

**STUDI PEMANFAATAN COOLANT ICE GEL BERBASIS PROPILEN
GLIKOL-AIR SEBAGAI HEAT STORAGE PADA THERMO-
ELECTRIC GENERATOR (TEG)**

**SKRIPSI
TEKNIK KIMIA**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ABDI IMANULLAH THAYEB

NIM. 145061101111031

TANDEBING PAPOSMA PANJAITAN

NIM. 155061101111023

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2021

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PEMANFAATAN *COOLANT ICE GEL* BERBASIS PROPILLEN
GLIKOL-AIR SEBAGAI *HEAT STORAGE* PADA *THERMO-
ELECTRIC GENERATOR (TEG)*

SKRIPSI

TEKNIK KIMIA

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ABDI IMANULLAH THAYEB
NIM. 145061101111031

TANDEBING PAPOSMA PANJAITAN
NIM. 155061101111023

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 17 Juni 2021

Dosen Pembimbing I

Ir. Bambang Poerwadi, MS.
NIP. 2012018308272001

Dosen Pembimbing II

Suprivono, ST., MT.
NIK. 2016079104251001

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Ir. Mulya Sholahudin, MT., Ph.D.
NIP. 196706021998021001

IDENTITAS DOSEN PENGUJI

Judul Skripsi : STUDI PEMANFAATAN *COOLANT ICE GEL*
BERBASIS PROPILEN GLIKOL-AIR SEBAGAI
HEAT STORAGE PADA *THERMO-ELECTRIC*
GENERATOR (TEG)

Nama Mahasiswa/NIM : 1. Abdi Imanullah Thayeb / 145061101111031
2. Tandebing Paposma Panjaitan / 155061101111023

Jurusan S1 : Teknik Kimia

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Ir. Bambang Poerwadi, M.S.

Dosen Penguji 2 : Aji Hendra Sarosa, S.T., M.T.

Dosen Penguji 3 : Nurul Faiqotul Himmq S.T.,M.T.

Saksi Penguji : Supriyono, S.T., M.T.

Tanggal Ujian : Jumat, 11 Juni 2021

SK Penguji : No 870/UN10.F07/KP/2021

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 17 Juni 2021

Mahasiswa,

Abdi Imanullah Thayeb
145061101111031



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 17 Juni 2021

Mahasiswa,

Tandebing Paposma Panjaitan
155061101111023



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR SIMBOL	xi
RINGKASAN	xiii
SUMMARY	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Panas.....	5
2.1.1 Definisi Panas.....	5
2.1.2 Transfer Panas.....	5
2.2 TES (<i>Thermal Energy Storage</i>).....	7
2.3 <i>Ice Gel</i> sebagai Larutan Propilen Glikol-Air.....	9
2.4 Arang Tempurung kelapa.....	11
2.5 <i>Thermoelectric Generator</i> (TEG).....	13
2.6 Penelitian Sebelumnya.....	19
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Tempat penelitian.....	23



3.2	Alat dan Bahan.....	23
3.2.1	Alat	23
3.2.2	Bahan	23
3.3	Variabel Penelitian.....	23
3.4	Rangkaian Alat Penelitian	24
3.5	Tahap Penelitian	25
3.5.1	Persiapan Larutan Propilen Glikol-Air.....	25
3.5.2	Persiapan Arang Tempurung Kelapa.....	26
3.5.3	Proses Konversi Energi Listrik.....	28
3.5.4	Uji Konversi Energi.....	29
3.5.5	Analisis Data	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Karakterisasi Bahan Baku.....	33
4.1.1	Karakterisasi Larutan Propilen Glikol-Air	33
4.1.2	Karakterisasi Arang Tempurung Kelapa	34
4.2	Proses Pembakaran dan Panas yang Dilepas Arang Tempurung Kelapa.....	34
4.3	Panas yang Disimpan oleh Media Penyimpan Panas	35
4.4	Panas yang Dikonversi oleh TEG.....	37
4.5	Efisiensi Total	40
4.6	Panas yang Hilang Selama Proses	40
4.7	Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya	43
BAB V PENUTUP.....		47
5.1	Kesimpulan.....	47
5.2	Saran	47
DAFTAR PUSTAKA		49
LAMPIRAN		53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbandingan Penyimpanan Panas Sensibel dan Laten.....	8
Tabel 2.2. Karakteristik Ice Gel.....	9
Tabel 2.3 Bahan Penyusum Ice gel.....	10
Tabel 2.4. Karakteristik PG dengan konsentrasi 100%.....	10
Tabel 2.5. Karakteristik air dengan konsentrasi 100%.....	10
Tabel 2.6. Komponen Penyusun Tempurung Kelapa.....	12
Tabel 2.7. Standar Arang Tempurung Kelapa.....	12
Tabel 2.8. Penelitian Terdahulu terkait <i>Heat Storage</i>	19
Tabel 4.1. Perbandingan Karakterisasi Larutan Propilen Glikol-Air dan H ₂ O	33
Tabel 4.2. Hasil uji karakterisasi arang tempurung kelapa.....	34
Tabel 4.3. Panas yang Dilepas Arang Tempurung Kelapa.....	34
Tabel 4.4. Data Penyimpanan Panas Larutan Propilen Glikol-Air.....	36
Tabel 4.5. Panas yang Hilang Selama Proses.....	43
Tabel 4.6. Perbandingan Efisiensi Konversi dengan Penelitian Terdahulu.....	44



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur Modul Termoelektrik.....	14
Gambar 2.2. Proses Termoelektrik Mengubah Energi Panas Menjadi Listrik.....	15
Gambar 2.3. Grafik perbedaan suhu dan sumber potensial listrik.....	17
Gambar 3.1. Rangkaian Alat Penelitian.....	24
Gambar 3.2. Skema uji titik didih.....	25
Gambar 3.3. Skema Uji Massa Jenis Larutan Propilen Glikol-Air.....	26
Gambar 3.4. Pengurangan Kadar Air Arang Tempurung Kelapa.....	27
Gambar 3.5. Uji Kadar Air Arang Tempurung Kelapa.....	27
Gambar 3.6. Prosedur Uji Konversi Energi.....	29
Gambar 4.1. Grafik Panas yang Disimpan Larutan Penyimpan Panas.....	36
Gambar 4.2. Grafik Efisiensi Simpan.....	37
Gambar 4.3. Grafik Energi Listrik yang Dihasilkan.....	39
Gambar 4.4. Grafik Efisiensi Konversi.....	39
Gambar 4.5. Grafik Efisiensi Total.....	40
Gambar 4.6. Panas yang Hilang saat Proses Penyimpanan.....	41
Gambar 4.7. Persen Panas Hilang saat Proses Penyimpanan.....	41
Gambar 4.8. Panas yang Hilang saat Proses Konversi Energi.....	42
Gambar 4.9. Persen Panas Hilang saat Konversi Energi.....	42
Gambar 4.10. Total Panas Hilang.....	40

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I	53
I. DATA PENELITIAN	53
I.I. Densitas Larutan Penyimpan Panas	53
I.II. Kadar Air Arang Tempurung Kelapa	53
I.III. Massa Arang Selama Proses	53
I.IV. Uji Konversi Panas Menjadi Listrik	54
II. Perhitungan	67
II.I. Massa Larutan Penyimpan Panas	67
II.II. Kapasitas Panas Larutan Penyimpan Panas	68
II.III. Panas Tersimpan pada Larutan Penyimpan Panas (Q_{simpan})	71
II.IV. Panas Terlepas dari Arang Tempurung Kelapa (Q_{arang})	72
II.V. Panas yang Hilang (Q_{hilang})	72
II.VI. Energi Listrik yang Dihasilkan	73
II.VII. Efisiensi Penyimpanan Panas	73
II.VIII. Efisiensi Konversi Panas	74
II.IX. Efisiensi Total	74
LAMPIRAN II	75

DAFTAR SIMBOL

A	=	Luas permukaan material
A_s	=	Luas permukaan material
C	=	Panas jenis
dT	=	Perbedaan temperatur
D_x	=	Perbedaan tebal
H	=	Koefisien transfer panas konveksi
K	=	Konduktivitas panas material
m	=	Massa
Q	=	Panas
\bar{Q}_{rad}	=	Laju transfer panas radiasi
\bar{Q}_{conv}	=	Laju Transfer panas konveksi
T	=	Temperatur
T_s	=	Temperatur permukaan material
T_∞	=	Temperatur fluida
T_s^4	=	Suhu absolut
TES	=	<i>Thermal Energy Storage</i>
TEG	=	<i>Thermo Electric Generator</i>
ΔT	=	Perubahan temperatur
ϵ	=	Emisivitas panas yang dilepaskan material
σ	=	Konstanta <i>Stefan-Boltzman</i> (5,67.108 W/m ² K ⁴)
η_{simpan}	=	efisiensi penyimpanan panas
$\eta_{konversi}$	=	efisiensi konversi panas menjadi listrik
η_{total}	=	efisiensi keseluruhan proses

RINGKASAN

Abdi Imanullah Thayeb dan Tandebing Paposma Pandjaitan, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya April 2021, *Studi Pemanfaatan Coolant Ice Gel Berbasis Propilen Glikol-Air Sebagai Heat Storage Pada Thermo Electric Generator (TEG)*, Dosen Pembimbing : Bambang Poerwadi dan Supriyono.

Energi panas yang berlebih atau tidak diinginkan pada pembangkit listrik perlu disimpan ketersediaannya dan dikonversi menjadi energi listrik sebagai sistem recovery untuk meningkatkan efisiensi. Pemanfaatan tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan *Thermal Energy Storage* (TES). Tujuan penelitian kali ini adalah untuk mempelajari kemampuan larutan propilen glikol-air (*ice gel*) sebagai *heat storage* dengan menggunakan arang tempurung kelapa sebagai sumber panas dan *Thermoelectric Generator* (TEG) sebagai konverter.

Pada penelitian ini menggunakan volume larutan propilen glikol-air yang berbeda - beda yaitu 1050 ml, 1000 ml, 950 ml, 900 ml, dan 850 ml. Setiap variabel bebas ini akan dilakukan percobaan dengan menggunakan arang tempurung kelapa sebagai variabel tetapnya, yaitu sebesar 300 gram. Pada penelitian ini, proses pembakaran arang tempurung kelapa dilakukan sampai nilai tegangan dan arusnya mendekati nol, dimana tegangan dan arus ini akan dikonversi melalui TEG - SP1848 SA 27145

Data hasil dari proses pembakaran ini digunakan untuk menghitung energi listrik, efisiensi simpan, efisiensi konversi, serta efisiensi total. Dari hasil perhitungan, larutan propilen glikol-air volume 1050 ml memiliki nilai paling tinggi yaitu energi listrik 3,615 kJ, efisiensi simpan 37,60%, efisiensi konversi 0,13 %, serta efisiensi total sebesar 4,91%. Dari hasil tersebut dapat dikatakan larutan propilen glikol – air (*ice gel*) memiliki performa yang baik sebagai *heat storage*. Selain itu larutan propilen glikol-air aman digunakan dibandingkan minyak kelapa sawit karena tidak bersifat mudah terbakar.

Kata Kunci : *heat storage*, propilen glikol-air, arang tempurung kelapa, panas, energi listrik

SUMMARY

Abdi Imanullah Thayeb dan Tandebing Paposma Pandjaitan, Chemical Engineering Departement, Faculty of Engineering, Brawijaya University April 2021, Study of Utilization of Coolant Ice Gel Based on Propylene Glycol-Water Solution as Heat Storage in Thermoelectric Generator (TEG), Advisor: Bambang Poerwadi and Supriyono

The availability of excess or unwanted heat energy in power plants needs to be stored and converted into electrical energy as a recovery system to increase efficiency. This utilization can be done using Thermal Energy Storage (TES). The aim of this research is to study the ability of propylene glycol-water (ice gel) solution as heat storage using coconut shell charcoal as a heat source and Thermoelectric Generator (TEG) as a converter.

In this study, using different volumes of propylene glycol-water solution, namely 1050 ml, 1000 ml, 950 ml, 900 ml, and 850 ml. Each independent variable will be tested using coconut shell charcoal as the fixed variable, which is 300 grams. In this research, the burning process of coconut shell charcoal was carried out until the value of the voltage and current was close to zero, where the voltage and current would be converted via TEG - SP1848 SA 27145.

Data resulting from this combustion process is used to calculate electrical energy, storage efficiency, conversion efficiency, and total efficiency. From the calculation results, the 1050 ml volume of propylene glycol-water solution has the highest value, namely electrical energy of 3.615 kJ, storage efficiency of 37.60%, conversion efficiency of 0.13%, and total efficiency of 4.91%. From these results it can be said that propylene glycol - water (ice gel) solution has a good performance as heat storage

Keywords : Heat Storage, Propylene Glycol-Water, Coconut Shell Charcoal, Heat, Electrical Energy

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik tiap tahunnya selalu meningkat dikarenakan pertumbuhan penduduk dan ekonomi yang terus meningkat tiap tahunnya (Dewan Energi Indonesia, 2018). Selain itu, berkurangnya produksi energi fosil, terutama minyak bumi, serta adanya komitmen skala global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca mendorong pemerintah membuat kebijakan yang khusus mengatur tentang energi di Indonesia berupa PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Salah satu tujuan dari kebijakan tersebut adalah untuk meningkatkan kebutuhan masyarakat terhadap energi khususnya energi listrik dan mengadakan penelitian dalam pemanfaatan sumber daya alam untuk meningkatkan peran sumber energi bersih dan terbarukan secara terus menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi (Dewan Energi Indonesia, 2019).

Untuk menindaklanjuti kebijakan tersebut, pemerintah mulai mengembangkan berbagai perencanaan. Salah satunya adalah dengan mendirikan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan. Hal ini dikarenakan pembangkit energi listrik berbasis energi terbarukan adalah salah satu bentuk dari pemanfaatan sumber energi bersih yang ada di Indonesia secara terus-menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi yang tidak berdampak negatif terhadap lingkungan, yang dinilai sesuai dengan kebijakan pemerintah diantaranya pembangkit listrik tenaga air, angin, dan panas. Beberapa sumber energi panas yang dapat digunakan berasal dari sinar matahari, panas bumi, dan benda-benda lain yang melepaskan panas.

Energi panas yang terbuang dari pembangkit listrik perlu di-*recovery* dengan cara disimpan dan dikonyersikan menjadi energi listrik agar lebih efisien. Hal tersebut dapat diaplikasikan menggunakan metode *Thermal Energy Storage* (TES). TES adalah salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk *recovery* energi. TES memiliki beberapa keunggulan dimana dapat menyimpan panas dari suatu proses, baik panas secara langsung maupun panas yang terbuang, dan dapat digunakan di lain waktu atau diubah menjadi sumber energi lain. Selain itu, TES bersifat lebih ramah lingkungan, dapat dikombinasikan dengan alat lain, dan biaya instalasi dan operasinya yang terjangkau (Zarma, 2017). TES juga memiliki beberapa

kelemahan, yaitu adanya panas yang terbuang ketika terjadi perpindahan panas dari sumber panas ke TES tergolong besar dan kemampuan menyimpan panas yang masih rendah. Kemampuan menyimpan panas TES dipengaruhi oleh jenis penyimpan panas yang memiliki kapasitas panas yang berbeda (Ataer, 2006). Material penyimpan panas yang baik adalah penyimpan yang memiliki kapasitas panas yang tinggi, konduktivitas termal yang rendah, aman, dan mudah didapatkan.

Pada TES, penyimpanan panas dibagi menjadi dua, yaitu penyimpanan panas sensibel dan dan penyimpanan panas laten. Pada jenis sensibel, penyimpanan panas dilakukan dengan memanfaatkan perubahan suhu material penyimpan panas. Material penyimpanan dapat berupa air, udara, minyak, batu bata, beton, dan lain-lain, dan setiap material memiliki keunggulan dan kelemahan tersendiri. Sistem penyimpan energi panas sensibel dapat menyimpan atau mengeluarkan energi dengan memanaskan atau mendinginkan larutan atau padatan tanpa adanya perubahan fase selama proses terjadi. Sedangkan pada laten, penyimpanan dilakukan dengan memanfaatkan perubahan fase material pada suhu tertentu.

Salah satu jenis material yang memiliki potensi untuk menyimpan energi panas adalah *ice gel*, yaitu larutan campuran propilen glikol dan air dengan komposisi 75% propilen glikol (PG) dan 25% air. Larutan propilen glikol-air (*ice gel*) tersebut memiliki kemampuan menyimpan panas yang baik dan juga mudah didapatkan. Larutan propilen glikol-air memiliki kapasitas panas 3583,9 J/kg°C (Nurkusumapradana, 2014). Sehingga, larutan propilen glikol-air dapat menjadi material yang berpeluang untuk digunakan sebagai penyimpan panas dalam teknologi TES.

Panas yang berasal dari sumber energi panas akan disimpan oleh zat penyimpan panas (*heat storage*) dan dikonversi menjadi energi listrik dengan bantuan *Thermoelectric Generator* (TEG). TEG bekerja karena terdapat panas yang berpindah dari *heat storage* ke sisi panas TEG lalu keluar melalui sisi dingin TEG. Perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin membuat elektron bergerak terdifusi sehingga dapat menghasilkan arus listrik.

Sebelumnya telah dilakukan penelitian-penelitian yang berfokus pada pengaplikasian berbagai macam jenis material sebagai heat storage kedalam TES. Salah satunya adalah larutan propilen glikol-air. Penelitian tentang pemanfaatan larutan propilen glikol-air sebagai *heat recovery* dilakukan oleh Shojaeizadeh (2013) dimana pada penelitian tersebut dilakukan penambahan larutan campuran propilen glikol dan air (*ice gel*) dalam berbagai macam konsentrasi pada plat pengumpul tenaga surya untuk meningkatkan efisiensi

pengumpulan tenaga surya. Hasil dari penelitian tersebut menyatakan konsentrasi propilen glikol 75% dan air 25% adalah konsentrasi larutan yang optimum dengan laju massa alir 0,0333 kg/s. Penggunaan larutan dengan konsentrasi tersebut menyebabkan terjadinya kenaikan efisiensi pengumpulan tenaga surya maksimum. Penggunaan konsentrasi yang lain, yaitu PG 25% dan PG 100%, menyebabkan pengurangan efisiensi pengumpulan tenaga surya sebesar 15,68% dan 8,3%.

Penelitian yang dilakukan Alfira dan Zaidar (2018) menggunakan *coolant engine*, dengan karakteristik yang hampir sama dengan *ice gel* sebagai TES, dan arang tempurung kelapa, sebagai bahan bakar, untuk mengkonversi panas menjadi listrik menggunakan TEC (*Thermoelectric Converter*) - 12706. Hasil penelitian tersebut menyatakan hasil nilai kalor yang dihasilkan sebesar 8.032,897 kJ dan efisiensi konversi energi listrik sebesar 0,041% pada larutan *heat storage* komersial 1250 gram. Penelitian tersebut juga menyatakan efisiensi konversi energi listrik yang kecil ini disebabkan oleh kurang maksimalnya kinerja TEC-12706 dalam mengkonversi panas menjadi listrik kurang maksimal dan kurang stabilnya suhu heatsink sebagai sisi dingin.

Karena itu, pada penelitian ini akan dikaji konversi energi panas menjadi listrik dengan menggunakan larutan propilen glikol-air sebagai *heat storage*, dimana sisi dingin TEG dioptimalkan dengan penggunaan Peltier TEG *Cooler* yang dialiri air dingin dan mengetahui performa dari TEG.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disusun, rumusan masalah yang dibahas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kemampuan larutan propilen glikol-air sebagai material penyimpan panas, panas tersimpan akan dikonversi menjadi listrik pada *thermo-electric generator* (TEG)
2. Bagaimana efisiensi konversi listrik yang dihasilkan dari panas yang disimpan pada larutan propilen glikol-air sebagai *heat storage* menggunakan *thermo-electric generator* (TEG).

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tempat penyimpan panas berbentuk tabung dengan diameter 19 cm dan tinggi 8,5 cm berbahan aluminium dengan tebal 0,1 cm.

1.4 Tujuan Masalah

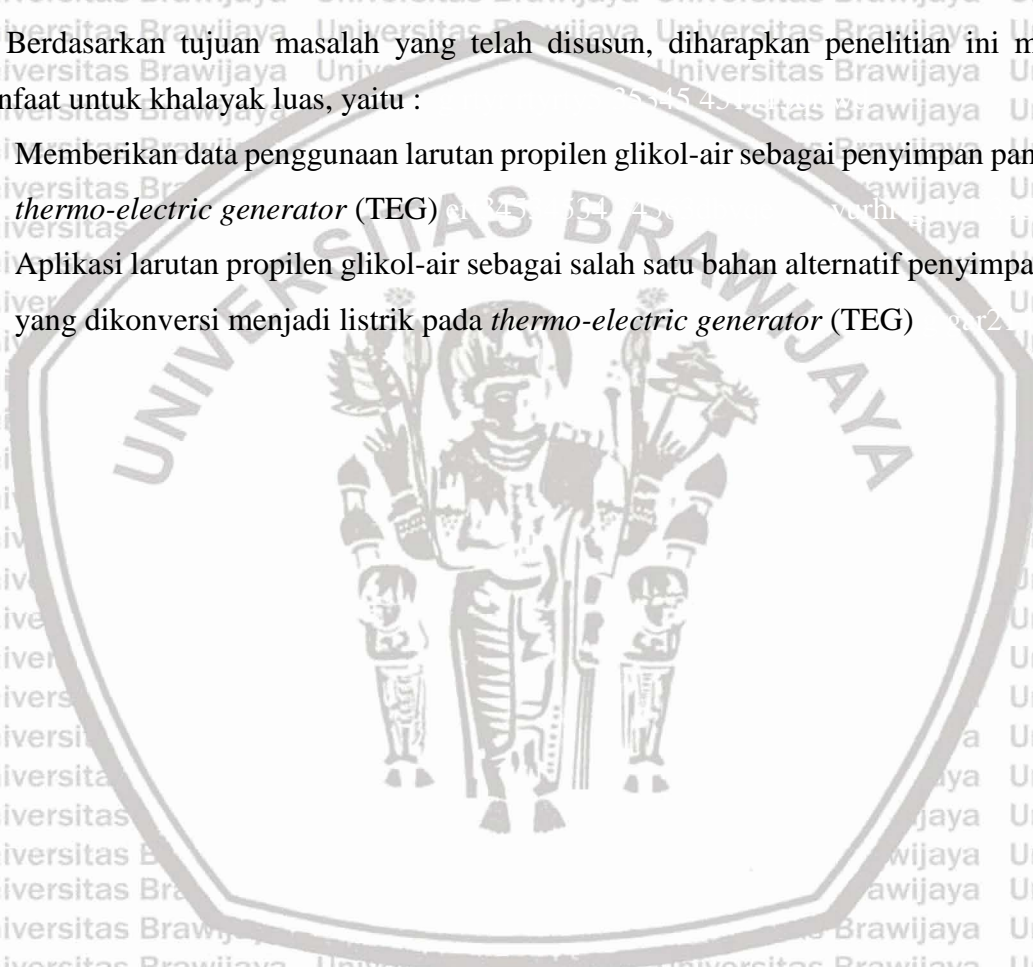
Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kemampuan larutan propilen glikol-air sebagai material penyimpan panas dan konversi panas menjadi listrik pada *thermo-electric generator* (TEG)
2. Mengetahui efisiensi konversi listrik yang dihasilkan dari panas yang disimpan pada larutan propilen glikol-air sebagai *heat storage* menggunakan *thermo-electric generator* (TEG).

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan masalah yang telah disusun, diharapkan penelitian ini memiliki manfaat untuk khalayak luas, yaitu :

1. Memberikan data penggunaan larutan propilen glikol-air sebagai penyimpan panas pada *thermo-electric generator* (TEG)
2. Aplikasi larutan propilen glikol-air sebagai salah satu bahan alternatif penyimpan panas yang dikonversi menjadi listrik pada *thermo-electric generator* (TEG)



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Panas

2.1.1 Definisi Panas

Dalam termodinamika, panas adalah sebuah bentuk energi yang berpindah karena adanya perbedaan temperatur (Rathore, 2016). Jumlah panas yang dibutuhkan suatu material dapat diketahui dengan persamaan

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta T \quad (2.1)$$

Keterangan :

Q = Panas dibutuhkan (J)

m = Massa material (kg)

C = Panas jenis (J/kg°C)

ΔT = Perubahan temperatur (°C)

2.1.2 Transfer Panas

Transfer Panas adalah penyebaran energi dari satu tempat ke tempat lain yang disebabkan karena adanya perbedaan temperatur di kedua tempat tersebut. Setiap kali ada perbedaan temperatur pada sebuah media atau di dalam media tersebut, maka transfer panas pasti terjadi. Jumlah panas yang ditransfer per satuan waktu disebut 'laju transfer panas', dan dituliskan dengan simbol ' \bar{Q} ' dan memiliki satuan J/s atau Watt. Pada kondisi tunak, laju transfer panas selalu konstan dan temperatur pada setiap lokasi tidak berubah terhadap waktu. Sebaliknya, dalam kondisi tak tunak, temperatur berubah terhadap waktu dan lokasi, sehingga laju transfer panas berbeda setiap waktunya (Rathore, 2016).

Terdapat tiga jenis transfer panas berdasarkan media transferannya, yaitu konveksi, konduksi, dan radiasi.

2.1.1.1 Konveksi

Konveksi adalah jenis transfer panas dimana energi berpindah melalui media fluida yang bergerak. Konveksi memiliki dua mekanisme, yaitu transfer energi karena pergerakan

tak beraturan molekul (difusi) dan transfer energi karena pergerakan fluida secara makroskopik (adveksi). Molekul fluida bergerak secara bersamaan dan membawa energi dari lokasi bertemperatur tinggi ke lokasi bertemperatur rendah. Semakin cepat pergerakan fluida, maka transfer panas semakin cepat (Rathore, 2016).

Konveksi adalah perpindahan panas antara sisi panas dan sisi dingin fluida melalui pencampuran. Ketika melakukan pemanasan fluida di suatu wadah, fluida yang berada di bawah, di posisi dekat dengan sumber panas, menjadi lebih panas dan densitasnya lebih rendah daripada fluida yang berada di bawah, di posisi jauh dari sumber panas. Fluida panas tersebut akan mengalir ke atas karena perbedaan densitas, dan mentransferkan panasnya ke fluida dingin saat mengalir ke atas. Perpindahan panas konveksi dapat terjadi secara alami atau secara buatan. Perpindahan panas secara alami dapat terjadi tanpa campur tangan manusia, sedangkan perpindahan panas secara buatan terjadi melalui campur tangan manusia, contohnya dengan penambahan agitator (Flynn, 2019).

Untuk mengetahui nilai laju transfer panas secara konveksi, dapat digunakan Hukum Pendinginan Newton, yang diekspresikan dengan persamaan (2.2) (Cengel, 2002) :

$$Q_{conv} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad (2.2)$$

Keterangan :

\bar{Q}_{conv} = Laju Transfer panas konveksi (W)

h = Koefisien transfer panas konveksi (W/m².°C)

A_s = Luas permukaan material (m²)

T_s = Temperatur permukaan material (°C)

T_{∞} = Temperatur fluida (°C)

2.1.1.2 Konduksi

Konduksi adalah jenis transfer panas dimana energi berpindah melalui kontak langsung antarmolekul dan perpindahan elektron. Biasanya konduksi terjadi pada media yang diam.

Konduksi juga dapat dilihat sebagai perpindahan energi dari molekul berenergi tinggi ke molekul berenergi rendah pada sebuah materi. Molekul yang berenergi rendah menyerap energi sehingga mengalami kenaikan temperatur, dan molekul yang berenergi tinggi mengalami penurunan temperatur (Rathore, 2016).

Menurut Hukum Fourier, transfer panas secara konduksi dapat diketahui melalui persamaan 2.3 dan persamaan 2.4 (Cengel, 2002).

$$\bar{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.3)$$

$$\bar{Q}_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{dx} \quad (2.4)$$

Keterangan :

\bar{Q}_{cond} = Laju transfer panas konduksi (W)

K = Konduktivitas panas material (W/mK)

A = area permukaan material (m²)

dT = T₁ - T₂ = Perbedaan temperatur (K)

dx = Tebal material (m)

2.1.1.3 Radiasi

Radiasi adalah pancaran energi dari sebuah permukaan materi karena temperaturnya. Energi yang dipancarkan dapat berupa energi elektromagnetik ataupun foton. Apapun fase sebuah materi (padat, cair, gas), pancaran energi terjadi karena ada perubahan dalam konfigurasi eletron pada sebuah molekul.

Nilai dari laju transfer panas secara radiasi diketahui dengan Hukum Stefan-Boltzmann yang dituliskan dalam persamaan 2.5 (Cengel, 2002):

$$\bar{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (2.5)$$

Keterangan :

\bar{Q}_{rad} = Laju transfer panas radiasi (W)

ε = Emisivitas panas yang dilepaskan material

A = Luas permukaan material (m²)

σ = Konstanta *Stefan-Boltzman* (5,67.108 W/m²K⁴)

T_s⁴ = Suhu absolut (K)

2.2 TES (*Thermal Energy Storage*)

TES (*Thermal Energy Storage*) adalah teknologi yang dapat menyimpan energi panas dengan cara memanaskan atau mendinginkan media penyimpanan tersebut, sehingga energi tersebut dapat diubah ke bentuk energi lain atau digunakan pada aplikasi lainnya di lain waktu (Sarbu, 2018). TES umumnya dapat ditemukan pada pembangkit listrik di industri.

Penyimpanan panas dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu penyimpanan panas sensibel dan penyimpanan panas laten. Pada jenis sensibel, penyimpanan panas dilakukan dengan memanfaatkan perubahan suhu material penyimpan panas. Material penyimpanan dapat berupa air, udara, minyak, batu bata, beton, dan lain-lain, dan setiap material memiliki keunggulan dan kelemahan tersendiri. Sedangkan pada jenis laten, penyimpanan dilakukan dengan memanfaatkan perubahan fase material. Pada jenis laten, perubahan fase yang umumnya digunakan adalah perubahan fase padat-cair dengan cara pelelehan atau pembekuan. Pada pelelehan, panas ditransfer ke material, dan dilepaskan ketika material memadat kembali. Material yang digunakan biasanya disebut sebagai *Phase Change Material* (PCM) (Luisa F, 2015). Tabel 2.1 menunjukkan perbandingan antara penyimpanan panas sensibel dan laten.

Tabel 2.1. Perbandingan Penyimpanan Panas Sensibel dan Laten (Zhang, 2017)

	Sensibel	Laten
Contoh Material	Air	Organik (parafin), anorganik (garam hidrat)
Kelebihan	Murah sederhana, mudah diatur	Densitas energi tinggi, temperatur isothermal
Kekurangan	Membutuhkan volume besar, densitas energi rendah	Mudah korosi, berpotensi menghasilkan kristal yang mengkerak
Aplikasi	Skala besar	Skala laboratorium

Untuk menentukan jumlah panas yang tersimpan di material pada penyimpanan panas sensibel, dapat digunakan persamaan 2.6. Sedangkan untuk penyimpanan panas secara laten dapat digunakan persamaan 2.7 (Luisa, 2017).

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2.6)$$

Keterangan:

Q = Panas yang tersimpan di material (J)

m = Massa material (kg)

C_p = Panas jenis material (J/kg K)

ΔT = Perubahan temperatur (K)



$$Q = m \cdot \Delta h \quad (2.7)$$

Q = Panas yang tersimpan di material (J)

m = Massa material (kg)

Δh = entalpi perubahan fase (J/kg)

2.3 Ice Gel sebagai Larutan Propilen Glikol-Air

Ice gel adalah material yang mampu menyerap panas yang memiliki bahan penyusun propilen glikol dan air. *Ice gel* berfase padat saat didinginkan dan berfase gel saat dipanaskan atau pada suhu ruang, sehingga *ice gel* dapat digolongkan PCM (*Phase Change Material*). Bahan penyusun *ice gel* umumnya adalah campuran propilen glikol dengan komposisi sekitar 20-40% dan air dengan komposisi sekitar 55-75%, dan berfase gel. Bahan-bahan tersebut bersifat *biodegradable* yang mudah terurai, ramah lingkungan, dan tidak beracun. Karakteristik *ice gel* dapat dilihat pada tabel 2.2.

Pada penelitian ini, *ice gel* digunakan dalam fase cair tanpa mengalami perubahan fase, sehingga terjadi penyimpanan panas secara sensibel.

Tabel 2.2. Karakteristik *Ice Gel* (Nurkusumaprama, 2014)

Karakteristik	Nilai
Titik beku (°C)	-7
Titik leleh (°C)	0
Titik akhir (°C)	25.25
Umur pakai	>1 tahun
Panas spesifik(J/kg°C) , 25°C	3583,9

Ice gel merupakan larutan propilen glikol-air, sehingga untuk mencari nilai kapasitas panas spesifik dari *ice gel* dapat menggunakan persamaan 2.8.

$$C_{p_{ice\ gel}} = \left(\frac{m_{pg}}{m_{ice\ gel}} \right) C_{p_{pg}} + \left(\frac{m_{water}}{m_{ice\ gel}} \right) C_{p_{water}} \quad (2.8)$$

Keterangan :

$m_{ice\ gel}$ = massa *ice gel* (kg)

m_{water} = massa air (kg)

m_{pg} = massa propilen glikol (kg)

$C_{p_{pg}}$ = kapasitas panas spesifik propilen glikol

$C_{p_{water}}$ = kapasitas panas spesifik air

Komposisi bahan penyusun *ice gel* dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Bahan Penyusum *Ice gel* (MediChill, 2016)

Bahan Penyusun	Komposisi
Propilen glikol	25%
Air	75%

Propilen glikol atau yang biasa disingkat PG (1,2-propanediol; $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{OH}$) adalah zat antibeku yang memiliki sifat fisik, yaitu: tidak berasa, tidak berbau, tidak berwarna / transparan, dan tidak beracun. PG memiliki konduktivitas termal yang baik dan banyak digunakan dalam berbagai sektor, seperti pembuatan antibeku pendingin, fluida penukar panas, pelarut, bahan dalam industri farmasi, dalam produk kecantikan, dan lain-lain. Karakter fisik PG dengan konsentrasi 100% dapat dilihat pada tabel 2.4.

Air (H_2O) adalah senyawa yang memiliki sifat fisik, yaitu: tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak beracun. Karakter fisik air dengan konsentrasi 100% dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.4. Karakteristik PG dengan konsentrasi 100% (The Dow Chemical Company, 2003)

Karakter	Nilai
Rumus kimia	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$
Titik didih, 1 atm	187,4 °C (363,9 °F)
Densitas, 25°C	1,032 g/cm ³
Panas spesifik, 25°C	2.51 J/(g °K) (0.60 Btu/lb/ °F)
Titik nyala	104°C
Konduktivitas termal, 25°C	0.2061 W/(m K) (0.1191 Btu hr ¹ ft ⁻¹ °F ⁻¹)

Tabel 2.5. Karakteristik air dengan konsentrasi 100% (Engineering ToolBox, 2003)

Karakter	Nilai
Rumus kimia	H_2O
Titik didih, 1 atm	99,98°C (211,96 °F; 373,13 K)
Densitas, 25°C	0,997 g/cm ³
Panas spesifik, 25°C	4.1814 J/(g K)
Titik nyala	
Konduktivitas termal, 25°C	0.6065 W/(m K)

Untuk menentukan nilai konduktivitas termal dapat menggunakan hukum Fourier, yang dijelaskan pada persamaan 2.9 (Luisa, 2017).

$$k = \frac{(\bar{Q}/A)}{(dT/dx)} \quad (2.9)$$

k = konduktivitas termal (W/m °C)

\bar{Q} = laju perpindahan panas (W)

A = luas permukaan perpindahan panas (m²)

dT/dx = gradien suhu (°C/m)

2.4 Arang Tempurung kelapa

Buah kelapa terdiri dari serabut kelapa, tempurung kelapa, daging kelapa, dan air kelapa. Hasil utama yang sering diambil dari buah kelapa adalah bagian daging dan air, sedangkan tempurung kelapa merupakan hasil sampingan. Tempurung kelapa terletak di bagian dalam kelapa setelah sabut, dengan ketebalan 3-5 mm. Ukuran tempurung kelapa dipengaruhi oleh usia dan perkembangan tumbuhan kelapa. Tempurung kelapa memiliki berat 15-19 % berat kelapa. (Sutrisno, 2016). Komposisi kimia utama dari tempurung kelapa adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin, sedangkan komposisi dengan jumlah yang tidak pasti (*unsure*) terdiri dari C, O, Si, K, S, dan P. Komponen kimia serta komposisinya masing-masing dijelaskan lebih detail pada tabel 2.6 (Budi, 2012).

Tempurung kelapa dapat diolah untuk dimanfaatkan sebagai arang aktif. Tempurung yang dibakar akan menjadi arang, yang kemudian dapat diproses kembali menjadi karbon aktif. Perubahan tempurung kelapa menjadi arang dilakukan melalui proses pirolisis (pemanasan) dan aktivasi. Pada proses pirolisis, unsur-unsur selain karbon seperti hidrogen (H) dan oksigen (O) akan hilang hingga menyisakan sebanyak mungkin karbon (C) dalam bahan. Proses ini juga dapat disebut proses karbonisasi. Sedangkan proses aktivasi bertujuan untuk membentuk pori-pori didalam bahan melalui perpindahan unsur-unsur karbon (C) di dalam bahan tersebut yang dapat dilakukan melalui proses secara kimia maupun fisika. Aktivasi secara kimia dilakukan menggunakan larutan kimia sebagai agen aktivasi atau dehidrasi seperti H₃PO₄, ZnCl₂, K₂CO₃, NaOH dan KOH. Sedangkan aktivasi secara fisika dilakukan dengan menggunakan uap air, CO₂ atau pun campuran keduanya. Untuk menghindari pengotoran selama proses aktivasi berlangsung biasanya proses tersebut dilakukan dalam suasana gas lembam seperti argon atau nitrogen. Suhu dan waktu proses karbonisasi dan aktivasi berpengaruh terhadap sifat-sifat arang tempurung kelapa seperti ukuran dan distribusi pori, ukuran partikel dan kandungan bahan pencampur (*moisture*).

Tabel 2.6 Komponen Penyusun Tempurung Kelapa (Budi, 2012)

	Bahan Penyusun	Komposisi
Komponen Utama	Selulosa	34%
	Hemiselulosa	21%
	Lignin	27%
Komponen <i>Unsure</i>	C	74,3%
	O	21,9%
	Si	0,2%
	K	1,4%
	S	0,5%
	P	1,7%

Perubahan tempurung kelapa menjadi arang tempurung kelapa menghasilkan kandungan karbon yang tinggi dengan sedikit kenaikan prosentasi kandungan abu. Dampak lain dari perubahan tersebut adalah hilangnya kandungan *moisture* dan berkurangnya kandungan *volatile*. Arang tempurung kelapa memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan arang bahan alami lain seperti arang batang buah jagung, gabah padi dan tempurung buah coklat (12 – 20% C), sehingga berpotensi sebagai sumber karbon aktif (Budi, 2012).

Proses produksi arang tempurung kelapa perlu dilakukan standarisasi sesuai dengan yang ditetapkan Standar Nasional Indonesia (SNI). Dalam SNI terdapat beberapa parameter yang menjadi acuan dalam pembuatan arang tempurung kelapa, seperti kadar air, kadar abu, nilai kalor, dan lain-lain. Parameter tersebut diatur dalam SNI No. 1/6235/2000 dan dapat dilihat pada tabel 2.7 (Badan Standarisasi Nasional, 2000).

Tabel 2.7 Standar Arang Tempurung Kelapa (Badan Standarisasi Nasional, 2000)

Parameter	Standar SNI
Kadar Air (%)	≤ 8
Kadar Abu (%)	≤ 8
Kadar Karbon (%)	≥ 77
Nilai Kalor (kal/g)	≥ 5000
Kadar Zat Menguap (%)	≤ 15

Menurut Hartoyo (2002), kualitas nilai kalor arang yang dihasilkan dipengaruhi oleh nilai kalor atau energi yang dimiliki oleh bahan penyusunnya. Kalor arang tempurung kelapa memiliki nilai 6.500 – 7.600 kal/g. Nilai tersebut lebih besar bila dibandingkan dengan jenis arang lain, contohnya arang tongkol jagung yang memiliki nilai kalor sebesar 3.500 – 4.500 kal/g (Marchel, 2019). Besarnya nilai kalor arang tempurung kelapa dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kadar air yang lebih sedikit, massa jenis yang tinggi, serta kerapatan yang tinggi (Marchel, 2019).

Arang yang digunakan dalam penelitian ini adalah arang tempurung kelapa yang berasal dari pedagang arang tempurung kelapa daerah Manggliawan, Kecamatan Pakis, Kabupaten Malang.

2.5 Thermoelectric Generator (TEG)

Thermoelectric generator (TEG) merupakan sebuah alat yang dapat digunakan sebagai pembangkit tegangan listrik dengan memanfaatkan konduktivitas atau daya hantar panas dari sebuah lempeng logam jenis semikonduktor n dan p untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik.

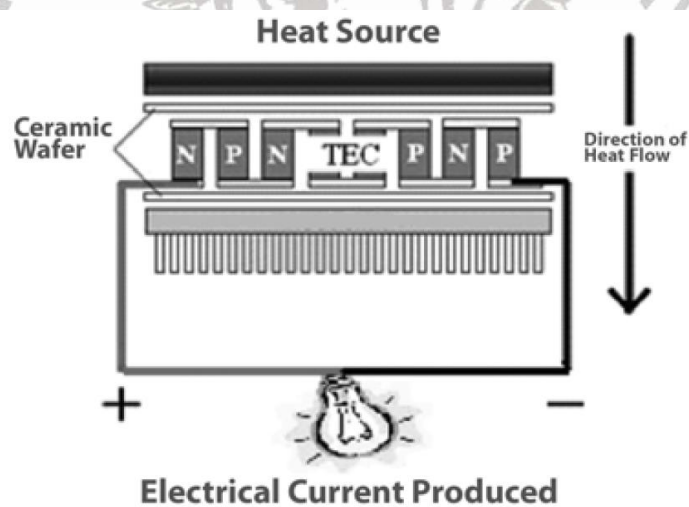
Prinsip kerja TEG adalah pemanfaatan pengaruh timbal balik antara proses perpindahan panas dan listrik pada konduktor listrik diantara kondisi padat atau cair. TEG dapat bekerja karena adanya perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin sehingga dapat menghasilkan arus listrik. Contohnya, pada rangkaian terbuka yang terdiri dari bahan tidak menghantarkan listrik dari dua penghubung, potensial listrik *thermoelectric* dapat diukur ketika penghubung memiliki perbedaan suhu. Keadaan ini disebut dengan *Seebeck effect* (Elders, 2015). Adanya *Seebeck effect*, energi listrik dihasilkan ketika terdapat perbedaan suhu yang dipertahankan pada plat (Atkins dan Escudier, 2013). Sedangkan *Peltier effect* merupakan kebalikan dari *Seebeck effect* (Elders, 2015). Dengan adanya *Peltier effect*, TEG dapat berfungsi sebagai *thermoelectric* panas atau *thermoelectric* dingin (*thermoelectric refrigerator*) dengan melewati arus listrik tertentu (Atkins dan Escudier, 2013).

Secara umum, modul termoelektrik baik TEG maupun TEC keduanya memiliki prinsip dan cara kerja yang sama, akan tetapi yang menjadi perbedaan diantara dua modul tersebut adalah range suhu pengaplikasiannya. Modul TEG memiliki pengaplikasian pada suhu diatas 200°C sedangkan modul TEC dirancang untuk pengaplikasian pada suhu ruang dengan batas maksimum 138°C. Hal ini dikarenakan plat keramik, soldering, dan dimensi logam semi-

konduktor pada masing-masing modul dirancang untuk kebutuhan yang berbeda-beda (Nesarajah, 2016).

Plat keramik untuk modul TEG memiliki *stress* yang tinggi dibandingkan dengan modul TEC sehingga lebih mudah untuk menghadapi keadaan suhu tinggi. Selain itu, dimensi logam semi-konduktor dan soldering pada modul TEG juga mendukung untuk pengaplikasian pada suhu tinggi. Dimensi logam semi-konduktor pada modul TEG membuat aliran panas yang masuk jadi lebih banyak sehingga output dayanya juga lebih besar. Soldering pada modul TEG dirancang untuk dapat bertahan pada suhu diatas 200°C (Nesarajah, 2016).

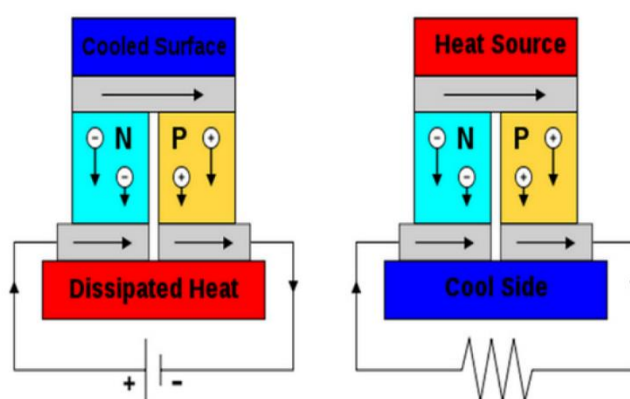
Teknologi termoelektrik memiliki beberapa kelebihan, yaitu lebih ramah lingkungan, tahan lama dan bisa digunakan dalam skala yang besar. Termoelektrik umumnya menggunakan bahan yang bersifat semikonduktor atau dengan kata lain menggunakan *solid-state technology* (Ryuanargo, 2013). Struktur dari termoelektrik dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Struktur Modul Termoelektrik (Putra, 2009)

Gambar 2.1 menunjukkan struktur modul termoelektrik yang terdiri dari suatu susunan material semi-konduktor tipe n (material dengan kelebihan elektron) dan tipe-p (material dengan kekurangan elektron) yang membentuk termokopel yang memiliki bentuk seperti *sandwich* antar dua *wafer* keramik tipis. Panas masuk pada satu sisi dan dibuang dari sisi yang lainnya, menghasilkan suatu tegangan yang melewati sambungan termoelektrik. Besarnya tegangan yang dihasilkan sebanding dengan gradien temperatur (Putra, 2009).

Jika dua buah kutub pada batang logam dipanaskan dan didinginkan, maka elektron pada sisi panas logam akan bergerak aktif dan memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi dingin logam. Elektron dari sisi panas akan mengalami difusi dengan kecepatan yang lebih tinggi ke sisi dingin dan menyebabkan timbulnya medan listrik pada logam atau material tersebut. Elemen termoelektrik terdiri dari logam semikonduktor tipe-*P* dan tipe-*N* yang dihubungkan dalam sebuah rangkaian tertutup yang terdapat pada beban. Perbedaan suhu yang ada pada setiap *junction* dan setiap logam semikonduktor menyebabkan perpindahan elektron dari sisi panas menuju sisi dingin (Ryanuargo, 2013). Proses ini diilustrasikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses Termoelektrik Mengubah Energi Panas Menjadi Listrik (Ryanuargo, 2013)

Adanya perbedaan suhu pada kedua titik *junction* mengakibatkan adanya beda potensial di antara kedua titik tersebut, yang dapat ditentukan dengan persamaan 2.10, dimana S_{AB} adalah efisiensi modul termoelektrik dengan $T_1 < T_2$ (Wirawan, 2012).

$$\Delta V = \int_{T_1}^{T_2} S_{AB} dT \quad (2.10)$$

Beberapa material atau bahan dari generator termoelektrik yang sudah diproduksi umumnya adalah *silicon germanium*, *lead telluride* dan *bismuth telluride*. Ketiga bahan ini diklasifikasikan menurut suhu kerjanya. Bahan silikon germanium memiliki suhu kerja yang paling tinggi diantara bahan generator termoelektrik lainnya. Material ini bisa menyerap panas dalam suhu 750°C sampai dengan 1000°C . Bahan ini dapat menyerap beda potensial yang paling tinggi dari material termoelektrik yang lainnya. Adapun material *lead telluride*

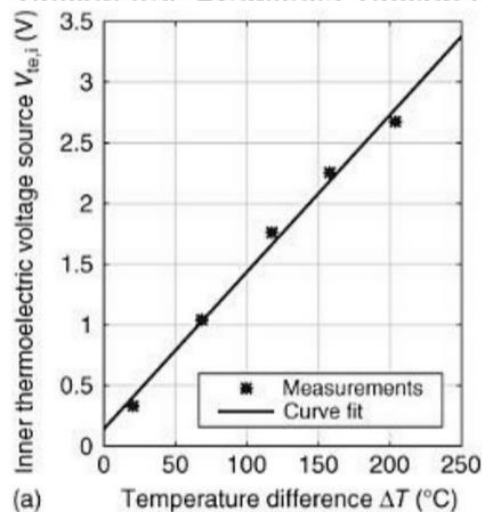
merupakan material generator termoelektrik yang bekerja pada suhu menengah. Pada material ini suhu kerja rentang antara 400° C sampai dengan 650°C (Ryanguro, 2013).

Bahan generator termoelektrik yang umumnya digunakan adalah material jenis *bismuth telluride*. Material ini bekerja pada suhu rendah dengan rentang suhu kerja hingga 350°C. Material ini umumnya dipakai untuk elemen pendingin pada aplikasi pendingin, atau kombinasi pendingin dan pemanasan dengan adanya perbedaan suhu yang mengakibatkan timbulnya energi listrik (Wirawan, 2012).

Potensi pembangkitan daya dari modul termoelektrik tunggal berbeda – beda bergantung pada ukuran, konstruksi, dan perbedaan temperturnya. Semakin besar perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin modul, maka tegangan dan arus yang dihasilkan semakin besar. Modul – modul termoelektrik dapat juga disambungkan bersama, baik secara seri ataupun paralel, seperti baterai, untuk menghasilkan tegangan atau arus listrik. Setiap modul mampu menghasilkan tegangan rata-rata 1-2V, hingga 5V DC tergantung pada variasi delta temperturnya. Namun, satu modul termoelektrik umumnya menghasilkan 1,5-2V DC (Putra, 2009).

Saat ini aplikasi TEG telah banyak diterapkan di berbagai bidang. Sebuah perusahaan Amerika (Hi-Z Technology, Inc.) telah berhasil mengembangkan delapan modul peltier (model HZ-14) yang digunakan pada generator glikol dan dapat menghasilkan daya sebesar 60 watt dengan temperatur ambien 15 - 30°C dan temperatur operasi berkisar 175 - 200°C. Perkembangan teknologi termoelektrik dari Hi-Z mengalami kemajuan yang pesat karena saat ini teknologi Hi-Z mampu mencapai nilai ZT (*figure of merit*) 3,2. Namun, teknologi ini masih dalam skala kecil (Putra, 2009)

Tegangan pada rangkaian terbuka modul termoelektrik diketahui sebanding dengan gradien suhu antara plat dingin dan plat panas pada modul. Ketika dihubungkan pada sebuah beban, potensial listrik yang dihasilkan terbatas dengan adanya hambatan pada alat tersebut. Hambatan tersebut tergantung pada suhu rata – rata diantara plat, tetapi dapat konstan pada keadaan tertentu. Gambar 2.3 menunjukkan grafik hubungan antara potensial listrik pada *thermoelectric* dan perbedaan suhu.



Gambar 2.3 Grafik perbedaan suhu dan sumber potensial listrik (Pineda & Alireza, 2014)

Gambar 2.3 menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan (V) yang dihasilkan oleh modul termoelektrik, maka semakin tinggi beda temperatur antara sisi panas dan sisi dingin modul (Pineda & Alireza, 2014). Arus listrik (I) ditimbulkan oleh adanya gaya tarik menarik antara dua muatan positif dan negatif seperti yang dijelaskan pada efek Seebeck. Gaya tarik-menarik antarmuatan tersebut menghasilkan medan listrik dan, pada kondisi tertentu, akan menyebabkan elektron bergerak terdifusi. Gerakan elektron tersebut dapat disebut sebagai arus listrik. Besarnya arus listrik ditentukan oleh banyaknya elektron yang bergerak, sehingga semakin besar perbedaan gradien suhu pada modul termoelektrik, maka arus yang dihasilkan pun semakin besar (Zuhail dan Zhanggishan, 2004). Daya yang dihasilkan oleh modul termoelektrik juga dipengaruhi oleh perbedaan temperatur (ΔT) yang didapatkan. Nilai daya yang dihasilkan dapat berubah – ubah karena panas buang bersifat fluktuatif. Semakin besar perbedaan temperatur, maka semakin besar nilai daya output (P) modul termoelektrik hingga titik maksimum efisiensi modul (Rafika, 2016).

Besarnya tegangan dan arus juga mempengaruhi besar daya yang dapat dihasilkan. Jika tegangan atau arus mengalami peningkatan, maka daya yang dihasilkan juga mengalami peningkatan. Fenomena tersebut dapat dituliskan dengan persamaan 2.11.

$$P = I \cdot V \quad (2.11)$$

P = daya (watt)

V = tegangan yang dihasilkan (V)

I = arus yang dihasilkan (A)

Selain itu, susunan dan jumlah modul termoelektrik mempunyai peran penting untuk menghasilkan tegangan atau kuat arus tertentu. Untuk menghasilkan tegangan yang tinggi, modul harus dirangkai secara seri. Sedangkan untuk mendapatkan kuat arus yang tinggi, modul harus dirangkai secara paralel. Termoelektrik yang disusun seri menghasilkan daya yang lebih besar dibanding termoelektrik yang disusun paralel (Putra, 2009). Semakin banyak jumlah modul termoelektrik, maka tegangan, daya, dan efisiensi semakin tinggi (Suryanto, 2017)



2.6 Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai penyimpanan energi panas yang dikonversi menjadi energi listrik telah banyak dilakukan sebelumnya, adapun judul, variabel, serta hasil penelitian-penelitian telah dirangkum dalam Tabel 2.8 sebagai berikut.

Tabel 2.8 – Penelitian Terdahulu terkait *Heat Storage*

Nama Peneliti/Judul	Variabel	Hasil Penelitian
Susilowati & Dian Nita Citra Dewi (2014) “Sistem Kombinasi Garam Nitrat Sebagai Penyimpan Panas Pada Proses Konversi Energi Matahari.”	<ul style="list-style-type: none"> • PCM <i>eutectic</i> kombinasi garam nitrat sebagai material penyimpan panas • Menggunakan modul termoelektrik TEC 12706 untuk konversi energi 	<ul style="list-style-type: none"> • Didapatkan garam kombinasi komposisi 4% berat NaNO_3 + 96% berat $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ • Mampu mencapai suhu pemanasan 120°C • Nilai % panas terkonversi sebesar 0,56%
Edy, Dhanang Pratama Vivi, Anita Aprilila, Poerwadi, Bambang, Puspitasari, Diah Agustina, Supriyono (2017) “Pemanfaatan Garam Berbasis CaCl_2 sebagai Heat Storage untuk Sumber Energi Thermal pada Termoelektrik Konverter”	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan garam $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ optimum dari hasil uji laboratorium sebagai material penyimpan panas laten • Sumber panas berasal dari sinar matahari 	<ul style="list-style-type: none"> • Massa garam CaCl_2 optimal sebesar 60% dari volume wadah • Menghasilkan listrik sebesar 0,3 Watt pada uji di lapangan
Zulfahmi, Achyarnis & Selfiana, Reskiananda (2016) “Studi Penyimpanan Panas (Etilen Glikol – Air) untuk Konversi Listrik.”	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan larutan etilen glikol dan <i>deionized water</i> sebagai material penyimpan panas 	<ul style="list-style-type: none"> • Komposisi etilen glikol – air yang optimal sebagai penyimpan panas yaitu sebesar 90% v/v yang dapat menyimpan panas sebesar 1.026.486 J

		<ul style="list-style-type: none"> • Sumber panas yang digunakan berasal dari kompor listrik 	<ul style="list-style-type: none"> • Daya yang dihasilkan sebesar 11,59 watt.
Ramadhan, Ahmad Taufan & Alrasyid Fauzi (2017)	<i>“Studi Heat Storage Etilen Glikol – Air dari Kompor Biomassa untuk Konversi menjadi Energi Listrik”.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan larutan etilen glikol – air sebagai media penyimpan panas • Sumber panas berasal dari pembakaran arang tempurung kelapa pada kompor biomassa 	<ul style="list-style-type: none"> • Kapasitas penyimpan panas yang paling besar dengan penggunaan massa arang tempurung kelapa sebanyak 300 gram (1.383.756,175 Joule).
Asaidah, Alfira & Zaidar Wahida Zia (2018)	<i>“Variasi Massa Arang Tempurung Kelapa sebagai Sumber Panas dan Larutan Penyimpan Panas Komersial untuk Konversi Energi Listrik”</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan coolant sebagai media penyimpan panas • Sumber panas berasal dari pembakaran arang tempurung kelapa pada kompor biomassa • Menggunakan modul termoelektrik TEC 12706 untuk konversi energi panas menjadi listrik 	<ul style="list-style-type: none"> • Massa arang tempurung kelapa yang optimum sebesar 400 gram • Massa larutan <i>heat storage</i> optimum sebanyak 1250 gram • Panas yang dihasilkan sebesar 10.747,550 kJ
Suhairi, M. Roby & Yunri Melda Benmetan (2018)	<i>"Pemanfaatan Minyak Kelapa Sawit Sebagai Heat Storage Pada Thermoelectric Generator Dengan Circulating Bath"</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan minyak kelapa sawit sebagai media penyimpan panas • Sumber panas berasal dari pembakaran arang tempurung kelapa pada kompor biomassa 	<ul style="list-style-type: none"> • Menghasilkan konversi panas menjadi listrik sebesar 8,578 kJ • Massa optimum pada <i>heat storage</i> sebesar 1500 gram • Efisiensi konversi yang didapatkan sebesar 0,1265 %.

	<ul style="list-style-type: none"> • Menambahkan radiator sebagai sisi dingin dengan penambahan aliran air dingin dari <i>circulating bath</i> untuk menjaga kestabilan suhu sisi dingin 	
<p>Shojaeizadeh, E. (2013) <i>“An experimental investigation on the efficiency of a Flat-plate solar collector with binary working fluid: A case study of propylene glycol (PG)-water.”</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan larutan propilen-glikol air sebagai media penyimpan panas • Sumber panas berasal dari sinar matahari 	<ul style="list-style-type: none"> • Didapatkan konsentrasi larutan propilen glikol dan air yang optimal pada 20-75% • Efisiensi pengumpulan tenaga surya meningkat hingga 75% -100%.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat penelitian

Penelitian dilaksanakan pada di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

3.2.1.1 Alat Utama

- a. Kompor Biomassa
- b. Peltier TEG *Cooler*
- c. Termoelektrik Generator (TEG)
- d. Wadah penampung media penyimpanan panas
- e. Termometer inframerah
- f. *Chiller*

3.2.1.2 Alat Pendukung

- a. Neraca analitik
- b. Multimeter
- c. *Beaker glass*
- d. Piknometer
- e. *Bomb calorimeter*
- f. *Moisture balance*

3.2.2 Bahan

- a. Larutan propilen glikol-air (*ice gel*)
- b. Arang tempurung kelapa

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Variabel Bebas

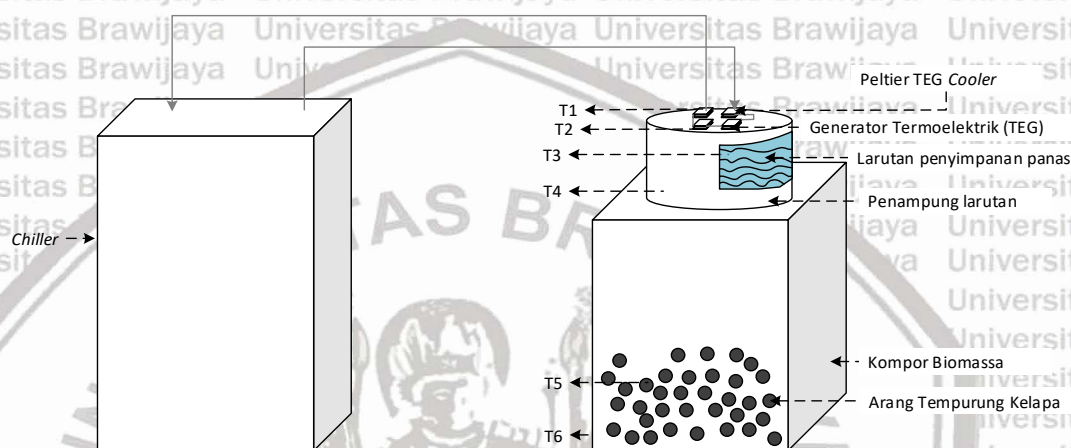
Variabel larutan propilen glikol-air : 850, 900, 950, 1000, dan 1050 mL.

- Variabel Tetap

1. Komposisi larutan propilen glikol-air sebagai penyimpan panas : 75% air + 25 % propilen glikol
2. Variabel massa arang tempurung kelapa 300 gram

3.4 Rangkaian Alat Penelitian

Rangkaian alat yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Rangkaian Alat Penelitian

Keterangan :

- T₁ = Suhu sisi dingin Generator Termoelektrik (TEG)
- T₂ = Suhu sisi panas Generator Termoelektrik (TEG)
- T₃ = Suhu larutan propilen glikol-air
- T₄ = Suhu bagian luar Penampung media penyimpanan panas
- T₅ = Suhu pembakaran arang
- T₆ = Suhu bagian luar kompor biomassa

Fungsi :

1. Peltier TEG Cooler : sebagai penjaga suhu pada sisi dingin TEG tetap konstan, digunakan sebanyak 4 buah yang disusun secara seri
2. Generator Termoelektrik : sebagai pengonversi energi panas menjadi listrik
3. Penampung media penyimpanan panas : sebagai wadah penampung larutan propilen glikol-air

4. Kompor biomassa : sebagai tempat pembakaran arang untuk mendapatkan sumber energi panas yang akan dikonversi menjadi listrik

5. *Chiller* : sebagai tempat penampung sumber air dingin untuk Peltier TEG *Cooler*

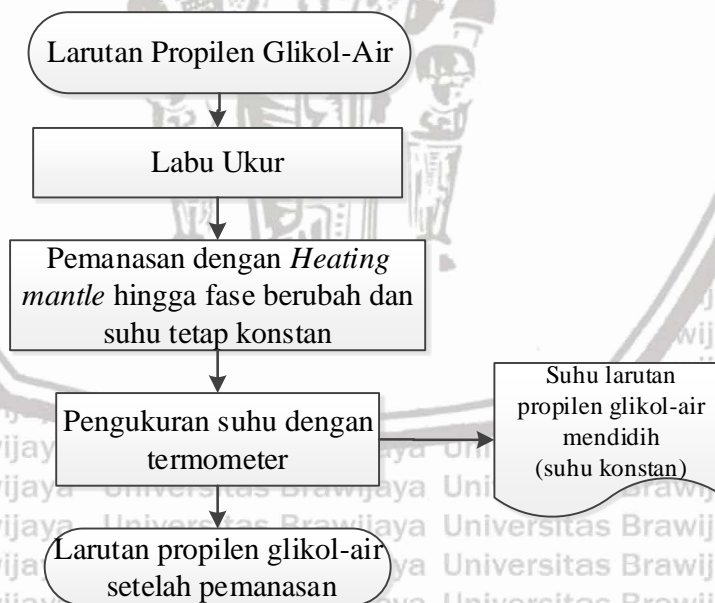
3.5 Tahap Penelitian

3.5.1 Persiapan Larutan Propilen Glikol-Air

Persiapan larutan propilen glikol-air dilakukan untuk mengetahui karakteristik larutan propilen glikol-air pada saat dilakukan penelitian. Persiapan larutan propilen glikol-air meliputi uji titik didih dan uji densitas.

1) Uji titik didih

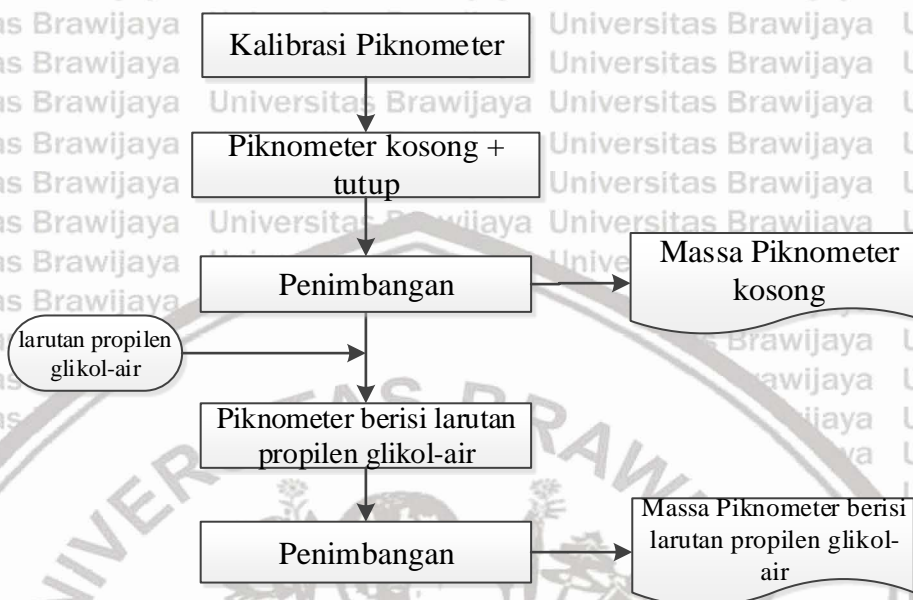
Uji titik didih bertujuan untuk mengetahui perbandingan titik didih dari hasil uji dengan titik didih pada MSDS. Uji titik didih dilakukan dengan cara memasukkan larutan propilen glikol-air kedalam labu ukur lalu dipanaskan dengan menggunakan *heating mantle* hingga mendidih, sampai menguap. Ketika larutan propilen glikol-air sudah mulai mendidih, termometer dimasukkan ke dalam labu ukur lalu ditunggu hingga larutan propilen glikol-air mengalami perubahan fase menjadi uap dan suhunya tetap konstan. Prosedur uji titik didih dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema uji titik didih

2) Uji Densitas

Uji densitas bertujuan untuk mengetahui massa jenis larutan propilen glikol-air. Uji massa jenis dilakukan dengan menggunakan piknometer. Prosedur uji massa jenis dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Skema Uji Massa Jenis Larutan Propilen Glikol-Air

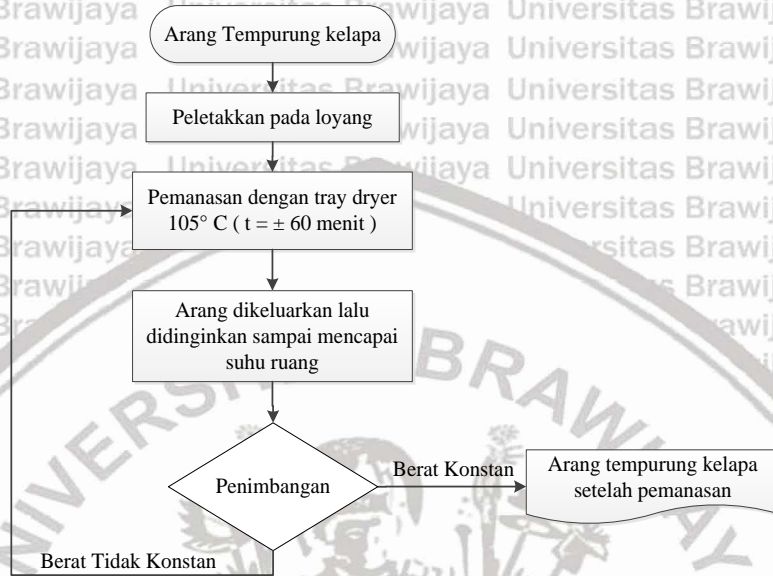
Sebelum memulai uji massa jenis, piknometer dikalibrasikan dengan menggunakan *aquades* untuk mengecek ketelitiannya. Setelah dikalibrasi dan dibersihkan, piknometer kosong beserta tutupnya ditimbang untuk mengetahui massa piknometer kosong. Selanjutnya larutan propilen glikol-air dimasukkan kedalam piknometer lalu ditutup dan dibersihkan jika ada larutan yang meluap keluar, kemudian ditimbang massanya untuk mendapatkan nilai massa piknometer berisi larutan propilen glikol-air. Massa setelah diisi larutan propilen glikol-air dikurangi dengan massa piknometer kosong didapatkan massa larutan propilen glikol-air, kemudian dibagi dengan volume piknometer yang digunakan untuk mendapatkan nilai densitas larutan propilen glikol-air.

3.5.2 Persiapan Arang Tempurung Kelapa

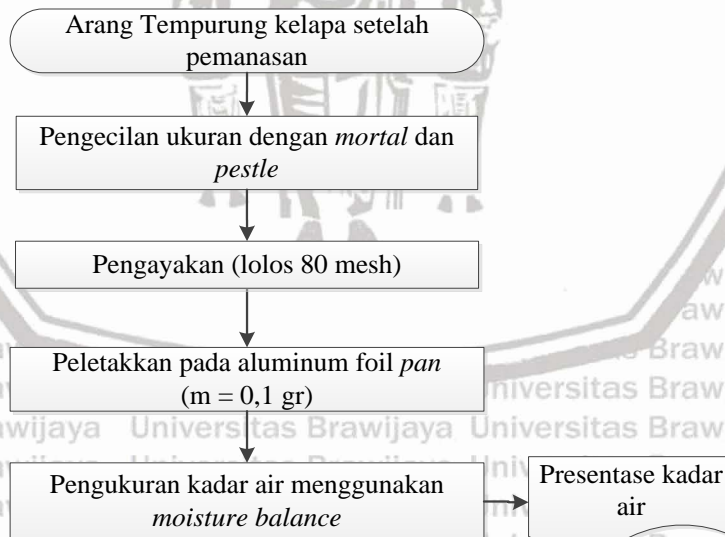
Persiapan arang tempurung kelapa meliputi uji nilai kalor dan uji kadar air. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan data-data dari arang tempurung kelapa dan membandingkannya dengan standar yang sudah ditetapkan.

• Uji Kadar Air

Uji kadar air pada arang tempurung kelapa dilakukan dengan penggunaan *tray dryer* untuk menghilangkan kadar air, kemudian dilakukan penggunaan moisture balance (Tipe : kern dengan ketelitian $\pm 0,001$) untuk mengukur kadar air. Prosedur uji kadar air pada arang tempurung kelapa ditunjukkan pada gambar 3.4 dan 3.5.



Gambar 3.4 Pengurangan Kadar Air Arang Tempurung Kelapa



Gambar 3.5 Uji Kadar Air Arang Tempurung Kelapa

Kadar air arang ditentukan dengan beberapa tahapan, yaitu: penimbangan arang menggunakan neraca analitik 300 g dalam cawan aluminium, peletakang aran ke loyang untuk dikeringkan didalam *tray dryer* pada suhu 105°C selama ± 60 menit, dan pendinginan.

dengan cara didiamkan sampai suhunya mencapai suhu ruang. Tahapan tersebut diulang hingga didapatkan nilai berat arang yang konstan. Setelah itu, arang dikecilkan ukurannya dengan menggunakan *mortal* dan *pestle*, kemudian diayak hingga lolos 80 mesh. Arang yang lolos 80 mesh diukur kadar airnya dengan menggunakan *moisture balance*.

3.5.3 Proses Konversi Energi Listrik

Rangkaian alat untuk konversi listrik dari kompor biomassa dan titik pengukuran suhu ditampilkan pada gambar 3.1. Pada proses pemanasan dilakukan pengukuran beberapa suhu, yaitu suhu sisi dingin TEG (T1) yang diukur pada peltier TEG *cooler*, suhu sisi panas TEG (T2) suhu larutan propilen glikol-air (T3), suhu wadah penyimpanan (T4), suhu pembakaran arang (T5), dan suhu kompor biomassa (T6). Selain itu, dilakukan pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan (V dan I). Pengukuran suhu T1, T2, T3, T4, T5, T6 dilakukan dengan cara menempatkan termometer pada titik – titik pengukuran suhu yang ada pada gambar 3.1. Pengukuran T1 dan T2 bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara energi listrik yang dihasilkan dengan perbedaan suhu. Pengukuran T3 dan T4 bertujuan untuk mengetahui kehilangan panas dari larutan *heat storage*. Pengukuran T5 dan T6 bertujuan untuk mengetahui kehilangan panas dari proses pembakaran arang. Pengukuran V dan I dilakukan dengan menggunakan multimeter yang terhubung ke TEG untuk mengetahui energi listrik yang dihasilkan.

Pemanasan larutan propilen glikol-air memanfaatkan panas yang dihasilkan dari kompor biomassa. Bahan bakar yang digunakan pada kompor biomassa adalah arang tempurung kelapa. Arang tempurung kelapa yang digunakan sebesar 300 gram. Larutan propilen glikol-air diletakkan pada wadah penyimpanan *heat storage* dengan variabel 850, 900, 950, 1000, dan 1050 mL. 1050 mL merupakan kapasitas maksimum larutan *heat storage* yang dapat ditampung wadah. Wadah penyimpanan *heat storage* selain sebagai wadah larutan juga menjadi tempat transfer perpindahan panas secara konduksi dari kompor biomassa hingga ke larutan propilen glikol-air. larutan propilen glikol-air digunakan untuk menyimpan panas yang dihasilkan dari pembakaran arang tempurung kelapa. TEG yang tersusun seri diletakkan di bawah peltier TEG *cooler* dan di atas wadah penyimpanan *heat storage* untuk mengkonversi energi panas yang disimpan oleh larutan propilen glikol-air menjadi energi listrik.

Sisi dingin TEG, peltier TEG *cooler*, dialirkan air dingin agar suhu pada peltier TEG *cooler* dapat terjaga dan mendapatkan perbedaan suhu yang lebih besar. Peltier TEG *cooler*

menggunakan aliran air dari *Chiller*. Penambahan aliran air dingin bertujuan untuk menstabilkan suhu dingin pada peltier TEG *cooler* agar suhu bisa terus naik hingga mencapai suhu maksimum.

Proses konversi energi akan berlangsung hingga potensial dan arus listrik yang dihasilkan mendekati nol. Nilai potensial dan arus listrik akan mendekati nol saat tidak ada lagi perbedaan suhu pada kedua sisi TEG, sehingga tidak ada lagi energi kalor yang dikonversi menjadi energi listrik. Setelah proses konversi energi selesai, penimbangan sisa arang tempurung kelapa dilakukan untuk mengetahui berapa jumlah arang yang terbakar selama proses berlangsung. Arang tempurung kelapa yang tersisa bersama dengan abu berada di bagian bawah kompor biomassa. Massa arang tempurung kelapa yang terbakar akan digunakan sebagai perhitungan untuk mencari nilai kalor yang dilepaskan oleh arang tempurung kelapa selama proses konversi listrik.

3.5.4 Uji Konversi Energi

Prosedur uji konversi energi dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Prosedur Uji Konversi Energi

*Catatan: digunakan volume larutan propilen glikol-air 850, 900, 950, 1000, dan 1050 mL sebagai heat storage pada percobaan kedua, ketiga, keempat, dan kelima.

3.5.5 Analisis Data

Analisis data yang diperlukan untuk mengolah hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. Waktu pemanasan larutan propilen glikol-air (t)
2. Perubahan suhu pada masing-masing titik pengukuran ((T_1) , (T_2) , (T_3) , (T_4) , (T_5) , dan (T_6) ,
3. Kuat arus (i) dan tegangan (V)
4. Massa akhir arang (m_{sisia})

Proses pemanasan menghasilkan data efisiensi (η_{simpan}) simpan panas dari kompor ke larutan propilen glikol-air, dan dapat dituliskan dengan persamaan 3.1:

$$\eta_{\text{simpan}} = \frac{Q_{\text{simpan}}}{Q_{\text{arang}}} \quad (3.1)$$

Keterangan :

η_{simpan} = efisiensi proses penyimpanan (%)

Q_{simpan} = kalor tersimpan pada larutan propilen glikol-air (kJ)

Q_{arang} = kalor yang dihasilkan arang (kJ)

Q_{simpan} didapatkan dari persamaan 3.2:

$$Q_{\text{simpan}} = m_{\text{lar}} \cdot \int_{T_0}^{T_1} C_{p_{\text{lar}}} \cdot dT \quad (3.2)$$

Keterangan :

m_{lar} = massa larutan propilen glikol-air (kg)

T_1 = suhu akhir larutan propilen glikol-air ($^{\circ}\text{C}$)

T_0 = suhu awal larutan propilen glikol-air ($^{\circ}\text{C}$)

$C_{p_{\text{lar}}}$ = Kapasitas panas larutan propilen glikol-air

Nilai $C_{p_{\text{lar}}}$ diketahui dengan persamaan 3.3

$$C_{p_{\text{lar}}} = \left(\frac{m_{\text{pg}}}{m_{\text{lar}}} \right) C_{p_{\text{pg}}} + \left(\frac{m_{\text{water}}}{m_{\text{lar}}} \right) C_{p_{\text{water}}} \quad (3.3)$$

Keterangan :

m_{lar} = massa larutan propilen glikol-air (kg)

m_{water} = massa air (kg)

m_{pg} = massa propilen glikol (kg)

Q_{arang} diapatkan dari persamaan 3.4:

$$Q_{arang} = (m_{awal} - m_{akhir}) \cdot HHv \quad (3.4)$$

Keterangan:

m_{awal} = massa arang tempurung kelapa sebelum proses konversi energi (kg)

m_{akhir} = massa arang tempurung kelapa setelah proses konversi energi (kg)

HHv = Nilai kalor arang tempurung kelapa (kJ/kg)

Nilai efisiensi konversi panas yang diterima oleh larutan propilen glikol-air menjadi energi listrik didapatkan dari persamaan 3.6.

$$P_{konversi} = V \cdot I \quad (3.5)$$

$$W_{konversi} = P \cdot t \quad (3.6)$$

Keterangan:

$P_{konversi}$ = daya yang dihasilkan (watt/s)

V = tegangan yang dihasilkan (V)

I = arus yang dihasilkan (A)

t = waktu proses (s)

$W_{konversi}$ = energi yang dihasilkan (J)

Efisiensi konversi listrik $\eta_{konversi}$ didapatkan berdasarkan persamaan 3.7:

$$\eta_{konversi} = \frac{W_{konversi}}{Q_{simpan}} \quad (3.7)$$

Sehingga didapatkan nilai η_{total} dengan persamaan 3.8:

$$\eta_{total} = \eta_{simpan} \cdot \eta_{konversi} \quad (3.8)$$



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Bahan Baku

Karakterisasi bahan baku dilakukan pada larutan propilen glikol-air dan arang tempurung kelapa. Karakterisasi yang dilakukan pada larutan propilen glikol-air berupa uji massa jenis dan uji titik didih, sedangkan pada karakterisasi arang tempurung kelapa dilakukan uji kadar air.

4.1.1 Karakterisasi Larutan Propilen Glikol-Air

Karakterisasi larutan propilen glikol-air berupa titik didih dan massa jenis ditunjukkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 – Perbandingan Karakterisasi Larutan Propilen Glikol-Air dan H₂O

Karakterisasi	Laruan Propilen Glikol-Air	H ₂ O
Titik Didih	101,5 °C (Rerata pengujian 3 kali, standar deviasi 0,1)	99,98°C (Engineering ToolBox, 2003)
Massa Jenis	967,3 kg/m ³ (28°C) (Rerata pengujian 3 kali, standar deviasi 11,58)	996,24 kg/m ³ (28°C) (Geankoplis, 1993)
Titik Beku	-7 °C (Nurkusumaprama, 2014)	0 °C (Geankoplis, 1993)
Viskositas	0,00646 kg/m.s (28°C) (J. Chem. Eng. Data, 2004)	0,00836 kg/m.s (Geankoplis, 1993)
Panas Spesifik	3,5839 J/(g K) (Nurkusumaprama, 2014)	4,1814 J/(g K) (Engineering ToolBox, 2003)

Pada tabel 4.1, hanya titik didih dan massa jenis larutan propilen glikol-air yang diujikan. Pengukuran massa jenis larutan propilen glikol-air dilakukan pada tempat tertutup dan suhu ruang karena suhu keadaan sekitar dapat mempengaruhi nilai densitas pada larutan propilen glikol-air. Pengukuran titik didih larutan propilen glikol-air dilakukan dengan cara

mengamati titik didih konstan pada masing-masing variabel. Penambahan tiga karakteristik lainnya yang tidak diuji adalah untuk memperjelas bahwa *heat storage* yang digunakan adalah larutan propilen glikol-air, karena adanya karakteristik dari larutan propilen glikol-air yang hampir menyerupai karakteristik air.

4.1.2 Karakterisasi Arang Tempurung Kelapa

Karakterisasi arang tempurung kelapa dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 – Hasil uji karakterisasi arang tempurung kelapa

Karakterisasi	SNI 01-6235-2000	Rerata Hasil Uji \pm Standar Deviasi
Kadar Air	$\leq 8 \%$	5,3003% \pm 0,04
HHv	>20920 kJ/kg	28233,91 kJ/kg \pm 846,81

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa kadar air arang tempurung kelapa yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi SNI arang tempurung kelapa. Arang tempurung kelapa yang memenuhi SNI lebih mudah untuk terbakar secara spontan sehingga tidak memerlukan banyak energi dan waktu untuk melepaskan panas.

4.2 Proses Pembakaran dan Panas yang Dilepas Arang Tempurung Kelapa

Nilai panas yang dilepaskan oleh arang tempurung kelapa selama proses pembakaran dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 - Panas yang Dilepas Arang Tempurung Kelapa

Variabel Larutan Propilen Glikol-Air (mL)	Massa Arang Sisa (gram)	Panas yang Dilepaskan Arang (kJ)	Rerata panas (kJ) \pm Standar Deviasi
1050	30,201	7617,48	7363,02 \pm 9,79
1000	30,153	7618,84	
950	30,768	7601,47	
900	30,076	7621,01	
850	30,775	7601,27	

Bahan bakar yang digunakan sebagai sumber panas dalam penelitian ini adalah arang tempurung kelapa yang didapatkan dari pedagang arang tempurung kelapa daerah Jl. Manggliawan Turen, Kecamatan Pakis, Kabupaten Malang. Massa arang tempurung kelapa yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 300 gram untuk setiap variabel penelitian.

Suhu pembakaran arang tempurung kelapa diukur setiap 5 menit mulai dari awal hingga pembakaran selesai. Nilai panas yang dilepaskan oleh arang tempurung kelapa dihitung dengan persamaan 3.4, dimana pada persamaan tersebut massa awal arang sebelum pembakaran dikurangi dengan massa sisa arang setelah pembakaran. Selisih massa ini kemudian dikalikan dengan HHV (*higher heating value*).

Setelah dilakukan percobaan pada masing-masing variabel, data massa sisa arang setelah pembakaran yang didapatkan kemudian digunakan untuk menghitung nilai panas yang dilepas arang tempurung kelapa dengan menggunakan persamaan 3.4

$$Q_{arang} = (m_{awal} - m_{akhir}) \cdot HHV \quad (3.4)$$

Keterangan :

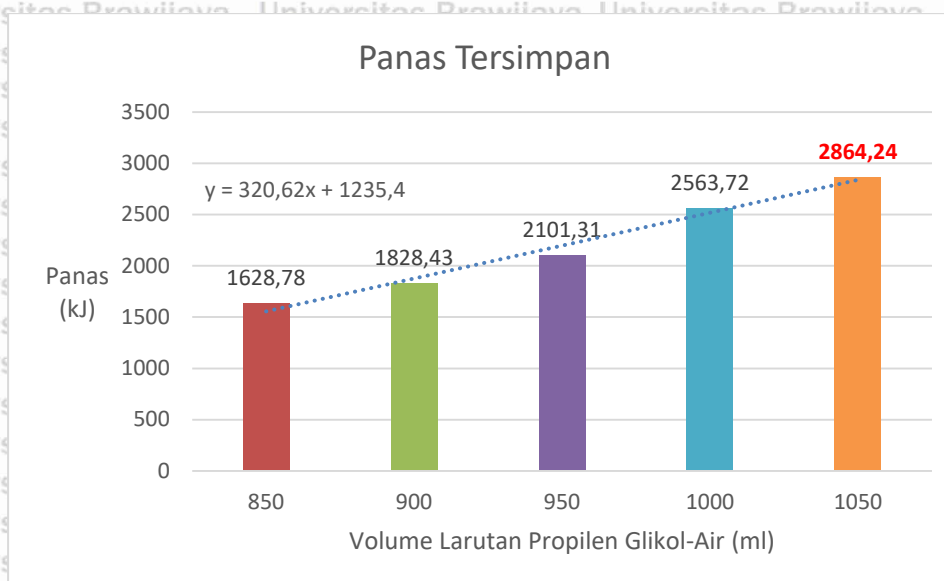
m_{awal} = massa arang tempurung kelapa sebelum proses konversi energi (kg)

m_{akhir} = massa arang tempurung kelapa setelah proses konversi energi (kg)

HHV = Nilai kalor arang tempurung kelapa (kJ/kg)

4.3 Panas yang Disimpan oleh Media Penyimpan Panas

Panas yang dihasilkan dari pembakaran arang tempurung kelapa selama proses berlangsung berpindah ke media penyimpan panas yang terdapat di dalam wadah penampung *heat storage*. Jenis perpindahan panas yang terjadi pada proses ini adalah perpindahan panas secara radiasi dan konduksi. Perpindahan panas secara radiasi terjadi akibat adanya pancaran panas yang dihasilkan oleh pembakaran arang tempurung kelapa ke bagian bawah wadah penampung *heat storage*, sedangkan perpindahan panas secara konduksi terjadi akibat adanya kontak antara kompor biomassa dan bagian bawah wadah penampung *heat storage*. Panas yang diterima oleh bagian bawah wadah penampung *heat storag* ditransfer ke larutan propilen glikol-air dengan proses perpindahan secara konduksi dan konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui kontak antara dinding wadah penampung *heat storage* dengan media penyimpan panas, sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya pergerakan antar molekul - molekul media penyimpan panas. Akumulasi panas yang diterima dan disimpan oleh larutan propilen glikol-air kemudian dihitung, lalu dibandingkan untuk masing-masing variabelnya sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 – Grafik Panas yang Disimpan Larutan Penyimpan Panas

Tabel 4.4 – Data Penyimpanan Panas Larutan Propilen Glikol-Air

Larutan Propilen Glikol-Air (mL)	Panas yang Tersimpan per Volume Larutan (kJ/mL)	Panas yang Tersimpan per Menit (kJ/min)
850	1,92	3,88
900	2,03	4,35
950	2,21	5,00
1000	2,56	6,10
1050	2,73	6,82

Gambar 4.1 dan tabel 4.4 menunjukkan banyak panas yang diterima oleh larutan propilen glikol-air pada masing-masing variabel. Terlihat bahwa semakin besar volume larutan maka semakin besar energi yang dapat disimpan per satuan volumenya sehingga total energi panas yang disimpan juga semakin besar. Terlihat bahwa pada variabel larutan propilen glikol-air 1050 mL memiliki panas akumulasi tertinggi. Hal ini dikarenakan panas yang dilepas berbanding lurus dengan massa larutan propilen glikol-air ($Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$).

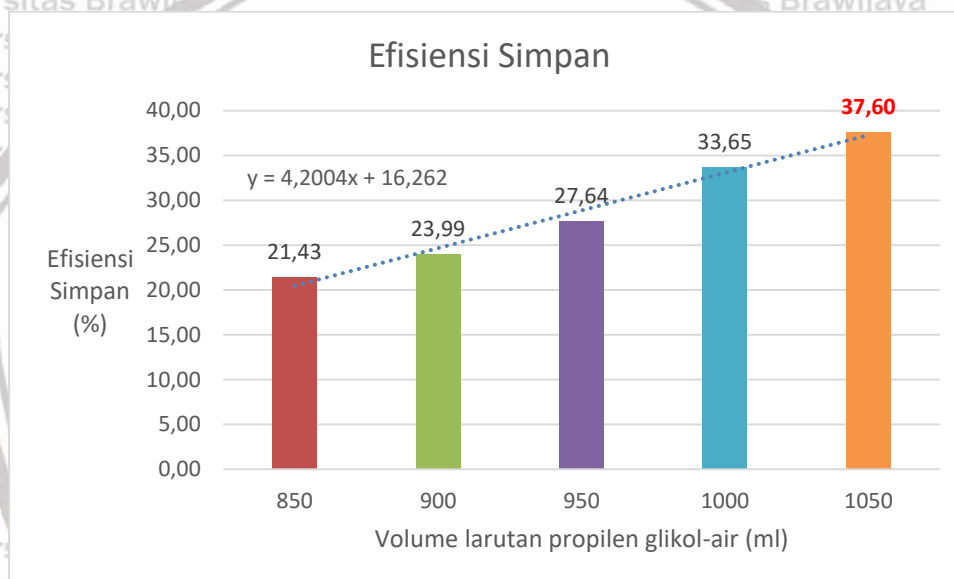
Larutan propilen glikol-air yang digunakan pada penelitian ini merupakan *sensible heat storage*, sehingga tidak terjadi perubahan fase dengan adanya kenaikan suhu (Kern, 1965). Tidak terjadinya perubahan fase pada larutan propilen glikol-air pun dikarenakan suhu larutan propilen glikol-air pada penelitian ini masih berada dibawah suhu titik didih larutan propilen glikol-air, dimana larutan propilen glikol-air yang digunakan berdasarkan uji titik didih diketahui memiliki titik didih sekitar $\pm 101,5^\circ\text{C}$.



Jumlah panas yang disimpan oleh larutan propilen glikol-air tidak sama dengan panas yang dilepaskan dari proses pembakaran arang. Hal tersebut dikarenakan adanya panas yang terbuang ke lingkungan selama perpindahan panas dikarenakan sistem tidak dapat mengisolasi panas dengan sempurna. Oleh karena itu, untuk mengetahui besar panas yang masih dapat disimpan oleh larutan propilen glikol-air nilai, efisiensi simpan harus diperhitungkan. Efisiensi simpan adalah perbandingan antara panas yang tersimpan dalam media penyimpanan panas dengan dengan panas yang terlepas dari proses pembakaran arang tempurung kelapa. Efisiensi simpan dapat ditentukan nilainya dengan persamaan 3.1.

$$\eta_{\text{simpan}} = \frac{Q_{\text{simpan}}}{Q_{\text{arang}}} \quad (3.1)$$

Hasil dan perbandingan dari efisiensi simpan setiap variabel dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 – Grafik Efisiensi Simpan

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa efisiensi simpan larutan propilen glikol-air memiliki nilai berkisar 21,43% - 37,60% dimana efisiensi simpan terbesar berada pada larutan propilen glikol-air 1050 mL. Hal ini disebabkan karena penambahan media penyimpanan panas berbanding lurus dengan kenaikan efisiensi simpan yang dimiliki.

4.4 Panas yang Dikonversi oleh TEG

Perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin pada TEG menimbulkan proses konversi energi panas menjadi energi listrik. Semakin tinggi perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin TEG, maka energi listrik yang dihasilkan akan lebih besar (Puspita,2017). Energi listrik yang dihasilkan pada proses ini terindikasi dengan munculnya voltase dan arus terukur pada multimeter setiap 5 menit. Pengukuran dilakukan hingga arus

atau voltase mendekati nol yang mengindikasikan bahwa sudah tidak ada lagi panas yang dikonversi menjadi listrik.

Nilai voltase dan arus yang dihasilkan setiap 5 menit mulai dari awal sampai voltase dan arus mendekati nol digunakan untuk menentukan seberapa banyak panas yang dikonversikan oleh TEG menjadi energi listrik. Perhitungan energi listrik hasil konversi dihitung dengan menggunakan persamaan 3.5 dan 3.6

$$P_{konversi} = V \cdot I \quad (3.5)$$

$$W_{konversi} = P \cdot t \quad (3.6)$$

Keterangan :

$P_{konversi}$ = daya yang dihasilkan (watt)

V = tegangan yang dihasilkan (V)

I = arus yang dihasilkan (A)

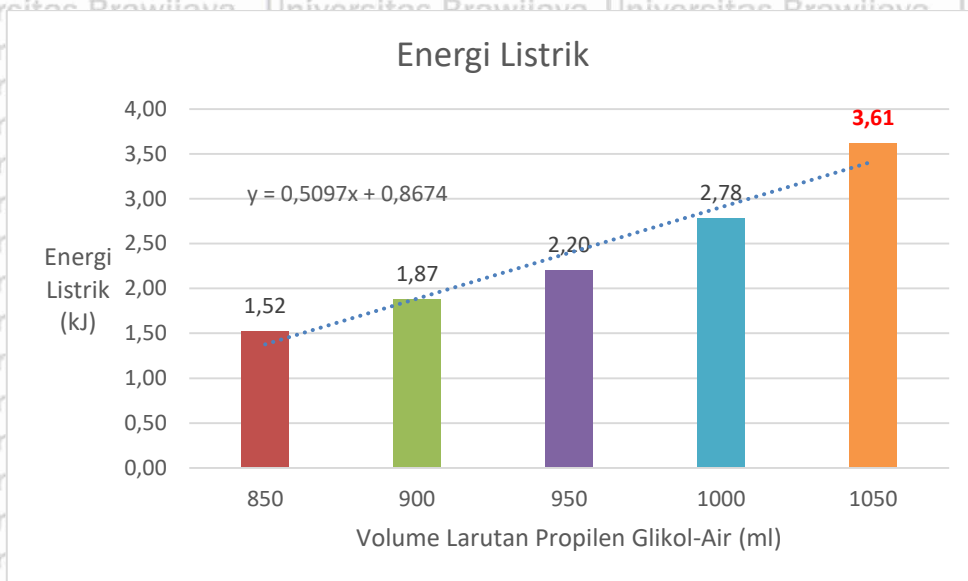
t = waktu proses (s)

$W_{konversi}$ = energi yang dihasilkan (J)

Hasil dari perhitungan energi listrik yang dihasilkan menggunakan persamaan 3.5 dan 3.6 digunakan untuk menghitung energi listrik yang dihasilkan oleh masing-masing variabel dari awal sampai akhir percobaan. Energi listrik dapat dilihat di gambar 4.3.

Energi listrik yang didapatkan pada penelitian ini berasal dari 4 keping *Thermoelectric Generator* (TEG), dimana terdapat perbedaan suhu dari sisi dingin dan sisi panas TEG yang dikonversi menjadi tegangan dan arus listrik. Sisi dingin TEG diletakan TEG *Cooler* sebanyak 4 (empat) buah dimana jumlah tersebut sesuai dengan jumlah TEG yang digunakan dalam percobaan kali ini. TEG *Cooler* berguna untuk mempertahankan suhu pada sisi dingin TEG dengan cara dihubungkan dengan *chiller* melalui selang lalu dialiri dengan *aquadest* yang berasal dari *chiller* dengan suhu pada *chiller* diatur pada suhu 25°C. Sisi panas TEG dikontakan secara langsung ke tutup dari wadah penyimpanan *heat storage*.

Berdasarkan gambar 4.3, diketahui larutan propilen glikol-air 1050 mL menghasilkan energi listrik 3,61 kJ, tertinggi diantara variabel lainnya. Hal tersebut dikarenakan semakin besar jumlah panas yang disimpan larutan propilen glikol-air, maka jumlah panas yang dikonversi TEG semakin besar. Larutan propilen glikol-air 1050 mL memiliki jumlah massa terbesar dibandingkan dengan variabel lainnya sehingga bisa menyimpan panas lebih banyak untuk dapat dikonversi menjadi energi listrik.

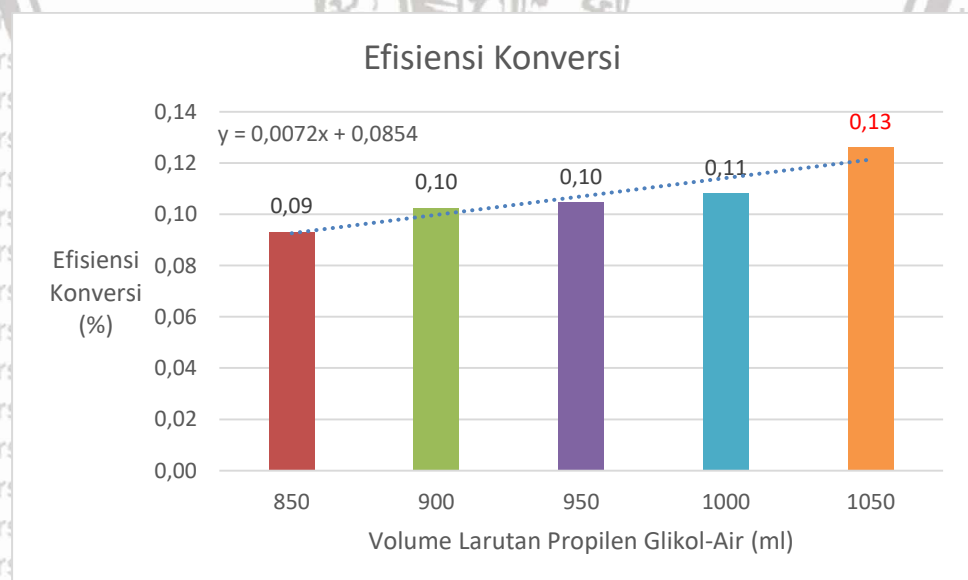


Gambar 4.3 – Grafik Energi Listrik yang Dihasilkan

Untuk mengetahui variabel mana yang lebih optimal dalam menghasilkan energi listrik dapat ditentukan dengan menghitung nilai efisiensi konversi. Efisiensi konversi adalah perbandingan antara energi listrik yang dihasilkan TEG dengan panas yang disimpan oleh media penyimpan panas. Efisiensi konversi dapat dilihat pada persamaan 3.7.

$$\eta_{konversi} = \frac{W_{konversi}}{Q_{simpan}} \quad (3.7)$$

Hasil dan perbandingan efisiensi konversi ditampilkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 – Grafik Efisiensi Konversi

Dari gambar 4.4 terlihat bahwa efisiensi terbesar ada pada larutan propilen glikol-air 1050 mL. Hal ini disebabkan karena perbedaan suhu antara sisi dingin dengan sisi panas



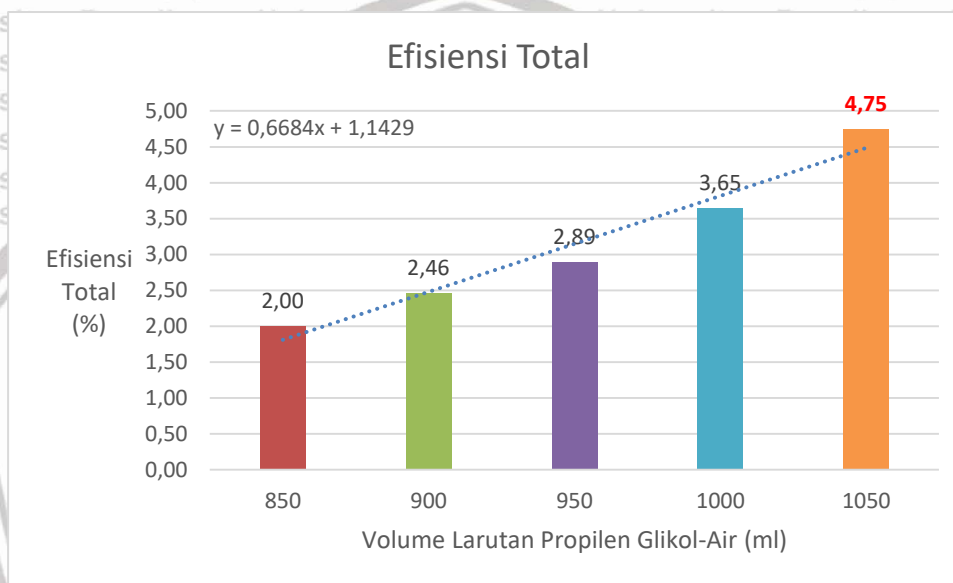
TEG, dimana semakin besar perbedaan suhunya, maka semakin besar tegangan dan arus yang dihasilkan, sehingga listrik yang dihasilkan semakin besar.

4.5 Efisiensi Total

Efisiensi total adalah efisiensi keseluruhan dari proses penyimpanan panas hingga proses konversi panas menjadi listrik. Efisiensi total dapat diketahui dengan metode perkalian efisiensi simpan dan efisiensi konversi, dan dapat dilihat pada persamaan 3.8.

$$\eta_{total} = \eta_{simpan} \cdot \eta_{konversi} \quad (3.8)$$

Hasil dan perbandingan efisiensi total dapat dilihat pada gambar 4.5.

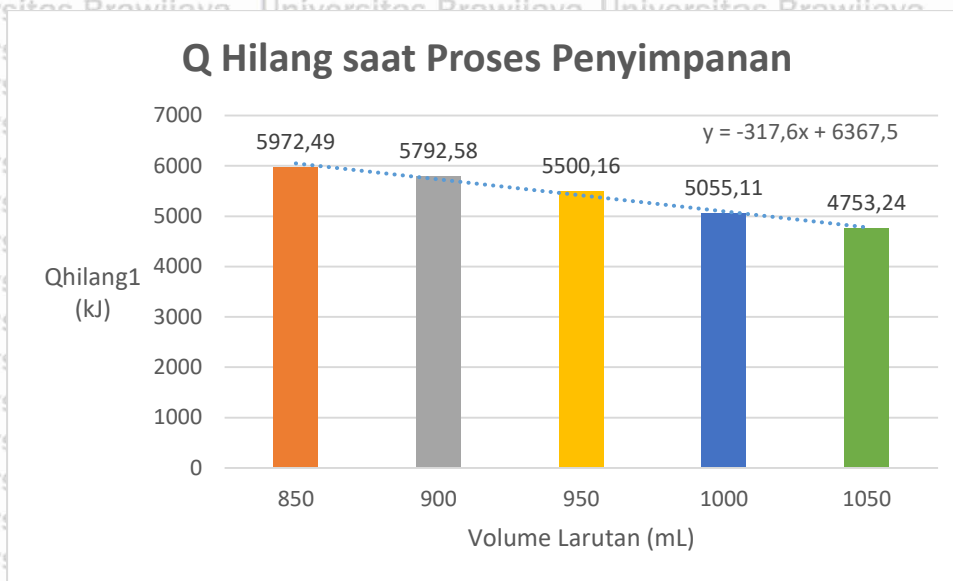


Gambar 4.5 – Grafik Efisiensi Total

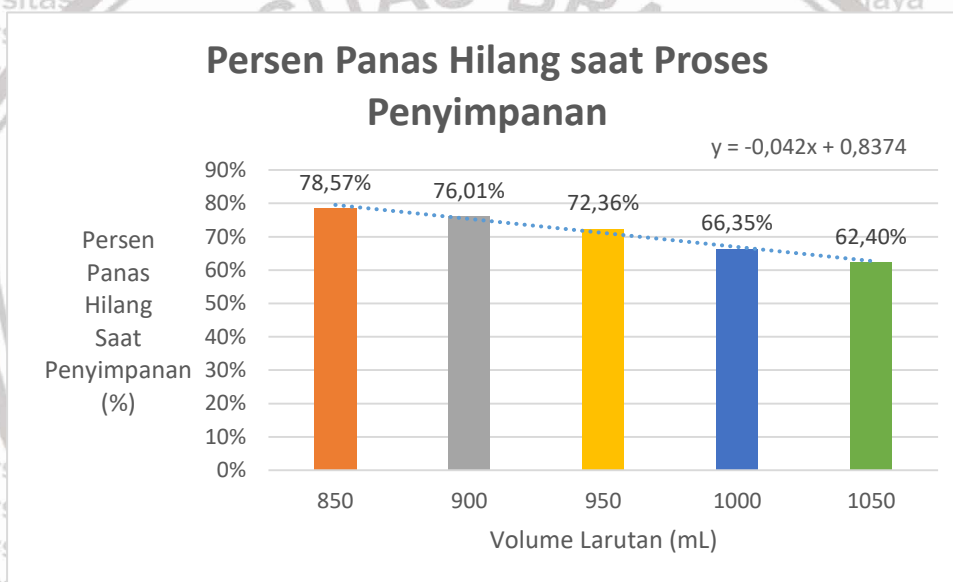
Dari gambar 4.5 terlihat bahwa larutan propilen glikol-air 1050 mL memiliki efisiensi total tertinggi. Hal ini dipengaruhi oleh besaran nilai efisiensi simpan dan efisiensi konversi. Sehingga pada larutan propilen glikol-air 1050 mL, yang memiliki nilai efisiensi simpan dan efisiensi konversi tertinggi, memiliki nilai efisiensi total tertinggi juga.

4.6 Panas yang Hilang Selama Proses

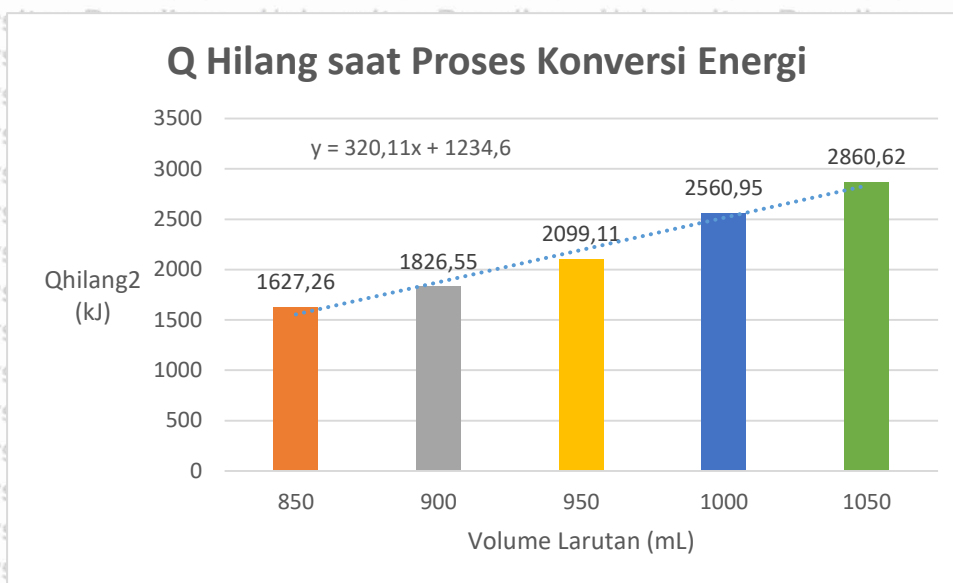
Gambar 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, dan tabel 4.5 menunjukkan nilai panas yang hilang selama proses berlangsung.



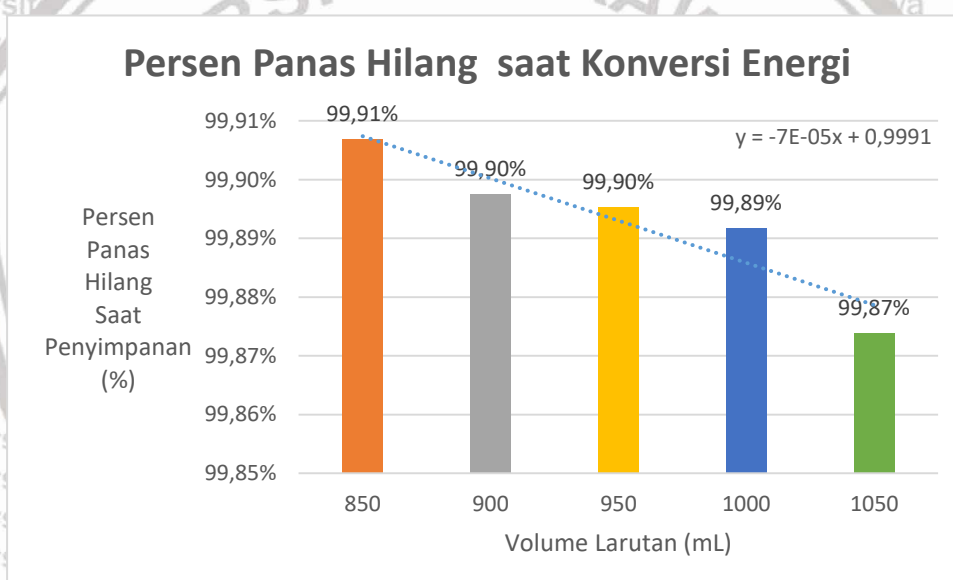
Gambar 4.6 – Panas yang Hilang saat Proses Penyimpanan



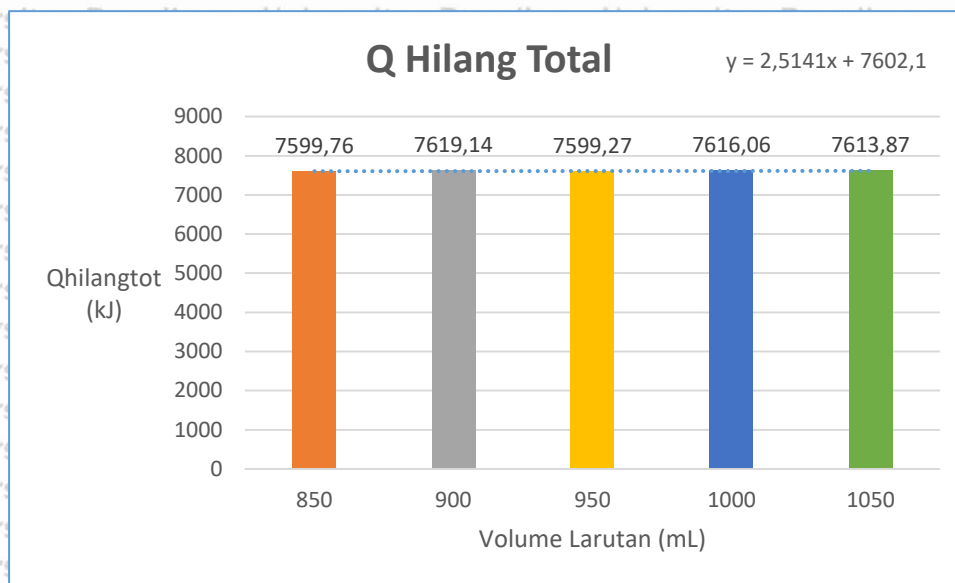
Gambar 4.7 – Persen Panas Hilang saat Proses Penyimpanan



Gambar 4.8 – Panas yang Hilang saat Proses Konversi Energi



Gambar 4.9 – Persen Panas Hilang saat Konversi Energi



Gambar 4.10 – Total Panas Hilang

Tabel 4.5 – Panas yang Hilang Selama Proses

Variabel Larutan Propilen Glikol-Air (mL)	Q Hilang Saat Penyimpanan (kJ)	Q Hilang Saat Konversi Energi (kJ)	Persen Q Hilang Saat Penyimpanan	Persen Q Hilang Saat Konversi Energi	Total Q Hilang (kJ)
850	5972,49	1627,26	78,57%	99,9068%	7599,76
900	5792,58	1826,55	76,01%	99,8975%	7619,14
950	5500,16	2099,11	72,36%	99,8954%	7599,27
1000	5055,11	2560,95	66,35%	99,8917%	7616,06
1050	4753,24	2860,62	62,40%	99,8738%	7613,87

Gambar 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, dan tabel 4.5 menjelaskan bahwa ada panas yang hilang selama proses keseluruhan. Fenomena hilangnya panas ke lingkungan menunjukkan bahwa panas yang dilepaskan arang tempurung kelapa tidak dapat disimpan seluruhnya dan tidak dapat dikonversi seluruhnya. Namun, kehilangan panas dapat dikurangi dengan cara penambahan isolator.

4.7 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Nilai efisiensi konversi yang diperoleh pada penelitian ini dibandingkan dengan penelitian terdahulu untuk mengetahui efektivitas penggunaan larutan propilen glikol-air

pada penelitian. Perbandingan efisiensi konversi penelitian ini dan penelitian sebelumnya ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 dapat menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai efisiensi konversi pada berbagai penelitian. Penelitian Pratiyatama dan Kuncoroningrat (2019) memiliki nilai efisiensi paling tinggi, yaitu 0,25 %. Hal ini disebabkan karena penambahan parafin cair pada minyak kelapa sawit untuk menurunkan nilai konduktivitas termal dan meningkatkan nilai kapasitas panas sehingga panas yang tersimpan dan konversi energi listrik semakin besar. Ini dilakukan untuk mengatasi kekurangan dari *heat storage* yang digunakan pada penelitian sebelumnya yaitu Suhairi dan Benmetan (2018).

Tabel 4.6 – Perbandingan Efisiensi Konversi dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian	Heat Storage	Konverter	Efisiensi Konversi (%)
Thayeb & Panjaitan (2020)	Larutan Propilen Glikol-Air	TEG	0,13
Pratiyatama & Kuncoroningrat (2019)	Campuran Minyak Kelapa Sawit & Parafin	TEG	0,25
Suhairi & Benmetan (2018)	Minyak Kelapa Sawit	TEG	0,12
Alfira & Zaidar (2018)	Coolant Engine	TEC	0,04
Taufan & Fauzi (2017)	Campuran Etilen Glikol dan Air	TEC	0,05

Keterangan : Sumber panas yang digunakan berupa arang tempurung kelapa

Penelitian Suhairi dan Benmetan (2018) menggunakan minyak kelapa sawit sebagai *heat storage* memiliki nilai efisiensi konversi sebesar 0,12 %. Nilai efisiensi konversinya mendekati dengan efisiensi konversi pada penelitian ini. Hal tersebut disebabkan oleh dua faktor yaitu *heat storage* dan sistem yang digunakan untuk mengkonversi energi listrik. Minyak kelapa sawit sendiri memiliki kapasitas panas yang lebih tinggi dari larutan propilen glikol-air, tetapi konduktivitas termalnya jauh lebih besar sehingga panas tidak akan tersimpan lebih lama dan lebih mudah terbuang ke lingkungan. Selain itu, minyak kelapa sawit memiliki sifat mudah terbakar sehingga memiliki resiko dalam segi keamanan. Larutan propilen glikol-air disisi lain memiliki kapasitas panas lebih rendah dibandingkan dengan

minyak kelapa sawit, akan tetapi konduktivitas termal yang lebih kecil membuat panas dapat tersimpan lebih lama dan tidak mudah terlepas ke lingkungan. Selain itu, larutan propilen glikol-air memiliki sifat yang tidak mudah terbakar sehingga memiliki lebih aman digunakan dibandingkan minyak kelapa sawit.

Penelitian Alfira dan Zaidar (2018) dan Taufan dan Fauzi (2017) memiliki nilai efisiensi konversi yang relatif rendah dibandingkan dengan penelitian ini, yaitu 0,04 % - 0,05% . Hal ini disebabkan karena Alfira dan Zaidar (2018) sama seperti Taufan dan Fauzi (2017) menggunakan modul TEC yang merupakan alat konversi listrik yang merupakan versi lama dari TEG, sehingga belum mampu menghasilkan efisiensi konversi sebesar TEG.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian tentang Studi Pemanfaatan *Coolant Ice Gel* Berbasis Propilen Glikol-Air sebagai *Heat Storage* pada *Thermo-Electric Generator* (TEG) yang sudah dilakukan, ditemukan kesimpulan:

- Larutan propilen glikol-air memiliki performa yang baik sebagai media penyimpan panas. Jumlah massa larutan propilen glikol-air yang digunakan berbanding lurus dengan jumlah panas yang dapat disimpan, sebagaimana terlihat nilai simpan panas terbesar, yaitu 2864,24 kJ, dimiliki oleh larutan propilen glikol-air 1050 mL
- Efisiensi konversi energi panas menjadi energi listrik terbesar didapatkan pada larutan propilen glikol-air 1050 mL, yaitu sebesar 0,13 % setara dengan penelitian Suhairi dan Benmetan (2018), yang menggunakan minyak kelapa sawit sebagai *heat storage* dengan nilai efisiensi konversi sebesar 0,12 %. Akan tetapi, larutan propilen glikol-air merupakan alternatif media penyimpan panas yang lebih aman bila dibandingkan dengan minyak kelapa sawit.

5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian ini, disarankan:

- Meningkatkan kemampuan isolasi panas pada wadah penampung media penyimpan panas agar dapat mengurangi panas yang terbuang dan meningkatkan konversi listrik.
- Menggunakan fraksi larutan propilen glikol-air yang lebih optimum agar mendapat nilai kapasitas panas dan konduktivitas termal yang optimum.
- Menambahkan komponen lain ke larutan yang dapat meningkatkan kapasitas panas dan menurunkan konduktivitas termal.
- Memanfaatkan panas yang terbuang pada industri untuk di-*recovery*.
- Menerapkan metode *Thermal Energy Storage* (TES) pada teknologi *Concentrating Solar Power* (CSP), yaitu teknologi pembangkit listrik tenaga surya, agar dapat *recovery* energi surya yang terbuang.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Ataer, Ercan. 2006. "Storage of Thermal Energy, in Energy Storage Systems" *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Ankara : University of Gazi, Mechanical Engineering Departement
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. SNI 01-6235-2000. *Briket Arang Tempurung Kelapa*. Jakarta
- Budi, Esmar. 2011. *Tinjauan Proses Pembentukan dan Penggunaan Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Bakar*. Jurnal Penelitian Sains. 14 4 (B) : 25 – 29.
- Cengel, Y.A.. 2002. *Heat Transfer: A Practical Approach. 2nd Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Dewan Energi Indonesia. 2018. *Outlook Energi Indonesia 2018*. Indonesia : Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
- Dewan Energi Indonesia. 2019. *Outlook Energi Indonesia 2019*. Indonesia : Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
- Edy, Dhanang Pratama Vivi, Anita Aprilila, Poerwadi, Bambang, Puspitasari, Diah Agustina, Supriyono. 2017. Pemanfaatan Garam Berbasis CaCl_2 sebagai Heat Storage untuk Sumber Energi Thermal pada Termoelektrik Konverter. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*. I (1) : 8 – 15.
- Engineering ToolBox. 2003. *Water – Thermophysical Properties*. https://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d_162.html, diakses pada 16 Juni 2020 pukul 14:05.
- Flynn, Ann Marie, Akashige, Toshihiro, & Theodore, Louis. 2019. *Kern's Process Heat Transfer*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Luisa F. Cabeza. 2015. *Advances in Thermal Energy Storage Systems Methods and Applications*. Woodhead Publishing: Elsevier.
- Medichill. 2016. Material Safety Data Sheet <https://medichillusa.com/pages/product-material-safety-data-sheets>, diakses pada 5 Juni 2020 pukul 20:17.

- Nesarajah, M., & Frey, G. 2016. *Thermoelectric Power Generation: Peltier Element versus Thermoelectric Generator*. Saarbrücken: Saarland University
- Nurkusumaprama, A., Darmawati, E., & Purwanto, Y. A. 2014. "Aplikasi Ice Gel pada Kemasan untuk Transportasi dan Penyimpanan Sementara Jamur Tiram (*Pleurotus Ostreatus*)". Bogor: Jurnal Keteknikan Pertanian, vol. 2, no. 2, Institut Pertanian Bogor.
- Pratiyatama, Kevin, & Kuncoroningrat, Pandu. 2019. *Studi Campuran Minyak Kelapa Sawit dan Parafin Cair sebagai Heat Storage dan Konversi Listrik*. Malang: Fakultas Teknik Jurusan Teknik Kimia – Universitas Brawijaya.
- Puspita, Shanti Chandra. 2017. Generator Termoelektrik untuk Pengisian Aki. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 13 (2). Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Putra, N., Koestoer, R. A., Adhitya, M., Roekettino, A., & Trianto, B. 2009. Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik Untuk Kendaraan Hibrid. *Jurnal Makara Teknologi*. 13 (2) : 53 – 58.
- Rafika, Hasra. 2016. Kaji Eksperimental Pembangkit Listrik Berbasis Thermoelectric Generator (Teg) Dengan Pendinginan Menggunakan Udara. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 15 (1) : 7 – 11
- Ramadhan, Ahmad Taufan & Alrasyid Fauzi. 2017. *Studi Heat Storage Etilen Glikol – Air dari Kompor Biomassa untuk Konversi menjadi Energi Listrik*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya.
- Rathore, Mahesh M.. 2016. *Engineering Heat and Mass Transfer*. New Delhi: Laxmi Publications
- Ryanuargo., Anwar, S., & Sari, S. P. 2013. Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensator pada Sistem Pendingin. *Jurnal Rekayasa Elektrika*. 4 (10) : 180 – 185.
- Sarbu, I.; Sebarchievici, C. 2018. *A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage*. Switzerland: MPDI.

- Shojaeizadeh, E. 2013. *An experimental investigation on the efficiency of a Flat-plate solar collector with binary working fluid: A case study of propylene glycol (PG)–water*. Iran : Elsevier, Inc.
- Suhairi, M. Roby, & Benmetan, Yunri Melda. 2018. *Pemanfaatan Minyak Kelapa Sawit sebagai Heat Storage pada Thermoelectric Generator dengan Circulating Bath*. Malang: Fakultas Teknik Jurusan Teknik Kimia – Universitas Brawijaya.
- Suryanto, Nugrah. 2017. *Pengujian Thermoelectric Generator (Teg) dengan Sumber Kalor Electric Heater 60 Volt Menggunakan Air Pendingin Pada Temperatur Lingkungan*. Pekanbaru : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin – Universitas Riau
- Susilowati & Dian Nita Citra Dewi. 2014. *Sistem Kombinasi Garam Nitrat Sebagai Penyimpan Panas Pada Proses Konversi Energi Matahari*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya.
- Sutrisno, Tri. 2016. *Pembuatan Briket Arang Dari Tempurung Kelapa Dengan Perlakuan Penambahan Solar Dan Kanji Pada Konsentrasi Yang Berbeda*. Purwokerto. Fakultas Teknik - Universitas Muhammadiyah Purwokerto
- Wirawan, R. 2012. *Analisa Penggunaan Heat Pipe pada Termoelectric Generator*. Skripsi tidak dipublikasikan. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Zarma, Ismaila Haliru. 2017. *Thermal Energy Storage in Phase Change Materials: Applications, Advantages and Disadvantages*. Japan: Tokyo Institute of Technology.
- Zhang, Xin-Rong. 2017. *Energy Solutions to Combat Global Warming*. Beijing: Peking University.
- Zulfahmi, Achyarnis & Selfiana, Reskiananda. 2016. *Studi Penyimpanan Panas (Etilen Glikol – Air) untuk Konversi Listrik*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN I

DATA DAN PERHITUNGAN HASIL PENELITIAN

I. DATA PENELITIAN

I.I. Densitas Larutan Penyimpanan Panas

Tabel L1.1 Data Piknometer

Volume Piknometer (mL)	Massa Piknometer kosong (gr)
10	16,422

Tabel L1.2 Data Densitas Larutan Penyimpanan Panas

Trial	Massa Piknometer + Larutan (gr)	Massa Larutan (gr)	Densitas Larutan (kg/m ³)	Rata-rata (kg/m ³)
1	26,119	9,697	969,7	967,3
2	25,969	9,547	954,7	
3	26,039	9,617	961,7	

I.II. Kadar Air Arang Tempurung Kelapa

Tabel L1.3 Data Kadar Air Arang Tempurung Kelapa

Trial	Kadar Air (%)	Rata-rata (%)
1	5,300	5,35
2	5,362	
3	5,387	

I.III. Massa Arang Selama Proses

Tabel L1.4 Data Massa Arang Selama Proses

Variabel	Massa Arang Awal (gr)	Massa Arang Sisa (gr)	Massa Arang Terbakar (gr)
1050 mL	300	30,201	269,799
1000 mL	300	30,153	269,847
950 mL	300	30,768	269,232

900 mL	30,076	269,924
850 mL	30,775	269,225

I.IV. Uji Konversi Panas Menjadi Listrik

Tabel L1.5 Uji Konversi Panas Menjadi Listrik pada Variabel 1050 mL

t (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	V (Volt)	I (Amper)
0	25	25,1	30	25,1	218	32,8	23,1	0,1	0,03
5	25,1	25,3	47	25,5	221	43,5	23,1	0,3	0,03
10	25,4	25,8	52,5	25,6	227	49	23,6	0,3	0,04
15	25,6	26,1	75,5	25,8	233	59,9	23,8	0,4	0,04
20	26,3	27	84	26,7	239	64,2	23,9	0,5	0,05
25	27,1	28,1	85,5	27,8	244	77,6	24,6	0,5	0,05
30	28,5	29,6	87	29,5	251	87,3	24,7	0,6	0,06
35	29,5	30,7	89,5	30,6	258	95,3	24,5	0,7	0,07
40	29,7	31,2	94	31	269	98,4	23,7	0,8	0,07
45	30	31,9	95,5	31,9	274	99,1	24,1	0,9	0,08
50	30,3	32,2	96	32,1	283	99,8	23,6	1	0,08
55	31	33,1	96	33	290	100,2	22,2	1,1	0,09
60	31,6	33,9	97	33,6	292	101,5	23	1,4	0,1
65	32,3	34,8	97	34,6	295	102,1	24,7	1,5	0,11
70	32,6	35,2	97	35,1	299	101,7	23,8	1,5	0,11
75	32,6	35,4	97	35,2	296	100,2	22,9	1,5	0,12
80	32,8	35,6	97	35,6	290	99,1	22,4	1,5	0,12
85	33	35,8	98	35,6	286	98,4	22,9	1,5	0,13
90	33,3	36,2	98	36	285	96,7	23,3	1,6	0,14
95	33,7	36,6	98	36,4	282	94,1	24,2	1,6	0,14
100	33,9	36,8	98	36,7	281	91,7	23,7	1,6	0,15
105	34	37	98	36,9	280	90,1	24,8	1,6	0,15
110	34,1	37,2	98	37,3	278	89,2	27,5	1,7	0,15
115	34,1	37,3	98	37,3	275	88,4	26	1,7	0,16
120	34,2	37,5	98	37,3	272	85,6	24	1,7	0,16
125	34,3	37,5	98	37,6	270	82,8	23,1	1,7	0,16



130	34,5	37,8	98	37,7	267	81,4	24,3	1,7	0,16
135	35,1	38,6	98	38,4	263	76	24,9	1,7	0,16
140	35,5	39	98	38,7	258	74,4	25,5	1,8	0,16
145	36,6	40,3	98	39,5	254	72,5	24,3	1,8	0,16
150	36	39,4	98	39	248	69	23,5	1,8	0,16
155	35,5	38,9	98	38,7	243	67,1	23,5	1,8	0,16
160	34,4	37,7	97,5	37,6	240	67,1	24,1	1,8	0,16
165	34,3	37,5	97,5	37,3	235	67,1	24,4	1,8	0,16
170	34,1	37	97,5	37,2	232	67	24,7	1,8	0,16
175	33,9	36,7	97,5	36,8	230	67	24,7	1,8	0,16
180	33,8	36,6	97,5	36,4	225	65,6	24,2	1,7	0,16
185	33,5	36,2	97,5	36,1	219	65	24,1	1,7	0,15
190	33,3	36	97	35,9	217	64,9	24	1,6	0,15
195	32,5	35,1	97	35	216	63,3	25,1	1,6	0,15
200	32,1	34,7	97	34,6	214	62,9	26,2	1,6	0,14
205	32	34,5	96	34,4	208	61,1	26,8	1,6	0,14
210	32	34,5	96	34,3	204	60,5	26,9	1,5	0,14
215	31,9	34,4	96	34,2	203	59,2	26,9	1,5	0,14
220	31,7	34,2	96	33,7	199,9	59	24,9	1,5	0,14
225	31,3	33,8	96	33,5	198,4	57,6	24,6	1,4	0,14
230	31	33,5	95	33,4	190	56,1	23,8	1,4	0,13
235	30,9	33,4	94,5	33,3	191,8	54,6	23,7	1,3	0,13
240	30,7	33,1	94	33	187,4	54,5	24,1	1,3	0,12
245	30,4	32,8	94	32,7	180,2	54	24	1,3	0,12
250	30	32,4	93,5	32,4	179,7	53,4	25	1,3	0,12
255	29,9	32,3	93,5	32,2	176	50,7	24,3	1,2	0,12
260	29,8	32,2	92	32,1	172,1	49,8	24,6	1,2	0,11
265	29,7	32,1	91	32	164,6	49	24,4	1,1	0,11
270	29,6	32	90	31,9	159,8	47,9	24,5	1,1	0,11
275	29,6	31,9	87,5	31,8	152,6	45,8	23,8	1,1	0,11
280	28,7	31	87	31	149,3	44	23,9	1,1	0,11
285	28,7	30,8	85	29,5	144	43,8	23,7	1,1	0,11
290	28,2	30,5	83,5	29,5	139,9	42,7	23,3	1	0,1
295	27,9	30	82,5	28,7	134,9	41,5	24,7	1	0,1
300	27,8	30	80	28,6	130,9	40,8	23,8	1	0,1
305	27,8	30	78,5	28,5	127,2	40,9	23,6	0,9	0,1

310	27,6	29,7	77	28,5	124,5	40,4	24,6	0,9	0,1
315	27,2	29,2	75,5	28,4	120,6	39,9	23,6	0,9	0,1
320	27,1	29	74	28,2	117,2	38,2	23	0,9	0,1
325	26,8	28,7	72,5	28	112,1	38,1	23,4	0,8	0,1
330	26,7	28,6	70,5	27,3	106	36,6	23,2	0,8	0,1
335	26,6	28,5	69	27,3	101,4	35,9	23,2	0,8	0,09
340	26,6	28,4	67,5	27,1	97,5	35,7	23,6	0,8	0,09
345	26,4	28,3	66	27	93,2	35,6	24,9	0,7	0,09
350	26,3	28,3	64,5	26,9	88,8	35,2	24,6	0,7	0,09
355	26,1	28,2	63	26,7	85,6	33,7	22,9	0,7	0,08
360	26	27,7	61,5	26,5	80,5	32,8	22,7	0,7	0,08
365	25,9	27,5	60	25,8	75,5	31,8	22,4	0,6	0,08
370	25,3	27	58,5	25,7	70,8	31,3	22,9	0,6	0,08
375	25,2	26,8	57	25,4	67,1	30,5	22,9	0,6	0,08
380	25,2	26,7	55,5	25,4	64,2	30,3	23,1	0,6	0,08
385	25,2	26,6	52,1	25,4	60,9	30	23,1	0,6	0,08
390	25,1	26,5	50	25,3	57,3	29	22,2	0,6	0,08
395	25	26,3	49,2	25,3	53,9	28,5	22,7	0,6	0,08
400	25	26,2	47,5	25,1	50	27,7	22,5	0,5	0,08
405	24,8	26	45,1	25,1	45,5	27,3	22,8	0,5	0,08
410	24,5	25,6	43,7	24,8	42,7	27,2	23	0,5	0,08
415	24,5	25,5	42,5	24,5	40,6	27,1	23	0,4	0,07
420	24,2	25,2	40,3	24,4	38,7	26,6	23	0,4	0,07

Tabel L1.6 Uji Konversi Panas Menjadi Listrik pada Variabel 1000 mL

t (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	V (Volt)	I (Ampere)
0	23,8	23,9	31	24,4	210	33,4	23,6	0,1	0,04
5	26	27	48	28,8	229	45,6	25,2	0,2	0,05
10	26,8	27,8	66,5	29	236	56,7	24,6	0,2	0,06
15	27,1	28,2	72,5	30,3	241	58,3	24,9	0,2	0,06
20	27,2	28,4	81	30,8	253	63,6	29,4	0,3	0,06
25	27,5	28,8	92	30,9	260	75,3	28,7	0,4	0,07



30	28	29,4	95	31,3	265	85,8	28,8	0,5	0,07
35	28,5	30,6	97	31,3	268	95,4	25,5	0,5	0,07
40	28,7	30,8	97	31,7	273	97,5	24,1	0,6	0,08
45	28,9	31	97	32,1	277	98,8	22,9	0,8	0,08
50	28,9	31,1	97	32,2	287	99,3	24,6	1	0,08
55	29,1	31,3	97	32,2	294	100,7	24,9	1	0,09
60	29,1	31,3	97,5	32,2	296	101,2	24,5	1	0,09
65	29,2	31,4	97,5	32,4	298	102,7	26,7	1,3	0,1
70	29,3	31,5	97,5	32,4	298	101,1	25,2	1,3	0,1
75	29,4	31,8	97,5	32,7	295	99,3	24,2	1,3	0,11
80	29,8	31,9	98	32,9	290	98,5	25,3	1,5	0,11
85	29,8	32	98	33	288	97,1	26,2	1,5	0,11
90	30	32,4	98	33,1	286	95	25,6	1,5	0,11
95	30,1	32,6	98	33,3	284	93,5	25,8	1,6	0,12
100	32	34,7	98	33,4	283	90,5	24,4	1,6	0,12
105	32,7	35,5	98	33,4	281	89,4	25	1,6	0,12
110	32,8	35,8	98	34,5	279	88,8	24,5	1,6	0,12
115	33	36	98	35,6	278	88,2	24,5	1,6	0,12
120	33,7	36,8	98	36	277	84,7	23,9	1,6	0,12
125	34	37,2	98	37,1	268	83,8	24	1,7	0,13
130	35,2	38,5	98	38,1	264	82,2	25,5	1,7	0,13
135	35,8	39,2	98	39,3	260	77,6	25	1,7	0,13
140	35,9	39,3	98	38,5	255	75,3	24,2	1,7	0,13
145	35,9	39,2	98	38,4	253	72,7	24,1	1,7	0,13
150	35	38,3	98	35,4	249	72,6	25,5	1,7	0,12
155	35	38	98	33,5	242	72,2	25,3	1,7	0,12
160	35	38	98	33,2	241	70,9	24	1,6	0,11
165	34,9	37,8	98	33	238	69,7	24,1	1,6	0,11
170	34,9	37,7	98	33	234	69,5	25,5	1,6	0,11
175	34,7	37,7	98	32,5	233	67,9	24,7	1,6	0,11
180	34,7	37,6	98	32,2	227	66,7	23,6	1,6	0,11
185	34,6	37,5	98	32,1	223	66,2	25,1	1,6	0,11
190	34,4	37,1	98	31,9	220	65,4	24,9	1,5	0,11



195	34,3	37	98	31,6	217	63,4	24	1,5	0,11
200	34,2	37	98	31,5	212	59,6	25,7	1,4	0,11
205	34,1	36,9	98	31,4	206	59,3	24,7	1,3	0,11
210	34	36,9	98	31,4	206	59	23,9	1,3	0,1
215	33,9	36,8	98	31,2	202	58,7	25	1,3	0,1
220	33,8	36,7	98	31	199,7	58	24,6	1,3	0,1
225	33,2	36,1	98	30,8	192,1	56,1	25,1	1,2	0,1
230	32,8	35,5	98	30,7	187,6	54,8	24,3	1,2	0,09
235	32	34,9	98	30,7	184	52,7	24,5	1,2	0,09
240	31,8	34,6	97,5	30,7	178,3	52,4	25,5	1,2	0,09
245	31,5	34,3	97,5	30,7	178,3	52,1	26,7	1,2	0,09
250	31,3	34	97	30,6	173,5	52	26,3	1,2	0,09
255	31	33,8	96	30,6	168	49,6	26,7	1,1	0,09
260	30,3	33,1	94	30,5	159,5	49,5	25	1	0,08
265	30	32,7	92	30,5	156,3	48,2	25,6	1	0,08
270	29,9	32,5	90,5	30	149,9	46,4	26,2	1	0,08
275	29,5	32	88,5	30	146	45,6	25,4	1	0,08
280	29,3	31,7	87	30	139,3	44,8	25	1	0,08
285	29	31,4	85	30	133,5	43,5	24,8	1	0,08
290	28,5	30,8	83	29,7	127,6	42,5	24,6	0,9	0,08
295	28,5	30,6	81	29,7	122,9	41,2	24,5	0,9	0,07
300	28,3	30,5	79	29,7	116,5	40,6	24,3	0,9	0,07
305	28,3	30,4	77	29,5	109,5	38,8	25,4	0,9	0,07
310	28,3	30,3	75,5	29,5	104,9	37,6	25,2	0,9	0,07
315	28,1	30	73	29,4	99,6	37	24,9	0,8	0,07
320	28	29,9	71	29,4	93,1	36,8	25,4	0,8	0,07
325	28	29,8	69,8	29,4	88,8	35,7	24,7	0,8	0,06
330	28	29,7	67,5	29,4	83,3	34,4	24,6	0,8	0,06
335	28	29,6	67,1	29,3	77,6	34,1	24,8	0,8	0,06
340	27,9	29,6	64	29,1	73,9	33,3	24,7	0,7	0,06
345	27,9	29,5	61,5	29,1	72,4	33,3	25,5	0,7	0,06
350	27,8	29,3	60	29,1	67,9	32,5	25,5	0,7	0,06
355	27,7	29,2	59,3	29,1	60	32,3	25,5	0,6	0,06



360	27,6	28,9	56,2	29	52,3	32,5	25,6	0,6	0,06
365	27,4	28,8	55,6	29	50,5	31,5	25	0,6	0,05
370	27,3	28,6	54	28,9	47,3	30,9	25,2	0,6	0,05
375	27,3	28,5	52,5	28,9	44,3	30,5	25	0,6	0,05
380	27,2	28,5	51,2	28,8	41,2	30,5	26,7	0,5	0,05
385	27,1	28,2	50	28,7	40,6	29,5	25	0,5	0,05
390	27,1	28,1	49	28,7	39,5	30	26,7	0,5	0,04
395	27,1	28,1	48	28,5	38,2	29,9	25	0,5	0,04
400	27	28	47,1	28,5	36,3	29,9	25,8	0,4	0,04
405	27	27,9	45,9	28,2	35,6	29,4	26,3	0,4	0,04
410	26,8	27,6	44,6	28,2	34,7	29,2	25,4	0,4	0,04
415	26,5	27,3	43,3	28,2	34	29	25	0,4	0,04
420	26,5	27,3	41	27,6	33,4	28,7	25,1	0,4	0,04

Tabel L1.7 Uji Konversi Panas Menjadi Listrik pada Variabel 950 mL

t (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	V (Volt)	I (Amper)
0	24,9	25	32	25,4	215	39,6	24,3	0,1	0,01
5	26,7	27	52,5	27,3	226	50,4	25,2	0,2	0,02
10	27	27,3	55,5	27,6	237	56,9	25,5	0,3	0,02
15	27,4	27,8	61,3	28,2	244	61,8	24,6	0,5	0,03
20	27,8	28,5	71	29	268	84,8	26,3	0,5	0,03
25	28	28,8	80	29	279	88,2	25	0,5	0,03
30	28,8	29,8	89,5	30,3	280	88,4	24	0,6	0,03
35	29,2	30,3	91	30,4	283	90,5	24,5	0,6	0,04
40	29,4	30,6	93,5	31	287	91,8	25,5	0,7	0,04
45	29,5	30,7	94	31,6	288	93,3	24,8	0,7	0,05
50	29,7	31	97	31,8	291	95	24,9	0,8	0,06
55	30,3	31,7	97	32	295	97	24,3	0,9	0,07
60	30,6	32,4	97,5	32,6	299	97,7	26,1	0,9	0,09
65	31,5	33,3	97,5	33,6	297	98	27,8	1	0,09
70	32	34	97,5	34,3	292	98,1	29,9	1	0,1
75	32,1	34,4	97,5	34,5	291	98,8	27,4	1,1	0,1



80	33,6	35,9	97,5	35,6	288	99	25,5	1,2	0,11
85	33,7	36,1	97,5	35,7	286	100,1	27,7	1,2	0,11
90	34	36,5	98	36,3	284	101	26,2	1,3	0,11
95	34,6	37,2	98	36,5	282	101,2	28,7	1,3	0,12
100	34,7	37,4	98	36,5	280	101,6	28,8	1,3	0,12
105	35,5	38,3	98	36,7	279	102,6	29,2	1,4	0,12
110	35,7	38,5	98	37,5	278	84,1	25	1,4	0,12
115	35,8	38,9	98	37,8	276	81,5	23,5	1,4	0,12
120	37	40,2	98	38,4	273	79,2	24,4	1,4	0,12
125	38	41,3	98	38	269	78,7	25	1,5	0,12
130	38,2	41,5	98	36,1	265	77,5	25,6	1,6	0,12
135	38	41,2	97,5	36	262	76,1	25,4	1,6	0,12
140	37,8	41,1	97,5	35,9	257	75,4	27	1,6	0,12
145	37,6	40,8	97,5	35,5	249	74,5	25,9	1,6	0,12
150	37,4	40,4	97,5	35,3	247	73,4	25,6	1,6	0,12
155	37,2	40,2	97,5	35,2	243	73,1	25,3	1,6	0,12
160	36,9	39,8	97,5	35,2	239	72	25,8	1,5	0,12
165	36,6	39,5	97	34,7	236	70,5	26	1,5	0,11
170	36,2	39,1	97	34,4	231	69,6	28,2	1,5	0,11
175	36,1	38,9	97	34,1	228	68,9	27,1	1,5	0,11
180	35,8	38,6	97	34,1	224	68,3	25,7	1,5	0,11
185	35,7	38,4	97	34	215	67,5	26,3	1,4	0,11
190	35,2	38	97	31,9	210	66,7	25,5	1,4	0,11
195	35,1	37,8	96	31,6	206	57,7	25,5	1,4	0,11
200	35	37,6	96	31,5	202	55,9	25,5	1,4	0,1
205	34,7	37,3	95,5	31,4	199,7	55,5	26	1,4	0,1
210	34,6	37,1	94	31,4	192,1	55,1	25,8	1,4	0,1
215	34,6	37,1	93,4	31,2	187,6	54,8	26	1,4	0,1
220	34,5	37	92	31	184	53,6	26,5	1,3	0,1
225	34,5	37	90,5	30,8	178,3	53,3	27,5	1,3	0,1
230	34,5	36,9	89	30,7	178,3	53,3	26,8	1,3	0,1
235	34,5	36,9	88	30,7	173,5	53,2	25,8	1,2	0,09
240	34,3	36,8	86,5	30,7	168	53	25	1,2	0,09
245	34,3	36,7	85,5	30,7	159,5	52,9	24,7	1,2	0,09
250	33,8	36,1	85	30,6	156,3	52,7	25,7	1,1	0,09
255	33,2	35,5	83	30,6	149,9	52,5	25,9	1,1	0,09



260	32,6	34,9	81,1	30,5	146	52,3	26	1,1	0,08
265	32,3	34,6	79	30,5	139,3	52,2	26,4	1,1	0,08
270	32,1	34,3	77	30	133,5	51,8	26,9	1,1	0,08
275	31,8	34	76	30	127,6	51,3	26,4	1	0,08
280	31,6	33,8	75	30	122,9	51,2	26,6	1	0,08
285	31	33,1	73,9	30	116,5	49	25	1	0,08
290	30,6	32,7	72	29,7	109,5	47,7	25,5	1	0,07
295	30,5	32,5	70	29,7	104,9	47,4	26	0,9	0,07
300	30,2	32	68,8	29,7	99,6	47,2	25,6	0,9	0,07
305	29,9	31,7	67	29,5	93,1	45,7	25,4	0,9	0,07
310	29,6	31,4	66	29,5	88,8	45	25,2	0,8	0,07
315	29,1	30,8	65	29,4	83,3	44,9	24,9	0,8	0,07
320	28,9	30,6	64	29,4	77,6	43,3	25,4	0,8	0,06
325	28	29,7	62,5	29,4	73,9	42,4	24,7	0,8	0,06
330	28	29,6	60,2	29,4	72,4	42	24,6	0,7	0,06
335	27,9	29,6	59,3	29,3	67,9	41,8	24,8	0,7	0,06
340	27,9	29,5	57	29,1	60	41,8	24,7	0,7	0,06
345	27,7	29,3	55,7	29,1	52,3	41,8	25,5	0,7	0,06
350	27,7	29,2	54,6	29,1	50,5	41,2	25,5	0,6	0,05
355	27,5	28,9	53	29,1	47,3	41	25,5	0,6	0,05
360	27,3	28,8	52	29	44,3	40,4	25,6	0,6	0,05
365	27,2	28,6	51,4	29	41,2	40,1	25	0,6	0,05
370	27	28,5	50	28,9	40,6	39,6	25,2	0,6	0,05
375	27,1	28,5	48,6	28,9	39,5	39,1	25	0,6	0,05
380	26,9	28,2	47,1	28,8	38,2	38,8	26,7	0,6	0,05
385	26,8	28	46	28,7	36,3	38,5	25	0,6	0,04
390	26,7	27,7	46	28,7	35,6	38	26,7	0,5	0,04
395	26,5	27,4	45	28,5	34,7	37,6	25	0,5	0,04
400	26,5	27,3	44,4	28,5	34	36,8	25,8	0,5	0,04
405	26,5	27,2	44	28,2	33,4	36	26,3	0,4	0,04
410	26,3	27	44	28,2	33	35,4	25,4	0,4	0,03
415	26,2	26,9	43,2	28,2	32,8	34,8	25	0,4	0,03
420	26,1	26,8	41,8	27,6	32,4	34	25,1	0,4	0,03



Tabel L1.8 Uji Konversi Panas Menjadi Listrik pada Variabel 900 mL

t (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	V (Volt)	I (Amper)
0	24,3	24,4	32	24,6	213	49,7	24,3	0,1	0,02
5	25,4	25,7	44,5	26,1	221	54,2	24,2	0,1	0,03
10	25,5	25,8	47	26,5	236	61,1	23,9	0,3	0,03
15	27,2	28	58	29,9	244	72,3	25,5	0,3	0,04
20	27,5	28,6	67	30,6	258	76,8	26,1	0,4	0,06
25	27,9	29	76	31,6	262	78,4	25,2	0,4	0,07
30	28	29,5	82	31,8	266	84	25,8	0,4	0,07
35	28,2	29,9	89	32	270	89	26	0,5	0,07
40	29,1	31,1	95	32,3	275	90,5	25,6	0,5	0,07
45	29,6	31,7	95,5	32,8	279	92,4	27	0,5	0,08
50	30,5	32,8	95,5	33,5	283	94,6	27,7	0,6	0,08
55	31,2	33,6	95,5	34,3	296	95,5	27,1	0,8	0,09
60	31,6	34	96,5	34,4	297	95,6	26,7	1	0,09
65	32	34,5	97,5	34,6	298	96,2	26	1,1	0,09
70	33,4	35,9	98	34,7	299	96,8	27,9	1,1	0,1
75	33,8	36,4	98	35,2	299	96,9	27,9	1,1	0,1
80	33,9	36,5	98	35,2	298	92,2	26,1	1,2	0,1
85	34,2	36,9	98	35,2	291	92,3	26,7	1,2	0,1
90	34,3	37,1	98	35,5	284	91,6	28,1	1,2	0,1
95	34,6	37,4	98	35,5	283	91,5	28,1	1,2	0,1
100	35,3	38,1	98	36	282	89	26,5	1,2	0,11
105	35,2	38,1	98	36,3	280	85	25,7	1,2	0,11
110	35,2	38	98	37	280	82,7	26,2	1,2	0,11
115	34,9	37,7	98	37,5	279	80,1	26	1,3	0,11
120	34,6	37,4	98	37,2	275	78,1	25,7	1,3	0,11
125	34,3	37	98	37	270	77,9	26,8	1,3	0,11
130	34	36,7	98	36,5	266	76,5	25,8	1,3	0,11
135	33,9	36,5	98	36,3	263	76,1	26,2	1,4	0,11
140	33,6	36,2	98	36	259	74,3	27,2	1,4	0,11
145	33	35,5	98	35,3	251	72,9	25,5	1,4	0,11
150	32	34,4	98	34,3	251	69,8	24,8	1,4	0,11



155	31,8	34,2	98	34	247	67,4	24,4	1,4	0,1
160	31,8	34,1	97,5	33,9	243	66,7	25,2	1,3	0,1
165	31,6	33,9	97,5	33,1	240	66,4	26,5	1,3	0,1
170	31,6	33,7	97,5	33	237	65,5	25,4	1,3	0,1
175	31,5	33,4	97,5	33	235	63,4	25,4	1,3	0,1
180	31,5	33,4	97,5	32,9	230	62,7	26,4	1,3	0,1
185	31,4	33,3	97,5	32,7	225	61,7	26	1,2	0,1
190	31,3	33,2	97,5	32,6	218	57,7	25,5	1,2	0,09
195	31,3	33,1	97	32,4	215	55,9	25,5	1,2	0,09
200	31,3	33,1	97	32,1	214	55,5	25,5	1,2	0,09
205	31,2	33,1	97	32,1	210	55,1	26	1,2	0,09
210	31,1	32,9	96	32	208	54,8	25,8	1,2	0,09
215	31,1	32,9	95,5	32	204	53,6	26	1,2	0,09
220	31	32,9	95	32	198,4	53,3	26,5	1,1	0,09
225	30,9	32,5	94,5	32	194,2	53,3	27,5	1,1	0,08
230	30,9	32,4	93,5	31,8	190,2	53,2	26,8	1,1	0,08
235	30,9	32,3	92,5	31,8	185,3	53	25,8	1,1	0,08
240	30,9	32,3	91,5	31,8	179,6	52,9	25	1,1	0,08
245	30,9	32,1	90,5	31,7	178,1	52,7	24,7	1	0,08
250	30,8	32	90	31,5	170,2	52,5	25,7	1	0,08
255	30,8	32	89	31,4	167,9	52,3	25,9	1	0,08
260	30,8	32	88	31,4	158,3	52,2	26	1	0,08
265	30,7	32	87	31,4	154,4	51,8	26,4	1	0,08
270	30,7	32	85,5	31,4	150	51,3	26,9	0,9	0,07
275	30,6	31,9	85	31,3	145,4	51,2	26,4	0,9	0,07
280	30,6	31,9	83	31,2	135,8	49	26,6	0,9	0,07
285	30,5	31,8	81,5	31,1	132,1	47,7	25	0,9	0,06
290	30,5	31,8	80,5	31,1	129,3	47,4	25,5	0,9	0,06
295	30,5	31,8	80	31,1	125	47,2	26	0,8	0,06
300	30,4	31,8	78,5	31	119,9	45,7	25,6	0,8	0,06
305	30,4	31,7	77	31	110,2	45	25,5	0,8	0,06
310	30,1	31,4	76	31	105,3	44,9	27,1	0,8	0,06
315	29,9	31,1	75	31	100,1	43,3	26	0,8	0,06
320	29,8	30,9	74	31	95,7	42,4	26,3	0,7	0,06
325	29,5	30,6	73	31	89,5	42	26,2	0,7	0,05
330	29,4	30,3	72	30,9	85,1	41,8	26,3	0,7	0,05



335	28,7	29,8	70,5	30,9	79	41,8	26,3	0,7	0,05
340	28,6	29,7	69,5	30,9	74,1	41,8	26	0,6	0,05
345	28,5	29,5	68	30,8	71,8	41,2	26	0,6	0,05
350	28,3	29,2	67	30,8	69	41	26	0,6	0,05
355	28,1	29,1	66	30,8	62,6	40,4	25,8	0,6	0,05
360	28	29,1	65	30,8	53,6	40,1	26	0,6	0,05
365	28	29	63,5	30,8	49,1	39,6	26,1	0,5	0,05
370	27,9	28,8	62,5	30,8	45,6	39,1	26,1	0,5	0,05
375	27,7	28,7	61	30,7	43,6	38,8	25,8	0,5	0,04
380	27,7	28,5	60	30,7	40,1	38,5	26	0,5	0,04
385	27,7	28,4	59	30,6	39,2	38	26,3	0,4	0,04
390	27,7	28,3	58	30,5	38,3	37,6	26,2	0,4	0,04
395	27,6	28,2	56,5	30,4	37,8	36,8	26,5	0,4	0,04
400	27,5	28	55,5	30,4	37,2	36	26	0,4	0,04
405	27,4	28	45,3	30,3	36,1	35,4	26	0,4	0,04
410	27,1	27,7	44,6	30,2	35,5	34,8	26	0,3	0,03
415	27,1	27,7	42,2	29,9	34,5	34	25,8	0,3	0,03
420	27	27,6	41,4	29,5	34,1	33,4	25,5	0,3	0,03

Tabel L1.9 Uji Konversi Panas Menjadi Listrik pada Variabel 850 mL

t (min)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	V (Volt)	I (Amper)
0	24,9	25	31	25,4	209	39,6	24,3	0,1	0,02
5	25,8	26,2	52,5	26,7	219	40,5	25,2	0,2	0,03
10	27,7	28,3	55,5	27,3	230	43,9	25,5	0,3	0,04
15	28,8	29,4	61,3	27,8	238	46,2	24,6	0,3	0,04
20	29,4	30,2	71	28,4	245	48,4	26,3	0,4	0,05
25	29,5	30,5	78	29,2	261	50,4	25	0,5	0,05
30	29,6	30,8	89,5	30,4	264	53,2	24	0,5	0,06
35	30,1	31,3	91	31,8	269	55,5	24,5	0,8	0,06
40	30,4	31,6	93,5	32	276	57,1	25,5	0,8	0,06
45	30,9	32,2	94	32,7	280	59,8	24,8	0,8	0,07
50	31,5	32,7	97	33,8	285	61,8	24,9	1	0,07
55	31,8	33,1	97	34,5	289	64,4	24,3	1	0,07



60	32,1	33,5	97,5	35,5	294	70,4	26,1	1	0,07
65	32,5	33,9	97,5	36	298	72,9	27,8	1	0,08
70	32,8	34,4	97,5	36,3	297	77,7	29,9	1,2	0,08
75	33,2	34,8	97,5	36,4	295	84,8	27,4	1,2	0,08
80	33,4	35,2	97,5	36,5	290	89,8	25,5	1,2	0,08
85	33,8	35,6	97,5	36,5	286	92,6	27,7	1,2	0,08
90	34	35,9	98	37	284	95,3	26,2	1,2	0,08
95	34,1	36,2	98	37,2	280	97	25,6	1,2	0,09
100	34,3	36,7	98	37,7	277	97,7	25,8	1,2	0,09
105	35,4	37,8	98	38	275	98	24,4	1,2	0,09
110	35,9	38,4	98	38,6	273	98,1	25	1,3	0,09
115	36,3	38,9	98	39	271	99	24,5	1,3	0,09
120	36,7	39,4	98	39,6	269	100,1	24,5	1,3	0,09
125	37,4	40,1	98	40,9	266	101	23,9	1,3	0,1
130	38,3	41,1	98	42,7	264	101,2	24	1,3	0,1
135	38,5	41,3	98	42,4	261	101,6	25,5	1,3	0,1
140	38,9	41,7	98	42,2	257	102,6	25	1,3	0,1
145	39,3	42,1	98	42	250	98,8	24,2	1,3	0,1
150	39,1	41,8	98	41,8	246	95	24,1	1,2	0,1
155	38,8	41,5	98	41,3	244	93,3	25,5	1,2	0,09
160	38,4	41,1	98	41,3	242	91,8	25,3	1,2	0,09
165	38	40,7	97,5	41,3	237	90,5	24	1,1	0,09
170	37,4	40,1	97,5	41,1	233	88,4	24,1	1,1	0,09
175	37,2	39,8	97	41	231	88,2	25,5	1,1	0,09
180	36,9	39,5	96	39,9	226	84,1	24,7	1,1	0,08
185	36,6	39,2	94	39,9	220	81,5	23,6	1	0,08
190	36,5	39	92	38,8	216	81,4	25,1	1	0,08
195	36,3	38,8	90,5	37,8	213	76	24,9	1	0,08
200	36	38,4	88,5	35,4	210	74,4	24	1	0,08
205	35,8	38,2	87	35,4	205	72,5	25,7	1	0,07
210	35,5	37,9	85	35,3	202	69	24,7	1	0,07
215	35,3	37,6	83	35	199,3	67,1	23,9	1	0,07
220	35	37,3	81	33,3	195,7	67,1	25	1	0,07
225	34,8	37	79	33,1	190,6	67,1	24,6	1	0,07
230	34,6	36,9	77	33,1	186,5	67	25,1	1	0,07
235	34,5	36,7	75,5	33	183,7	67	24,3	0,9	0,07



240	34,4	36,5	73	32,7	178,3	65,6	24,5	0,9	0,07
245	34,1	36,3	71	32,7	174,2	65	25,5	0,9	0,07
250	34	36,1	69,5	32,5	169,8	64,9	26,7	0,9	0,06
255	33,9	35,9	67,5	32,1	165,7	63,3	26,3	0,9	0,06
260	33,7	35,7	67,5	31,6	158,9	62,9	26,7	0,9	0,06
265	33,5	35,5	64	31,6	153,5	61,1	25	0,8	0,06
270	33,2	35,3	61,9	31,5	148,3	60,5	25,6	0,8	0,06
275	33	35	60	31,4	143,1	59,2	26,2	0,8	0,06
280	32,8	34,7	59,5	31,3	137,2	59	25,4	0,8	0,06
285	32,6	34,4	58	31,2	132,1	57,6	25	0,8	0,06
290	32,4	34,2	57,5	31,2	126,5	56,1	24,8	0,7	0,06
295	32,2	33,8	57	30,9	122,3	54,6	24,6	0,7	0,06
300	32	33,6	56	30,8	117,4	54,5	24,5	0,7	0,06
305	31,9	33,3	55,3	30,8	110	54	24,3	0,6	0,06
310	31,7	33,1	54,7	30,7	105,2	53,4	25,4	0,6	0,06
315	31,5	32,9	53	30,6	101,4	50,7	25,2	0,6	0,05
320	31,2	32,5	52	30,6	96,2	49,8	24,9	0,6	0,05
325	31	32	51,6	30,3	92,1	49	25,4	0,6	0,05
330	30,8	31,8	51	30,3	86	47,9	24,7	0,6	0,05
335	30,4	31,4	50	30,2	83	45,8	24,6	0,6	0,04
340	30,2	31,2	49,4	30,2	79,2	44	24,8	0,6	0,04
345	29,9	30,8	48,2	30,2	76	43,8	24,7	0,6	0,04
350	29,7	30,6	48	30,1	72,8	42,7	25,5	0,6	0,04
355	29,6	30,5	47,8	30	69,9	41,5	25,5	0,5	0,04
360	29,4	30,3	47,5	30	67,1	40,8	25,5	0,5	0,04
365	29,1	29,9	46	30	64,2	40,9	25,6	0,5	0,04
370	28,8	29,7	45,6	30	63,5	40,4	25	0,5	0,04
375	28,7	29,5	45	29,8	60	39,9	25,2	0,5	0,04
380	28,5	29,3	44,5	29,7	52,3	38,2	25	0,5	0,04
385	28,3	29,2	44,3	29,7	50,5	38,1	26,7	0,5	0,04
390	28,1	28,9	43	29,7	47,3	36,6	25	0,5	0,04
395	27,9	28,7	43	29,6	44,3	35,9	26,7	0,5	0,03
400	27,7	28,4	43	29,5	41,2	35,7	25	0,5	0,03
405	27,5	28,2	42,1	29,5	40,6	35,6	25,8	0,4	0,03
410	27,3	27,9	41	28,7	39,5	35,2	26,3	0,4	0,03
415	27,1	27,7	41	28,6	38,2	33,7	25,4	0,4	0,03

420 26,9 27,5 40,1 28,5 36,3 32,8 25 0,4 0,03

Keterangan :

t = Waktu percobaan (min)

T_1 = Suhu sisi dingin TEG ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 = Suhu sisi panas TEG ($^{\circ}\text{C}$)

T_3 = Suhu larutan penyimpanan panas ($^{\circ}\text{C}$)

T_4 = Suhu wadah penyimpanan larutan ($^{\circ}\text{C}$)

T_5 = Suhu arang ($^{\circ}\text{C}$)

T_6 = Suhu kompor biomassa ($^{\circ}\text{C}$)

T_6 = Suhu lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)

V = Tegangan listrik yang dihasilkan (volt)

I = Arus listrik yang dihasilkan (Ampere)

II. Perhitungan

II.I. Massa Larutan Penyimpanan Panas

Massa jenis larutan propilen glikol-air = $967,3 \text{ kg/m}^3$

Fraksi larutan propilen glikol-air = 45 % propilen glikol + 75% air

Pada Variabel 1050 mL

Volume = 1050 mL = $0,00105 \text{ m}^3$

Massa larutan propilen glikol-air = $967,3 \text{ kg/m}^3 \times 0,00105 \text{ m}^3$

= 1,015 kg

Massa propilen glikol pada larutan propilen glikol-air = $25\% \times 1,015 \text{ kg}$

= 0,25392 kg

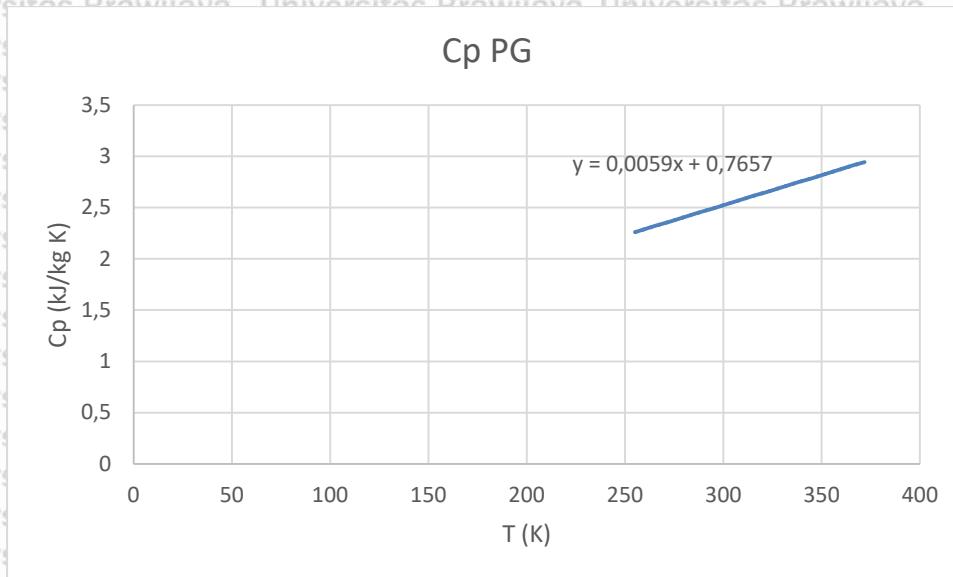
Massa air pada larutan propilen glikol-air = $75\% \times 1,015 \text{ kg}$

= 0,76175 kg

II.II. Kapasitas Panas Larutan Penyimpan Panas

Plot grafik kapasitas panas propilen glikol

T	Cp		
°F	K	BTU/lb °F	kJ/kg K
0	255,2222	0,54	2,260872
10	260,7778	0,548	2,294366
20	266,3333	0,556	2,327861
30	271,8889	0,563	2,357168
40	277,4444	0,571	2,390663
50	283	0,579	2,424157
60	288,5556	0,587	2,457652
70	294,1111	0,594	2,486959
80	299,6667	0,602	2,520454
90	305,2222	0,61	2,553948
100	310,7778	0,618	2,587442
110	316,3333	0,626	2,620937
120	321,8889	0,633	2,650244
130	327,4444	0,641	2,683739
140	333	0,649	2,717233
150	338,5556	0,657	2,750728
160	344,1111	0,664	2,780035
170	349,6667	0,672	2,81353
180	355,2222	0,68	2,847024
190	360,7778	0,688	2,880518
200	366,3333	0,696	2,914013
210	371,8889	0,703	2,94332



Gambar L1.1 Grafik Kapasitas Panas Propilen Glikol

Dari gambar L1.1 didapatkan persamaan:

$$y = 0,0059x + 0,7657$$

Dimana :

Y = Kapasitas Panas propilen glikol (kJ/kg K)

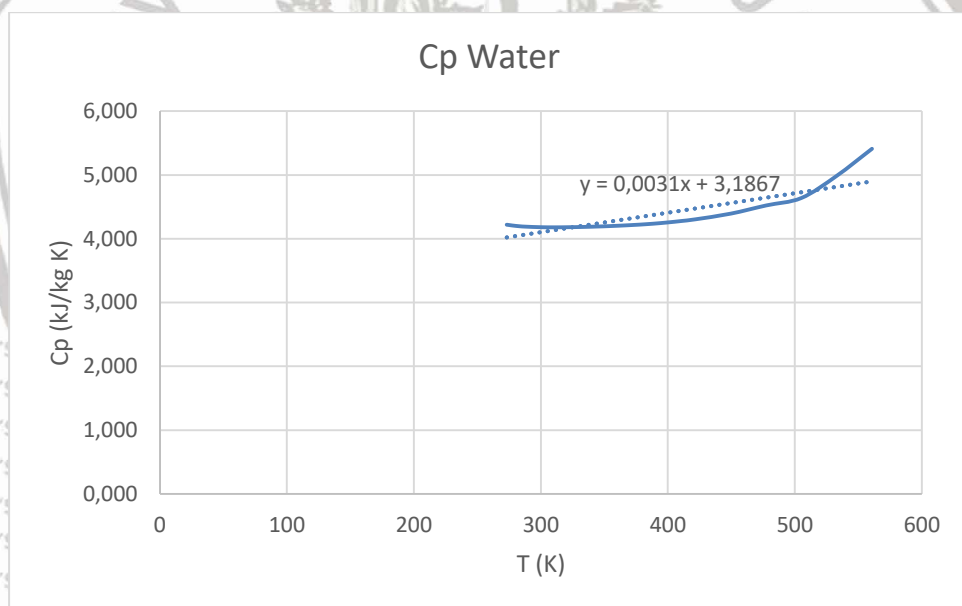
X = suhu propilen glikol (K)

Plot grafik kapasitas panas air

T	Cp
K	kJ/kg K
273,1111	4,220
277,4444	4,208
283	4,196
288,5556	4,189
299,6667	4,181
310,7778	4,179
321,8889	4,181
333	4,185
344,1111	4,191



355,2222	4,199
366,3333	4,209
373	4,216
377,4444	4,221
388,5556	4,236
399,6667	4,255
410,7778	4,278
421,8889	4,305
449,6667	4,394
477,4444	4,522
505,2222	4,639
533	4,986
560,7778	5,410



Gambar L1.2 Grafik Kapasitas Panas Air

Dari gambar L1.2 didapatkan persamaan:

$$y = 0,0031x + 3,1867$$

Dimana :

Y = Kapasitas Panas air (kJ/kg K)

X = suhu air (K)

II.III. Panas Tersimpan pada Larutan Penyimpanan Panas (Q_{simpan})

Perhitungan panas tersimpan pada larutan penyimpanan panas di menit kesepuluh pada variabel 1050 mL

$$Q_{\text{simpan}} = m \cdot \int_{T_0}^{T_1} C_p dT$$

$$T_1 = 52,5^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 47^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{simpan pg}} &= m_{\text{pg}} \cdot \int_{T_0}^{T_1} C_{p\text{pg}} dT = 0,7617 \int_{47}^{52,5} 0,0031x + 3,1867 dT \\ &= 6,0059 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{simpan air}} &= m_{\text{air}} \cdot \int_{T_0}^{T_1} C_{p\text{air}} dT = 0,7617 \int_{47}^{52,5} 0,0031x + 3,1867 dT \\ &= 73,6272 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{simpan ice gel}} &= Q_{\text{simpan pg}} + Q_{\text{simpan air}} = 6,0059 \text{ kJ} + 73,6272 \text{ kJ} \\ &= 79,6331 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Perhitungan panas tersimpan pada larutan penyimpanan panas per satuan waktu pada variabel 1050 mL

$$Q_{\text{simpan per menit}} = \frac{Q_{\text{simpan akumulasi}}}{\text{Waktu percobaan}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{2864,24 \text{ kJ}}{420 \text{ min}} \\ &= 6,82 \text{ kJ}/\text{min} \end{aligned}$$

Perhitungan panas tersimpan pada larutan penyimpanan panas per satuan volume larutan pada variabel 1050 mL

$$Q_{\text{simpan per volume larutan}} = \frac{Q_{\text{simpan akumulasi}}}{\text{Volume larutan}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{2864,24 \text{ kJ}}{1050 \text{ mL}} \end{aligned}$$

$$= 2,73 \text{ kJ/mL}$$

II.IV. Panas Terlepas dari Arang Tempurung Kelapa (Q_{arang})

Panas yang dilepas arang = Massa arang terbakar (kg) x Nilai kalor arang

$$Q_{\text{arang}} = (m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}}) \cdot HHv$$

Perhitungan panas terlepas dari arang tempurung kelapa pada penelitian variabel

1050 mL

$$m_{\text{awal}} = 300 \text{ gr} = 0,3\text{kg}$$

$$m_{\text{akhir}} = 30,201 \text{ gr} = 0,030201 \text{ kg}$$

$$HHv = 6527,341 \text{ cal/gr} = 27310,39 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{arang}} = (0,3 - 0,030201) \text{ kg} \times 27310,39 \text{ kJ/kg}$$

$$= 10033,33 \text{ kJ}$$

II.V. Panas yang Hilang (Q_{hilang})

Panas hilang dari proses penyimpanan = Panas terlepas dari arang – panas tersimpan larutan

$$Q_{\text{hilang1}} = Q_{\text{arang}} - Q_{\text{simpan}}$$

Panas yang hilang dari proses konversi = Panas yang tersimpan larutan – energi terkonversi

$$Q_{\text{hilang2}} = Q_{\text{simpan}} - W$$

Panas total yang hilang = Panas hilang dari proses penyimpanan - Panas yang hilang dari proses konversi

$$Q_{\text{hilang}} = Q_{\text{hilang1}} + Q_{\text{hilang2}}$$

Perhitungan panas yang hilang pada penelitian variabel 1050 mL

$$Q_{\text{hilang1}} = Q_{\text{arang}} - Q_{\text{simpan}}$$

$$= 7617,48 \text{ kJ} - 2864,236 \text{ kJ}$$

$$= 4753,24 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{hilang2}} = Q_{\text{simpan}} - W$$

$$= 2864,236 \text{ kJ} - 3,61 \text{ kJ}$$

$$= 2860,62 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{hilang}} = Q_{\text{hilang1}} + Q_{\text{hilang2}}$$

$$= 4753,24 \text{ kJ} + 2860,62 \text{ kJ}$$

$$= 7613,87 \text{ kJ}$$

II.VI. Energi Listrik yang Dihasilkan

$$W_{\text{konversi}} = V \cdot I \cdot t$$

Keterangan :

V = tegangan yang dihasilkan (V)

I = arus yang dihasilkan (A)

t = waktu proses (s)

W_{konversi} = energi yang dihasilkan (J)

Perhitungan energi listrik yang dihasilkan di menit kesepuluh pada variabel 1050 mL

$$W_{\text{konversi}} = 0,3 \cdot 0,04 \cdot 300$$

$$W_{\text{konversi}} = 3,60 \text{ kJ} = 0,0036 \text{ kJ}$$

II.VII. Efisiensi Penyimpanan Panas

$$\eta_{\text{simpan}} = \frac{Q_{\text{simpan}}}{Q_{\text{arang}}} \cdot 100\%$$

Perhitungan efisiensi penyimpanan panas pada variabel 1050 mL

$$\eta_{\text{simpan}} = \frac{2864,23599}{7368,31719} \cdot 100\%$$

$$\eta_{\text{simpan}} = 38,872 \%$$

II.VIII. Efisiensi Konversi Panas

$$\eta_{konversi} = \frac{W_{konversi}}{Q_{simpan}}$$

Perhitungan efisiensi konversi panas pada variabel 1050 mL

$$\eta_{konversi} = \frac{3,61470}{2864,2359}$$

$$\eta_{konversi} = 0,126 \%$$

II.IX. Efisiensi Total

$$\eta_{total} = \eta_{simpan} \cdot \eta_{konversi}$$

$$\eta_{total} = 38,872 \% \cdot 0,126 \%$$

$$\eta_{total} = 4,906 \%$$



LAMPIRAN II
DOKUMENTASI PENELITIAN

No.	Dokumentasi	Keterangan
1		<p>Larutan propilen glikol-air sebagai larutan penyimpanan panas. <i>Merk</i> Ice Cool</p>
2		<p>TEG tipe SP1848 SA 27145 sebagai alat konversi panas menjadi listrik</p>
3		<p>Arang tempurung kelapa sebagai sumber panas</p>

<p>4</p>		<p>Kompur biomassa sebagai tempat pembakaran arang</p>
<p>5</p>		<p>Chiller sebagai sumber suhu dingin untuk sisi dingin TEG</p>
<p>6</p>		<p>Peltier TEC cooler sebagai alat penjaga sisi dingin TEG agar tetap dingin</p>

7



Moisture Balance
sebagai alat
pengukur kadar air
pada arang

8



Piknometer untuk
alat pengukur massa
jenis larutan
propilen glikol-air

9



Neraca digital
sebagai alat
penimbang bahan

10



Termometer inframerah untuk mengukur suhu

11



Termometer sebagai alat pengukur suhu

12



Multimeter sebagai alat pengukur arus dan listrik



13



Oven sebagai alat pengurangan kadar air pada arang

14



Rangkaian alat penelitian





(Halaman ini sengaja dikosongkan)



RIWAYAT HIDUP

Nama Saya Abdi Imanullah Thayeb, lahir di Kendari pada tanggal 29 Maret 1997. Merupakan anak kedua dari Bapak Dharma Setiawan Thayeb dan Ibu Masriwati Nasir. Pernah menempuh pendidikan di SD Negeri 12 Baruga dan lulus pada tahun 2008, SMP Negeri 1 Kendari lulus pada tahun 2011, SMA Negeri 1 Kendari lulus pada tahun 2014, dan melanjutkan program sarjana di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya pada tahun 2014. Pengalaman Praktek Kerja Lapang di PG, Kebon Agung Malang pada tahun 2019. Pengalaman kepanitiaan yang pernah dijalani antara lain, menjadi ketua bidang PDD dalam KONEKSI IV, menjadi anggota subbidang ruangan pada PROBINMABA 2015, menjadi anggota bidang PDD pada KMT 2015, menjadi ketua panitia dalam KMTK 2016, menjadi anggota bidang acara dalam PKT 2016, menjadi anggota subbidang sweeping dalam KKM 2016, menjadi ketua subbidang lapangan pada PROBINMABA 2016, dan menjadi Ketua Panitia dalam Workshop Technopreneurship 2017. Pengalaman organisasi yang pernah dijalani adalah menjadi staff departemen Kewirausahaan HMTK FT-UB periode kepengurusan 2017 – 2018 dan menjadi Wakil Ketua Ikatan Pemuda dan Mahasiswa Sulawesi Tenggara - Malang periode kepengurusan 2018 - 2019

RIWAYAT HIDUP

Tandebing Paposma Panjaitan, lahir di Palembang pada 02 Februari 1997, merupakan anak kedua dari Rahman Panjaitan dan Katrina Sihombing. Menempuh pendidikan di SD Xaverius 9 Palembang hingga lulus pada 2009, SMP Negeri 9 Bogor hingga lulus pada 2012, SMA Negeri 5 Bogor hingga lulus pada 2015, dan kemudian melanjutkan program sarjana di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya hingga lulus pada 2021. Memiliki pengalaman Praktek Kerja Lapang di PT Cheil Jedang Bio Jombang pada 2019. Pengalaman Kepanitiaan yang pernah dilakukan diantaranya adalah menjadi ketua pelaksana pada acara KONEKSI V, menjadi staff subdidang sharing PTOBINMABA Teknik Kimia 2016, menjadi staff bidang Publikasi, Dekorasi, dan Dokumentasi pada I-CHALLENGE 2016, menjadi staff bidang perlengkapan pada Rapat Koordinasi Nasional BKKMTKI XVII 2016, menjadi penanggung jawab sub-bidang materi pada PKT 2017, menjadi penanggung jawab sub-bidang sharing PROBINMABA Teknik Kimia 2017, menjadi bendahara pada KMTK 2017, menjadi staff bidang Perlengkapan pada I-CHALLENGE 2017. Pengalaman organisasi yang pernah dijalani adalah menjadi Ketua departemen Kewirausahaan HMTK FT-UB periode kepengurusan 2018 – 2019.