah percobaan yang sama untuk pengambilan data variasi selanjutnya yaitu air dengan volume 2 liter dan 3 liter. Wadah logam dan *heatsink* harus pada temperatur ruangan.

3.3.2 Variasi Modul Termoelektrik Dirangkai Beban

- a. Modul termoelektrik dirangkai secara seri dengan menggunakan berupa tahanan geser dengan besar hambatan 10Ω . Percobaan dilakukan dengan volume air sebanyak 1 liter.

- b. Air panas tersebut dimasukkan kedalam wadah logam, dan diukur temperatur, tegangan, serta arusnya.
- c. Pengambilan data ini diambil selama 30 menit, data diambil setiap menitnya.
- d. Melakukan langkah percobaan yang sama untuk pengambilan data variasi selanjutnya, yaitu air dengan volume 2 liter dan 3 liter. Wadah logam dan heatsink harus pada temperatur ruangan.



3.4 Hasil Pengujian

Hasil pengujian yang didapat berupa arus, tegangan, dan temperatur.

Dari data yang didapat, akan disusun berupa grafik yang nantinya akan dilakukan analisa dari grafik yang diperoleh tersebut.

3.5 Analisa Hasil Pengujian

3.5.1 Pengujian Beban Nol

Pada pengujian beban nol ini, dilakukan analisa hasil pengujian berupa nilai ΔT dan nilai tegangan yang dihasilkan. Penganalisaan nilai tegangan digunakan persamaan (1) yang mengacu pada persamaan nilai koefisien seebeck.

3.5.2 Pengujian Beban 10Ω

Pada pengujian beban 10Ω , terdapat data hasil pengujian berupa nilai ΔT , nilai tegangan dan nilai arus pada rangkaian pengujian. Penganalisaan nilai tegangan dilakukan menggunakan persamaan (1) yang mengacu pada nilai koefisien seebeck. Sedangkan penganalisaan nilai arus keluaran pada rangkaian pengujian tersebut dilakukan dengan persamaan (7) dengan mengacu ke hukum Ohm.

3.5.3 Analisa Efisiensi Pengujian

Pengujian menggunakan panas fluida cair air tersebut memiliki dataa energi yang telah didapatkan pada proses pengujian. Menggunakan hasil tersebut, dapat dianalisa efisiensi dari penggunaan panas fluida cair air tersebut dengan menggunakan persamaan (6) dimana terdapat nilai

energi masuk dari panas fluida cair air dan energi lepas dari fluida cair tersebut.

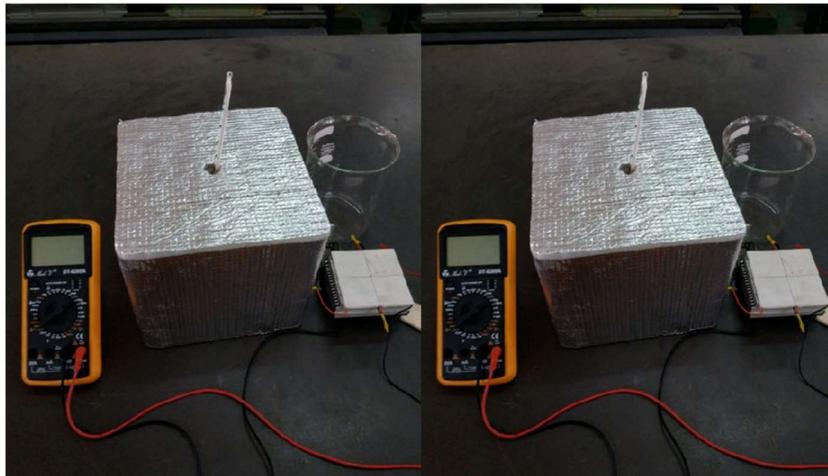


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Rancang Bangun

Pada penelitian tugas akhir ini, pembuatan rancang bangun menggunakan beberapa komponen utama serta peralatan pengukung yang dapat dilihat pada gambar.



Gambar 15. Komponen Rancang Bangun

Pengujian dimulai dengan merangkai peralatan modul termoelektrik SP1848 secara seri. Lalu fluida cair yang akan digunakan pada pengujian tersebut dipanaskan menggunakan kompor hingga mencapai temperatur yang diinginkan (mendekati titik didih). Fluida cair yang sudah dipanaskan lalu dituangkan ke wadah logam lalu ditutup, dan pengambilan data pengujian pun dimulai.



Gambar 16. Pengujian Rancang Bangun

Prinsip kerja dari alat tersebut adalah ketika fluida panas dimasukkan ke dalam wadah logam, temperatur tinggi pada fluida akan meresap ke wadah logam yang langsung bersentuhan dengan modul termoelektrik SP1848, dimana panas dari fluida tersebut akan diterima oleh modul termoelektrik tersebut melalui rambatan panas wadah logam. Sisi dingin yang dipasang heatsink akan membantu bagian dingin dari termoelektrik tersebut sehingga keluaran dari termoelektrik dapat dijaga dengan konstan.

4.1.2 Hasil Pengujian Beban Nol

Berdasarkan hasil pengujian beban nol yang telah dilakukan, didapati hasil seperti tabel dibawah ini, yang dimana nilai potensi energi dihitung dengan menggunakan persamaan (4), yang dikonversi langsung ke dalam besaran energi listrik, sehingga didapati untuk data pertama seperti perhitungan berikut:

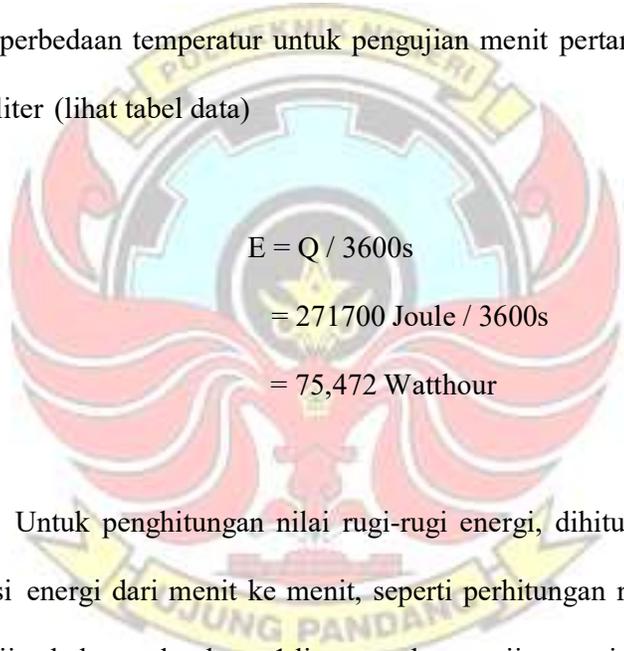
$$\begin{aligned}
 Q &= m \cdot c \cdot \Delta T \\
 &= 1 \text{ Kg} \cdot 4180 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C} \cdot 65^\circ\text{C} \\
 &= 271700 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

Dimana:

m = massa air untuk volume 1 liter (1 Kg)

c = kalor jenis air

ΔT = perbedaan temperatur untuk pengujian menit pertama volume 1 liter (lihat tabel data)



$$\begin{aligned}
 E &= Q / 3600s \\
 &= 271700 \text{ Joule} / 3600s \\
 &= 75,472 \text{ Watthour}
 \end{aligned}$$

Untuk penghitungan nilai rugi-rugi energi, dihitung selisih nilai potensi energi dari menit ke menit, seperti perhitungan rugi energi pada pengujian beban nol volume 1 liter, untuk pengujian menit pertama hingga menit ke-2:

Potensi energi menit ke 1 = 75,472 Watthour

Potensi energi menit ke 2 = 34,601 Watthour

$$\begin{aligned}
 \text{Rugi-rugi energi} &= \text{P.E menit ke 1} - \text{P.E menit ke 2} \\
 &= 75,472 \text{ Watthour} - 34,601 \text{ Watthour} \\
 &= 15.559 \text{ Watthour}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah tabel hasil pengujian beban nol untuk volume 1

liter, 2 liter dan 3 liter:

Tabel 3. Beban Nol Volume 1 Liter

Menit Ke	Tc (°C)	Th (°C)	ΔT (°C)	Potensi Energi (Watt-hour)	Rugi- Rugi Energi (Watt-hour)	V (Volt)
1	27	92	65	75.472		7.61
2	28.4	80	51.6	59.913	15.559	6.19
3	29.3	79	49.7	57.707	2.206	5.92
4	30.1	79	48.9	56.778	0.929	5.65
5	31	79	48	55.733	1.045	5.35
6	31.6	79	47.4	55.037	0.697	4.98
7	32.3	78	45.7	53.063	1.974	4.64
8	32.7	78	45.3	52.598	0.464	4.47
9	33.1	78	44.9	52.134	0.464	4.31
10	33.6	77	43.4	50.392	1.742	4.14
11	33.9	77	43.1	50.044	0.348	3.98
12	34.4	77	42.6	49.463	0.581	3.81
13	34.8	77	42.2	48.999	0.464	3.65
14	35.4	77	41.6	48.302	0.697	3.48
15	35.9	77	41.1	47.722	0.581	3.32
16	36.5	76	39.5	45.864	1.858	3.15
17	37	76	39	45.283	0.581	2.99
18	37.4	76	38.6	44.819	0.464	2.82
19	37.9	76	38.1	44.238	0.581	2.66
20	38.3	76	37.7	43.774	0.464	2.49
21	38.7	75	36.3	42.148	1.626	2.32
22	39.2	75	35.8	41.568	0.581	2.18
23	39.7	75	35.3	40.987	0.581	1.99
24	40.1	75	34.9	40.523	0.464	1.87
25	40.5	75	34.5	40.058	0.464	1.79
26	41.2	74	32.8	38.084	1.974	1.74
27	41.6	74	32.4	37.620	0.464	1.69
28	42	74	32	37.156	0.464	1.64
29	42.6	74	31.4	36.459	0.697	1.59
30	43.2	73	29.8	34.601	1.858	1.55

Tabel 4. Beban Nol Volume 2 Liter

Menit Ke	Tc (°C)	Th (°C)	ΔT (°C)	Potensi Energi (Watthour)	Rugi- Rugi Energi (Watthour)	V (Volt)
1	27	94	67	155.589	17.881	7.77
2	28.7	88	59.3	137.708	3.019	7.01
3	30	88	58	134.689	2.787	6.63
4	31.2	88	56.8	131.902	2.554	6.32
5	32.3	88	55.7	129.348	1.858	6
6	33.1	88	54.9	127.490	4.412	5.75
7	34	87	53	123.078	2.090	5.47
8	34.9	87	52.1	120.988	1.858	5.18
9	35.7	87	51.3	119.130	1.858	4.93
10	36.5	87	50.5	117.272	1.626	4.71
11	37.2	87	49.8	115.647	1.858	4.39
12	38	87	49	113.789	3.716	4.18
13	38.6	86	47.4	110.073	1.161	4.05
14	39.1	86	46.9	108.912	1.393	3.92
15	39.7	86	46.3	107.519	0.929	3.8
16	40.1	86	45.9	106.590	1.626	3.67
17	40.8	86	45.2	104.964	1.161	3.54
18	41.3	86	44.7	103.803	3.251	3.41
19	41.7	85	43.3	100.552	1.161	3.28
20	42.2	85	42.8	99.391	1.161	3.15
21	42.7	85	42.3	98.230	1.161	3.02
22	43.2	85	41.8	97.069	0.929	2.9
23	43.6	85	41.4	96.140	0.929	2.77
24	44	85	41	95.211	3.251	2.64
25	44.4	84	39.6	91.960	1.161	2.51
26	44.9	84	39.1	90.799	1.161	2.38
27	45.4	84	38.6	89.638	0.929	2.25
28	45.8	84	38.2	88.709	1.161	2.12
29	46.3	84	37.7	87.548	0.929	2
30	46.7	84	37.3	86.619		1.88

Tabel 5. Beban Nol Volume 3 Liter

Menit Ke	Tc (°C)	Th (°C)	ΔT (°C)	Potensi Energi (Watthour)	Rugi- Rugi Energi (Watthour)	V (Volt)
1	27	96	69	240.350		8,03
2	28,9	92	63,1	219.798	20.552	7,66
3	30,3	91	60,7	211.438	8.360	7,33
4	31,4	91	59,6	207.607	3.832	7,09
5	32,5	91	58,5	203.775	3.832	6,8
6	33,2	91	57,8	201.337	2.438	6,53
7	34,2	90	55,8	194.370	6.967	6,29
8	35	90	55	191.583	2.787	6,09
9	35,8	90	54,2	188.797	2.787	5,79
10	36,5	90	53,5	186.358	2.438	5,59
11	37,3	89	51,7	180.088	6.270	5,38
12	38,1	89	50,9	177.302	2.787	5,25
13	38,7	89	50,3	175.212	2.090	5,01
14	39,2	89	49,8	173.470	1.742	4,84
15	39,8	88	48,2	167.897	5.573	4,64
16	40,2	88	47,8	166.503	1.393	4,47
17	40,9	88	47,1	164.065	2.438	4,31
18	41,4	88	46,6	162.323	1.742	4,14
19	41,8	88	46,2	160.930	1.393	3,98
20	42,3	87	44,7	155.705	5.225	3,81
21	42,8	87	44,2	153.963	1.742	3,65
22	43,3	87	43,7	152.222	1.742	3,53
23	43,7	87	43,3	150.828	1.393	3,41
24	44,1	87	42,9	149.435	1.393	3,27
25	44,5	87	42,5	148.042	1.393	3,16
26	45	86	41	142.817	5.225	3,01
27	45,5	86	40,5	141.075	1.742	2,89
28	45,9	86	40,1	139.682	1.393	2,75
29	46,4	86	39,6	137.940	1.742	2,63
30	46,8	86	39,2	136.547	1.393	2,5

4.1.3 Hasil Pengujian Beban 10Ω

Berdasarkan hasil pengujian beban nol yang telah dilakukan, didapati hasil seperti table dibawah ini, yang dimana nilai potensi energi dihitung dengan menggunakan persamaan (4), yang dikonversi langsung ke dalam besaran energi listrik, sehingga didapati untuk data pertama seperti perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot c \cdot \Delta T \\ &= 1 \text{ Kg} \cdot 4180 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C} \cdot 67^\circ\text{C} \\ &= 280060 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Dimana:

m = massa air untuk volume 1 liter (1 Kg)

c = kalor jenis air

ΔT = perbedaan temperatur untuk pengujian menit pertama volume 1 liter (lihat tabel)

$$\begin{aligned} E &= Q / 3600s \\ &= 280060 \text{ Joule} / 3600s \\ &= 77,794 \text{ Watthour} \end{aligned}$$

Pada pengujian menggunakan beban 10Ω ini, didapatkan nilai daya keluaran dari termoelektrik tersebut, dimana daya yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan $P = V \cdot I$, sehingga didapati untuk data pertama (lihat tabel 6) adalah seperti perhitungan berikut:

$$\begin{aligned}
 P &= V \cdot I \\
 &= 7.52 \text{ Volt} \cdot 0.0737 \text{ A} \\
 &= 5.542 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan daya yang telah didapatkan dari perhitungan sebelumnya, maka nilai energi listrik dari pengujian menggunakan beban 10Ω dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E_{electric} = \frac{P \times t}{3600}$$

Dimana $E_{electric}$ adalah energi listrik yang dihasilkan pada pengujian tersebut, adalah daya yang dihasilkan sesuai dengan perhitungan nilai daya keluaran sebelumnya, serta t adalah waktu antar pengujian, dimana waktu antar pengujian adalah 60 detik. Sehingga dari persamaan tersebut didapatkan data energy listrik yang pertama pada pengujian beban 10Ω dengan volume 1 liter adalah sebagai berikut:

$$E_{electric} = \frac{P \times t}{3600}$$

$$E_{electric} = \frac{5.452 \times 60}{3600}$$

$$E_{electric} = 0.092$$

Dimana:

P = daya pengujian menit pertama volume 1 liter (lihat tabel)

t = 1 menit pengujian (dalam detik)

Dari data energi yang didapatkan, dapat dihitung nilai efisiensi pengujian tiap menit. Efisiensi tiap menit tersebut bertujuan untuk melihat pada titik pengujian tiap mana energi listrik optimal dihasilkan dari tiap pengujian. Nilai efisiensi tiap menit dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_{permenit} = \frac{(E_{electric\ ke-n} + E_{electric\ ke-n+1})/2}{P \cdot E_{ke-n} - P \cdot E_{ke-n+1}} \times 100\%$$

Dari persamaan diatas maka efisiensi antara menit ke 1 dengan menit ke 2 untuk pengujian volume 1 liter air panas (tabel) adalah sebagai berikut:

$$\eta_{permenit} = \frac{(E_{electric\ ke-1} + E_{electric\ ke-2})/2}{P \cdot E_{ke-1} - P \cdot E_{ke-2}} \times 100\%$$

$$\eta_{permenit} = \frac{(0.092 + 0.078)/2}{77.794 - 71.060} \times 100\%$$

$$\eta_{permenit} = 1.263\%$$

Berikut adalah tabel hasil pengujian beban 10 Ω untuk volume 1 liter, 2 liter, dan 3 liter.

Tabel 6. Beban 10 Ω Volume 1 Liter

Menit Ke	Tc (°C)	Th (°C)	ΔT (°C)	Potensi Energi (Watt hour)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	Eelectric (Watt hour)	η permenit (%)
1	27	94	67.0	77.794	7.52	0.737	5.542	0.092	1.263
2	29	90	61.2	71.060	6.90	0.676	4.664	0.078	1.981
3	31	89	58.0	67.344	6.52	0.639	4.166	0.069	8.137
4	32	89	57.3	66.532	6.20	0.608	3.770	0.063	3.021
5	32	88	55.6	64.558	5.88	0.576	3.387	0.056	3.884
6	34	88	54.4	63.164	5.63	0.552	3.108	0.052	3.853
7	35	88	53.3	61.887	5.34	0.524	2.798	0.047	6.343
8	35	88	52.7	61.191	5.06	0.495	2.505	0.042	2.012
9	36	87	51.0	59.217	4.80	0.471	2.261	0.038	3.898
10	37	87	67.0	58.636	4.61	0.452	2.084	0.035	3.102
11	37	87	49.9	57.939	4.29	0.421	1.806	0.030	6.176
12	38	87	49.5	57.475	4.08	0.401	1.636	0.027	1.622
13	38	86	48.1	55.849	3.95	0.387	1.529	0.025	3.542
14	39	86	47.5	55.153	3.82	0.375	1.433	0.024	2.846
15	39	86	46.8	54.340	3.70	0.363	1.343	0.022	3.102
16	40	86	46.2	53.643	3.57	0.350	1.250	0.021	2.162
17	41	86	45.4	52.714	3.44	0.337	1.160	0.019	5.361
18	41	86	45.1	52.366	3.32	0.326	1.081	0.018	0.995
19	41	85	43.6	50.624	3.19	0.313	0.998	0.017	2.292
20	42	85	43.0	49.928	3.06	0.300	0.918	0.015	2.526
21	43	85	42.5	49.347	2.93	0.287	0.842	0.014	2.900
22	43	85	42.1	48.883	2.81	0.275	0.774	0.013	2.652
23	43	85	41.7	48.418	2.68	0.263	0.704	0.012	2.408
24	44	85	41.3	47.954	2.55	0.250	0.638	0.011	0.580
25	44	84	39.8	46.212	2.42	0.237	0.574	0.010	1.301
26	45	84	39.2	45.516	2.29	0.224	0.514	0.009	1.394
27	45	84	38.7	44.935	2.16	0.212	0.457	0.008	1.039
28	46	84	38.1	44.238	2.05	0.201	0.412	0.007	0.929
29	47	84	37.5	43.542	1.93	0.189	0.365	0.006	0.821
30	47	84	36.9	42.845	1.81	0.177	0.321	0.005	-
Total							53.039	0.884	-

Tabel 7. Beban 10Ω Volume 2 Liter

Menit Ke	Tc (°C)	Th (°C)	ΔT (°C)	Potensi Energi (Watthour)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	Eelectric (Watthour)	ηpermenit (%)
1	27	94	67.0	155.589	7.74	0.764	5.913	0.099	0.874
2	29	91	62.5	145.139	7.19	0.702	5.047	0.084	1.629
3	31	91	60.4	140.262	6.86	0.654	4.486	0.075	5.101
4	31	91	59.8	138.869	6.51	0.621	4.043	0.067	1.535
5	32	90	58.0	134.689	6.17	0.593	3.659	0.061	2.312
6	33	90	56.9	132.134	5.93	0.578	3.428	0.057	2.971
7	34	90	56.1	130.277	5.78	0.553	3.196	0.053	2.008
8	35	90	55.0	127.722	5.52	0.536	2.959	0.049	1.212
9	36	89	53.3	123.774	5.37	0.518	2.782	0.046	2.381
10	37	89	52.5	121.917	5.21	0.485	2.527	0.042	1.894
11	37	89	51.6	119.827	4.93	0.451	2.223	0.037	3.864
12	38	89	51.2	118.898	4.88	0.427	2.084	0.035	0.966
13	38	88	49.7	115.414	4.75	0.411	1.952	0.033	2.736
14	39	88	49.2	114.253	4.56	0.408	1.860	0.031	2.562
15	39	88	48.7	113.092	4.37	0.391	1.709	0.028	1.996
16	40	88	48.1	111.699	4.23	0.385	1.629	0.027	0.796
17	40	87	46.7	108.448	3.95	0.374	1.477	0.025	2.573
18	41	87	46.3	107.519	3.80	0.366	1.391	0.023	0.042
19	41	87	45.8	53.179	3.73	0.36	1.343	0.022	4.658
20	42	87	45.4	52.714	3.54	0.354	1.253	0.021	2.502
21	42	87	44.7	51.902	3.48	0.341	1.187	0.020	1.189
22	43	86	43.3	50.276	3.35	0.338	1.132	0.019	3.856
23	43	86	42.9	49.812	3.11	0.327	1.017	0.017	2.802
24	44	86	42.4	49.231	2.96	0.316	0.935	0.016	2.153
25	44	86	41.8	48.534	2.90	0.298	0.864	0.014	2.972
26	45	86	41.4	48.070	2.84	0.279	0.792	0.013	2.720
27	45	86	41.0	47.606	2.73	0.265	0.723	0.012	0.632
28	46	85	39.4	45.748	2.67	0.257	0.686	0.011	1.847
29	46	85	38.9	45.167	2.46	0.244	0.600	0.010	1.180
30	47	85	38.3	44.471	2.22	0.174	0.386	0.006	-
Total							63.285	1.055	-

Tabel 8. Beban 10Ω Volume 3 Liter

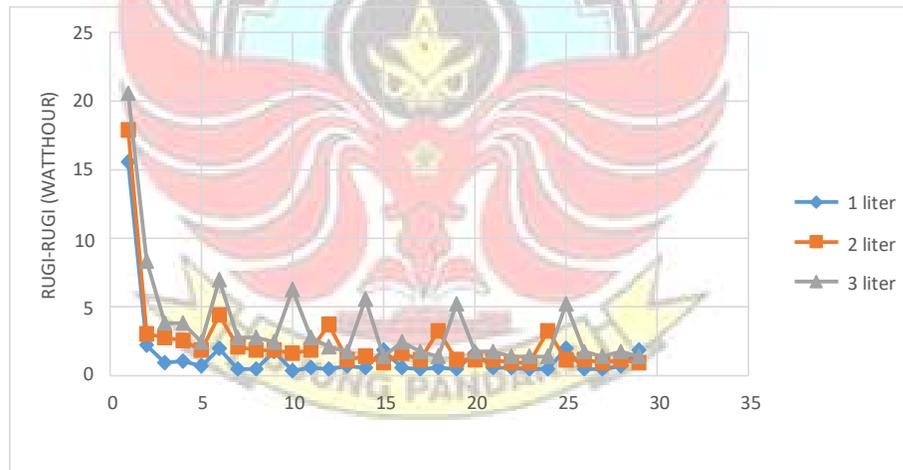
Menit Ke	Tc (°C)	Th (°C)	ΔT (°C)	Potensi Energi (Watt hour)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	Eelectric (Watt hour)	ηpermenit (%)
1	27.0	94	67.0	233.383	7.94	0.778	6.181	0.103	0.704
2	29.0	92	63.0	219.450	7.55	0.740	5.588	0.093	1.706
3	30.5	92	61.5	214.225	7.22	0.708	5.111	0.085	1.243
4	31.4	91	59.6	207.607	6.97	0.683	4.763	0.079	1.822
5	32.6	91	58.4	203.427	6.68	0.655	4.375	0.073	2.513
6	33.4	91	57.6	200.640	6.41	0.628	4.028	0.067	2.648
7	34.1	91	56.9	198.202	6.16	0.604	3.720	0.062	1.566
8	35.2	91	55.8	194.370	5.96	0.584	3.483	0.058	0.834
9	36.1	90	53.9	187.752	5.66	0.555	3.141	0.052	1.620
10	37.0	90	53.0	184.617	5.49	0.538	2.955	0.049	1.512
11	37.9	90	52.1	181.482	5.28	0.518	2.733	0.046	1.823
12	38.6	90	51.4	179.043	5.15	0.505	2.600	0.043	1.696
13	39.3	90	50.7	176.605	4.91	0.481	2.364	0.039	1.561
14	40.0	90	50.0	174.167	4.74	0.465	2.203	0.037	1.684
15	40.6	90	49.4	172.077	4.54	0.445	2.021	0.034	0.665
16	41.0	89	48.0	167.200	4.37	0.428	1.872	0.031	1.439
17	41.6	89	47.4	165.110	4.21	0.413	1.738	0.029	1.334
18	42.2	89	46.8	163.020	4.05	0.397	1.608	0.027	2.465
19	42.5	89	46.5	161.975	3.89	0.381	1.484	0.025	1.699
20	42.9	89	46.1	160.582	3.72	0.365	1.357	0.023	1.555
21	43.3	89	45.7	159.188	3.56	0.349	1.243	0.021	1.437
22	43.7	89	45.3	157.795	3.44	0.337	1.160	0.019	0.383
23	44.1	88	43.9	152.918	3.32	0.325	1.081	0.018	0.991
24	44.6	88	43.4	151.177	3.18	0.312	0.991	0.017	1.146
25	45.0	88	43.0	149.783	3.07	0.301	0.924	0.015	0.281
26	46.5	88	41.5	144.558	2.92	0.286	0.836	0.014	0.768
27	47.0	88	41.0	142.817	2.80	0.275	0.769	0.013	0.881
28	47.4	88	40.6	141.423	2.68	0.263	0.704	0.012	0.805
29	47.8	88	40.2	140.030	2.56	0.251	0.643	0.011	0.225
30	48.1	87	38.9	135.502	2.43	0.238	0.579	0.010	-
Total							72.251	1.204	-

4.2 Pembahasan

4.2.1 Rancang Bangun (*Prototype*)

Berdasarkan rancang bangun konversi energi termal air yang telah dibangun, didapatkan beberapa data pengujian berdasarkan variasi pengujian yang telah dipaparkan, yaitu pengujian dengan menggunakan beban nol dan menggunakan beban 10Ω , serta menggunakan variasi volume sebesar 1 liter, 2 liter, dan 3 liter.

Dari data yang didapatkan, terdapat rugi-rugi energi yang terjadi pada rancang bangun tersebut. Grafik rugi-rugi energi untuk kedua variasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 17 berikut.



Gambar 17. Grafik Rugi-rugi Energi untuk Pengujian Beban Nol

Pada grafik diatas, ketiga volume air memiliki rugi energi yang cukup besar pada awal pengujian. Hal tersebut dikarenakan temperatur fluida cair yang cukup tinggi akan berpindah ke wadah logam yang memiliki temperatur lebih rendah sehingga rugi energi diawal pengujian cukup besar.

Pada grafik juga dapat dilihat bahwa rugi energi terus menurun seiring waktu berjalan. Hal tersebut dikarenakan isolasi yang digunakan pada rancang bangun tersebut belum cukup kuat untuk mengisolasi temperatur tinggi yang masuk ke dalam rancang bangun tersebut.

Berdasarkan data jumlah energi yang dihasilkan oleh rancang bangun konversi energi termal fluida ini, maka akan dapat dihitung berapa nilai efisiensi dari rancang bangun tersebut. Untuk menghitung besar efisiensi dari bangun tersebut, maka dapat digunakan persamaan berikut:

$$\eta_{th} = \frac{\text{energi yang dihasilkan}}{\text{selisih potensi energi awal dan akhir pengujian}}$$

Dari persamaan di atas, nilai efisiensi dapat dihitung sebagai berikut:

Efisiensi volume air 1 liter

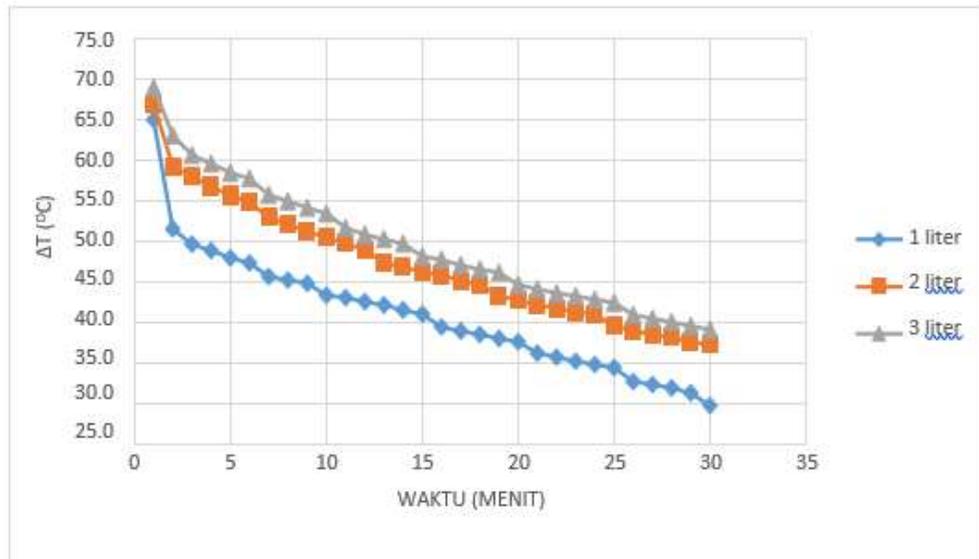
$$\eta_{th} = \frac{0.677}{77.794 - 34.601}$$

$$\eta_{th} = 0.0157 \text{ atau } 1.57\%$$

Menggunakan persamaan yang sama, didapatkan efisiensi dari pengujian volume air 2 liter dan 3 liter adalah sebesar 1.287% dan 1.23 %

4.2.2 Beban Nol

Berdasarkan pada tabel data hasil pengujian beban nol pada Tabel 3, 4, dan 5 grafik nilai perbedaan temperatur pada pengujian variasi beban nol dapat dilihat pada Gambar 14. berikut:

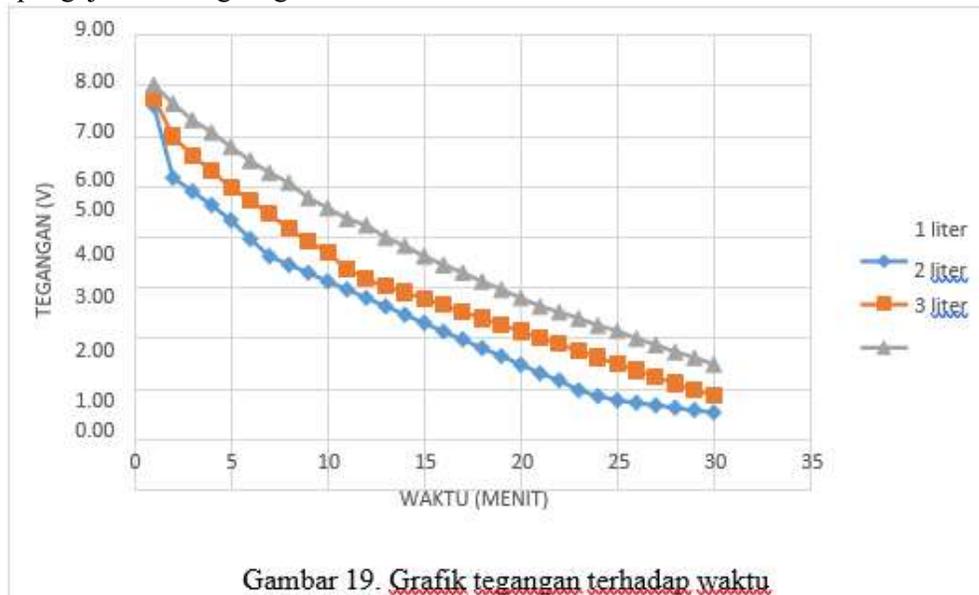


Gambar 18. Grafik ΔT terhadap waktu

Pada grafik diatas, tampak nilai perbedaan temperatur dari ketiga volume fluida cair yang digunakan terus menurun selama pengujian berlangsung. Hal ini sangat dipengaruhi oleh isolasi yang digunakan. Isolasi yang digunakan pada pengujian tersebut tidak cukup kuat untuk menahan lepasnya kalor dari wadah logam yang menampung fluida cair tersebut.

Hal lain yang mempengaruhi penurunan temperatur secara terus menerus tersebut adalah karena adanya heatsink disisi dingin termoelektrik yang justru menangkap panas yang lepas dari wadah pengujian tersebut, sehingga hal tersebut

mengakibatkan temperatur sisi dingin dari termoelektik terus meningkat selama pengujian berlangsung.

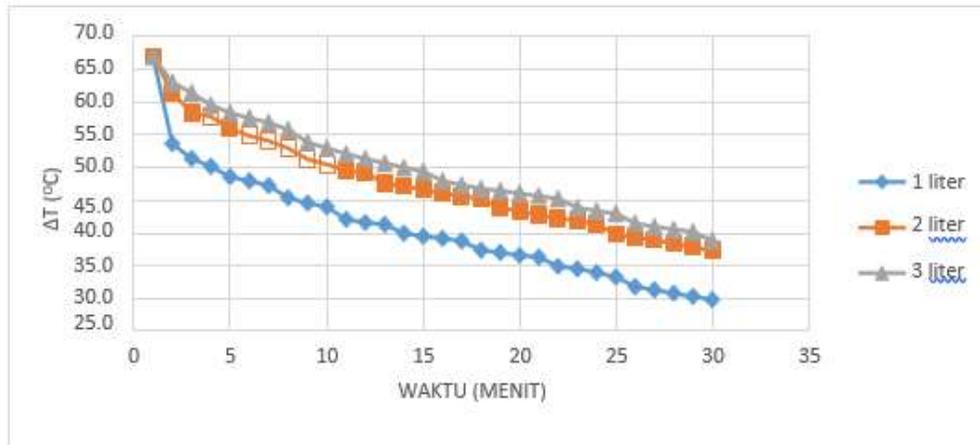


Gambar 19. Grafik tegangan terhadap waktu

Berdasarkan grafik yang didapatkan pada pengujian, tegangan yang didapatkan juga menurun selama pengujian berlangsung. Hal ini dipengaruhi oleh nilai perbedaan temperatur yang juga terus menurun pada pengujian tersebut. Hal ini sesuai dengan teori efek seebeck yang berbunyi bahwa tegangan yang muncul pada kedua sambungan bahan (modul termoelektrik), akan sebanding dengan nilai perbedaan temperatur pada kedua bahan (kedua sisi modul termoelektrik).

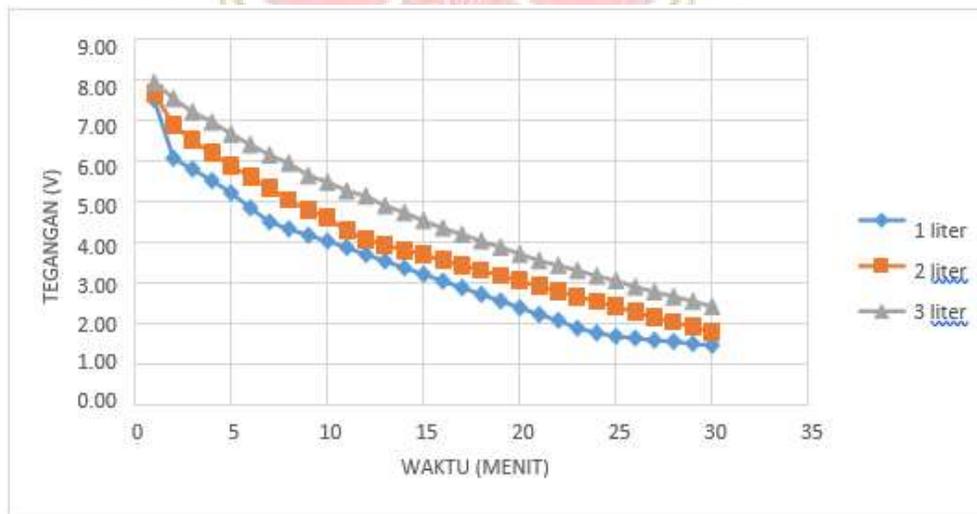
4.2.3 Beban 10 Ω

Berdasarkan pada tabel data hasil pengujian beban 10 Ω pada Tabel ke 6,7, dan 8, grafik nilai perbedaan temperatur pada pangujian variasi beban 10 Ω dapat dilihat pada Gambar 20. berikut:



Gambar 20. Grafik ΔT terhadap waktu

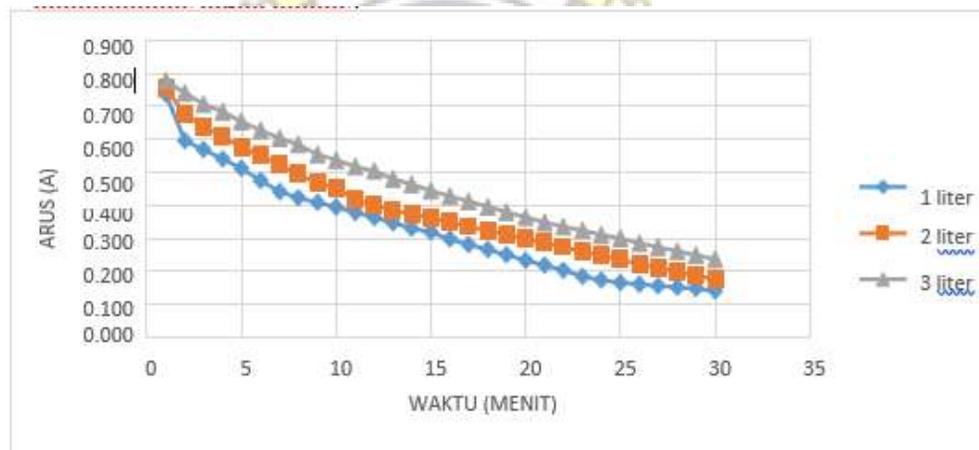
Sama halnya dengan pengujian beban nol, nilai pada grafik perbedaan temperatur juga terus menuntun. Hal ini disebabkan oleh isolasi yang digunakan. Isolasi yang digunakan pada pengujian tersebut tidak cukup kuat untuk menahan lepasnya kalor dari wadah logam yang menampung fluida cair tersebut, dan juga karena adanya heatsink disisi dingin termoelektrik yang justru menangkap panas yang lepas dari wadah pengujian tersebut, sehingga hal tersebut mengakibatkan temperatur sisi dingin dari termoelektik terus meningkat selama pengujian berlangsung.



Gambar 21. Grafik tegangan terhadap waktu.

Dari pengujian yang telah dilakukan, tegangan pada volume pengujian 1 liter, 2 liter dan 3 liter yang didapatkan juga menurun selama pengujian berlangsung. Hal ini dipengaruhi oleh nilai perbedaan temperatur yang juga terus menurun pada pengujian tersebut. Hal ini sesuai dengan teori efek seebeck yang berbunyi bahwa tegangan yang muncul pada kedua sambungan bahan (modul termoelektrik), akan sebanding dengan nilai perbedaan temperatur pada kedua bahan (kedua sisi modul termoelektrik).

Berdasarkan data arus yang didapat, grafik arus keluaran dari 4 modul termoelektrik dapat dilihat pada Gambar 19.

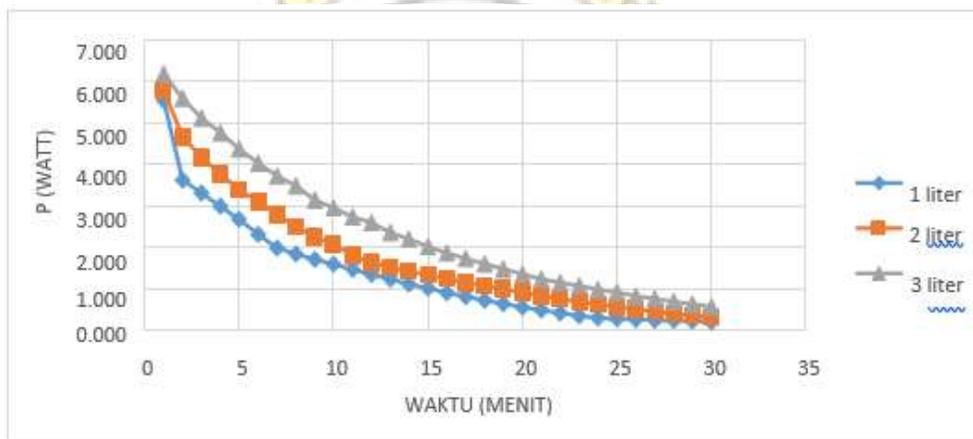


Gambar 22. Grafik arus terhadap waktu

Pada grafik diatas, arus pada ketiga pengujian juga terus menurun selama pengujian berlangsung. Hal tersebut sesuai dengan hukum ohm yang berbunyi bahwa besar arus listrik yang mengalir melalui sebuah penghantar selalu berbanding lurus dengan beda potensial yang diterapkan kepadanya. Hal tersebut bisa dikaitkan dengan nilai tegangan pada Gambar 22., yang juga menunjukkan

penurunan tegangan. Maka dari itu, penurunan arus yang didapatkan akan tergantung dengan bagaimana nilai tegangan yang dihasilkan.

Daya yang didapatkan pada pengujian, juga cepat menurun. Daya terbesar didapat pada awal mula dimasukkan air panas ke dalam wadah logam dengan temperatur 92°C sampai 96°C yang menghasilkan daya sebesar 5.544 Watt (volume 1 liter), 5.783 Watt (volume 2 liter), dan 6.181 Watt (volume 3 liter). Daya yang cukup besar tersebut didapatkan dengan kondisi sisi dingin modul termoelektrik yang masih pada temperatur ruang pada saat itu (27°C).



Gambar 23. Grafik daya terhadap waktu

Penurunan daya yang dihasilkan tersebut tergantung dengan tegangan dan arus keluaran yang dihasilkan dari rancang bangun tersebut. Tegangan dan arus keluaran sangat bergantung dengan perbedaan temperatur pada kedua sisi modul termoelektrik tersebut sehingga penurunan perbedaan temperatur yang terus menurun selama pengujian berlangsung menyebabkan penurunan daya secara terus menerus selama pengujian berlangsung.

Berdasarkan energi listrik yang telah didapatkan, dapat dihitung berapa nilai efisiensi pengujian setiap menitnya. Terlihat pada tabel data hasil pada Tabel 6, 7, dan 8 grafik nilai efisiensi pengujian tiap menit dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 24. Grafik Efisiensi permenit terhadap waktu volume 1 liter.





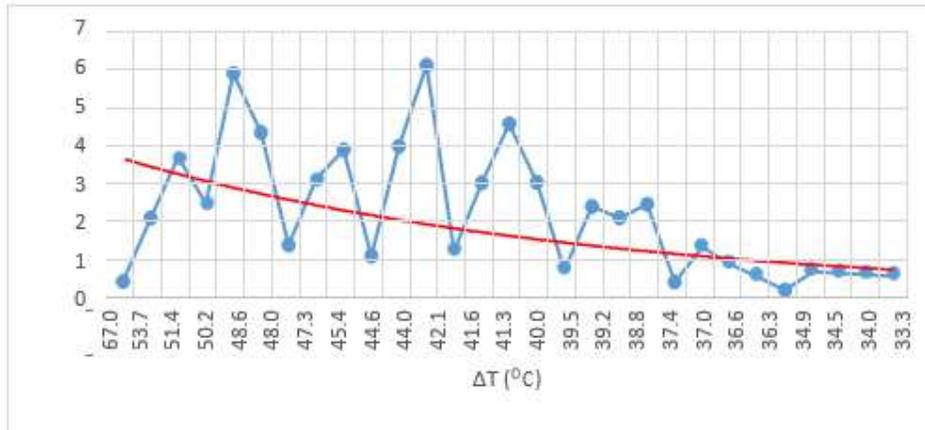
Gambar 26. Grafik efisiensi permenit terhadap waktu volume 3 liter.

Ketiga grafik diatas adalah grafik nilai efisiensi pengujian beban 10Ω , yang dihitung setiap menit pengujiannya. Ketiga grafik diatas, terlihat tidak linier. Hal itu disebabkan karena data temperatur yang mempengaruhi nilai potensi energi dari pengujian tersebut sehingga didapat data yang tidak linier.

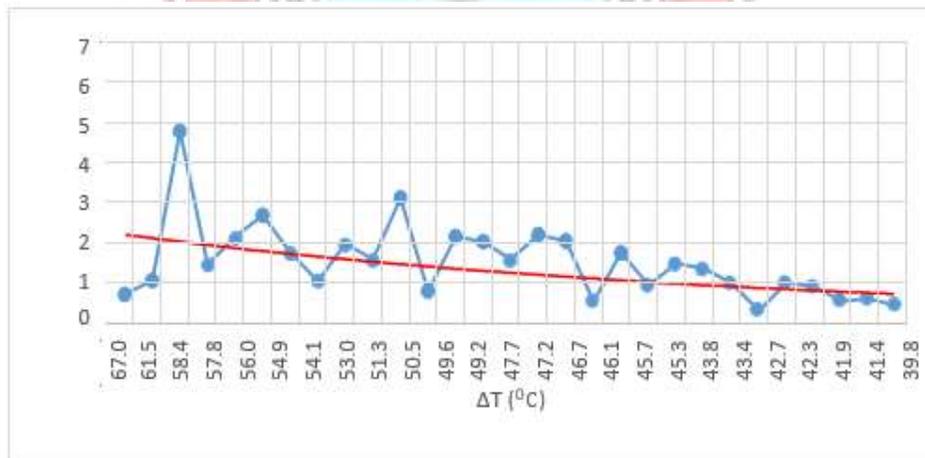
Berdasarkan garis rata-rata setiap grafiknya, terlihat bahwa efisiensi dari pengujian volume 1 liter cukup besar di awalnya, akan tetapi terus mengalami penurunan drastis seiring waktu pengujian. Kalor lepas pada saat pengujian sangat mempengaruhi nilai efisiensi tersebut, sehingga semakin banyak fluida cair air yang diujikan dalam rancang bangun tersebut, maka efisiensi yang didapat akan semakin konstan, karena fluida tidak banyak melepas kalor ke wadah pengujian tersebut.

Seiring bertambahnya volume, nilai efisiensi yang didapat juga semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan potensi daya yang naik berdasarkan jumlah volume, tidak diiringi dengan kenaikan nilai energi yang setara. Kenaikan volume sebanyak 2x dan 3x, mendapatkan energi yang naik tidak sebanyak volume

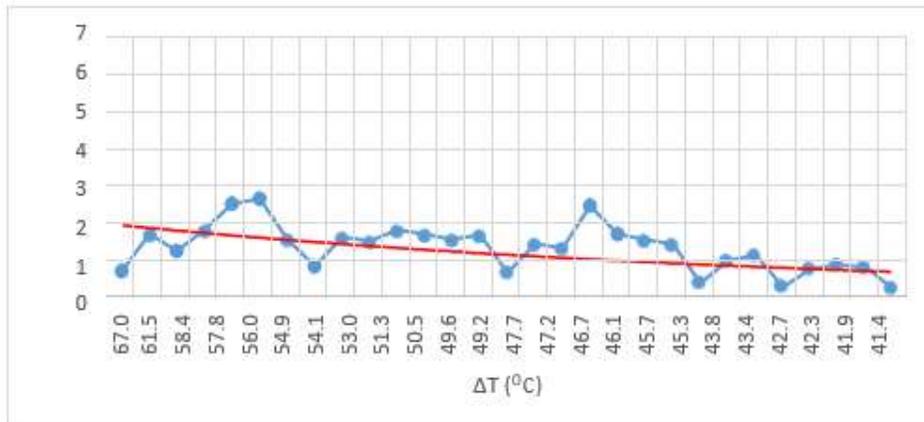
kenaikan yang didapatkan, karena nilai energi yang didapatkan bergantung dengan nilai temperatur yang ada, bukan terhadap volume air yang ada.



Gambar 27. Grafik efisiensi permenit terhadap ΔT volume 1 liter



Gambar 28. Grafik efisiensi terhadap ΔT volume 2 liter



Gambar 29. Grafik efisiensi terhadap ΔT Volume 3 liter

Berdasarkan grafik yang didapatkan, baik pada volume 1, 2 ataupun 3 liter, efisiensi cenderung turun seiring dengan turunnya temperatur. Hal tersebut terlihat jelas pada ketiga grafik, selama pengujian berlangsung temperatur yang terus turun akan mempengaruhi nilai efisiensi dari pengujian tersebut.

Dari penurunan efisiensi pengujian, penurunan drastis terjadi pada pengujian 1 liter air, dimana pengujian tersebut adalah pengujian dengan volume air paling rendah. Sebaliknya ketika volume air sebanyak 3 liter, penurunan efisiensi terjadi secara bertahap. Hal tersebut menunjukkan bahwa volume air mempengaruhi besarnya nilai efisiensi dari pengujian tersebut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancang bangun sistem konversi energi termal air menjadi energi listrik menggunakan termoelektrik dapat diwujudkan, namun masih memiliki efisiensi yang rendah, yakni sekitar 1,23% - 1,57%.
2. Efisiensi sistem cenderung menurun seiring dengan turunya perbedaan temperatur (ΔT).
3. Energi listrik yang didapat dari konversi energi panas air menjadi listrik menggunakan termoelektrik jenis TEG SP1848-27145 adalah 0,676 Watthour untuk volume 1 liter, 0,888 Wathour untuk volume 2 liter, dan 1,204 Watthour untuk volume 3 liter.

5.2 Saran

1. Perlu ditemukan isolasi termal yang lebih baik sehingga bisa memberikan nilai efisiensi yang lebih tinggi.
2. Perlu dicari fluida cair yang dapat menyimpan daya termal yang lebih besar untuk penelitian selanjutnya.
3. Perlu adanya penggunaan alat ukur yang lebih sensitif sehingga dapat menghasilkan data yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Elektro Indonesia 5/1997, *Pengembangan Energi Terbarukan Sebagai Energi Aditif di Indonesia*. (Online). (<http://www.energi.lipi.go.id/utama.cgi?artikel&110108945&9>). (Tanggal diakses : 29 Juli 2016)
- Yulianto, Brian. 2017. *Memanen Energi Matahar*. Bandung: Penerbit ITB.
- Duffle John. 2006. *Solar Engineering of Thermal Processes*, Third Edition. Wiley & Sons Inc.: New York.
- Ryanuargo, dkk. "Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin". *Jurnal Rekayasa Elektrika Vol. 10, No. 4. 2013*.
- Andrean, Hanley, dkk. 2013. "Termoelektrik". *Jurnal Fisika*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Neutron, Tomy. 2016 "Termoelektrik Generator". Laporan Tugas Akhir. Padang: Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas.
- F. Keith dan A. Priyono. "Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas", ed. 3. Jakarta, Indonesia. Erlangga. 1986
- Tipler, Paul A. 2001 "Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 2". Jakarta: Erlangga.
- Cengel, Yunus A. 2003. "Heat Transfer A Practical Approach 2nd Edition". New York: McGraw – Hill.
- Andersen, Cindy Tania. 2011. "Keefektifan Styrofoam Sebagai Material Kulit Bangunan Menginsulasi Panas" di Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Palembang. ISBN: 979-587-395-4
- Halliday, D., R Sernick dan J Walker. 2001. "Fundamental Of Physics (Extended) 6th Ed". New York: John Wileys & Sons, Inc.
- Howell John R and Buckius Richard O. 1987." Fundamentals of Engineering Thermodynamics". New York: McGraw-Hill

- Ofid C, Ali. 2016. "Top Sukses Olimpiade Fisika SMP/MTs". Jakarta: Gramedia Widiasarana
- Dugan, P.R. 1972. "Biochemical Ecology of Water Pollution". Plenum Press: New York. 159 p.
- Hutchinson, G.E. 1975. "A Treatise on Limnology". John Wiley and Sons. New York. 942 p.
- Miller, G.T. 1992. "Living in the Environment". *Seventh edition*. Wadsworth Publishing Company: California. 705 p.
- Pecl, K. 1990. "The Illustrated Guide to Fishes of Lakes and Rivers". Treasure Press: London. 223 p.
- Angel, H. and Wolseley, P.(1992). "The Family of Water Naturalist". Bloomsbury Books: London.
- Hefni Effendi.2003, Telaah Kualitas Air. Yogyakarta: PT Kanisius.h. 22.

