

**STUDI PENYIMPANAN PANAS MENGGUNAKAN LARUTAN
ETILEN GLIKOL-CaCl₂ DAN KONVERSI LISTRIK DENGAN
*THERMO ELECTRIC CONVERTER***

SKRIPSI



Afrizal Fahmi Santoso

165061101111015

Reffly Wahyu Nugroho

165061101111010

JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2021

LEMBAR PENGESAHAN**STUDI PENYIMPANAN PANAS MENGGUNAKAN LARUTAN ETILEN GLIKOL-
CaCl₂ DAN KONVERSI LISTRIK DENGAN *THERMO ELECTRIC CONVERTER*****SKRIPSI**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik

**Afrizal Fahmi Santoso****165061101111015****Reffly Wahyu Nugroho****165061101111010**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pada tanggal 29 Juni 2021

Dosen Pembimbing II

Supriyono, ST., MT.

NIK. 2016079104251001

Dosen Pembimbing I

Ir. Bambang Poerwadi, M.S.

NIP. 19600126 198603 1 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Ir. Moh. Sholichin, M.T., Ph.D.

NIP. 19670602 199802 1 001

IDENTITAS TIM PENGUJI

Judul Skripsi : Studi Penyimpanan Panas Menggunakan Larutan Etilen Glikol
– CaCl₂ dan Konversi Listrik Dengan *Thermo Electric Converter*

Nama Mahasiswa (NIM) : 1. Reffly Wahyu Nugroho (165061101111010)

2. Afrizal Fahmi Santoso (165061101111015)

Jurusan S1 : Teknik Kimia

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Ir. Bambang Poerwadi, MS.

Dosen Penguji 2 : Ir. Bambang Ismuyanto, MS.

Dosen Penguji 3 : Luthfi Kurnia Dewi, ST., MT.

Tanggal Ujian : 10 Juni 2021

SK Penguji : No 869/UN10.FO7/KP/2021





*Teruntuk Orang yang paling kami Sayang
Ayah, Ibu, serta Keluarga Kami Tercinta*

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, 1 Mei 2021



Mahasiswa I,

Reffly Wahyu Nugroho

NIM. 165061101111010

TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 09/1710.07.18/PP/2021

Sertifikat ini diberikan kepada :

REFFLY WAHYU NUGROHO

Dengan Judul Skripsi :

Studi Peningkatan Paras Menggunakan Larutan Etilen Glikol-CaCl₂ dan Konversi Listrik dengan Thermo-Electric Converter (Heat Storage Study using Ethylene Glycol-CaCl₂ Solution and Electricity Conversion using Thermo-Electric Converter)

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal

Ketua Jurusan Teknik Kimia

Ir. Moh. Sholahudin, M.T., Ph.D

NIP. 19670602-199802 1 001



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, 1 Mei 2021



Mahasiswa II,

Afrizal Fahmi Santoso

NIM. 165061101111015



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 09/ENIO.F07.18/PP/2021

Sertifikat ini diberikan kepada :

AHRIZAL RAHIMI SANTOSO

Dengan Judul Skripsi :

Studi Penyimpanan Panas Menggunakan Larutan Etilen Glikol- CaCl_2 dan Konversi Listrik dengan
Thermo-Electric Converter (Heat Storage Study using Ethylene Glycol- CaCl_2 Solution and
Electricity Conversion using Thermo-Electric Converter)

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal

Ketua Jurusan Teknik Kimia

Ir. Moch. Sholikhin M.T., Ph.D

NIP. 195708051988021001



RINGKASAN

Afrizal Fahmi Santoso dan Reffly Wahyu Nugroho, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya April 2021, *Studi Penyimpanan Panas Menggunakan Larutan Etilen Glikol-CaCl₂ dan Konversi Listrik Dengan Thermo Electric Converter*, Dosen Pembimbing : Bambang Poerwadi dan Supriyono.

Jumlah energi fosil yang semakin berkurang membuat pengembangan energi alternatif terbaharukan terus dilakukan. Energi alternatif yang memiliki potensi besar adalah biomassa karena jumlahnya yang melimpah. Indonesia merupakan negara agraris yang sangat berpotensi mengubah biomassa menjadi *bioenergy*. Salah satu biomassa yang dapat dimanfaatkan adalah energi panas yang dihasilkan oleh arang tempurung kelapa yang nantinya akan dikonversi menjadi energi listrik. Tujuan penelitian ini adalah mengoptimalkan panas yang dihasilkan media arang tempurung kelapa dengan menggunakan *heat storage* etilen glikol yang dicampurkan dengan larutan garam CaCl₂ serta ingin mengetahui kemampuannya dalam menyimpan panas.

Pada penelitian ini menggunakan larutan *heat storage* yang memiliki komposisi etilen campuran etilen glikol dan larutan garam CaCl₂ yang berbeda-beda yakni dengan variasi fraksi larutan garam CaCl₂ sebesar 0 %, 1,5 %, 3 %, 4,5 %, dan 6 %. Setiap variabel penelitian akan dilakukan percobaan dengan menggunakan energi panas yang disimpan dari arang tempurung kelapa sebanyak 400 gram. Pada penelitian ini, proses pembakaran arang tempurung kelapa dilakukan sampai nilai voltase dan arus mendekati nol. Tegangan dan arus akan dikonversi melalui TEC-SP1848 SA 27145.

Data yang didapatkan dari hasil pembakaran akan digunakan sebagai perhitungan untuk mengetahui energi listrik yang dihasilkan, efisiensi penyimpanan, efisiensi konversi, dan efisiensi total. Dari hasil perhitungan, *heat storage* dengan fraksi massa larutan garam CaCl₂ 6 % memiliki nilai yang paling tinggi yakni energi listrik sebesar 6,19 KJ, dengan efisiensi penyimpanan terbesar yakni 28 %, efisiensi konversi sebesar 0,235 %, dan juga efisiensi total sebesar 6,536 %. Dari hasil tersebut dapat dinyatakan bahwa CaCl₂ dapat dijadikan sebagai campuran dengan air dan etilen glikol sebagai media penyimpan panas.

Kata Kunci : Arang Tempurung Kelapa, CaCl₂, Etilen Glikol, *Heat Storage*, *Thermoelectric Converter*.

SUMMARY

Afrizal Fahmi Santoso and Reffly Wahyu Nugroho, Chemical Engineering Department, Faculty of Engineering, Brawijaya University April 2021, *Heat Storage Study Using Ethylene Glycol-CaCl₂ Solution and Electricity Conversion Using Thermo Electric Converter*, Advisor: Bambang Poerwadi and Supriyono.

The decreasing amount of fossil energy has made the development of renewable alternative energy continues. An alternative energy that has great potential is biomass because of its abundance. Indonesia is an agricultural country that has the potential to convert biomass into bioenergy. One of the biomass that can be utilized is heat energy produced by coconut shell charcoal which will later be converted into electrical energy. The purpose of this study was to optimize the heat produced by coconut shell charcoal media using heat storage of ethylene glycol mixed with CaCl₂ salt solution and to determine its ability to store heat.

In this study, using a heat storage solution which has a mixture of ethylene composition of ethylene glycol and CaCl₂ salt solution is different, namely with variations in the CaCl₂ salt solution fraction of 0%, 1.5%, 3%, 4.5%, and 6%. Each research variable will be experimented with using 400 grams of heat energy stored from coconut shell charcoal. In this study, the burning process of coconut shell charcoal was carried out until the voltage and current were close to zero. The voltage and current will be converted via TEC-SP1848 SA 27145.

The data obtained from the combustion results will be used as a calculation to determine the electrical energy produced, storage efficiency, conversion efficiency, and total efficiency. From the calculation results, heat storage with a mass fraction of 6% CaCl₂ salt solution has the highest value, namely electrical energy of 6.19 Kj, with the largest storage efficiency of 28%, conversion efficiency of 0.235%, and also a total efficiency of 6,536%. From these results it can be stated that CaCl₂ can be used as a mixture with water and ethylene glycol as a heat storage medium.

Keyword : Coconut Shell Charcoal, CaCl₂, Ethylene Glycol, Heat Storage, Thermoelectric Converter.

Kata Pengantar

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa selalu tercurahkan kepada junjungan kami, Rasulullah shallallahu alaihi wasallam.

Penyusunan skripsi yang berjudul “**STUDI PENYIMPANAN PANAS MENGGUNAKAN LARUTAN ETILEN GLIKOL-CaCl₂ DAN KONVERSI LISTRIK DENGAN *THERMO ELECTRIC CONVERTER***” ditujukan sebagai syarat memperoleh gelar sarjana Teknik. Penulis menyadari bahwa tanpa adanya dukungan serta doa dari berbagai pihak selama melaksanakan skripsi ini tidak akan bisa terlaksana dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak – pihak yang telah membantu, mendukung, serta membimbing penulis atas terselesaikannya skripsi ini, yaitu :

1. Allah SWT karena atas rahmat serta hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini.
2. Keluarga penulis yang telah memberikan doa, dorongan moral, serta kasih sayang.
3. Ir. Bambang Poerwadi, M.S., selaku Pembimbing I Skripsi Bidang Minat Rekayasa Energi Jurusan Teknik Kimia FT-UB, yang telah membimbing kami dalam proses pelaksanaan skripsi
4. Supriyono S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II Skripsi Bidang Minat Rekayasa Energi Jurusan Teknik Kimia FT-UB, yang telah mendampingi kami dalam proses pelaksanaan skripsi
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Kimia FT-UB yang telah memberikan bekal ilmu serta pengalaman selama perkuliahan hingga akhir penyusunan skripsi.
6. Evi Sulviani Nengseh, A.Md, selaku PLP Laboratorium OTK Jurusan Teknik Kimia yang telah membantu dalam proses penelitian skripsi ini.
7. Seluruh staff jurusan Teknik Kimia FT-UB yang membantu memperlancar proses penyelesaian laporan skripsi ini.
8. Teman – teman dari Teknik Kimia FT-UB yang telah membantu dan memberikan motivasi kepada kami sehingga kami mampu menyelesaikan skripsi ini.

Tidak lupa, penulis memohon maaf sebesar – besarnya bila terdapat perkataan atau perbuatan yang kurang berkenan selama mengerjakan naskah skripsi ini. Penulis menyadari bahwa dalam naskah ini masih terdapat kekurangan serta masih jauh dari kesempurnaan. Setiap saran dan kritik dari berbagai pihak sangat diharapkan oleh penulis demi kebaikan penelitian

ini. Semoga naskah skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak di masa sekarang maupun di masa yang akan datang. Demikian, penulis menyampaikan terima kasih

Malang, 1 Mei 2021

Penulis



DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI	4
RINGKASAN	iii
SUMMARY	iv
Kata Pengantar	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR SIMBOL	xi
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Definisi Kalor.....	5
2.2 Transfer Kalor.....	6
2.3 Thermal Energy Storage (TES).....	10
2.4 Termoelektrik Converter (TEC).....	13
2.5 <i>Arang Tempurung Kelapa</i>	14
2.6 Etilena Glikol.....	17
2.7 Kalsium Klorida (CaCl_2).....	19
2.8 Penelitian Terdahulu.....	20
BAB III	21
METODE PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat penelitian.....	21
3.2 Alat dan Bahan.....	21
3.3 Variabel Penelitian.....	23
3.4 Tahap Penelitian.....	23
BAB IV	31
HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Karakterisasi Bahan Baku.....	31
4.2 Proses Pembakaran dan Pelepasan Panas Arang Tempurung Kelapa.....	32



4.3	Proses Penyimpanan Panas pada Larutan <i>Heat Storage</i>	34
4.4	Proses Konversi Listrik.....	35
4.5	Efisiensi Proses.....	37
BAB V		43
PENUTUP		43
5.1.	Kesimpulan.....	43
5.2.	Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN I		49
DATA DAN PERHITUNGAN PENELITIAN		49
LAMPIRAN II		77
DOKUMENTASI BAHAN, ALAT DAN KEGIATAN PENELITIAN		77

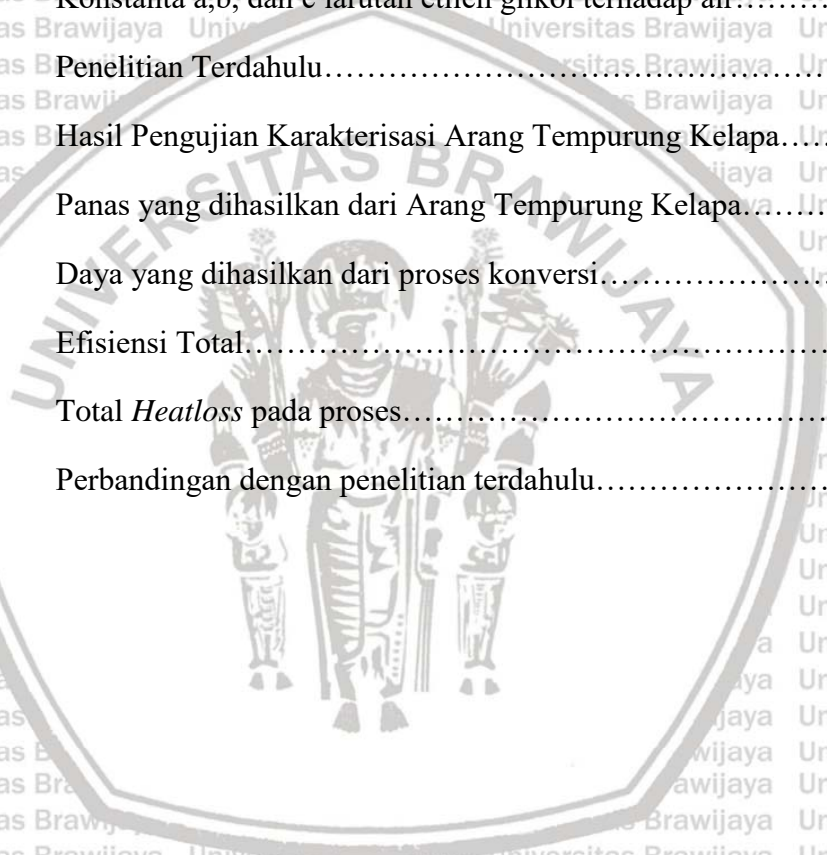


DAFTAR GAMBAR

No	Judul	
Gambar 2.1	Perhitungan perubahan entalpi.....	7
Gambar 2.2	Struktur Thermoelectrick Converter (TEC).....	15
Gambar 2.3	Skema Bom Kalorimeter.....	18
Gambar 2.4	Grafik Panas Spesifik Larutan Etilen Glikol.....	20
Gambar 3.1	Rangkaian Alat Penyimpanan Panas.....	25
Gambar 3.2	Rangkaian Thermoelectric Converter.....	26
Gambar 3.3	Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3.4	Diagram Alir Persiapan Larutan.....	28
Gambar 3.5	Sisa Arang Tempurung Kelapa.....	30
Gambar 3.6	Diagram Alir Uji Konversi.....	30
Gambar 4.1	Massa jenis larutan <i>heat storage</i>	35
Gambar 4.2	Titik didih larutan <i>heat storage</i>	35
Gambar 4.3	Grafik pembakaran arang terhadap waktu.....	37
Gambar 4.4	Grafik panas yang disimpan dalam larutan <i>heat storage</i>	38
Gambar 4.5	Grafik efisiensi penyimpanan panas larutan <i>heat storage</i>	39
Gambar 4.6	Grafik daya listrik terhadap waktu.....	40
Gambar 4.7	Grafik efisiensi konversi listrik.....	41
Gambar 4.8	Grafik efisiensi total pada Larutan <i>heat storage</i>	42

DAFTAR TABEL

No	Judul	
Tabel 2.1	Konduktivitas Termal dari <i>Liquid Water</i>	10
Tabel 2.2	Bahan Penyimpan Panas Sensible.....	13
Tabel 2.3	Bahan Penyimpan Panas Laten.....	14
Tabel 2.4	Output Termoelektrik.....	15
Tabel 2.5	Perbedaan sifat dari Tempurung Kelapa dan Arang Tempurung Kelapa...	16
Tabel 2.6	Konstanta a,b, dan c larutan etilen glikol terhadap air.....	18
Tabel 2.7	Penelitian Terdahulu.....	20
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Karakterisasi Arang Tempurung Kelapa.....	36
Tabel 4.2	Panas yang dihasilkan dari Arang Tempurung Kelapa.....	37
Tabel 4.3	Daya yang dihasilkan dari proses konversi.....	40
Tabel 4.4	Efisiensi Total.....	43
Tabel 4.5	Total <i>Heatloss</i> pada proses.....	43
Tabel 4.6	Perbandingan dengan penelitian terdahulu.....	44



DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar

Satuan dan Singkatannya

Symbol

Beda suhu	Derajat celcius atau °C	ΔT
Daya	Watt atau W	P
Kalor	Joule atau J	Q
Kalor simpan per massa	Joule per gram atau J/gr	$Q_{\text{simpan/massa}}$
Kapasitas panas	Joule pergram derajat celcius atau J/g. °C	C_p
Kuat Arus listrik	Ampere	I
Massa	Gram atau gr	m
Massa jenis (Densitas)	Gram per mililiter atau gr/ml	ρ
Suhu Sisi Dingin TEC	Derajat celcius atau °C	T_1
Suhu Sisi Panas TEC	Derajat celcius atau °C	T_2
Suhu Media Penyimpan Panas	Derajat celcius atau °C	T_3
Suhu Wadah bagian luar penyimpanan media	Derajat celcius atau °C	T_4
Suhu pembakaran arang tempurung kelapa	Derajat celcius atau °C	T_5
Suhu bagian luar kompor biomassa	Derajat celcius atau °C	T_6
Tegangan listrik	Volt atau V	V
Volume	mililiter atau ml	V
Waktu	Menit atau min T	t



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi fosil yang jumlahnya terus berkurang serta jumlah yang terbatas membuat pengembangan terus dilakukan untuk mencari penggantinya. Energi terbarukan yang terus dikembangkan seperti energi dari sinar matahari, gelombang laut, pasang surut, biomassa, dan lain sebagainya. Energi terbarukan biomassa memiliki potensi besar karena ketersediaan sumber biomassa yang melimpah seperti sisa-sisa panen pertanian yang dihasilkan pada setiap musim panen tanaman-tanaman komoditi, sisa-sisa tangkai tanaman, dapat dikumpulkan dan dimanfaatkan untuk dijadikan energi (Gan Thay Kong, 2010). Indonesia sebagai negara agraris memiliki potensi yang besar dalam mengembangkan biomassa menjadi *bioenergy*. Namun penggunaan serta pemanfaatan tersebut masih terbatas hanya didalam industri, sehingga potensi pemanfaatan biomassa sebagai alternatif bioenergi masih sangat besar (Nurika dan Suhartini, 2019). Jenis biomassa yang memiliki jumlah besar di Indonesia salah satunya adalah tempurung kelapa. Berdasarkan Badan Pusat Statistik (2020), hingga 2019 luas area perkebunan kelapa mencapai 3 juta hektar lebih dengan hasil produksi mencapai 2 juta ton dan sekitar 670 ribu ton tempurung kelapa yang dapat dimanfaatkan menjadi arang. Pemanfaatan arang tempurung kelapa termasuk strategis karena jarang masyarakat yang memanfaatkan tempurung kelapa sebagai bahan bakar (Indra dkk, 2019).

Panas yang dihasilkan dari pembakaran arang tempurung kelapa dapat digunakan untuk kebutuhan – kebutuhan lain seperti memasak dan pemanas ruangan. Selain itu pemanfaatan energi panas dapat diperluas dengan mengubah menjadi energi lain seperti menghasilkan energi listrik. Listrik yang dihasilkan dari konversi panas menggunakan bantuan alat berupa *ThermoElectric Converter* (TEC). *ThermoElectric Converter* (TEC) merupakan alat yang bisa digunakan guna pembangkit tegangan listrik dengan memanfaatkan konduktivitas atau daya hantar panas dari suatu lempeng logam (Ryaunargo, 2014). Prinsip kerja TEC adalah menggunakan efek *Seebeck* yaitu menghasilkan arus listrik dari perbedaan temperatur (Pineda dan Rezanian, 2017). Energi panas yang diberikan dari suatu sistem akan disimpan menggunakan sistem *Thermal Energy Storage* (TES) sebelum dirubah menjadi energi listrik. *Thermal Energy Storage* (TES) adalah penyimpanan energi panas sementara bersuhu tinggi atau rendah yang memanfaatkan sumber panas baik menggunakan bahan bakar fosil ataupun

sumber panas lainnya. TES dapat menjadi sarana penting untuk mengimbangi ketidaksesuaian antara ketersediaan dan permintaan energi panas yang setiap saat selalu meningkat. Contoh aplikasi TES adalah penyimpanan energi matahari untuk pemanasan semalam, panas musim panas untuk penggunaan musim dingin, es musim dingin untuk pendinginan ruang di musim panas, dan panas atau dingin yang dihasilkan secara elektrik. Sistem TES memiliki potensi yang sangat besar untuk membuat penggunaan peralatan termal lebih efektif dan untuk memfasilitasi penggantian sumber daya energi dalam skala besar secara ekonomis. Media penyimpanan TES dapat memanfaatkan panas sensible atau panas laten. Namun TES dalam panas sensibel tampak sangat menjanjikan untuk penyimpanan energi dalam jumlah besar. Pemilihan media TES yang memanfaatkan panas sensible bergantung pada kapasitas panas spesifiknya dan energi yang diukur berdasarkan perbedaan temperatur. Sistem penyimpanan panas sensibel biasanya menggunakan fase padat atau cair sebagai media penyimpanan. Dalam sistem pembangkit listrik termal, TES menawarkan kemungkinan menyimpan energi sebelum diubah menjadi listrik. TES memiliki beberapa keunggulan antara lain biaya operasional lebih terjangkau, dapat digabungkan dengan sistem lain, dapat digunakan sebagai sumber alternatif energi, membantu mengurangi polusi karbon dioksida, dan konservasi bahan bakar fosil seperti mengganti bahan bakar yang digunakan (Dincer & Rosen, 2011).

Pemanfaatan panas sensible merupakan teknologi yang sederhana, berbiaya rendah, serta relatif lebih siap untuk penyimpanan energi musiman dibandingkan dengan alternatif lainnya. Kemampuan menyimpan panas sensibel untuk material tertentu sangat bergantung pada nilai kuantitas dan kapasitas panas. Etilen glikol memiliki kapasitas panas yang tinggi sehingga memenuhi sebagai bahan TES. Etilena glikol merupakan material sintesis berupa cairan yang bening, tidak memiliki bau, berasa manis yang dapat menyerap air serta mampu menguap pada suhu ruang secara perlahan. Pada aplikasinya, etilen glikol digunakan sebagai antibeku, bahan dasar pembuatan Dacron, serta dapat digunakan sebagai cairan rem hidrolik (Daintith, 2004). Etilen glikol berguna sebagai medium perpindahan panas yang terjadi secara konveksi. Penggunaan etilen glikol tidak hanya menurunkan titik beku, namun juga menaikkan titik didih sehingga memiliki rentang operasi perpindahan panas fluida yang semakin besar. Salah satu karakteristik dari etilen glikol adalah mudah larut dalam air dimana air merumakan komponen penghantar panas yang baik. Namun air memiliki titik didih 100°C , sehingga apabila dilakukan pemanasan akan berubah fase. Dengan mempertimbangkan karakteristik dari air maka dari itu diperlukannya penambahan garam yang diharapkan bisa meningkatkan titik didih campuran. Garam memiliki potensi yang menjanjikan dalam penyimpanan panas dikarenakan memiliki nilai kapasitas panas yang relatif tinggi serta nilai konduktivitas yang tinggi (Tatsudjodoung

dkk, 2019). Salah satu jenis garam yang memiliki potensi sebagai penyimpan panas adalah CaCl_2 . CaCl_2 memiliki karakteristik yaitu berbentuk kristal putih, mudah larut dalam air, tidak berbau, tidak berwarna, dan tidak mudah terbakar. Selain itu CaCl_2 memiliki nilai cp yang tinggi yaitu 8762 KJ/kg.K dengan nilai konduktivitasnya 0,32W/m.K (Geankoplis, 1993).

Penelitian tentang *Heat Storage* dengan menggunakan *Thermoelectric Converter* pernah dilakukan oleh Taufan dan Fauzi (2017), menggunakan campuran etilen glikol dengan air sebagai penyimpan panas yang dikonversi menjadi listrik menggunakan TEC. Arang tempurung kelapa digunakan sebagai media pemanas dengan menggunakan kompor biomassa sebagai alat pemanasnya. Etilen glikol yang digunakan adalah etilen glikol teknis 90% dengan 10% berupa air *deionized water*. Pada penelitian tersebut tahapan terbagi menjadi dua yaitu pemanasan dan pendinginan. Pada penelitian yang dilakukan didapatkan nilai tegangan tertinggi yaitu 1,84 volt pada suhu 127°C dan kuat arus tertinggi sebesar 52,5 mA, dengan menggunakan massa arang tempurung kelapa sebesar 300 gram.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disusun, maka masalah yang dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana kemampuan campuran Etilen glikol dengan larutan garam CaCl_2 sebagai *heat storage* dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran arang tempurung kelapa ?
2. Bagaimana hasil dari konversi listrik dari panas yang diserap campuran Etilen glikol dengan larutan garam CaCl_2 ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Tempat *heat storage* menggunakan wadah berdiameter 22 cm dengan tinggi 15 cm serta ketebalan 0,2 cm yang dilapisi dengan *Thermoshield*, namun pelapisan tidak dilakukan pada permukaan atas dan bawah wadah.
2. Sumber panas diambil dari hasil pembakaran arang tempurung kelapa dengan menggunakan kompor biomassa.
3. Alat konversi listrik menggunakan 4 buah *Thermoelectric Converter* tipe SP1848 SA 27145 dengan rangkaian seri.

1.4 Tujuan Penelitian

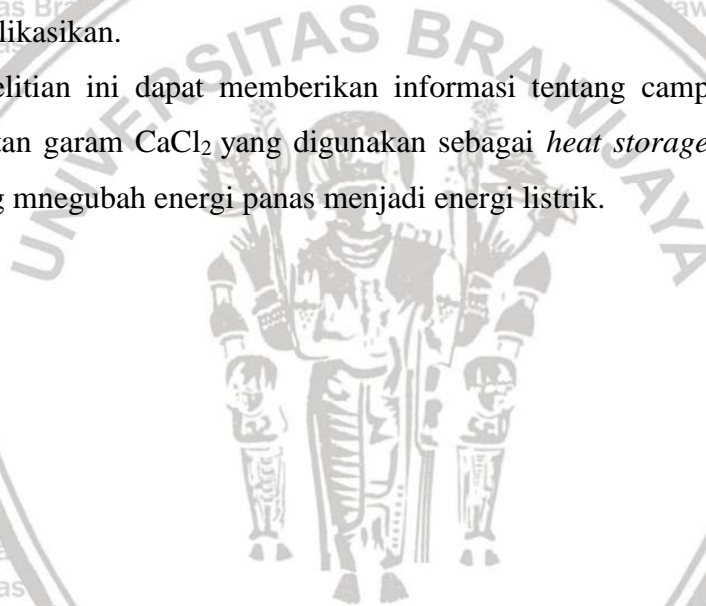
Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui kemampuan campuran Etilen glikol dengan larutan garam CaCl_2 yang paling optimal dalam menyimpan panas.
2. Mengetahui bagaimana hasil dari konversi listrik menggunakan TEC terhadap panas yang disimpan campuran etilen glikol dengan larutan garam CaCl_2 .

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki harapan untuk dapat memberikan manfaat bagi banyak pihak, diantaranya sebagai berikut :

1. Sebagai referensi peneliti selanjutnya, agar dapat mengembangkan lebih jauh tentang penelitian *heat storage* menggunakan bahan yang mudah didapat serta dapat diaplikasikan.
2. Penelitian ini dapat memberikan informasi tentang campuran etilen glikol dengan larutan garam CaCl_2 yang digunakan sebagai *heat storage* dengan TEC sebagai alat yang mnegubah energi panas menjadi energi listrik.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Kalor

Pengertian dari kalor atau panas itu sendiri merupakan bentuk energi yang dihasilkan karena adanya derajat temperatur dimana menunjukkan jumlah energi yang dimiliki oleh suatu zat (Kern, 1965). Kalor juga dapat didefinisikan sebagai energi yang berpindah karena terdapat perbedaan temperatur antara dua sistem atau antara dua bagian dari suatu sistem (Cao, 2010). Ukuran kalor yang dibutuhkan suatu benda berbeda-beda tergantung massa zat, jenis suatu zat (kalor jenis), serta perubahan suhu (Kern, 1965).

Untuk mengetahui kalor yang dibutuhkan suatu benda dapat direpresentasikan pada rumus

2.1 sebagai berikut (Kern, 1965) :

$$Q = m c \Delta T \quad (2.1)$$

Dengan keterangan :

Q = Kebutuhan Kalor (J)

m = Massa suatu zat atau benda (Kg)

c = Kalor Jenis (J/Kg°C)

ΔT = Perubahan Temperatur (°C)

Dalam mencari kapasitas panas dapat digunakan persamaan 2.2 berikut ini (Himmelblau, 1989) :

$$c_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right) \quad (2.2)$$

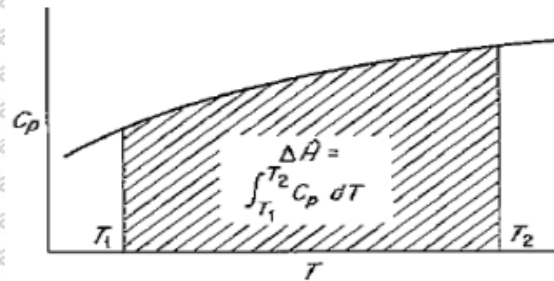
Dengan keterangan :

c_p = Kapasitas panas (J/Kg°C)

∂H = Perubahan entalpi (J)

∂T = Perubahan suhu (°C)

Perhitungan berubahnya entalpi yang terjadi pada fase tunggal biasa disebut perubahan panas sensibel. Panas sensibel yakni perbedaan entalpi (pada umumnya untuk gas) antara suhu referensi dengan suhu material yang ditentukan. Dimana perubahan entalpi tanpa mengubah fasa dapat diperlihatkan dalam grafik berikut (Himmelblau, 1989) :



Gambar 2.1 Perhitungan perubahan entalpi

(Sumber : Himmelblau, 1989)

Dapat dilihat bahwa daerah bawah grafik 2.1 merupakan ΔH , maka dapat direpresentasikan sebagai berikut (Himmelblau, 1989) :

$$\int_{H_1}^{H_2} dH = \Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad (2.3)$$

Apabila, *Heat capacity* didapat dari $C_p = a + bT^2 + cT^2$, maka

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} (a + bT^2 + cT^2) dT \quad (2.4)$$

Dengan keterangan :

H = Entalpi (J)

T1 = Suhu akhir (°C)

T2 = suhu awal (°C)

Cp = Heat Capacity (J/Kg °C)

a,b,c = nilai konstanta material

2.2 Transfer Kalor

Panas atau kalor adalah suatu energi yang bisa berpindah karena adanya perbedaan temperatur pada suatu sistem (Cao, 2010). Perbedaan temperatur merupakan suatu syarat utama

dalam transfer kalor. Apabila media yang memiliki suhu yang sama maka tidak akan terjadi transfer kalor. Besarnya laju dari transfer kalor bergantung terhadap besar perbedaan temperaturnya. Transfer kalor akan semakin besar apabila memiliki perbedaan temperatur yang semakin besar (Cengel, 2002). Pada umumnya terdapat 3 mekanisme sederhana dalam transfer kalor antara lain ; konduksi, konveksi, dan radiasi (Cao, 2010).

2.2.1. Panas Konduksi

Ketika terdapat gradien temperatur pada suatu substansi, panas akan berpindah melalui kontak antar molekuler. Dalam hal ini solid, pada umumnya bahwa molekuler energi dikaitkan dengan unsur getaran. Setiap molekul bergetar dalam posisi tetap dan dapat bertukar energi dengan molekul yang lain. Jika kalor disuplai ke satu bagian dari padatan, molekul akan bergetar lebih cepat. Semakin bergetar, ikatan antar molekul semakin terguncang. Hhal ini akan membuat terusan getaran antar molekul. Dengan demikian panas akan menyebar melalui benda padat ke arah penurunan suhu. Dapat diamati bahwa fluks panas dalam batas-batas tertentu, sebanding dengan variasi suhu per satuan panjang dan ke daerah dimana panas mengalir (Cao, 2010).

Dalam perhitungan konduksi dapat direpresentasikan pada persamaan sebagai berikut (Cao,2010):

$$Q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \tag{2.5}$$

$$k = - \frac{Q \Delta x}{A \Delta T} \tag{2.6}$$

Dimana :

Q = Laju transfer panas atau *heat rate* (W)

k = Konduktivitas termal dari material (W/mK)

A = Cross-Sectional Area (m²)

ΔT = Perbedaan suhu (K)

Δx =Tebal material (m)

Persamaan 2.7 juga dapat dituliskan sebagai berikut (Mann, 1980) :



$$Q = \frac{kA(T_1 - T_2)}{\Delta x} \quad (2.7)$$

Dimana :

Q = Laju transfer panas atau *heat rate* (W)

k = Konduktivitas termal dari material (W/mK)

A = Cross-Sectional Area (m²)

$T_1 - T_2$ = Perbedaan suhu (K)

Δx = Tebal material (m)

Konduktivitas Termal juga dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.8 sebagai berikut (Ayu, 2018):

$$k = \frac{V.I \left(\frac{x}{A}\right)}{\Delta T} \quad (2.7)$$

Dimana :

k = Konduktivitas termal dari material (W/mK)

V = Tegangan

I = Kuat Arus

x = Tebal material (m)

A = Cross-Sectional Area (m²)

ΔT = Perbedaan suhu (K)

Beberapa data konduktivitas termal air yang ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut (Mann, 1980) :

Tabel 2.1 Konduktivitas termal dari *Liquid Water*

Temperatur			Konduktivitas Termal	
°C	°F	K	Btu/h.ft°F	W/m.K
0	32	273,15	0,329	0,569
37,8	100	311	0,363	0,628

93,3	200	366,5	0,393	0,680
148,9	300	422,1	0,395	0,684
215,6	420	588,8	0,376	0,651
326,7	620	599,9	0,275	0,476

2.2.2. Panas Konveksi

Dalam transfer kalor pada konveksi hampir menyerupai transfer kalor secara konduksi dimana proses ini membutuhkan medium agar kalor dapat mengalami perpindahan. Perbedaan dari proses konveksi yakni energi yang mengalir akan diiringi dengan aliran medium yang berupa fluida (Cengel, 2002). Dalam perhitungannya dapat direpresentasikan pada persamaan 2.8 (Cengel, 2002) :

$$Q = hA_s(T_s - T_\infty) \tag{2.8}$$

Dimana :

Q = Laju transfer panas atau *heat rate* (W)

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

A_s = Luas Permukaan (m²)

T_s = Suhu permukaan (°C)

T_∞ = Suhu Fluida (°C)

Radiasi merupakan mekanisme transfer panas utama antar molekul karena berbeda dengan mekanisme lain dimana untuk menransfer energi tidak memerlukan medium fisik. Energi dapat ditransmisikan dari pancaran ke tubuh penerima melalui ruang hampa, hal ini yang memungkinkan menerima energi matahari di bumi(Cao, 2010). Radiasi disebarkan oleh gelombang elektromagnetik. Emisi energi elektromagnetik tidak berkelanjutan. Ia dipancarkan sebagai kelipatan dari jumlah energi minimum yang disebut kuantum atau foton (Mann, 1980).

Dalam perhitungannya proses radiasi dapat direpresentasikan dengan persamaan 2.9 sebagai berikut (Mann, 1980) :

$$Q = \epsilon A \sigma (T_s^4 - T^4) \tag{2.9}$$

Dimana :

Q = Laju transfer panas atau *heat rate* (W)

ϵ = Emisivitas Termal

A = Luas Permukaan (m^2)

σ = Konstanta *Boltzman* ($5,672 \times 10^8 \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

T_s^4 = Temperatur Absolut (K)

K^4 = Temperatur Lingkungan sekitar (K)

2.3 Thermal Energy Storage (TES)

Thermal Energy Storage adalah suatu metode yang digunakan sebagai penyimpanan energi berupa kalor ke dalam suatu material. Ukuran energi panas yang dapat disimpan tergantung dengan jenis material atau medium yang digunakan untuk menyimpan panas (Dincer & Rosen, 2002). Material penyimpan kalor ini harus memiliki beberapa sifat, antara lain (Jamil dkk, 2013) :

1. Bahan tidak beracun dan tingkat korosivitasnya rendah
2. Ketersediaan melimpah
3. Harga material murah
4. Memunyai stabilitas kimia dan thermal cycling yang tinggi

Pada umumnya, sistem penyimpanan energi panas memiliki 2 prinsip yakni penyimpanan panas sensibel dan penyimpanan panas laten (Kern, 1965).

2.3.1 Panas Sensibel

Panas sensibel menggunakan sistem sederhana dimana panas disimpan dengan cara menaikkan suhu benda padat atau cair. Apabila *specific heat* benda tersebut konstan, maka panas yang disimpan pada benda tersebut jumlahnya berbanding langsung dengan kenaikan suhunya (Whitman dkk, 2005). Pada penyimpanan panas sensibel terjadi kenaikan ataupun penurunan temperatur tanpa mengubah fase dari material penyimpannya. Nilai dari panas sensibel dapat diketahui dengan persamaan 2.10 berikut (Kern, 1965) :

$$Q_s = m \times \int_{T_0}^{T_1} C_{pLarutan} dT \quad (2.10)$$

Dimana :

Q_s = Panas sensibel yang dilepas ataupun disimpan (J)

m = Massa bahan (Kg)

C_p = Kapasitas panas (J/Kg°C)

dT = Perubahan temperatur (°C)

T_1 = Temperatur Awal (°C)

T_0 = Temperatur akhir (°C)

2.3.2 Panas Laten

Penyimpanan panas laten terjadi pada proses isothermal saat material mengalami perubahan fasa, pada umumnya terjadi pada fasa padar ke cair. Perubahan fasa tersebut diikuti penyerapan atau pelepasan energi panas yang relatif besar dan juga memiliki sistem kerapatan penyimpanan energi yang besar dibanding dengan sistem penyimpanan energi sensibel (Whitman dkk, 2005). Perubahan fasa sering terjadi pada penyimpan panas yakni seperti penguapan, pengembunan, peleburan, ataupun penyubliman. Besar nilai dari panas laten dapat diketahui dengan persamaan 2.11 sebagai berikut (Kern, 1965) :

$$Q_L = m \cdot L \quad (2.11)$$

Dimana :

Q_L = Panas laten yang disimpan ataupun dilepas (J)

M = Massa benda (Kg)

L = Kalor laten (J/Kg)

Pada sistem panas laten dua fasa, masalah titik leleh, ekspansi, memadat, kestabilan panas dan wadah untuk media penyimpan, harus sangat diperhatikan. Pada sistem panas sensibel dua fasa, *boiling point* untuk masing-masing bahan harus sangat diperhatikan (Sudrajat, 2013).

Sistem penyimpanan panas bisa dipengaruhi dikarenakan adanya kalor yang hilang dan kerapatan energi yang tersimpan. Jumlah kerugian kalor tergantung dari luas permukaan penyimpan dan kondisi isolasi panas yang dipakai di sekeliling media penyimpan panas. Semakin baik isolasi yang diterapkan maka kemungkinan kehilangan panas semakin kecil.

Kerapatan energi tersimpan yakni energi yang tersimpan per satuan volum, dan biasanya di berikan dalam Btu per feet kubik atau joule per meter kubik (Kalaiselvan & Parameshwaran, 2014).

Penyimpanan panas sensibel umumnya dilaksanakan dalam air, etilen glikol, batu dan terak besi.

Penyimpanan panas laten biasanya dilakukan dalam es, garam ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), lilin parafin, disodium hidrogen phosphat dodecahidrat ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) dan asam lemak (Sudrajat dkk, 2013).

Berikut merupakan beberapa bahan yang dipakai pada penyimpanan panas sensibel yang ditunjukkan pada tabel 2.2 dan penyimpanan panas laten pada tabel 2.3.

Tabel 2.2 Bahan penyimpan Panas Sensibel

Nama Bahan	Rumus Molekul	Panas Spesifik (kJ/Kg°C)	Kapasitas Panas Volumetrik (Kj/m ³ .°C)
Air (30 °C)	H ₂ O	4,18	4191
Isobutil Alkohol	C ₄ H ₉ OH	3,01	2381
Ethil Alkohol	C ₂ H ₅ OH	2,85	2226
Berrilium	Be	2,81	5231
Kapur Tohor	CaCO ₃	0,91	2584
Pasir	SiO ₂	0,8	1341
Besi	Fe	0,47	3688
Etilen Glikol (30 °C)	C ₂ H ₄ (OH) ₂	2,35	1252

Tabel 2.3 Bahan Penyimpan Panas Laten

Nama Bahan	Rumus Molekul	Panas Spesifik (kJ/Kg°C)	Panas Fusi Kj/Kg	Panas Fusi Kj/m ³
Gliserol	C ₃ H ₈ O ₃	18	200,5	250.000
Sodium Sulfat Decahidrat	Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	32	152,8	350.200
Kalsium Nitrat Tetrahidrat	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	42	152,8	288.700
Sodiumhidroksida Oktahidrat	NaOH.8H ₂ O	64	272,1	472.000

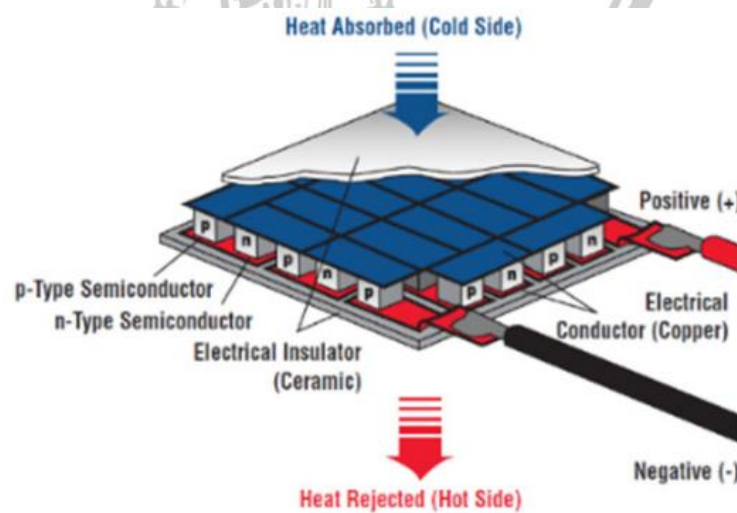
Bariumhidroksida Oktahidrat	Ba(OH) ₂ .8H ₂ O	78	300	655.700
Magnesium	Mg	651	293,1	499.200
Aluminium	Al	660	395,4	1.655.000
Magnesium Flourida	MgF ₂	1266	930,3	2.273.000

2.4 Termoelektrik Converter (TEC)

Termoelektrik Generator atau TEC merupakan alat yang bisa digunakan guna pembangkit tegangan listrik dengan memanfaatkan konduktivitas atau daya hantar panas dari suatu lempeng logam (Ryaunargo, 2014). Termoelektrik merupakan konversi langsung yang menjadikan energi termal menjadi energi listrik dimana didasarkan pada efek seebeck yang ditemukan pertama kali oleh Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821 (Ryaunargo, 2014).

Prinsip kerjanya yakni efek *seebeck* yang bekerja terhadap pembangkit termoelektrik dimana apabila terdapat dua buah material atau lempeng logam yang terhubung terletak pada lingkungan pada suhu yang berbeda sehingga pada material ataupun lempeng logam akan mengalir arus listrik (Ryaunargo, 2014). Termoelektrik generator ini merupakan teknologi yang relatif murah serta ramah lingkungan dengan skala besar yang dapat digunakan (Ryaunargo, 2014)

Termoelektrik merupakan teknologi bersifat semi-konduktor atau dikenal sebagai *solid state technology* (Ryaunargo, 2014). Termoelektrik memiliki struktur yang dapat dilihat pada gambar 2.2 (Ryaunargo, 2014).



Gambar 2.2 Struktur dari Termoelektrik

Pada gambar diatas memperlihatkan struktural dari termoelektrik yang tersusun dari elemen tipe-P dimana merupakan material yang kekurangan elektron, serta susunan elemen tipe-N dimana merupakan material yang kelebihan elektron (Ryanuargo, 2014). Panas akan masuk pada satu sisi yang kemudian akan keluar pada sisi yang lain (Ryanuargo, 2014). Transfer kalor akan menghasilkan tegangan yang melewati sambungan dari termoelektrik dan besarnya tegangan listrik yang dihasilkan akan sebanding dengan gradien temperatur (Ryanuargo, 2014). Jika batang logam dipanaskan serta didinginkan pada bagian kutub logam akan menimbulkan elektron aktif pada sisi panas logam yang kecepatan alirannya lebih tinggi dibandingkan dengan sisi dingin pada logam (Ryanuargo, 2014). Dengan kecepatan yang tinggi tersebut, maka akan terjadi difusi pada elektron dari sisi panas logam ke sisi dingin logam ataupun material tersebut (Ryanuargo., 2014).

Dalam penelitian ini digunakan termo elektrik tipe SP1848-27145 SA dengan output yang dihasilkan sebagai berikut (Yafet, 2015):

Tabel 2.4 Output Termoelektrik

ΔT	Voltage	Current	Power
$^{\circ}C$	Volt	mA	Watt
20	0,97	225	0,22
40	1,8	368	0,66
60	2,4	469	1,13
80	3,6	558	2,01
100	4,8	669	3,21

2.5 Arang Tempurung Kelapa

Arang dari tempurung kelapa merupakan suatu produk yang dihasilkan dari karbonisasi tempurung kelapa. Digunakannya arang karena memiliki kelebihan dimana asap yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan menggunakan tempurung kelapanya secara langsung. Karbonisasi terhadap tempurung kelapa membuat senyawa karbon kompleks tidak teroksidasi menjadi senyawa karbon dioksida yang biasa disebut pirolisis. Saat pirolisis terjadi, energi termal mendorong terjadinya oksidasi sehingga molekul karbon kompleks terurai menjadi arang atau karbon. Pirolisis pembentukan arang terjadi saat suhu 150-300 $^{\circ}C$. Pembentukan arang biasanya disebut sebagai pirolisis primer. Pirolisis sekunder dimana saat arang berubah menjadi zat lain seperti karbon monoksida, gas hidrogen, ataupun gas-gas hidrokarbon lainnya (Erkalinda, 2010).

Tempurung kelapa mempunyai peluang besar sebagai bahan bakar pengganti dikarenakan sifat difusi termalnya yang lebih baik dibandingkan dengan bahan lain seperti kayu (Budi, 2011).

Dilihat dari sifat-sifatnya, tempurung kelapa dan arangnya memiliki perbedaan yang berpengaruh dalam pemakaiannya sebagai bahan bakar yang dapat diperhatikan pada tabel 2.3 berikut (Budi, 2011) :

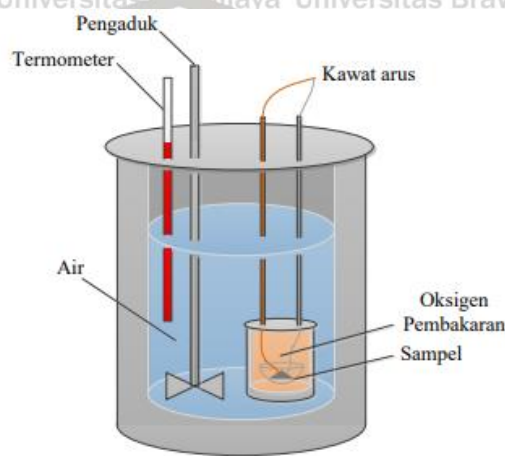
Tabel 2.5 Perbedaan sifat dari Tempurung kelapa dan Arang Tempurung Kelapa

Material	Komponen	Komposisi (%)	Sifat Termal (Kj/kg)
Tempurung Kelapa	Moisture	10,46	18,388
	Volatile	67,67	
	Karbon	18,29	
	Abu	3,58	
Arang Tempurung Kelapa	Volatile	10,6	30,75
	Karbon	76,32	
	Abu	13,08	

Biomassa dapat dikonversi pada kombinasi panas, daya dan berbagai macam bahan bakar melalui proses konversi panas. Panas dan daya merupakan produk dasar dari pembakaran biomassa secara langsung, tetapi sering menghasilkan produk samping pada proses termal yang lain, proses termal dapat mengkonversi biomassa menjadi produk padatan (arang, biomassa kering) gas (biogas, gas sintesis), dan larutan (etanol, biodiesel, gasoline) (Goswami dan Frank, 2015).

Komposisi energi bisa digunakan untuk mendefinisikan bahan bakar fosil dan biomassa sebagai energi homogen yang terkandung didalamnya. Energi yang terkandung dalam biomassa merupakan nilai kalor atau nilai pemanasan dari energi kimia yang tersimpan yang dapat dilepaskan melalui proses pembakaran. Kebanyakan bahan bakar (dan sebagian biomassa) mempunyai sedikit kandungan air. Rata-rata kandungan air dalam kayu kering dalam lingkungan lembab adalah sekitar 20%. Apabila kayu dibakar, air akan terevaporasi atau menguap, mengurangi nilai pembakaran dari kayu. Nilai pemanasan terendah (LHV) didefinisikan sebagai energi yang dihasilkan setelah semua air yang terkandung terevaporasi. Sedangkan nilai pemanasan tertinggi (HHV) juga termasuk energi yang digunakan untuk penguapan. Nilai pemanasan tertinggi dapat dihasilkan dalam proses pembakaran yang sesungguhnya hanya jika uap yang keluar terkondensasi lagi didalam alat penukar panas (heat exchanger) (Gaul, 2012). HHV dapat diukur dengan menggunakan kalorimeter bom.

Bom kalorimeter digunakan untuk mengukur panas reaksi senyawa organik yang mudah terbakar. Bom kalorimeter tersusun dari sistem adiabatik menggunakan jaket tebal umumnya terbuat dari stainless steel dan unit pembakaran sampel. Sampel dalam wadah sampel berada dalam atmosfer oksigen pembakar. Jika arus dialirkan ke dalam sampel maka terjadi pembakaran yang akan termonitor melalui kenaikan suhu yang diamati oleh termometer berkemampuan tinggi yang dapat memonitor suhu sangat tinggi. Sama halnya dengan pengukuran entalpi reaksi menggunakan kalorimeter biasa panas reaksi dihitung dari kapasitas panas kalorimeter dan kapasitas panas air yang ditunjukkan dari kenaikan temperatur (Fatimah, 2015).



Gambar 2.3 Skema Bom Kalorimeter

(Sumber : Fatimah, 2015)

Kelebihan dari bom kalorimeter yaitu dapat dilakukan pembakaran sempurna dengan menggunakan oksigen bertekanan tinggi. Perubahan entalpi diukur pada tekanan konstan. Bom kalorimeter beroperasi pada volume konstan sehingga dapat dilakukan pengukuran energi dalam reaksi (Clungston dan Flemming, 2000).

Jumlah energi yang dapat dihasilkan dari pembakaran biomassa dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E = m \times HHV \quad (2.11)$$

Dimana :

E = Energi yang dihasilkan (Btu)

M = Massa (Tons)

HHV = Nilai kalor pembakaran (Btu/Tons)

2.6 Etilena Glikol

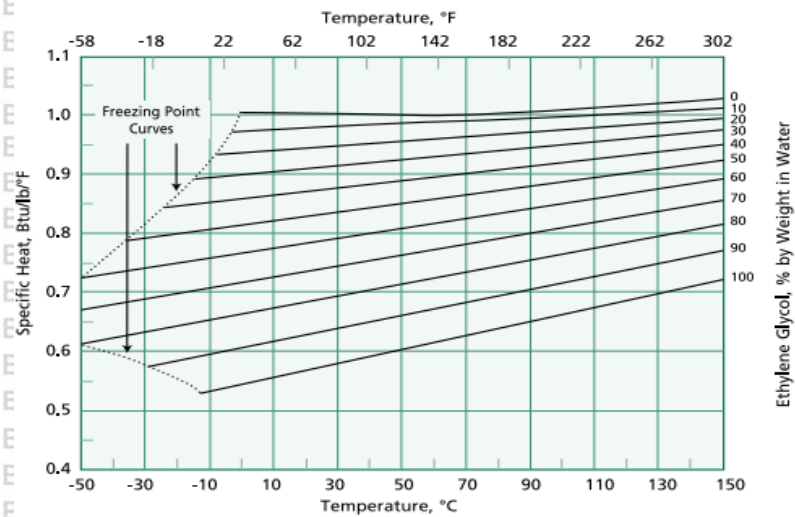
Etilena glikol merupakan material sintesis berupa cairan yang bening, tidak memiliki bau,berasa manis yang dapat menyerap air (Barash dkk,2000). Etilena glikol termasuk bagian dari alkohol yang memiliki dua gugus –OH dengan rumus molekul $C_2H_4(OH)_2$. Manfaat utama dari etilena glikol yakni dapat menjadi medium transfer kalor secara konveksi (Cheremisinoff & Rosenfeld, 2010). Pada umumnya, etilena glikol diaplikasikan sebagai anti-beku pada mesin mobil terutama pada radiator dan polyester fiber yakni sekitar 43% dan 26 % (Kent, 1992).

Etilena glikol dan propilena glikol memiliki karakter yang hampir mirip yakni termasuk bahan sintesis yang berupa cairan bening yang bisa menyerap air (Barash dkk, 2000).

Etilena glikol dapat dicampurkan dengan air dan beberapa larutan organik. Etilena glikol memiliki sifat fisik, sebagai berikut (MEGglobal,2004) :

Berat molekul	: 62,07 gr/ml
Titik didih	: 197,1 °C
Titik beku	: -13 °C
Densitas	: 1,1153 gr/ml
Panas fusi	: 9,96 Kj/gmol
Panas pembentukan (25 °C)	: -460 Kj/gmol
Panas penguapan (1 atm)	: 53,2 Kj/gmol
Panas pembakaran (25 °C)	: -1,053 Kj/gmol
Kelarutan dalam air (20 °C)	: 100 wt%

Pada umumnya, suhu dapat memengaruhi nilai kapasitas panas (C_p) atau panas spesifik dari etilen glikol yang membuatnya berubah-ubah. Pada gambar 2.4 dapat digunakan untuk menentukan nilai dari kapasitas panas pada larutan etilen glikol yang berada di dalam air.



Gambar 2.4 Grafik Panas spesifik larutan etilen glikol

(Sumber : MEGlobal, 2004)

Terdapat data nilai konduktivitas termal dari etilen glikol sebagai berikut :

Temperatur (K)	Konduktivitas Termal (W/m.K)
273	0,265

Dalam larutan etilen glikol memiliki kandungan air yang dapat memengaruhi nilai penggunaannya sebagai penyimpan panas, maka dari itu dibutuhkan perhitungan nilai kapasitas panas terhadap kapasitas air itu sendiri. Nilai konstanta a,b, dan c untuk larutan etilena glikol dalam air bisa diperhatikan pada tabel 2.6 sebagai berikut:

Tabel 2.6 Konstanta a,b, dan c larutan etilena glikol terhadap air

Etilena Glikol, Wt %	A	B	C
0	1,0038	-2,2459E-4	2,6257E-6
10	0,97236	1,8001E-4	5,7049E-7
20	0,93576	3,9963E-4	0
30	0,89889	5,1554E-4	0
40	0,85858	6,2639E-4	0
50	0,81485	7,3219E-4	0
60	0,76768	8,3293E-4	0
70	0,71707	9,2863E-4	0
80	0,66304	1,0193E-4	0
90	0,60557	1,1049E-4	0
100	0,54467	1,1854E-4	0

Data konstanta diatas digunakan untuk menghitung panas spesifik dari etilen glikol dengan persamaan 2.12 sebagai berikut (Mielonen, 2014) :

$$C_p = A + BT + CT^2 \quad (2.12)$$

Dimana :

C_p = Kapasitas panas (Btu/lb.°F)

A = Konstanta

B = Konstanta

C = Konstanta

T = Temperatur (°C)

2.7 Kalsium Klorida (CaCl_2)

Dalam larutan, garam akan terurai menjadi anion dan kation pembentuknya. Ion-ion tersebut akan menjadikan larutan mampu menghantarkan muatan listrik yang mengalir dalam larutan tersebut. Hal itu menjadikan nilai dari konduktivitas larutan gram sebanding dengan konsentrasi dari garam yang terlarut dalam larutan, tidak terkecuali garam kalsium klorida.

Kalsium Klorida yang memiliki rumus molekul CaCl_2 merupakan padatan berbentuk kristal yang larut dalam air, berwarna putih, dan tidak berbau (Darocur, 2005). Kalsium klorida tidak bersifat *explosive, non-flammable*, serta dapat larut dalam aseton, etanol, dan asam asetat.

Berikut ini merupakan sifat dari kalsium klorida, antara lain (MSDS, 2013):

pH : 4,5-8,5 @ 5 % Larutan

Titik Leleh : 772 °C

Titik Didih : >1600 °C

Tekanan Uap : 0,005 mmHg @20 °C

Densitas : 2,16 g/ml (suhu ruang 25 °C)

Specific Gravity : 2,15 (suhu ruang 25 °C)

Solubilitas (Air) : 745 g/L @ 20 °C

Dalam pengaplikasiannya, kalsium klorida dapat dijadikan sebagai penyimpan panas karena memiliki keunggulan dimana rendahnya titik leleh namun dapat mengkristal dengan sangat mudah dalam temperatur ruangan (Poerwadi, 2017).

2.8 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian	Sumber Panas	Material Penyimpanan Panas	Tipe Konverter	Hasil konversi
Edy dan Vivi (2015)	Panas matahari dan kompor listrik	$\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1-12706	1.146 kJ
Taufan dan Fauzi (2017)	Arang Tempurung Kelapa	Etilen Glikol dan Air	1-12706	394,2 kJ
Alfira dan Zaidar (2018)	Arang Tempurung Kelapa	Larutan <i>coolant</i>	SP1848 SA 27145	2.854 kJ
Kevin dan Pandu (2019)	Arang Tempurung Kelapa	Minyak kelapa sawit dan parafin	SP1848 SA 27145	10.320 kJ

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2020 di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik,

Universitas Brawijaya

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

3.2.1.1 Alat Utama

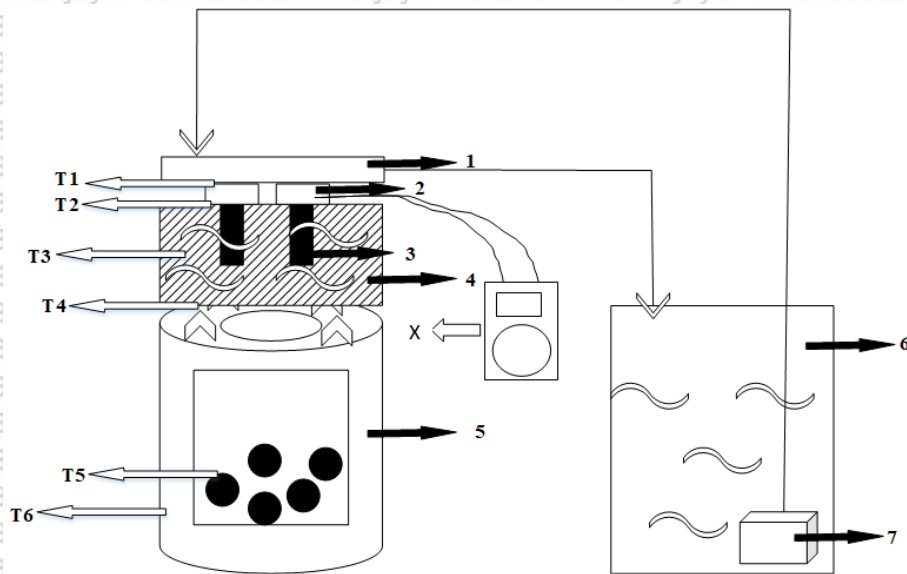
- a. *Thermoelectric Converter*
- b. Wadah heat storage
- c. Termometer Infrared
- d. Heatsink
- e. Kompor Biomassa
- f. Termometer Digital
- g. Chiller
- h. Multimeter

3.2.1.2 Alat Pendukung

- a. Neraca analitik
- b. Neraca digital
- c. stopwatch
- d. Magnetic stirrer
- e. Beaker glass
- f. Moisture balance
- g. Spatula

3.2.1.3 Rangkaian Alat Penelitian

Rangkaian alat yang digunakan pada penelitian disajikan pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Rangkaian alat penyimpanan panas

Keterangan gambar 3.1

1. Radiator berfungsi untuk menjaga suhu dingin sehingga sisi dingin *Thermoelectric* mendapatkan suhu yang konstan
2. *Thermoelectric Converter*
3. *Heatsink* berfungsi untuk memperluas kontak pada area panas maupun area dingin
4. Wadah penyimpanan media
5. Kompor biomassa
6. Wadah penyimpanan air dingin
7. Pompa air

Keterangan pengukuran :

T1 = Titik pengukuran temperatur sisi dingin *Thermoelectric*

T2 = Titik pengukuran temperatur sisi panas *Thermoelectric*

T3 = Titik pengukuran temperatur media penyimpanan panas

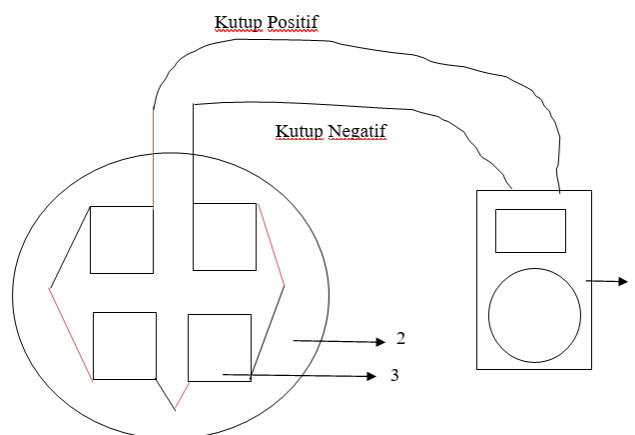
T4 = Titik pengukuran temperatur wadah bagian luar penyimpanan media

T5 = Titik pembakaran arang tempurung kelapa

T6 = Titik pengukuran temperatur bagian luar kompor biomassa

X = Titik pengukuran Arus dan Tegangan

Rangkaian susunan *thermoelectric converter* yang akan digunakan tersaji pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Rangkaian *thermoelectric converter*

Keterangan gambar 3.2

1. Multimeter atau Avometer
2. Tutup wadah penyimpanan media
3. *Thermoelectric Converter*

3.2.2 Bahan

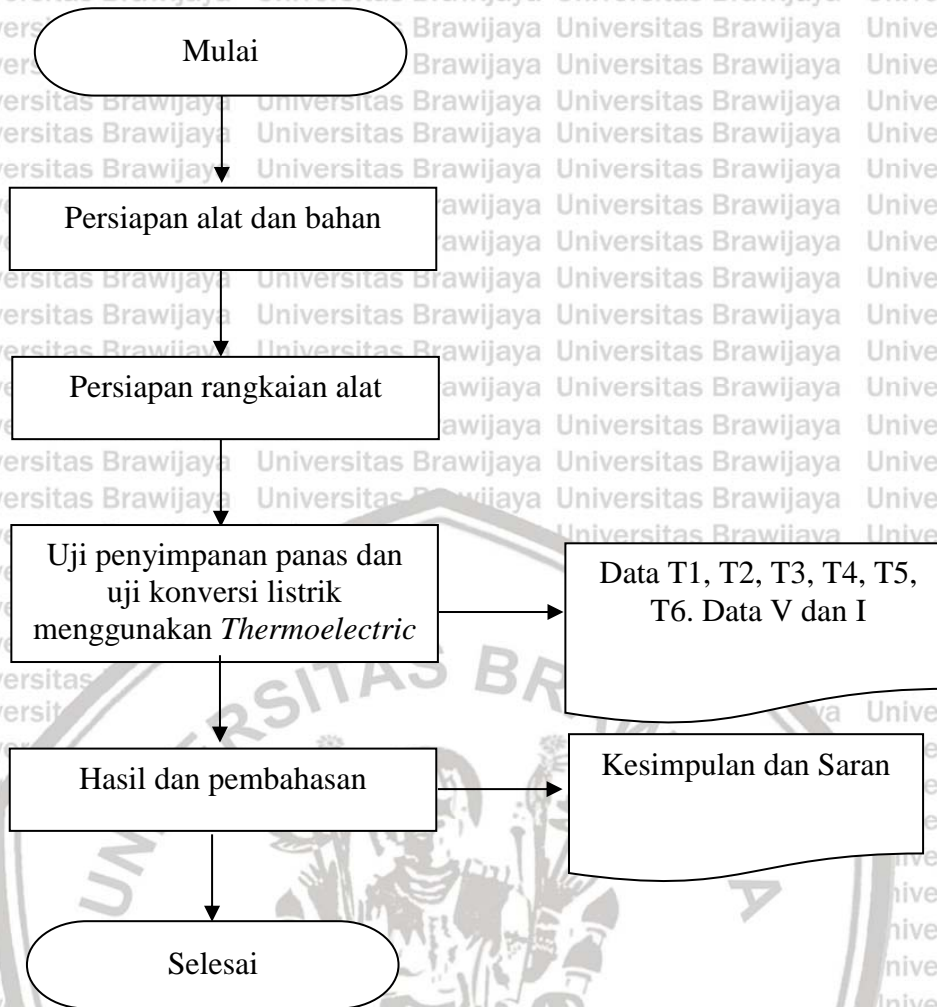
- a. CaCl_2
Digunakan sebagai campuran komponen penyimpan panas
- b. Etilen glikol 90%
Digunakan sebagai pelarut garam yang berguna untuk meningkatkan kemampuan penyimpanan panas
- c. Arang tempurung kelapa
Digunakan sebagai bahan bakar kompor
- d. *Aquades*
Digunakan sebagai campuran etilen glikol

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi massa CaCl_2 yang ditambahkan sebanyak 0%, 1,5%, 3%, 4,5%, dan 6% massa terhadap massa keseluruhan.

3.4 Tahap Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki tahapan secara umum yang disajikan pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

3.4.1 Persiapan Bahan

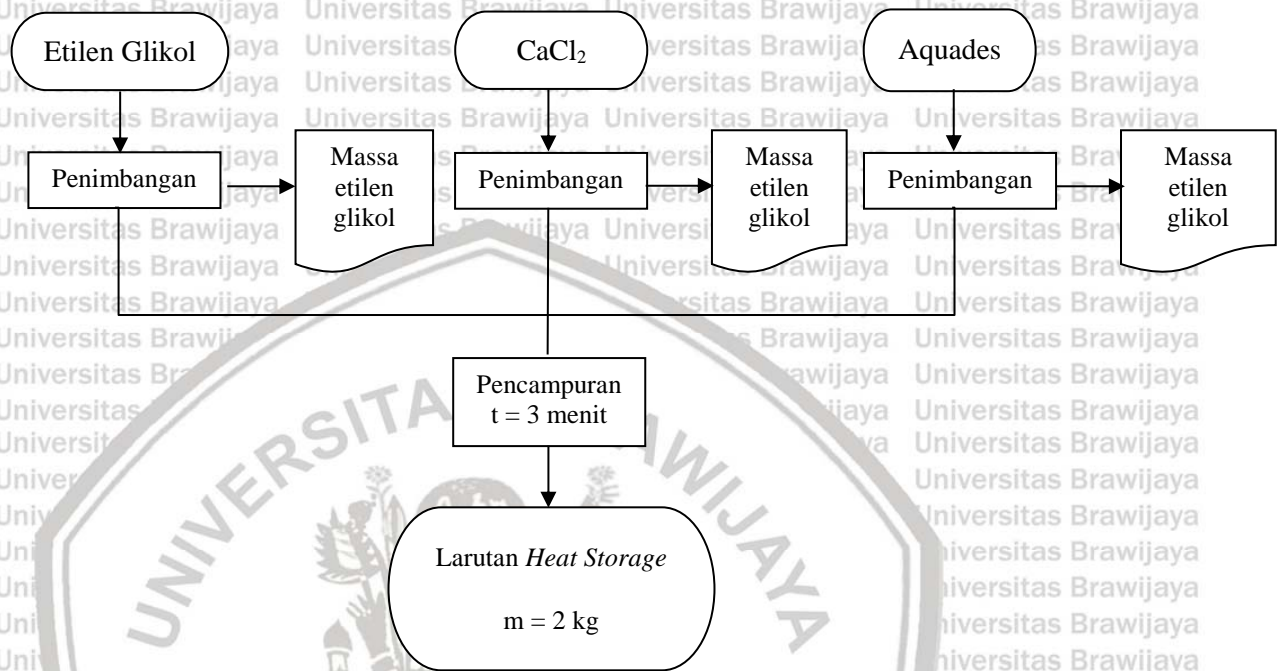
3.4.1.1 Persiapan Arang

Persiapan arang tempurung kelapa dilakukan dengan uji nilai kalor, kadar air, serta kadar abu. Pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kualitas arang dengan SNI yang ada. Uji kadar air dan Uji kadar abu dilakukan di Laboratorium OTK Universitas Brawijaya dengan menggunakan *moisture balance* untuk kadar air dan menggunakan *furnace* untuk kadar abu.

3.4.1.2 Persiapan Larutan

Pada larutan penyimpanan panas dilakukan persiapan berupa pengujian densitas serta titik didih larutan. Uji densitas bertujuan untuk mengetahui densitas larutan sehingga dapat dilakukan perbandingan terhadap bahan yang digunakan dengan bahan standar yang ada.

Pengujian densitas menggunakan piknometer pada suhu ruang (25 °C). Sedangkan pengujian nilai titik didih dilakukan untuk mengetahui apakah fase bahan yang digunakan akan berubah saat beroperasi atau tidak. Perhitungan nilai Cp serta konduktivitas panas dilakukan secara matematis yaitu dengan cara melakukan pengkalian fraksi molekul dengan nilai Cp serta konduktivitas.



Gambar 3.4 Diagram persiapan larutan

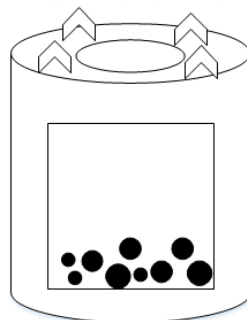
3.4.2 Proses Konversi

Pada gambar 3.1 memperlihatkan alat konversi listrik yang dirangkai serta pengukuran suhunya. Saat prosedur pemanasan pengukuran suhu dilakukan dimana suhu sisi dingin TEC (T_1) pada radiator, suhu sisi panas TEC (T_2) pada heatsink, Suhu campuran etilen glikol dan garam $CaCl_2$ (T_3), suhu wadah media penyimpanan (T_4), suhu dari pembakaran arang (T_5), suhu kompor biomassa (T_6), serta arus dan tegangan yang dihasilkan diukur pula (I dan V). Pengukuran temperatur $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$ dengan cara menempatkan termometer di titik yang diperlihatkan pada gambar 3.1. Dalam pengukuran temperatur T_1 dan T_2 bertujuan memperoleh perbandingan antara energi listrik yang dihasilkan dengan perbedaan temperatur. Pengukuran T_3 dan T_4 bertujuan mengetahui nilai kalor dari larutan yang ada pada *heat storage*. Pengukuran T_5 dan T_6 bertujuan mengetahui nilai kalor dari prosedur pembakaran arang. *Heat loss* dapat diketahui dari pengurangan nilai kalor dari larutan dikurangi dengan nilai kalor pembakaran arang. Dilakukannya pengukuran I dan V

dengan menggunakan multimeter yang terhubung ke TEC untuk mengetahui energi listrik yang dihasilkan.

Pemanasan campuran etilen glikol dan garam CaCl_2 memanfaatkan panas yang dihasilkan dari kompor biomassa. Bahan bakar yang digunakan pada kompor biomassa adalah arang tempurung kelapa. Arang tempurung kelapa yang digunakan sebesar 400 gram yang ditentukan berdasarkan penelitian terdahulu. Campuran etilen glikol dan garam CaCl_2 diletakkan pada wadah penyimpanan *heat storage* sebanyak 1,75 kg larutan. Wadah penyimpanan *heat storage* selain sebagai wadah larutan juga menjadi tempat transfer kalor secara konduksi dari kompor hingga ke campuran etilen glikol dan garam CaCl_2 . Campuran etilen glikol dan CaCl_2 digunakan sebagai penyimpan panas yang dihasilkan dari pembakaran arang tempurung kelapa. TEC yang tersusun seri diletakkan diantara *heat sink* yang berada disisi dingin dan sisi panas diatas wadah penyimpan *heat storage* untuk mengonversi energi termal yang disimpan oleh campuran etilen glikol dan CaCl_2 menjadi energi listrik.

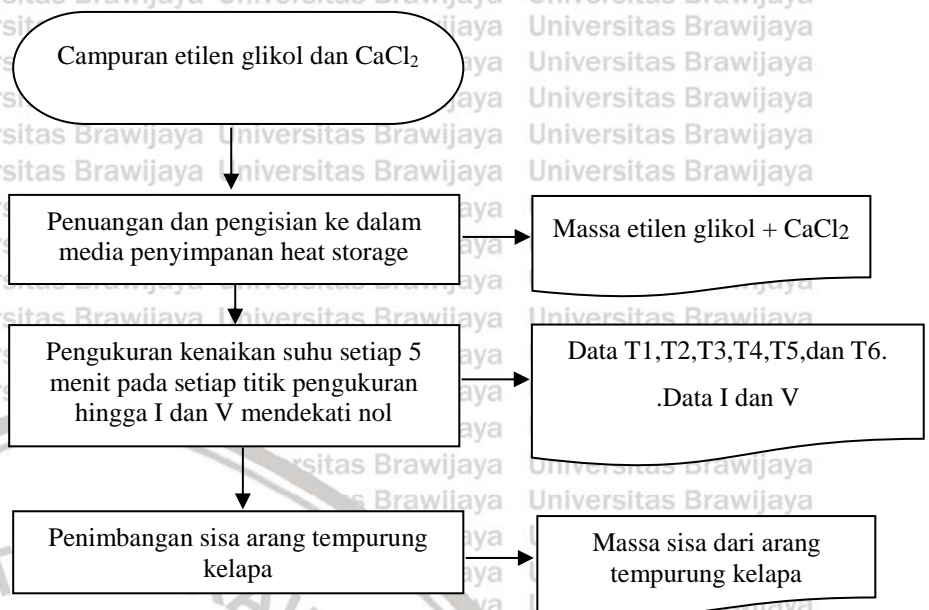
Diletakkannya heatsink pada sisi dingin dan sisi panas TEC guna memaksimalkan luas kontakannya, sehingga diharapkan sistem pendinginan akan bekerja lebih optimal. Prosedur konversi energi akan berlangsung hingga arus dan potensial listrik yang dihasilkan mendekati nol. Nilai arus dan potensial listrik akan mendekati nol apabila tidak ada lagi perbedaan temperatur pada kedua sisi TEC sehingga tidak ada lagi energi panas yang dikonversi menjadi listrik. Setelah proses perubahan energi telah selesai, penimbangan terhadap sisa arang tempurung kelapa dilakukan dengan tujuan agar mengetahui berapa jumlah arang yang terbakar selama berlangsungnya proses. Sisa arang tempurung kelapa beserta abu akan berada di bagian bawah kompor biomassa. Massa arang tempurung kelapa yang terbakar digunakan sebagai perhitungan untuk mencari nilai panas yang dilepaskan oleh arang tempurung kelapa selama proses konversi listrik. Diperlihatkan pada gambar 3.5 tempat sisa dari arang tempurung kelapa beserta abunya.



Gambar 3.5 Sisa arang tempurung kelapa

3.4.3 Uji Konversi Energi

Diagram alir uji konversi energi diperlihatkan pada gambar 3.5



Gambar 3.5 Diagram alir uji konversi

Keterangan : Prosedur dilaksanakan pada larutan penyimpan panas dengan jumlah massa CaCl_2 sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% dari massa total.

3.4.4 Analisa Data

Analisis data yang dibutuhkan untuk hasil dari penelitian yang dilakukan, diantaranya

Univ:

1. Waktu proses pemanasan campuran etilen glikol dan larutan CaCl_2
2. Perbedaan temperatur pada masing-masing titik pengukuran yakni $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$
3. Tegangan (V) dan kuat arus (I)
4. Massa arang tempurung kelapa sebelum dan sesudah proses konversi energi (m_{awal} dan (m_{akhir})

Ketika prosedur pemanasan, didapatkan efisiensi transfer kalor kompor biomassa terhadap campuran etilen glikol dan larutan CaCl_2 berdasarkan persamaan berikut :

$$\eta_{\text{Simpan}} = \frac{Q_{\text{Simpan}}}{Q_{\text{Arang}}} \quad (3.1)$$

Dimana :

η_{Simpan} = Efisiensi proses penyimpanan (%)

Q_{Simpan} = Panas yang disimpan campuran etilen glikol dan larutan $CaCl_2$ (kJ)

Q_{Arang} = Panas yang dihasilkan oleh arang tempurung kelapa (kJ)

Q_{Simpan} didapatkan pada persamaan berikut :

$$Q_{Simpan} = Q_{etilen\ glikol} + Q_{larutan\ CaCl_2} \quad (3.2)$$

Dimana :

Q_{Simpan} = Panas yang disimpan campuran etilen glikol dan larutan $CaCl_2$ (kJ)

$Q_{etilen\ glikol}$ = Panas yang disimpan etilen glikol (kJ)

$Q_{larutan\ CaCl_2}$ = Panas yang disimpan larutan $CaCl_2$ (kJ)

Dimana masing-masing $Q_{etilen\ glikol}$ dan $Q_{Larutan\ CaCl_2}$ didapat dengan persamaan (Perry, 2008) :

$$Q_{etilen\ glikol} = m_{etilen\ glikol} \times \int_{T_0}^{T_1} C_{p_{etilen\ glikol}} dT \quad (3.3)$$

Dimana :

$Q_{etilen\ glikol}$ = Panas yang disimpan etilen glikol (kJ)

$m_{etilen\ glikol}$ = Massa etilen glikol pada larutan penyimpan panas (kg)

T_0 = Temperatur awal campuran ($^{\circ}C$)

T_1 = Temperatur akhir campuran ($^{\circ}C$)

$$Q_{larutan\ CaCl_2} = m_{larutan\ CaCl_2} \times \int_{T_0}^{T_1} C_{p_{larutan\ CaCl_2}} dT \quad (3.4)$$

Dimana :

$Q_{larutan\ CaCl_2}$ = Panas yang disimpan larutan $CaCl_2$ (kJ)

m_{CaCl_2} = Massa larutan $CaCl_2$ pada larutan penyimpan panas (kg)

T_0 = Temperatur awal campuran ($^{\circ}C$)

T_1 = Temperatur akhir campuran ($^{\circ}C$)

Q_{arang} didapatkan pada persamaan berikut :

$$Q_{Arang} = (m_{arang\ 0} - m_{arang\ 1}) \times HHv \quad (3.5)$$

Dimana :

Q_{Arang} = Panas yang dihasilkan oleh arang tempurung kelapa (kJ)

$m_{arang\ 0}$ = Massa arang tempurung kelapa sebelum prosedur konversi energi (kg)

$m_{arang\ 1}$ = Massa arang tempurung kelapa sesudah prosedur konversi energi (kg)

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

Terdapat perhitungan dimana efisiensi konversi kalor yang diterima campuran etilen glikol dan larutan CaCl_2 menjadi energi listrik, sebagai berikut (Halliday, 2011) :

$$P_{konversi} = I \times V \quad (3.6)$$

$$W_{konversi} = P \times t \quad (3.7)$$

Dimana :

$P_{konversi}$ = Daya yang dihasilkan (Watt)

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

I = Arus yang dihasilkan (A)

V = Tegangan yang dihasilkan (V)

t = Waktu prosedur (s)

Dalam hal ini besarnya konversi listrik perlu diketahui dimana efisiensi konversi didapatkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{konversi} = \frac{W_{konversi}}{Q_{Simpan}} \quad (3.8)$$

Dengan memerhatikan efisiensi konversi dan efisiensi penyimpanan, didapatkan efisiensi keseluruhan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{keseluruhan} = \eta_{Simpan} \times \eta_{konversi} \quad (3.9)$$

Dimana :

$\eta_{keseluruhan}$ = Efisiensi total konversi energi listrik (%)

η_{Simpan} = Efisiensi proses penyimpanan (%)

$\eta_{konversi}$ = Efisiensi konversi listrik (%)



Halaman ini sengaja dikosongkan.

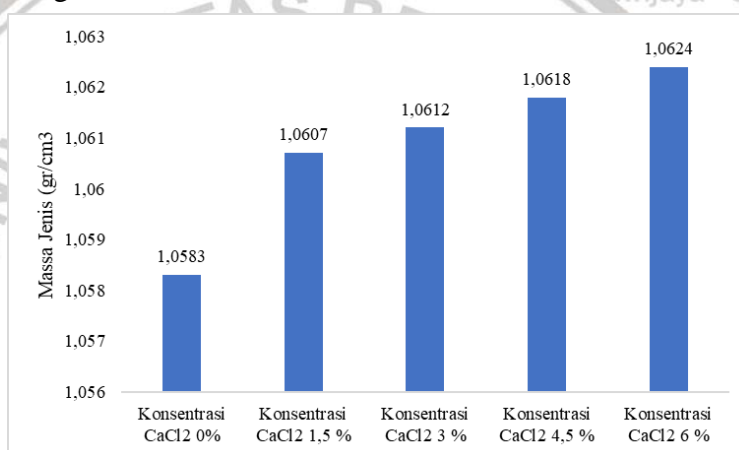
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Bahan Baku

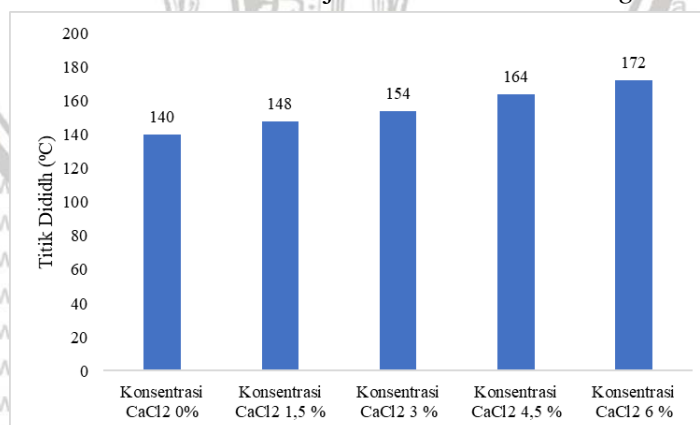
Pada penelitian ini dilakukan uji karakterisasi pada bahan baku yakni terhadap larutan heat storage dan arang tempurung kelapa. Larutan heat storage dengan variabel fraksi massa CaCl_2 yakni 0 %, 1,5 %, 3 %, 4,5 %, 6 % dikarakterisasi titik didihnya, sedangkan untuk arang tempurung kelapa dilakukan karakterisasi kadar *moisture*.

4.1.1. Karakterisasi Larutan Heat Storage

Karakteristik dari larutan *heat storage* yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 berikut



Gambar 4.1 Massa jenis larutan *heat storage*



Gambar 4.2 Titik didih larutan *heat storage*

Dari gambar 4.1 dan gambar 4.2 dapat diketahui bahwa terdapat perubahan karakterisasi larutan *heat storage* yang dipengaruhi oleh penambahan garam CaCl_2 . Semakin tinggi kandungan garam CaCl_2 , maka titik didih dan larutan akan semakin meningkat. Hal ini

menandakan bahwa nilai konsentrasi garam CaCl_2 berbanding lurus dengan nilai karakteristik titik didih dan massa jenisnya.

4.1.2. Karakterisasi Arang Tempurung Kelapa

Uji karakterisasi arang tempurung kelapa dimana kadar air dibandingkan dengan yang ada diliteratur, diperlihatkan pada tabel 4.1. sebagai berikut :

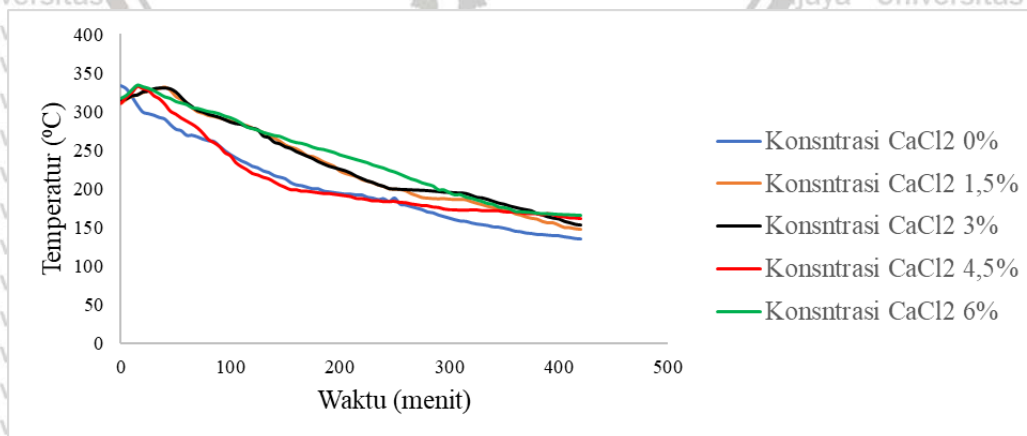
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Karakterisasi Arang Tempurung Kelapa

Jenis Karakterisasi	SNi 01-1682-1996	Hasil Pengujian (%)
Kadar Moisture	$\leq 6 \%$	$4,77 \pm 0,38$

Pada tabel 4.1 diatas memerlihatkan bahwa nilai kadar air pada pengujian arang tempurung kelapa telah memenuhi standard SNI arang tempurung kelapa.

4.2 Proses Pembakaran dan Pelepasan Panas Arang Tempurung Kelapa

Pada proses pembakaran menggunakan arang tempurung kelapa sebagai bahan bakar. Penggunaan arang tempurung kelapa pada setiap variable adalah sama yaitu 400 gram arang tempurung kelapa. Perubahan temperatur pada proses pembakaran disajikan pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik pembakaran arang terhadap waktu

Berdasarkan gambar 4.3 dapat diketahui bahwa suhu maksimum dari proses pembakaran arang pada grafik setiap variabel relatif sama, hal ini dapat dihubungkan dengan

tabel 4.2 dimana jumlah jumlah massa arang yang terbakar hampir sama antara tiap variabel sehingga rata-rata nilai kalor yang dihasilkan tiap arang yang digunakan pada masing-masing variabel memiliki nilai yang sama. Selama pembakaran berlangsung, karbon akan bereaksi dengan oksigen sehingga akan menghasilkan panas yang ditandai dengan perubahan entalpi dimana perubahan tersebut akan mempengaruhi kenaikan temperatur. Massa arang yang digunakan akan berkurang seiring berjalannya proses pembakaran. Panas yang dilepas dari proses pembakaran arang tempurung kelapa dapat diketahui dengan cara menggunakan persamaan (3.5). Persamaan tersebut memerlukan data massa arang sebelum proses pembakaran, massa arang setelah proses pembakaran, serta nilai kalor arang yang didapatkan dari uji nilai kalor menggunakan *bomb calorimeter*. Data hasil perhitungan panas dari arang tempurung kelapa disajikan pada table 4.2.

Tabel 4.2 Panas yang Dihasilkan dari Arang Tempurung Kelapa

Kondisi Percobaan	Panas yang dihasilkan Arang (kJ)
Konsentrasi CaCl_2 0%	9369,38
Konsentrasi CaCl_2 1,5%	9325,43
Konsentrasi CaCl_2 3%	9348,87
Konsentrasi CaCl_2 4,5%	9386,96
Konsentrasi CaCl_2 6%	9422,11

Berdasarkan table 4.2 menjelaskan bahwa panas yang dihasilkan dari arang tempurung kelapa memiliki nilai yang relatif sama dikarenakan nilai panas yang dihasilkan tidak berbeda signifikan. Dimana nilai panas yang dihasilkan oleh kondisi percobaan konsentrasi CaCl_2 0% sebesar 9369,38 kJ, untuk kondisi percobaan konsentrasi CaCl_2 1,5% sebesar 9325,43 kJ, untuk kondisi percobaan konsentrasi CaCl_2 3% sebesar 9348,87 kJ, untuk kondisi percobaan konsentrasi CaCl_2 4,5% sebesar 9386,96 kJ dan untuk kondisi percobaan konsentrasi CaCl_2 6% memiliki nilai panas yang dihasilkan sebesar 9422,11 kJ. Hal tersebut telah dibuktikan dengan pengujian statistik Beda Nyata Terkecil (BNt) dimana perhitungannya terdapat pada lampiran.

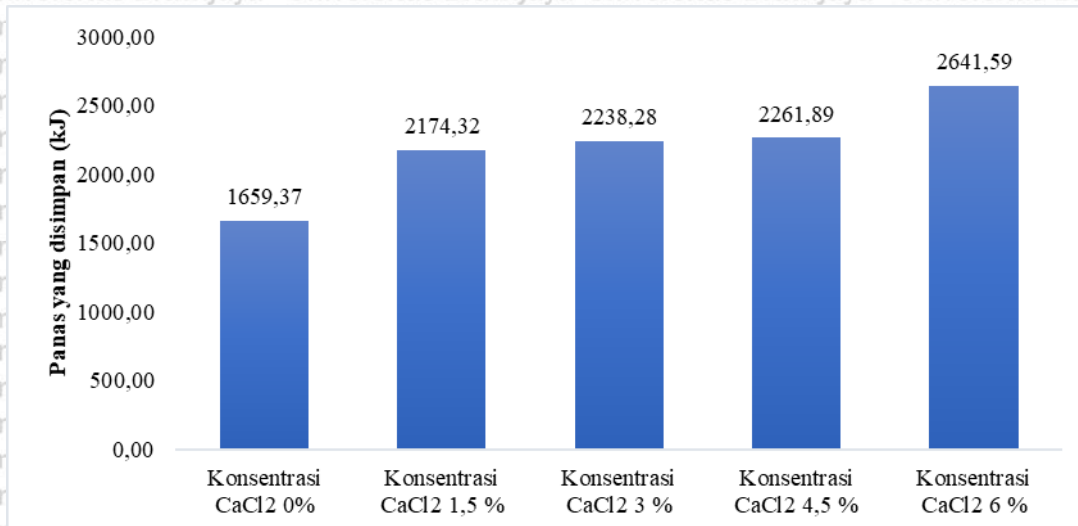
Uji BNt merupakan salah satu uji lanjut yang diperlukan apabila hasil dari Uji Anova atau sidik ragam terdapat perbedaan signifikan antar perlakuan dalam hal ini *running* yang dilakukan.

Dalam perhitungan BNt diperlukan nilai *Mean Square Error* (MS_E) yang didapatkan pada uji Anova, significant level (α) yang diinginkan dalam hal ini sebesar 0,05 dan derajat bebas galat

(dfe) untuk menghitung nilai t tabel ($t_{(\alpha, dfe)}$) serta nilai r (banyaknya data per perlakuan), barulah didapatkan nilai BNT. Didapatkan nilai BNT sebesar 104,18.

4.3 Proses Penyimpanan Panas pada Larutan *Heat Storage*

Panas yang dilepas pada proses pembakaran arang tempurung kelapa akan sama jumlahnya dengan panas yang diterima larutan *heat storage* ditambah dengan panas yang hilang. Panas yang disimpan larutan *heat storage* disajikan pada gambar 4.4 berikut

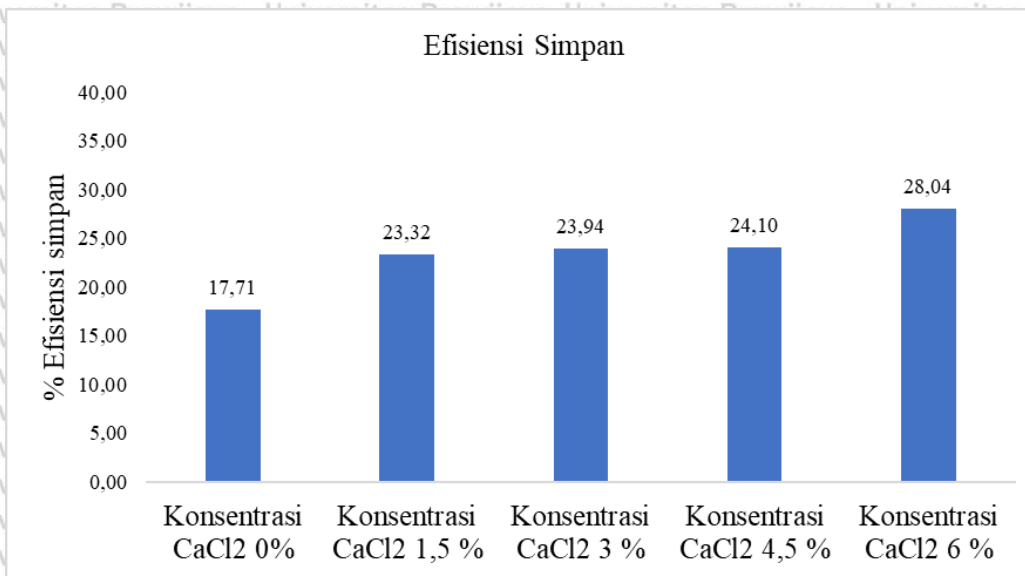


Gambar 4.4 Grafik panas yang disimpan dalam larutan *heat storage*

Dapat diketahui berdasarkan gambar 4.4 Nilai panas yang disimpan oleh larutan pada variable 5 dengan konsentrasi CaCl₂ 6% memiliki nilai yang paling besar yaitu 2641,59 kJ. Pada proses penyimpanan panas pada larutan, terdapat kehilangan panas yang diantaranya adalah karena pada kompor biomass terdapat lubang yang berguna sebagai sirkulasi udara. Selain itu panas juga dapat hilang dikarenakan panas yang dihasilkan telah melebihi kemampuan dari isolator yang digunakan. Kehilangan panas yang terjadi lebih dominan pada perpindahan panas secara konveksi dan radiasi.

Efisiensi penyimpanan dapat diperoleh dengan menggunakan perbandingan antara panas yang dilepas arang tempurung kelapa dengan panas yang disimpan larutan *heat storage*.

Perhitungan yang dilakukan menggunakan persamaan yang tertulis pada (3.1). Hasil perhitungan efisiensi penyimpanan disajikan pada gambar 4.5



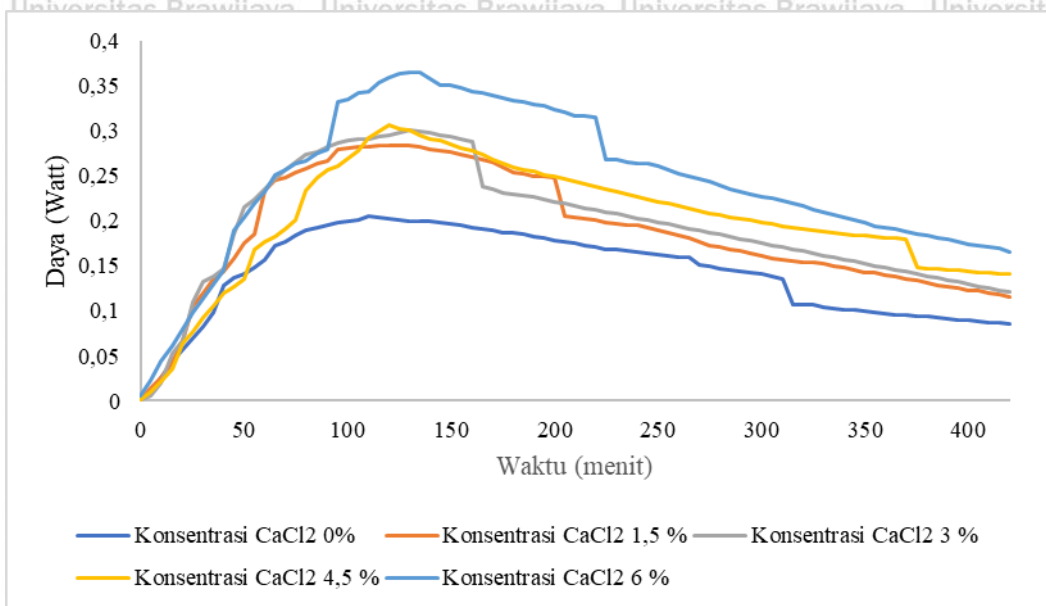
Gambar 4.5 Grafik efisiensi penyimpanan panas larutan *Heat Storage*

Berdasarkan Gambar 4.5 menjelaskan bahwa efisiensi penyimpanan yang tertinggi adalah pada larutan *heat storage* dengan konsentrasi garam CaCl₂ 6% yang termasuk fraksi terbesar digunakan pada penelitian ini. Hal ini disebabkan semakin besar massa CaCl₂ yang larut dalam larutan *heat storage* atau semakin besar fraksi CaCl₂ pada larutan *heat storage*, maka akan membuat kapasitas panas dari larutan *heat storage* semakin besar. Semakin besar kapasitas panas dari larutan *heat storage*, maka semakin besar panas yang diterima dari hasil pembakaran arang tempurung kelapa. Sehingga panas yang terbuang dari hasil perpindahan panas tersebut dapat diminimalkan. Panas yang disimpan pada larutan *heat storage* akan lebih besar yang ditunjukkan dengan semakin naiknya suhu larutan (Himmelblau, 1989).

4.4 Proses Konversi Listrik

Adanya perbedaan temperatur pada sisi panas dan sisi dingin TEC akan mengakibatkan adanya proses perubahan energi panas menjadi energi listrik. Apabila perbedaan suhunya besar maka akan menghasilkan energi listrik yang besar, begitu pula sebaliknya apabila perbedaan suhunya kecil maka hasil konversi listriknya juga kecil. Energi listrik yang dihasilkan pada indikator avometer berupa arus dan voltase yang dilakukan pengukuran setiap 5 menit. Dengan diketahuinya arus dan voltase, maka dapat digunakan persamaan (3.6) dan (3.7) sehingga

didapatkan nilai daya yang disajikan pada gambar 4.6. Data hasil perhitungan daya berdasarkan gambar 4.6 Disajikan pada tabel 4.3 Berikut



Gambar 4.6 Grafik Daya listrik terhadap waktu

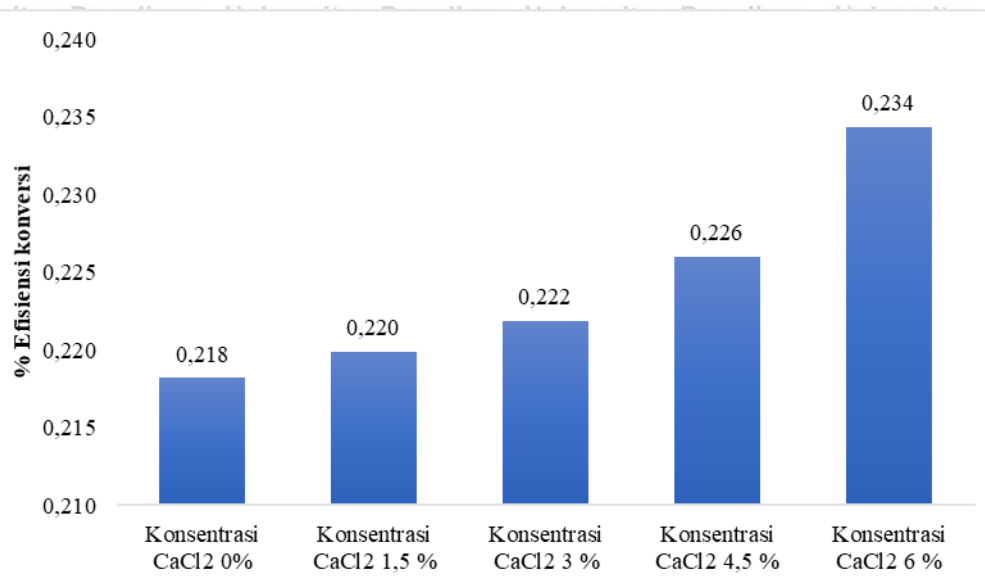
Tabel 4.3 Daya yang dihasilkan dari proses konversi

Konsentrasi CaCl ₂ (%)	Daya (kJ)
0	3,62
1.5	4,78
3	4,96
4.5	5,11
6	6,18

Berdasarkan tabel 4.3 Didapatkan larutan *heat storage* dengan konsentrasi CaCl₂ 6% dapat menghasilkan daya paling tinggi yaitu 5,9832 kJ dan daya yang paling kecil dihasilkan dari larutan *heat storage* dengan konsentrasi CaCl₂ 0% yaitu 3,6054 kJ. Hal ini disebabkan karena larutan *heat storage* dengan konsentrasi CaCl₂ yang lebih tinggi, akan menyimpan panas yang lebih besar. Larutan garam CaCl₂ tidak langsung memengaruhi hasil dari konversi listriknya, namun mempengaruhi suhu yang diterima oleh larutan *heat storage* menjadi lebih besar. Penyimpanan panas pada larutan juga relatif lebih lama dikarenakan pada menit ke-420 panas yang disimpan pada larutan masih terjadi proses konversi, hal ini membuktikan bahwa

pencampuran etilen glikol dan larutan garam CaCl_2 mampu meningkatkan efektivitas penyimpanan pada *heat storage*.

Efisiensi konversi dapat diperoleh dengan membandingkan energi listrik yang dihasilkan dengan energi panas yang disimpan larutan *heat storage*. Perhitungan yang dilakukan menggunakan persamaan yang tertulis pada (3.8). Hasil perhitungan efisiensi konversi disajikan pada gambar 4.7 berikut.



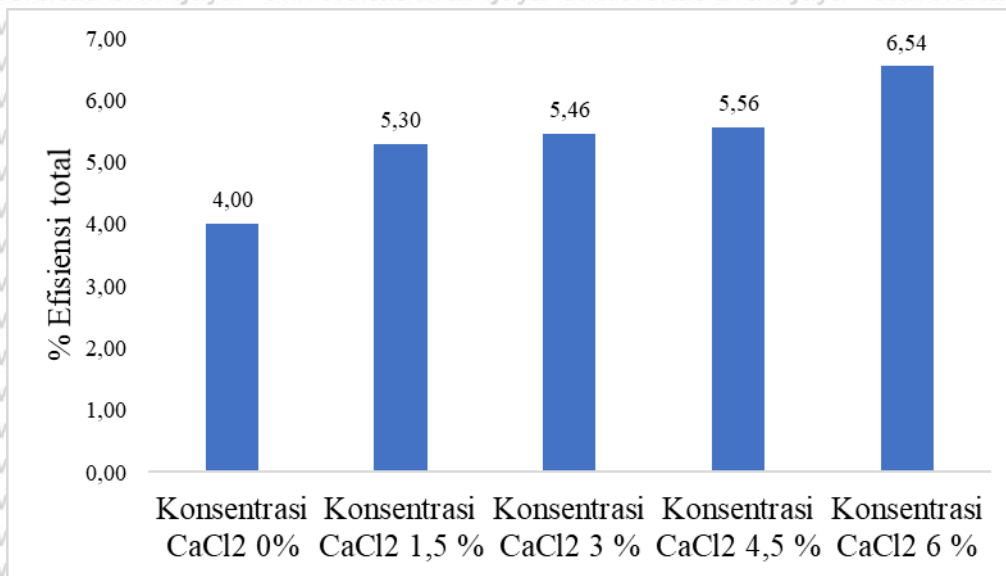
Gambar 4.7 Grafik efisiensi konversi listrik,

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi konversi, larutan *heat storage* dengan konsentrasi garam CaCl_2 6% memiliki nilai konversi yang paling tinggi yaitu 0.23%. Hal ini disebabkan karena pengaruh kandungan CaCl_2 yang paling tinggi dimiliki oleh larutan *heat storage* tersebut dimana dengan adanya kandungan CaCl_2 , maka dapat meningkatkan titik didih yang dimiliki larutan etilen glikol sehingga dapat menghasilkan titik didih yang lebih tinggi. Semakin tinggi suhu maksimum yang dihasilkan maka akan membuat perbedaan temperatur yang lebih besar dimana hal tersebut memengaruhi besarnya konversi listrik yang terjadi.

4.5 Efisiensi Proses

Efisiensi pada proses ini terdiri dari 3 macam, yaitu efisiensi penyimpanan, efisiensi konversi, serta efisiensi total. Efisiensi penyimpanan adalah efisiensi penyimpanan energi panas dari panas arang tempurung kelapa yang disimpan pada larutan *heat storage*. Sedangkan efisiensi konversi merupakan efisiensi pada hasil konversi panas yang disimpan pada larutan *heat storage* menjadi energi listrik. Efisiensi total merupakan efisiensi keseluruhan dari efisiensi penyimpanan panas dan efisiensi konversi.

Efisiensi total merupakan hasil perkalian antara efisiensi konversi dan efisiensi penyimpanan. Persamaan tersebut tertulis pada (3.9). Hasil dari efisiensi total disajikan pada gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8 Grafik efisiensi total pada Larutan Heat Storage

Tabel 4.4 Efisiensi total

Variabel (%) Fraksi Massa CaCl ₂	Efisiensi Simpan (%)	Efisiensi Konversi (%)	Efisiensi Total (%)
Konsentrasi CaCl ₂ 0%	17,71	0,22	4,00
Konsentrasi CaCl ₂ 1,5 %	23,32	0,22	5,30
Konsentrasi CaCl ₂ 3 %	23,94	0,22	5,46
Konsentrasi CaCl ₂ 4,5 %	24,10	0,23	5,56
Konsentrasi CaCl ₂ 6 %	28,04	0,23	6,54

Berdasarkan gambar 4.8 dapat terlihat bahwa efisiensi total terbesar terdapat pada larutan *heat storage* dengan konsentrasi garam CaCl₂ 6% yaitu sebesar 6.54%. Hal ini disebabkan karena efisiensi total adalah hasil kali antara efisiensi konversi dan efisiensi penyimpanan. Semakin tinggi nilai efisiensi konversi dan efisiensi penyimpanan, maka efisiensi total semakin besar.

Tabel 4.5 Total *Heatloss* pada proses

Kondisi Percobaan	<i>Heatloss</i> pada proses (%)
Konsentrasi CaCl ₂ 0%	82,3
Konsentrasi CaCl ₂ 1,5%	76,7
Konsentrasi CaCl ₂ 3%	76,1
Konsentrasi CaCl ₂ 4,5%	75,9
Konsentrasi CaCl ₂ 6%	72

Berdasarkan tabel 4.5 disajikan nilai *heatloss* yang terjadi pada kondisi percobaan ke-1 hingga ke-5 relatif memiliki nilai yang sama dibuktikan dengan batasan angka yang didapatkan pada uji BNt (LSD), kecuali pada kondisi percobaan ke-1. Penyebabnya yakni karena tidak adanya kandungan CaCl₂ pada variabel ke-1 dimana dengan adanya CaCl₂ dapat meningkatkan kapasitas panas sehingga penyimpanan energi panas dapat dilakukan lebih optimal dibuktikan dengan *heatloss* yang terjadi pada kondisi percobaan ke-2 hingga ke-5 lebih kecil dibanding *heatloss* yang terjadi pada kondisi percobaan ke-1. *Heatloss* juga terjadi disebabkan karena konversi dari *Thermoelectric* dengan tipe SP1848 SA 27145 sangat kecil. *Heatloss* yang terjadi pada penyimpanan panas dapat disebabkan oleh perbedaan temperatur yang berada dilingkungan sistem yang lebih rendah dibandingkan dengan temperatur yang berada pada sistem pembakaran.

Hasil yang telah didapatkan pada penelitian ini akan dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang bertujuan untuk mengetahui efektivitas nilai efisiensi konversi penggunaan campuran etilen glikol dengan larutan garam CaCl₂. Perbandingan tersebut disajikan pada tabel 4.6 berikut

Tabel 4.6 Perbandingan dengan penelitian terdahulu

Penelitian	Sumber Panas	Material Penyimpanan Panas	Effisiensi konversi
Afrizal dan Reffly (2020)	Arang Tempurung Kelapa	Campuran Larutan Garam CaCl_2 dan Etilen Glikol	0,23%
Kevin dan Pandu (2019)	Arang Tempurung Kelapa	Campuran Minyak Kelapa Sawit dan Parafin	0,25%
Roby dan Yunri (2018)	Arang Tempurung Kelapa	Minyak Kelapa Sawit	0,13%
Taufan dan Fauzi (2017)	Arang Tempurung Kelapa	Campuran Etilen Glikol dan Air	0,05%

Berdasarkan tabel 4.6 dapat dilihat bahwa penelitian Kevin dan Pandu (2019) memiliki nilai efisiensi paling tinggi yaitu 0.25%. Namun dibandingkan dengan penelitian Taufan dan Fauzi (2017) yang menggunakan bahan yang hampir sama, memiliki perbedaan yang signifikan, hal ini dipengaruhi oleh tidak adanya penambahan garam CaCl_2 sebagai heat storage pada penelitian ini. Roby dan Yunri (2018) memiliki nilai efisiensi konversi yang lebih rendah dari penelitian ini, yaitu 0,13 %. Hal ini disebabkan karena penelitian Robi dan Yunri (2018) menggunakan larutan dengan bahan yang berbeda yakni minyak kelapa sawit tanpa ada campuran parafin, sehingga nilai panas tersimpan dan nilai listrik terkonversi juga menjadi lebih rendah. Pada penelitian Kevin dan Pandu (2019) menggunakan bahan bakar berupa briket arang tempurung kelapa dimana nilai kalor yang dihasilkan briket arang tempurung kelapa lebih besar yaitu 10033,23 kJ dibandingkan dengan arang tempurung kelapa yaitu sebesar 9422,11 kJ. Pada penelitian Kevin dan Pandu (2019) didapatkan hasil konversi listrik sebesar 10,32 kJ dimana nilai tersebut lebih besar dibandingkan dengan penelitian ini yang

menghasilkan konversi listrik sebesar 5,98 kJ. Hal itu disebabkan karena adanya perbedaan titik didih pada variable penelitian. Pada penyimpanan panas secara sensibel, memiliki kelemahan yakni kemampuan penyimpanan panas dibatasi oleh perubahan fase zat, maka dari itu dibutuhkan bahan yang memiliki titik didih yang besar dengan tujuan dapat menyimpan panas lebih banyak karena semakin tinggi temperatur titik didih maka kapasitas panasnya pun semakin besar. Serta diikuti oleh pengaruh konduktivitas termal dimana konduktivitas termal yang rendah dapat membuat kehantaran panas pada larutan lebih cepat serta dapat menahan perpindahan ke lingkungan lebih lama dimana dapat mengurangi terjadinya heatloss. Pada penelitian Kevin dan Pandu (2019) titik didih larutan hingga 328 °C dimana nilai tersebut lebih besar dibandingkan dengan nilai titik didih dari penelitian ini yaitu sebesar 172 °C. Panas yang dihasilkan pada penelitian Kevin dan Pandu (2019) memiliki perbedaan nilai kalor sekitar 611 kJ dikarenakan penggunaan bahan bakar yang berbeda antara briket arang tempurung kelapa dengan arang tempurung kelapa.





Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan *Studi Penyimpanan Panas Menggunakan Larutan Etilen Glikol-CaCl₂ dan Konversi Listrik dengan Thermo Electric Converter* yang sudah dilakukan, diperoleh kesimpulan :

- Campuran Air dan CaCl₂ dan Etilen glikol dapat digunakan sebagai heat storage, hal ini bisa dilihat dari kemampuan larutan dengan massa 2 kg yang dapat menyimpan panas sebesar 2638,311 kJ.
- Energi konversi listrik terbesar dari energi panas yang disimpan larutan heat storage dengan menggunakan TEC tipe SP1848 SA 27145 sebanyak 4 buah yang dirangkai seri yakni sebesar 6,19 kJ pada fraksi massa larutan garam CaCl₂ 6 % dengan efisiensi penyimpanan terbesar yakni 28 %, efisiensi konversi sebesar 0,235 %, dan juga efisiensi total sebesar 6,536 %.

5.2. Saran

Untuk penelitian lebih lanjut, disarankan :

- Perlu dikembangkan untuk menggunakan sumber panas alternatif lain yang masih belum termanfaatkan.
- Perlu dikembangkan *heat storage* campuran lain untuk meningkatkan kapasitas simpan panas yang lebih besar dan dapat menyimpan dalam waktu relative lama.



Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali Sabit, M. T. (2012). EFEK SUHU PADA PROSES PENGARANGAN TERHADAP NILAI KALOR ARANG TEMPURUNG KELAPA (Coconut Shell Charcoal). *Jurnal Neutrino*, 3(2), 143–152. <https://doi.org/10.18860/neu.v0i0.1647>
- Ayu, Diah L. 2018. RANCANG BANGUN KIT PERCOBAAN KONDUKTIVITAS TERMAL BERBASIS MIKROKONTROLER. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI) Volume 07 Nomor 03 Tahun 2018*, hal 6-10
- Bp, D., Continental, J., Hydrochloride, D., Simone, G., & Tpo, D. (2005). Safety data sheet Safety data sheet. *Carbon*, 1173(i), 1–8.
- Cao, E. (2010). *heat_transfer_in_process_engineering.EBOOKOID.pdf*
- Clungston, Michael & Rosalind, Flemming. 2000. *Advanced Chemistry*. Taipei : 2000
- Daintith John. 2004. *The Facts On File Dictionary Of Organic Chemistry*. New York : Facts On File, Inc.
- Darocur, Continental, J., Hydrochloride, D., Simone, G., & Tpo, D. (2005). Safety data sheet Safety data sheet. *Carbon*, 1173(i), 1–8.
- Deshmukh Gajanan, Preeti Birwal, Rupesh Datir & Saurabh Patel. 2017. THERMAL INSULATION MATERIALS: A TOOL FOR ENERGY CONSERVATION. *J Food Process Technol* 2017, 8:4 DOI: 10.4172/2157-7110.1000670
- Dincer Ibrahim dan Rosen Marc A. 2011. *Thermal Energy Storage System And Applications*, Second Edition. Canada: WILEY A John Wiley and Sons, Ltd., Publication
- Effects, P. H. (2013). *Material Safety Data Sheet Acetic anhydride Section 1 - Chemical Product and Company Identification Section 2 - Composition , Information on Ingredients Section 3 - Hazards Identification Section 4 - First Aid Measures Section 5 - Fire Fighting Measures* S. 8–13.
- Engineering ToolBox, (2004). *Water - Specific Heat*. [online] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-water-d_660.html [Accessed Day Mo. Year]. Engineering ToolBox, (2007). *Calcium Chloride and Water*. [online] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/calcium-chloride-water-d_1186.html [Accessed Day Mo. Year].

Engineering ToolBox, (2007). *Calcium Chloride and Water*.
https://www.engineeringtoolbox.com/calcium-chloride-water-d_1186.html [Di akses pada 10 oktober 2020].

Fatimah, Is. 2015. *Kimia Fisika*. Yogyakarta : Depublish.

Gan Thay Kong. 2010. *Peran Biomassa Bagi Energi Terbarukan*. Jakarta:PT Elex Media Komputindo

Geankoplis, Christie J. (1998). Transport processes and unit operations. In *The Chemical Engineering Journal* (Vol. 20, Issue 1, p. 82). [https://doi.org/10.1016/0300-9467\(80\)85013-1](https://doi.org/10.1016/0300-9467(80)85013-1)

Gentaz, C., Parodi, M., & Bonomi, A. (1976). Conductivities of calcium chloride and calcium chloride-sodium chloride solutions saturated in calcium carbide and unsaturated in calcium oxide. *Electrochimica Acta*, 21(2), 93–96. doi:10.1016/0013-4686(76)85043-8 Kern, Donald Q., 1965. *Process Heat Transfer*. Professional Lecturer in Chemical Engineering Case Institute of Technology. McGraw-Hill International Book Company.

Himmelblau, David M. 1989. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*, fifth edition. PTR Prentice-Hall, Inc. New Jersey

Indra Koto, Sahala Siallagan, Lisyanto, Agus Noviar Putra (2019). *Bioarang Organik Energi Alternatif*. Medan:Yayasan Kita Menulis.

MSDS (2013). *Material Safety Data Sheet Acetic anhydride Section 1 - Chemical Product and Company Identification Section 2 - Composition , Information on Ingredients Section 3 - Hazards Identification Section 4 - First Aid Measures Section 5 - Fire Fighting Measures* S. 8–13.

Pineda Diana Davila dan Rezania Alireza. 2017. *Thermoelectric Energy Conversion Basic Concepts and Device Applications*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Poerwadi, B., Pratama, D. E., Aprilia, V. A., & Agustina, D. (2017). *PEMANFAATAN GARAM CaCl₂ SEBAGAI HEAT STORAGE UNTUK SUMBER ENERGI TERMAL PADA Thermo Electric Converter*. November.

Ryanuargo, Anwar, S., & Sari, S. P. (2014). Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 10(4), 180–185. <https://doi.org/10.17529/jre.v10i4.1108>.

R., Anwar, S., & Sari, S. P. (2014). Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 10(4), 180–185.

<https://doi.org/10.17529/jre.v10i4.1108>

Smith, J. M., Ness, H. C. Van, Abbott, M., & Ness, H. Van. (2010). Vapor/Liquid Equilibrium: Introduction. In *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*.

Salawi Risnul Trianto, Zainuddin Ibnu Munzir, dan Yani Syamsuddin (2017). KINETIKA REAKSI PEMBAKARAN BIOBRIKET CAMPURAN BATUBARA DENGAN BIOMASSA. *Journal of Chemical Process Engineering ISSN = 2303-3401*. Volume 02, No. 02, Tahun 2017

Winarni Sri dan Syahril (2017). MISKONSEPSI KIMIA YANG DISEBABKAN PERNYATAAN NONPROPOSISI. [http://journal.um.ac.id/index.php/jps/ISSN: 2338-9117/EISSN: 2442-3904](http://journal.um.ac.id/index.php/jps/ISSN:2338-9117/EISSN:2442-3904). *Jurnal Pendidikan Sains* Volume 4, No. 4, Desember 2016, Hal 122-129





Halaman ini sengaja dikosongkan.

LAMPIRAN I

DATA DAN PERHITUNGAN PENELITIAN

1. Data Hasil Penelitian
1.1 Data Massa Bahan

Tabel L1.1 Data massa setiap variable

Jenis Larutan	Massa Larutan (gram)	Massa Etilen Glikol (gram)	Massa Air (gram)	Massa CaCl ₂ (gram)
Konsentrasi CaCl ₂ 0%	2000	1800	200	
Konsentrasi CaCl ₂ 1,5 %	2000	1800	199,7	2,95
Konsentrasi CaCl ₂ 3 %	2000	1800	194,7	5,82
Konsentrasi CaCl ₂ 4,5 %	2000	1800	191,3	8,61
Konsentrasi CaCl ₂ 6 %	2000	1800	188,6	11,32

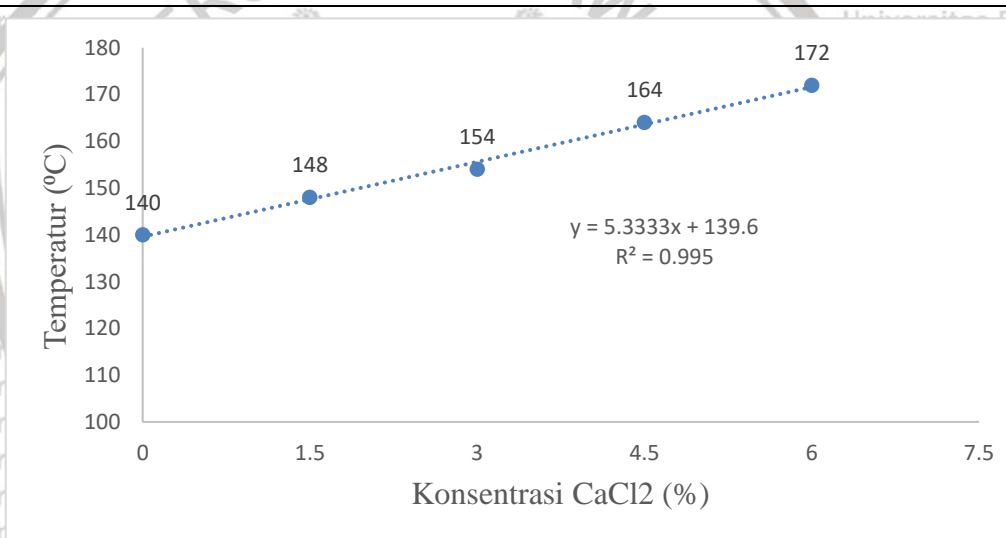
1.2 Data Massa Jenis Larutan

Tabel L1.2 Data Piknometer

Massa Piknometer Kosong (gram)	Volume Piknometer (mL)
15,6	10

Tabel L1.3 Data massa jenis larutan *heat storage*

Jenis Larutan	Massa Piknometer + Larutan (gram)	Massa Larutan (gram)	Massa Jenis Larutan (gram/mL)
Konsentrasi CaCl ₂ 0%	26,238	10,638	1,0638
Konsentrasi CaCl ₂ 1,5 %	26,262	10,662	1,0662
Konsentrasi CaCl ₂ 3 %	26,267	10,667	1,0667
Konsentrasi CaCl ₂ 4,5 %	26,273	10,673	1,0673
Konsentrasi CaCl ₂ 6 %	26,279	10,679	1,0679



Gambar L1.1 Grafik perbandingan titik didih konsentrasi CaCl₂

1.3 Data Arang Tempurung Kelapa

Tabel L1.4 Data Nilai Kalor

Nilai Kalor (cal/g)	Nilai Kalor (kJ/kg)
7002,3	29297,62

Tabel L1.5 Data Kadar Air Arang Tempurung Kelapa

Jenis Karakteristik	Komposisi (%)
Kadar Moisture	4,5

Keterangan : Dilakukan pengujian Standard deviasi untuk kevalidan data pengeringan arang

1.4 Data Massa Arang yang Terbakar pada Proses Pembakaran

Tabel L1.6 Data jumlah massa arang yang terbakar pada proses pembakaran

Jenis Larutan	Massa Arang Awal (gram)	Massa Arang Sisa (gram)	Jumlah Arang Terbakar (gram)
Konsentrasi CaCl ₂ 0%	400	80,2	319,8
Konsentrasi CaCl ₂ 1,5%	400	81,7	318,3
Konsentrasi CaCl ₂ 3%	400	80,9	319,1
Konsentrasi CaCl ₂ 4,5%	400	79,6	320,4
Konsentrasi CaCl ₂ 6%	400	78,4	321,6

1.5 Data Temperatur dan Listrik pada Proses Penyimpanan Panas dan Konversi Listrik

Tabel L1.7 Data temperatur dan energi listrik pada percobaan 1

t (menit)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	V (volt)	I (A)
0	24,4	24,6	25	24,8	334	24,7	0,028	0,04
5	25,2	26,8	32	29,8	330	25,5	0,259	0,04



10	29	31,9	39	32,6	320	31	0,628	0,04
15	29,6	34,6	43	31,7	309	31,6	1,086	0,04
20	30	36,7	48	32,7	300	31,5	1,432	0,04
25	28,4	38,6	53	32,1	298	31,6	1,748	0,04
30	28,2	41,8	56	31,5	296	30,7	2,05	0,04
35	27	43,8	61	30,4	293	30,1	2,45	0,04
40	28,2	46,2	63	33,7	291	30,2	2,57	0,05
45	28,8	49	66	37,1	284	32,1	2,75	0,05
50	29,3	51,4	69	35,9	278	31,5	2,82	0,05
55	27,4	56,3	71	36,8	276	30,2	2,97	0,05
60	27,3	57,4	74	36	270	29,6	3,14	0,05
65	27,5	59,1	75	36,3	270	29,9	3,45	0,05
70	28,3	60,8	76	37,8	268	29,9	3,54	0,05
75	29,4	62,6	77	38,6	265	30,4	3,67	0,05
80	27,8	65,8	78	37,9	263	29	3,78	0,05
85	29,2	68,3	78	38,5	262	31	3,86	0,05
90	28,5	69	79	38,5	256	30,3	3,92	0,05
95	28,5	69,2	80	37,5	250	30,1	3,96	0,05
100	28,1	69,5	80	38	245	30	3,99	0,05
105	28,9	70,7	80	37,9	241	30,4	4,02	0,05
110	30,5	71,2	80	36,7	237	30	4,11	0,05
115	30	72,2	80	36,3	234	31,1	4,08	0,05
120	29,9	73,6	80	35,9	230	31,1	4,06	0,05
125	29,8	74	80	36,1	228	30,2	4,02	0,05
130	29,1	74,8	80	35,7	224	31,1	4	0,05
135	29,5	74,5	80	35,8	222	30,6	4	0,05
140	28,3	74,3	80	36,4	218	29,8	3,99	0,05
145	29	74	80	35,1	216	29,7	3,97	0,05
150	28,5	73,4	78	33,8	214	30,6	3,93	0,05



155	29	73,1	78	34,7	209	30,2	3,9	0,05
160	28,5	72,8	78	33,7	206	30,1	3,86	0,05
165	28,3	72,4	77	34	205	29	3,82	0,05
170	28,1	72,2	77	34,2	203	29,6	3,79	0,05
175	28,5	71,7	76	34,6	201	29,2	3,75	0,05
180	27,9	71,3	76	33,8	201	28,6	3,73	0,05
185	27,8	71	75	33,8	198	28,7	3,72	0,05
190	27,6	70,7	74	33,3	197	29	3,64	0,05
195	29,6	70,5	74	35,2	196	30,4	3,62	0,05
200	29,6	70,3	73	34,8	195	30,2	3,57	0,05
205	31	70,1	72	36,2	194	32,6	3,54	0,05
210	30,1	69,4	72	35,4	194	30	3,51	0,05
215	28,4	68,8	72	34,6	193	29,8	3,44	0,05
220	29,3	68,3	71	33,8	193	30,1	3,43	0,05
225	28,9	67,9	71	33,6	190	30,1	3,37	0,05
230	29,2	67,1	70	33,7	189	29,7	3,37	0,05
235	29,4	66,4	70	33,7	187	29,8	3,33	0,05
240	29,4	63,7	70	33,3	188	30,1	3,32	0,05
245	29,3	63,2	70	33,1	184,5	30,5	3,27	0,05
250	29,8	63	69	33,2	189	30,2	3,24	0,05
255	29,5	62,5	68	33,8	181	30,2	3,22	0,05
260	29,4	62,1	68	33,4	180	29,7	3,2	0,05
265	28,9	61,9	68	32,8	178	29,3	3,18	0,05
270	30,4	61,6	68	33,3	176	30,7	3,03	0,05
275	30,4	61,2	67	33,6	174	31,1	2,98	0,05
280	30,3	60,7	66	33,4	171	30,7	2,94	0,05
285	29,7	60,4	66	32,5	170	30,1	2,91	0,05
290	30	60,1	66	32,7	167	30	2,88	0,05
295	30	59,7	65	32,4	165	30	2,85	0,05

300	30	59,6	64	32,5	163	30,3	2,81	0,05
305	29,7	59,4	64	32,3	161	30,2	2,78	0,05
310	29,7	59,1	63	32,8	159,3	30,3	2,72	0,05
315	29,6	58,6	62	32,2	158,9	30,2	2,69	0,04
320	29,5	58,2	62	33,7	156,9	29,6	2,67	0,04
325	29,4	57,9	62	31,6	155,4	30,1	2,66	0,04
330	29,5	57,4	61	32,9	154,6	29,9	2,6	0,04
335	30	57	61	32,2	153,5	30	2,57	0,04
340	29,8	56,6	60	32,9	151,8	30,3	2,53	0,04
345	30,3	56,2	60	33,4	151,4	30,3	2,52	0,04
350	30,3	55,8	60	32,9	150,1	30,7	2,49	0,04
355	30,4	55,4	59	33,6	148,4	30,8	2,46	0,04
360	30,3	55,1	59	32,5	146,2	30,9	2,43	0,04
365	30,5	54,7	58	32,9	145,5	31	2,4	0,04
370	30,6	54,6	58	32,3	143,8	30,9	2,37	0,04
375	29,9	54,2	58	32,3	143,2	31,1	2,35	0,04
380	29,8	53,8	57	32,5	142	30,7	2,34	0,04
385	30,1	53,4	57	32,6	141,8	30,1	2,32	0,04
390	30,4	53,2	56	33,1	141,1	30,3	2,29	0,04
395	31,5	52,8	56	34,3	140,5	31	2,25	0,04
400	30,9	52,5	56	33,2	140,3	31,9	2,23	0,04
405	30,5	52,1	56	32,1	138,9	30,9	2,2	0,04
410	30,1	51,7	56	32,1	138	30,6	2,18	0,04
415	29,8	51,4	54	32,6	136,7	30,4	2,18	0,04
420	30	51,2	54	32,3	136,1	30	2,15	0,04

Tabel L1.8 Data temperatur dan energi listrik pada percobaan 2

t (menit)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	V (volt)	I (A)
--------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	-------------	-------



0	22,7	23,3	24	23	311	23	0,018	0,04
5	23,2	27,2	32	26,3	316	25	0,354	0,04
10	26,4	32	40	33,8	320	31,5	0,626	0,04
15	27,2	35,4	46	37,4	322	31,7	1,06	0,04
20	28,6	40,2	50	37,9	325	33,4	1,34	0,05
25	28,4	43,1	58	36,6	327	33,3	2,12	0,05
30	28,3	47,6	60	36	329	33,7	2,4	0,05
35	30,2	52,6	65	37	330	32,4	2,7	0,05
40	31,2	56	69	38	332	32,2	2,88	0,05
45	30,4	61	72	38,8	328	33,3	3,17	0,05
50	30,8	62,3	74	39,2	320	33,6	3,5	0,05
55	31,1	66	78	40,5	316	33,8	3,72	0,05
60	31,5	67,5	80	40,8	311	34,2	3,9	0,06
65	31,2	69,6	82	40	305	34,7	4,08	0,06
70	31	70,7	84	41	300	33,1	4,14	0,06
75	31,6	71,9	86	41,6	298	32,3	4,23	0,06
80	31,4	74,2	87	42,1	295	31,8	4,31	0,06
85	31,8	76,1	89	42,8	294	32	4,39	0,06
90	32,2	79,8	90	42,7	292	33,7	4,45	0,06
95	32,6	80	91	42,7	290	33,8	4,66	0,06
100	32,5	82,9	92	42,8	288	33,9	4,68	0,06
105	32,1	83,4	92	42,7	286	34	4,71	0,06
110	30,6	83,8	92	42,4	284	35,1	4,71	0,06
115	30,1	84,3	92	41,9	282	35,6	4,72	0,06
120	29,7	85,7	92	42	279	36	4,72	0,06
125	29,8	86,9	92	41,9	276	34,8	4,72	0,06
130	29,5	87,4	92	42,1	273	32	4,72	0,06
135	29	87,7	92	42,6	270	31	4,7	0,06
140	29,4	88	92	43,2	266	32	4,67	0,06



145	29,8	87,9	91	42,9	262	31,3	4,63	0,06
150	30	86,7	91	42,7	257	29,6	4,6	0,06
155	30	85,4	90	42,5	254	30,3	4,57	0,06
160	30	84,7	90	42,9	252	30	4,52	0,06
165	30,2	83,9	89	43,1	248	30,3	4,46	0,06
170	30,8	83,6	88	42,6	243	30,9	4,41	0,06
175	30,5	83,1	88	42,3	242	32,1	4,33	0,06
180	30,8	82,7	88	41,1	239	32,9	4,24	0,06
185	31,5	82,5	87	42,1	235	32,1	4,2	0,06
190	31,5	82,1	86	42,4	232	33,2	4,17	0,06
195	32,2	81,4	85	42,5	229	31,3	4,15	0,06
200	31,8	80,7	84	43	223	31,5	4,14	0,06
205	31,5	80,1	84	43,8	220	30,8	4,11	0,05
210	31,5	79,6	83	43,8	218	31	4,08	0,05
215	31	79,2	82	42,7	216	30,1	4,05	0,05
220	30	78,9	81	42,5	212	31,9	4,01	0,05
225	29,8	78,4	80	41,8	210	31,6	3,96	0,05
230	29,6	78	79	41,6	208	31,5	3,93	0,05
235	29,6	77,4	78	41,3	205	30,9	3,91	0,05
240	30,7	76,2	78	40,2	203	32,8	3,9	0,05
245	30,8	75,3	77	40,6	200	31,9	3,84	0,05
250	31	74,1	76	40	199,6	31	3,79	0,05
255	30,9	73,2	75	40	199,1	31,5	3,73	0,05
260	31,6	71,7	74	40,6	197,6	31,7	3,67	0,05
265	31,5	70,2	73	40,7	193,8	31	3,61	0,05
270	30,5	69,7	72	39,4	191,4	31	3,53	0,05
275	30,4	69,2	71	37,1	188,8	30,4	3,44	0,05
280	30,4	68,3	70	38,5	188	30,5	3,41	0,05
285	30,3	67,4	70	36,6	187,4	31,7	3,36	0,05

290	30,6	66,9	70	37,8	187,1	31	3,33	0,05
295	30,7	66,1	69	40,6	187,3	31	3,27	0,05
300	30,9	65,3	68	41,6	186,6	30,4	3,22	0,05
305	31,3	64,2	68	41,3	186,2	30,5	3,16	0,05
310	31,5	63,7	67	40,8	186,4	31,8	3,14	0,05
315	30,7	63,4	66	41	185,9	30	3,12	0,05
320	30,4	63	66	40,7	183,5	30,6	3,08	0,05
325	30,3	62,4	65	40	181,3	31,4	3,08	0,05
330	30,4	61,8	65	40,5	179,5	30,9	3,05	0,05
335	30,5	61,2	64	37	177,3	31,8	3	0,05
340	30,8	60,4	63	36,5	175,8	31,7	2,96	0,05
345	30,2	59,8	63	37,4	173,9	31,1	2,91	0,05
350	29,8	59,7	62	35,2	171,8	30,4	2,86	0,05
355	30,6	59,2	62	35	171,3	30,8	2,84	0,05
360	30,4	58,3	61	34,9	167,8	31,1	2,79	0,05
365	30,3	58,1	61	34,4	166,1	30,4	2,77	0,05
370	30	57,7	60	34,6	163,6	30,8	2,72	0,05
375	30,3	57,3	60	34,4	161,9	31,1	2,67	0,05
380	29,8	56,8	60	34,1	160,8	30,4	2,62	0,05
385	30,7	56,3	59	33,5	157,7	30,8	2,58	0,05
390	30,3	55,9	58	34,2	155,9	31,1	2,54	0,05
395	30	55,4	58	33,1	155,9	30,3	2,5	0,05
400	29,8	54,9	57	33	152,9	30,5	2,45	0,05
405	29,5	54,6	56	31,4	150	30,4	2,44	0,05
410	30,1	54,1	56	31,7	149,6	30,3	2,4	0,05
415	29	53,8	56	31,2	148,3	30,1	2,38	0,05
420	28,8	53,5	56	31,9	147,5	29,5	2,3	0,05

Tabel L1.9 Data temperatur dan energi listrik pada percobaan 3

t (menit)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	V (volt)	I (A)
0	23,3	23,3	24	24,8	314	24	0,02	0,04
5	24,6	28,3	31	29,8	316	27,4	0,132	0,04
10	25,4	32,3	39	32,6	320	29,1	0,499	0,04
15	26,6	36,4	45	31,7	321	30,3	1,06	0,05
20	27,4	41,6	50	32,7	325	31,5	1,33	0,05
25	27,3	44,5	57	32,1	326	32,6	2,2	0,05
30	27,8	47,9	63	31,5	329	33,7	2,64	0,05
35	28,4	53,4	69	30,4	330	33,9	2,76	0,05
40	28,9	56,5	72	33,7	330	34	2,93	0,05
45	29,2	61,9	75	37,1	329	33,8	3,1	0,06
50	29,5	65,7	78	35,9	325	33,9	3,58	0,06
55	29,6	67,8	80	36,8	318	34,2	3,74	0,06
60	29,8	69,2	82	36	311	34,5	3,92	0,06
65	30	70,4	84	36,3	306	34,6	4,11	0,06
70	30,5	72,1	86	37,8	301	34,7	4,29	0,06
75	31,1	74,6	87	38,6	299	34,6	4,41	0,06
80	31,5	77	88	38,5	296	34,8	4,56	0,06
85	32,7	79,8	89	38,6	294	34,9	4,62	0,06
90	32,5	82,6	90	38,5	292	35,1	4,71	0,06
95	31,9	84,3	91	38,8	289	35,3	4,77	0,06
100	31,2	86,7	92	39	286	35,7	4,83	0,06
105	30,4	87,4	92	38,9	284	35,7	4,86	0,06
110	30,1	87,9	93	39,1	283	35,9	4,86	0,06
115	29,6	88,3	94	39,3	280	36,2	4,89	0,06
120	29,4	88,8	94	39,5	278	36,5	4,92	0,06





125	29,2	89,2	93	40,5	276	36,8	4,97	0,06
130	28,7	90,1	93	40,9	268	36,3	5,01	0,06
135	28,6	90,1	92	41,5	266	36	5	0,06
140	28,4	89,8	92	41,8	260	35,7	4,96	0,06
145	28,1	87,9	91	42,4	258	35,4	4,93	0,06
150	27,9	86,7	90	42,9	254	34,9	4,89	0,06
155	28,3	85,5	90	43,1	252	34,5	4,85	0,06
160	28,5	84,8	89	43,6	248	34,1	4,81	0,06
165	28,4	84	89	43,8	245	33,3	4,76	0,05
170	28,2	83,7	88	43,8	242	30,9	4,70	0,05
175	28	83,1	88	44,3	239	32,1	4,63	0,05
180	27,7	82,9	87	44,1	235	32,9	4,59	0,05
185	27,4	82,5	86	43,7	232	32,1	4,57	0,05
190	27,2	82,1	85	43,4	229	33,2	4,53	0,05
195	27,3	81,4	85	42,8	227	31,3	4,48	0,05
200	27,1	80,9	84	42,6	225	31,5	4,42	0,05
205	27,4	80,1	83	42,2	223	30,8	4,38	0,05
210	27,7	79,6	83	42,1	220	31	4,33	0,05
215	27,8	79,2	82	42,2	216	30,1	4,29	0,05
220	27,8	78,9	81	41,8	213	31,9	4,24	0,05
225	27,7	78,3	80	41,3	210	31,6	4,20	0,05
230	27,9	78	79	40,7	208	31,5	4,15	0,05
235	28,1	77,4	78	40,5	205	30,9	4,11	0,05
240	28,2	76,2	77	40,6	203	32,8	4,06	0,05
245	28,4	75,3	77	39,4	200	31,9	4,01	0,05
250	28,5	74,1	76	38,7	199,6	31	3,97	0,05
255	28,7	73,2	75	38,3	199,1	31,5	3,92	0,05
260	28,9	71,6	74	37,6	198,7	31,7	3,88	0,05
265	28,8	70,8	73	36,4	198,4	31	3,83	0,05



270	29,1	69,7	72	36,6	198	31	3,79	0,05
275	29,5	69,2	71	34,9	197,9	30,4	3,74	0,05
280	29,4	68,3	71	33,4	197,4	30,5	3,69	0,05
285	29,6	67,4	70	32,5	196,8	31,7	3,65	0,05
290	29,5	66,9	70	32,7	196,2	31	3,60	0,05
295	29,5	66,1	69	32,4	195,4	31	3,56	0,05
300	29,3	65,3	68	32,5	195,1	30,4	3,51	0,05
305	29,1	64,2	68	32,3	194,7	30,5	3,46	0,05
310	28,8	63,7	67	32,8	194,3	31,8	3,42	0,05
315	28,9	63,4	66	32,2	193,7	30	3,37	0,05
320	28,7	63	66	33,7	191,4	30,6	3,33	0,05
325	28,6	62,8	65	31,6	188,8	31,4	3,28	0,05
330	28,4	62,5	64	32,9	188	30,9	3,24	0,05
335	28,4	62,4	64	32,2	186,1	31,8	3,19	0,05
340	28,3	61,8	63	32,9	183,7	31,7	3,14	0,05
345	28,4	61,2	62	33,4	181,3	31,1	3,10	0,05
350	28,5	60,4	62	32,9	179,9	30,4	3,05	0,05
355	28,4	59,8	62	33,6	177,5	30,8	3,01	0,05
360	28,6	59,7	61	32,5	175,8	31,1	2,96	0,05
365	28,5	59,2	61	32,9	174,1	30,4	2,91	0,05
370	28,4	58,3	60	32,3	172,8	30,8	2,87	0,05
375	28,5	58,1	60	32,3	171,3	31,1	2,82	0,05
380	28,3	57,7	60	32,5	167,8	31,6	2,78	0,05
385	28,3	57,3	60	32,6	166,1	32,2	2,73	0,05
390	28,3	56,8	59	33,1	163,6	31,1	2,69	0,05
395	28,2	56,3	59	34,3	161,9	30,3	2,64	0,05
400	28,4	55,9	58	33,2	160,8	30,5	2,59	0,05
405	28,5	55,4	58	32,1	157,7	30,4	2,55	0,05
410	28,3	54,9	58	32,1	155,9	30,3	2,50	0,05



Tabel L1.10 Data temperatur dan energi listrik pada percobaan 4

t (menit)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	V (volt)	I (A)
0	23,5	28,5	30	25,6	311	23,9	0,027	0,04
5	24,5	32,8	36	26,7	319	25,8	0,252	0,04
10	26	36,7	43	29,6	325	28,3	0,537	0,04
15	27,6	40,5	50	30,4	333	30,1	0,9	0,04
20	28,2	45,3	56	31,2	330	30,7	1,27	0,05
25	28,9	49,6	60	31,5	328	31	1,54	0,05
30	28,9	55,8	66	32,8	321	31,1	1,84	0,05
35	27,7	58,9	71	32,7	317	31,3	2,12	0,05
40	30	61	75	33,7	310	32	2,4	0,05
45	29,9	65,2	78	33,8	301	32,4	2,54	0,05
50	29,7	70,1	80	33,8	297	32,8	2,71	0,05
55	28,7	72,6	83	32	292	33	2,81	0,06
60	28,3	77,3	85	32,7	288	33,4	2,95	0,06
65	28,2	80,4	86	31,4	284	33,7	3,05	0,06
70	27,7	82,6	88	31,6	279	33,5	3,18	0,06
75	28,5	83,9	89	32,4	272	34,1	3,36	0,06
80	27,7	85,1	90	31,9	264	34,5	3,9	0,06
85	26,8	86,7	91	33,3	260	34,4	4,13	0,06
90	27,2	87,9	92	33,5	255	34,4	4,28	0,06
95	27,5	89,1	93	33,9	247	34,8	4,35	0,06
100	28,5	90,3	94	32,5	243	35,6	4,5	0,06
105	29,4	90,9	94	34,8	234	35,7	4,64	0,06
110	27,2	91,5	95	35,4	229	36,2	4,87	0,06



115	26,8	92	95	35,3	225	36,3	4,99	0,06
120	28,3	92,3	94	36,8	220	36,2	5,12	0,06
125	27,3	92,7	93	37,4	218	36,6	5,04	0,06
130	27,2	92,1	93	38,9	215	37,1	5,02	0,06
135	27,8	91,4	92	40	213	37,3	4,92	0,06
140	27,8	90,8	91	40,1	209	37,3	4,86	0,06
145	27,6	89,6	90	40,8	205	37,5	4,82	0,06
150	27,2	88,8	89	41,5	202	36,9	4,76	0,06
155	27,4	87,6	88	42,7	199	36,7	4,68	0,06
160	26,9	87	88	42,2	199	36,8	4,63	0,06
165	28,1	86,2	86	43,6	197	36,6	4,56	0,06
170	27,7	85,8	85	43,8	197	35,6	4,47	0,06
175	27,7	84,3	84	44,9	196	35,1	4,39	0,06
180	27,1	83,7	83	44,5	195	34,5	4,33	0,06
185	27	82,9	83	45,6	194	33,2	4,28	0,06
190	27,1	82,1	81	45,7	194	32,9	4,26	0,06
195	26,1	81,3	80	46,8	193	32,4	4,19	0,06
200	25,9	80,5	80	47,3	192	31,2	4,15	0,06
205	25,9	79,1	79	47	191,1	30,5	4,11	0,06
210	26,1	78,4	78	46,5	190	29,9	4,07	0,06
215	26,3	77,8	78	46,6	187,6	28,3	4,02	0,06
220	26,9	76,2	77	45,3	187,3	27,8	3,96	0,06
225	26	75,6	76	42,8	186,1	26,7	3,91	0,06
230	26,2	74,3	75	42,6	184,4	27	3,87	0,06
235	25,7	73,1	75	41,7	184,6	26,7	3,83	0,06
240	25	72,2	74	41,1	183,4	27,3	3,78	0,06
245	25,7	71,7	73	40,8	183,5	26,7	3,73	0,06
250	26,8	70,9	73	40,3	183,7	27,6	3,69	0,06
255	25,9	70,4	72	40,3	182,5	26,7	3,65	0,06



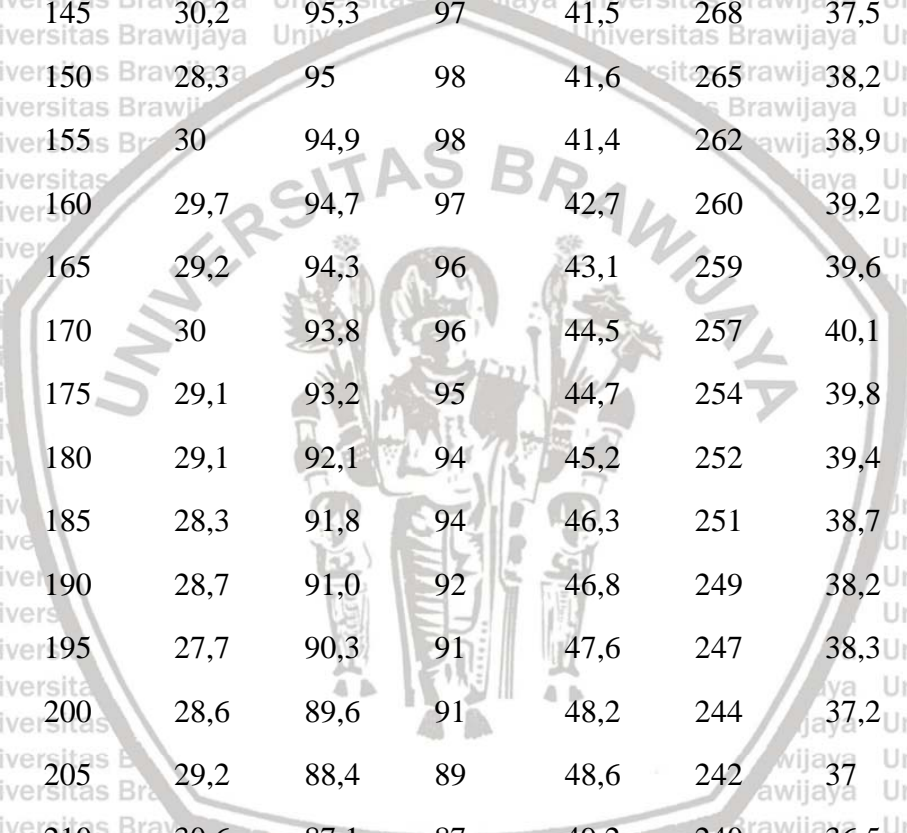
260	25,9	69,8	72	39,8	182,1	27	3,61	0,06
265	24,5	69,1	72	38,7	180,5	26	3,57	0,06
270	25,1	68,4	71	38,8	179,5	26,4	3,52	0,06
275	24,6	67,7	70	37,9	178,3	25,7	3,47	0,06
280	25,3	67	70	37,4	178,1	25,6	3,44	0,06
285	24	66,5	70	36,5	176,5	25,7	3,39	0,06
290	24,5	66,1	70	35,7	175,9	25,8	3,37	0,06
295	24,7	65,7	69	35,2	173,9	26,4	3,34	0,06
300	25,4	65,2	69	34,6	173	26,1	3,3	0,06
305	24,8	64,8	69	34,1	172,8	25,9	3,29	0,06
310	25	64,3	68	33,3	172,3	26,2	3,23	0,06
315	24,9	63,9	68	32,8	172,2	25,6	3,2	0,06
320	24,8	63,6	68	32,4	172,8	26	3,19	0,06
325	24,5	63,2	68	31,6	172,7	25,7	3,16	0,06
330	25,1	63	67	31,3	171,7	26,7	3,14	0,06
335	24,9	62,8	67	30,8	171,7	25,3	3,12	0,06
340	24	62,5	66	29,9	171,5	25,5	3,09	0,06
345	24,2	61,9	66	28,4	171,6	25	3,07	0,06
350	24,2	61,6	66	28,3	170,2	24,8	3,06	0,06
355	23,7	61,2	65	27,9	170	24,9	3,04	0,06
360	23,6	60,8	64	26,4	169,8	24,9	3,01	0,06
365	23,6	60,1	64	26,2	169,1	24,3	3,01	0,06
370	24,6	59,7	64	25,3	167,8	25,6	2,99	0,06
375	25,9	59,3	64	25,5	167,9	25	2,97	0,05
380	26,2	59	64	25,6	167,7	25,3	2,95	0,05
385	26,9	58,8	64	25,3	166,4	24,7	2,93	0,05
390	27,3	58,6	63	25,3	167,9	25,1	2,92	0,05
395	27,2	58,3	63	26,8	166,5	25,2	2,9	0,05
400	27,8	58,1	63	26,8	164,3	25,9	2,88	0,05

405	26,6	57,8	63	26,9	163,6	25,6	2,86	0,05
410	26,5	57,4	63	27	162,4	25,3	2,84	0,05
415	25,4	57,1	63	27,9	162,1	25,4	2,83	0,05
420	24,8	56,9	62	26,4	161,4	24,6	2,81	0,05

Tabel L1.11 Data temperatur dan energi listrik pada percobaan 5

t (menit)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	V (volt)	I (A)
0	24,2	26,5	25	25,1	317	24	0,153	0,04
5	23,2	31,6	36	27	321	24,2	0,577	0,04
10	25,6	35,4	42	27,8	328	27	0,886	0,05
15	26,4	39,8	47	28,8	334	27,8	1,23	0,05
20	26,2	46,7	53	29,7	332	27,4	1,6	0,05
25	28,3	49,6	57	31,1	330	29,2	1,97	0,05
30	28,4	55,8	60	31,5	327	29,7	2,28	0,05
35	27,3	58,9	64	31,1	323	28,9	2,59	0,05
40	27,6	61,4	68	32	319	29,2	2,9	0,05
45	27,1	65,2	72	31,5	317	28,8	3,15	0,06
50	27,8	70,1	75	32	313	29,4	3,4	0,06
55	28,4	72,6	77	32,1	311	29,5	3,65	0,06
60	28,7	77,3	80	32,7	309	31,9	3,88	0,06
65	30,5	80,4	82	33,7	305	31,4	4,19	0,06
70	29,4	82,1	84	34,5	304	31,6	4,29	0,06
75	29,1	82,6	84	34,6	302	31,7	4,4	0,06
80	29,8	83,4	85	35,4	300	32,1	4,45	0,06
85	28,3	84	86	35,2	299	32,6	4,58	0,06
90	28,2	85,6	87	36,1	297	33,4	4,67	0,06
95	28,6	86,8	89	37	294	34,1	4,74	0,07
100	28,9	87,9	89	37,7	292	34,5	4,78	0,07





105	30,1	88,2	90	38,2	289	34,8	4,89	0,07
110	30,7	89,3	92	38,5	285	34,9	4,92	0,07
115	28,1	90,1	92	39,3	280	35,1	5,06	0,07
120	27,8	90,9	94	38,9	278	35,6	5,14	0,07
125	30,6	91,7	94	39,1	276	36,1	5,19	0,07
130	32	92,8	94	39,9	273	36,2	5,21	0,07
135	30,5	93,3	95	40,1	271	36,7	5,17	0,07
140	30,2	94,5	97	40,7	269	37,1	5,12	0,07
145	30,2	95,3	97	41,5	268	37,5	5,02	0,07
150	28,3	95	98	41,6	265	38,2	5,02	0,07
155	30	94,9	98	41,4	262	38,9	4,97	0,07
160	29,7	94,7	97	42,7	260	39,2	4,92	0,07
165	29,2	94,3	96	43,1	259	39,6	4,88	0,07
170	30	93,8	96	44,5	257	40,1	4,84	0,07
175	29,1	93,2	95	44,7	254	39,8	4,8	0,07
180	29,1	92,1	94	45,2	252	39,4	4,77	0,07
185	28,3	91,8	94	46,3	251	38,7	4,74	0,07
190	28,7	91,0	92	46,8	249	38,2	4,71	0,07
195	27,7	90,3	91	47,6	247	38,3	4,68	0,07
200	28,6	89,6	91	48,2	244	37,2	4,62	0,07
205	29,2	88,4	89	48,6	242	37	4,59	0,07
210	30,6	87,1	87	49,2	240	36,5	4,53	0,07
215	30,7	86,3	86	49	238	36,3	4,53	0,07
220	30,6	85,5	86	48,7	236	35,9	4,51	0,07
225	29,7	84,5	86	48,2	234	35,5	4,48	0,06
230	27,9	83,9	85	48,6	231	34,8	4,46	0,06
235	28,1	83,6	84	47,5	229	34,3	4,42	0,06
240	28,5	82,1	83	47,1	227	33,7	4,4	0,06
245	30	81,9	83	47,2	224	33,2	4,39	0,06



250	28,4	81,0	82	46,8	222	32,4	4,34	0,06
255	29,1	80,2	81	46,3	219	31,8	4,27	0,06
260	28,1	79,4	81	46,5	216	31,8	4,2	0,06
265	27,2	78,6	80	45,7	213	31,2	4,15	0,06
270	26,9	77,8	80	45,6	211	31,4	4,11	0,06
275	27,2	77,0	79	45,2	208	30,9	4,06	0,06
280	28,8	76,3	78	45,4	206	30,3	3,99	0,06
285	28,7	75,5	77	44,8	204	30,7	3,92	0,06
290	29,2	74,7	76	44,2	199	30,2	3,88	0,06
295	30	73,9	76	43,7	198,9	30,3	3,83	0,06
300	29,8	73,1	75	43,8	195,3	30,6	3,77	0,06
305	28,3	72,3	75	42,8	192,3	29,5	3,75	0,06
310	28,2	71,5	74	42,3	192,7	28,8	3,7	0,06
315	27,8	71,1	74	41,9	189,6	28,5	3,65	0,06
320	27,9	70,9	73	41,5	188,1	28,6	3,61	0,06
325	28,6	70,0	72	40,6	185,9	28,8	3,55	0,06
330	28,2	69,3	72	39,7	183,9	29,1	3,5	0,06
335	28,1	68,8	71	39,2	181,3	28,7	3,45	0,06
340	28,6	68,4	70	38,7	180,3	29,3	3,41	0,06
345	28,9	67,5	70	37,5	176,7	29,3	3,36	0,06
350	28,4	67,3	70	36,3	176	29,3	3,31	0,06
355	29,7	66,9	70	35,1	174,3	30,2	3,24	0,06
360	28,9	66,4	69	33,9	171	29,2	3,21	0,06
365	28,2	65,9	68	32,7	170,5	29,7	3,18	0,06
370	27,4	65,3	68	32,4	170,1	27,8	3,14	0,06
375	26,2	64,5	67	31,2	169,7	26,6	3,1	0,06
380	26,2	64,0	66	30,9	168,7	26,8	3,07	0,06
385	25,8	63,3	66	30,5	168,2	26,8	3,02	0,06
390	25	62,7	66	31,7	168	26	2,99	0,06

395	26,5	62,1	66	31,1	167,7	25,7	2,95	0,06
400	25,8	61,4	65	30,8	167,2	26,7	2,9	0,06
405	25,8	60,8	64	30,5	166,9	26,5	2,88	0,06
410	28,6	60,2	64	29,8	166,6	27,5	2,84	0,06
415	27,2	59,5	64	30,6	166,3	27	2,82	0,06
420	26	58,9	64	32,1	165,9	26,5	2,76	0,06

Keterangan :

t = Waktu proses (menit)

T₁ = Temperatur sisi dingin TEC (°C)

T₂ = Temperatur sisi panas TEC (°C)

T₃ = Temperatur larutan *heat storage* (°C)

T₄ = Temperatur bagian luar wadah penyimpanan (°C)

T₅ = Temperatur pembakaran arang (°C)

T₆ = Temperatur bagian luar kompor biomassa (°C)

V = Tegangan listrik yang dihasilkan (volt)

I = Arus listrik yang dihasilkan (A)

2. Perhitungan

2.1 Perhitungan Massa Bahan Setiap Variabel

Massa larutan = 2000 g

Fraksi yang digunakan = % massa

Pada variabel larutan *heat storage* dengan konsentrasi CaCl₂ 0%

Fraksi etilen glikol = 100% - 20%

= 80 %

Massa etilen glikol pada larutan = 80 % x 2000 g

= 1800 gram

Massa air pada larutan = 20 % x 2000 g

$$= 200 \text{ gram}$$

2.2 Perhitungan Massa Jenis Larutan *Heat Storage*

Pada variabel larutan *heat storage* dengan konsentrasi CaCl_2 0%

$$\text{Massa piknometer kosong} = 15,655 \text{ gram}$$

$$\text{Massa piknometer} + \text{larutan } \textit{heat storage} = 26,238$$

$$\text{Massa larutan } \textit{heat storage} = (\text{Massa piknometer} + \text{larutan}) - (\text{Massa piknometer kosong})$$

$$= 26,238 - 15,655 = 10,638 \text{ gram}$$

$$\text{Volume piknometer} = 10 \text{ mL}$$

$$\text{Massa jenis larutan } \textit{heat storage} = \frac{\text{Massa larutan } \textit{heat storage}}{\text{Volume piknometer}}$$

$$= \frac{10,638 \text{ g}}{10 \text{ mL}} = 1,0638 \text{ g/mL}$$

2.3 Perhitungan Nilai Kalor Arang Tempurung Kelapa

$$\text{Nilai kalor dalam kJ/kg} = \text{nilai kalor} \left(\frac{\text{cal}}{\text{g}} \right) \times 4,183 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{cal}}$$

Pada percobaan pertama

$$\text{Nilai kalor} = 7003,97 \text{ cal/g}$$

$$\text{Nilai kalor} = 6894,21 \frac{\text{cal}}{\text{g}} \times 4,183 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{cal}}$$

$$= 29297,62 \text{ kJ/kg}$$

2.4 Perhitungan Massa Arang Tempurung Kelapa yang Terbakar

$$\text{Massa arang terbakar} = \text{Massa awal} - \text{Massa arang sisa}$$

Pada variable 1 dengan konsentrasi CaCl_2 0%

$$\text{Massa arang terbakar} = 400\text{g} - 80,2\text{g}$$

$$= 319,8 \text{ g}$$

2.5 Perhitungan Panas yang Dilepas Arang Tempurung Kelapa

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

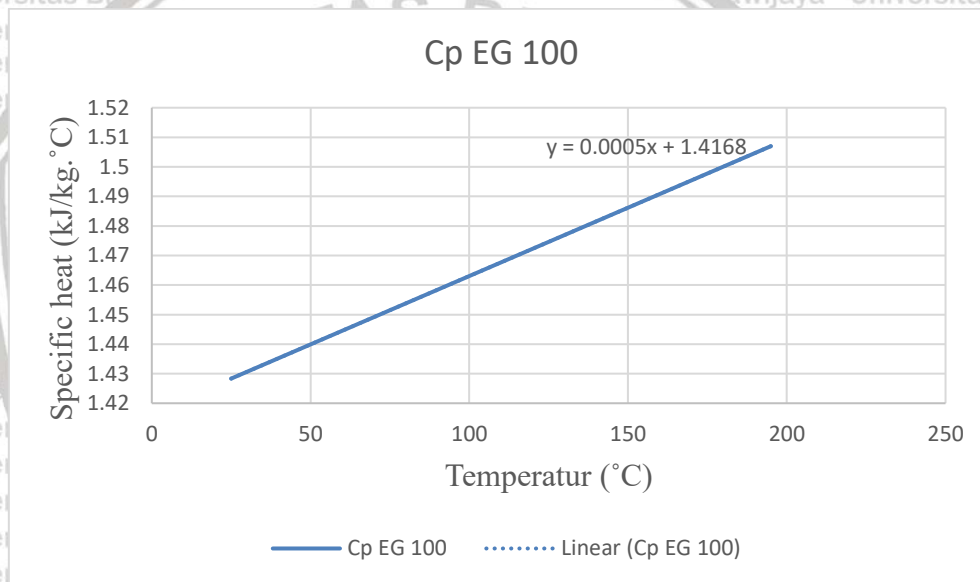
Pada running 1

$$\begin{aligned} \text{Panas yang dilepas arang} &= (0,4 \text{ kg} - 0,0802) \times 28845,8 \text{ kJ/kg} \\ &= 9224,75 \text{ kJ} \end{aligned}$$

2.6 Pehitungan *Specific Heat* Larutan *Heat Storage*

2.6.1 *Specific Heat* Etilen Glikol

Berdasarkan tabel 2.6 Dilakukan pengolahan data menggunakan microsoft excel dimana data disajikan pada grafik L1.1 sebagai berikut :



Gambar L2.1 *Specific Heat* Etilen Glikol

Didapatkam persamaan :

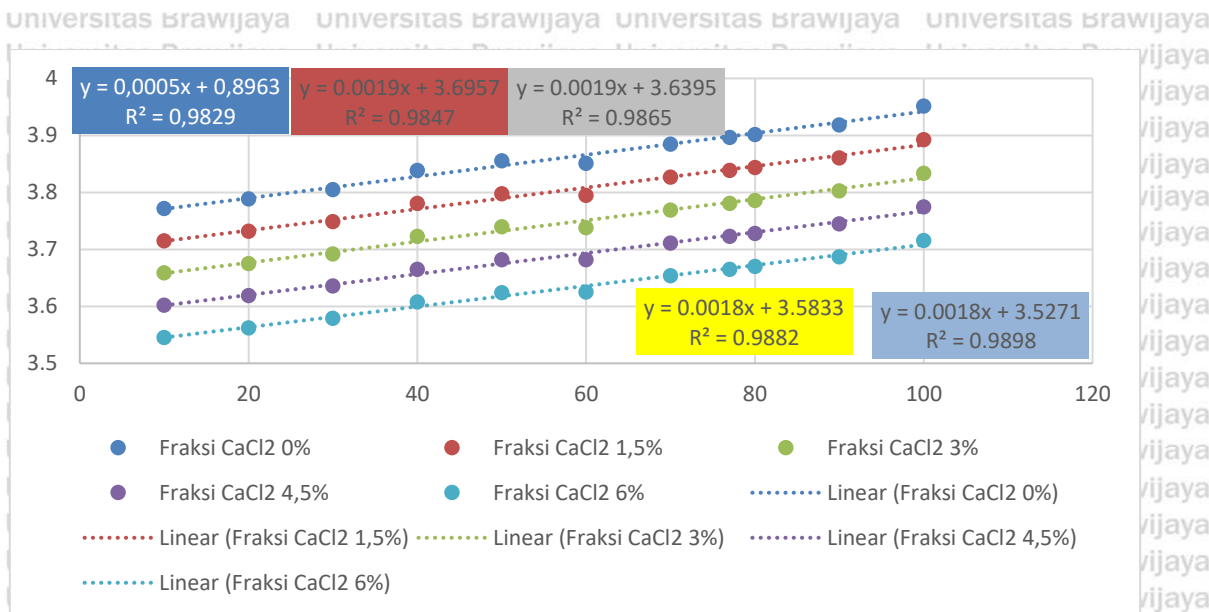
$$y = 0,0005x + 1,4168$$

Di mana :

y = Cp atau *specific heat* Etilen Glikol pada suhu tertentu (kJ/kg°C)

x = suhu Etilen Glikol (°C)

2.6.2 Perhitungan *Specific Heat* Larutan Garam CaCl₂



Gambar L2.2. Grafik *Specific Heat* Larutan CaCl₂

Temperature [°C]	Isochoric Specific Heat (C _v)				Isobaric Specific Heat (C _p)			
	[J/(mol K)]	[kJ/(kg K)]	[kWh/(kg K)]	[kcal/(kg K)] [Btu(IT)/lb _m °F]	[J/(mol K)]	[kJ/(kg K)]	[kWh/(kg K)]	[kcal/(kg K)] [Btu(IT)/lb _m °F]
0.01	75.981	4.2174	0.001172	1.0073	76.026	4.2199	0.001172	1.0079
10	75.505	4.1910	0.001164	1.0010	75.586	4.1955	0.001165	1.0021
20	74.893	4.1570	0.001155	0.9929	75.386	4.1844	0.001162	0.9994
25	74.548	4.1379	0.001149	0.9883	75.336	4.1816	0.001162	0.9988
30	74.181	4.1175	0.001144	0.9834	75.309	4.1801	0.001161	0.9984
40	73.392	4.0737	0.001132	0.9730	75.300	4.1796	0.001161	0.9983
50	72.540	4.0264	0.001118	0.9617	75.334	4.1815	0.001162	0.9987
60	71.644	3.9767	0.001105	0.9498	75.399	4.1851	0.001163	0.9996
70	70.716	3.9252	0.001090	0.9375	75.491	4.1902	0.001164	1.0008
80	69.774	3.8729	0.001076	0.9250	75.611	4.1969	0.001166	1.0024
90	68.828	3.8204	0.001061	0.9125	75.763	4.2053	0.001168	1.0044
100	67.888	3.7682	0.001047	0.9000	75.950	4.2157	0.001171	1.0069
110	66.960	3.7167	0.001032	0.8877	76.177	4.2283	0.001175	1.0099
120	66.050	3.6662	0.001018	0.8757	76.451	4.2435	0.001179	1.0135
140	64.306	3.5694	0.000992	0.8525	77.155	4.2826	0.001190	1.0229
160	62.674	3.4788	0.000966	0.8309	78.107	4.3354	0.001204	1.0355
180	61.163	3.3949	0.000943	0.8109	79.360	4.4050	0.001224	1.0521
200	59.775	3.3179	0.000922	0.7925	80.996	4.4958	0.001249	1.0738
220	58.514	3.2479	0.000902	0.7757	83.137	4.6146	0.001282	1.1022
240	57.381	3.1850	0.000885	0.7607	85.971	4.7719	0.001326	1.1397
260	56.392	3.1301	0.000869	0.7476	89.821	4.9856	0.001385	1.1908
280	55.578	3.0849	0.000857	0.7368	95.285	5.2889	0.001469	1.2632
300	55.003	3.0530	0.000848	0.7292	103.60	5.7504	0.001597	1.3735
320	54.819	3.0428	0.000845	0.7268	117.78	6.5373	0.001816	1.5614
340	55.455	3.0781	0.000855	0.7352	147.88	8.2080	0.002280	1.9604
360	59.402	3.2972	0.000916	0.7875	270.31	15.004	0.004168	3.5836

Gambar L2.3 Nilai Kapasitas Panas Air pada Temperatur 0 - 360°C

Calcium Chloride Brine specific heat, BTU/lb-°F						
Temp, °F	wt% calcium chloride					
	15%	20%	25%	29%	30%	32%
-20			0.665	0.640	0.634	0.621
-10			0.669	0.643	0.637	0.624
0		0.717	0.673	0.647	0.640	0.628
10	0.782	0.721	0.676	0.650	0.644	0.631
20	0.785	0.725	0.680	0.653	0.647	0.634
30	0.788	0.729	0.684	0.657	0.650	0.637
40	0.791	0.733	0.687	0.660	0.654	0.641
50	0.795	0.737	0.691	0.664	0.657	0.644
60	0.798	0.740	0.695	0.667	0.660	0.647
70	0.801	0.744	0.698	0.670	0.664	0.650
80	0.804	0.748	0.702	0.674	0.667	0.654
90	0.807	0.752	0.706	0.677	0.670	0.657
100	0.810	0.756	0.709	0.680	0.674	0.660

Gambar L2.4 Panas Spesifik dari CaCl₂ dalam Air

Didapatkan beberapa persamaan fraksi larutan garam CaCl₂ :

Persamaan Fraksi 0

$$y = mx + c$$

$$0,0005x + 0,8963$$

Integral = $0,00025x^2 + 0,8963x + 0,00025 + 0,8963$

Persamaan Fraksi 1,5

$$y = mx + c$$

$$0,0019x + 3,6957$$

Integral = $0,00095x^2 + 3,6957x + 0,00095 + 3,6957$

Persamaan Fraksi 3

$$y = mx + c$$

$$\begin{aligned} & 0,0019x + 3,6395 \\ \text{Integral} & = 0,00095x^2 + 3,6395x \\ & 0,00095 \qquad 3,6395 \end{aligned}$$

Persamaan Fraksi 4,5

$$\begin{aligned} y & = mx + c \\ & 0,0018x + 3,5833 \\ \text{Integral} & = 0,0009x^2 + 3,5833x \\ & 0,0009 \qquad 3,5833 \end{aligned}$$

Persamaan Fraksi 6

$$\begin{aligned} y & = mx + c \\ & 0,0018x + 3,5271 \\ \text{Integral} & = 0,0009x^2 + 3,5271x \\ & 0,0009 \qquad 3,5271 \end{aligned}$$

Dimana :

$y = C_p$ atau *specific heat* CaCl_2 pada suhu tertentu ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)

$x =$ suhu larutan garam CaCl_2 ($^\circ\text{C}$)

Perhitungan Panas yang Disimpan Larutan Heat Storage

Panas yang disimpan larutan = $Q_{\text{penyimpanan}}$

$$Q_{\text{penyimpanan}} = Q_{\text{minyak}} + Q_{\text{parafin}}$$

Panas yang disimpan masing-masing bahan adalah :

$$Q_{\text{minyak}} = m_{\text{minyak}} \int_{T_0}^{T_1} C_{p_{\text{minyak}}} \cdot dT$$

$$Q_{\text{parafin}} = m_{\text{parafin}} \cdot \int_{T_0}^{T_1} C_{p_{\text{parafin}}} \cdot dT$$

Keterangan :

$Q_{\text{penyimpanan}}$ = kalor yang disimpan larutan *heat storage* (kJ)

Q_{minyak} = kalor yang disimpan minyak kelapa sawit (kJ)

Q_{parafin} = kalor yang disimpan parafin (kJ)

m_{minyak} = massa minyak yang digunakan (kg)

m_{parafin} = massa parafin yang digunakan (kg)

T_0 = suhu awal larutan (°C), pada menit 0 digunakan $T = 25^\circ\text{C}$

T_1 = suhu akhir larutan (°C)

2.7 Perhitungan Energi Listrik yang Dihasilkan

$$W_{\text{konversi}} = \frac{V \times I \times t}{1000}$$

Keterangan :

W_{konversi} = Energi listrik yang dihasilkan (kJ)

V = Tegangan listrik (V)

I = Kuat arus (A)

t = Satuan waktu proses yang digunakan, yaitu 300 detik

Pada variabel larutan *heat storage* dengan konsentrasi CaCl_2 0% menit 0 hingga 5

$$\begin{aligned} \text{Energi listrik yang dihasilkan} &= \frac{0,259 \times 0,04 \times 300}{1000} \\ &= 0,003108 \text{ kJ} \end{aligned}$$

2.8 Perhitungan Panas yang Hilang

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

Pada percobaan variabel 1 fraksi garam CaCl_2 0 % :

$$\begin{aligned} \text{Panas yang dilepas arang} &= (0,4 \text{ kg} - 0,3198 \text{ kg}) \times 28845,4 \text{ kJ/kg} \\ &= 9224,753 \text{ kJ} \end{aligned}$$

2.9 Perhitungan Effisiensi

Effisiensi (η) yang dihitung adalah :

$$\eta_{\text{penyimpanan}} = \frac{Q_{\text{penyimpanan}}}{Q_{\text{arang}}}$$

$$\eta_{\text{konversi}} = \frac{W_{\text{konversi}}}{Q_{\text{penyimpanan}}}$$

$$\eta_{\text{total}} = \eta_{\text{penyimpanan}} \times \eta_{\text{konversi}}$$

Pada percobaan variabel 1 fraksi garam CaCl_2 0 % :

$$\eta_{\text{penyimpanan}} = \frac{1595,293 \text{ kJ}}{9224,753 \text{ kJ}} \times 100 \%$$

$$= 17,29 \%$$

$$\eta_{\text{konversi}} = \frac{3,620532 \text{ kJ}}{1595,293 \text{ kJ}} \times 100 \%$$

$$= 0,2270 \%$$

$$\eta_{\text{total}} = 17,29 \% \times 0,2270 \%$$

$$= 3,9084 \%$$

2.10 Pengujian BNT

Dilakukan perhitungan data sidik ragam untuk mengetahui nilai F value dan nilai F crit untuk mengetahui perlakuan pada setiap running berpengaruh atau berbeda secara signifikan atau tidak.

Run Ke-	Panas yang Dihasilkan Arang	Rata-rata
1	9369,378876	9369,379
2	9325,432446	9325,432
3	9348,870542	9348,871
4	9386,957448	9386,957
5	9422,114592	9422,115

Terdapat 5 perlakuan setiap running yang menghasilkan panas dengan nilai yang beragam, dilakukan analisis data dengan perhitungan pada excel untuk mengetahui nilai F dan F Critical, serta P-value.

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
1	4	37483,38	9370,844	1,666667
9369,379	4	37483,38	9370,844	1811,12

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,75E+08	1	1,75E+08	193618,3	9,29886E-15	5,987378
Within Groups	5438,359	6	906,3932			
ANOVA						

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	1,75E+08	1	1,75E+08	193618,3	9,29886E-15	5,987378
Within Groups	5438,359	6	906,3932			
Total	1,75E+08	7				

Karena nilai F lebih besar dari F crit maka perbedaan perlakuan pada setiap Running berpengaruh secara signifikan

Nilai α 0,05

Karena nilai P lebih kecil dibanding nilai α , maka perlakuan berpengaruh signifikan

Karena dari perlakuan berpengaruh signifikan maka diperlukan uji Lanjut

$$BNt_{\alpha} = (t_{\alpha, dfe}) * \text{SQRT}(2(MSE)/r)$$

RUMUS

MSE	906,3931506
t(α, dfe)	2,446911851
α	0,05
dfe	6
r	1

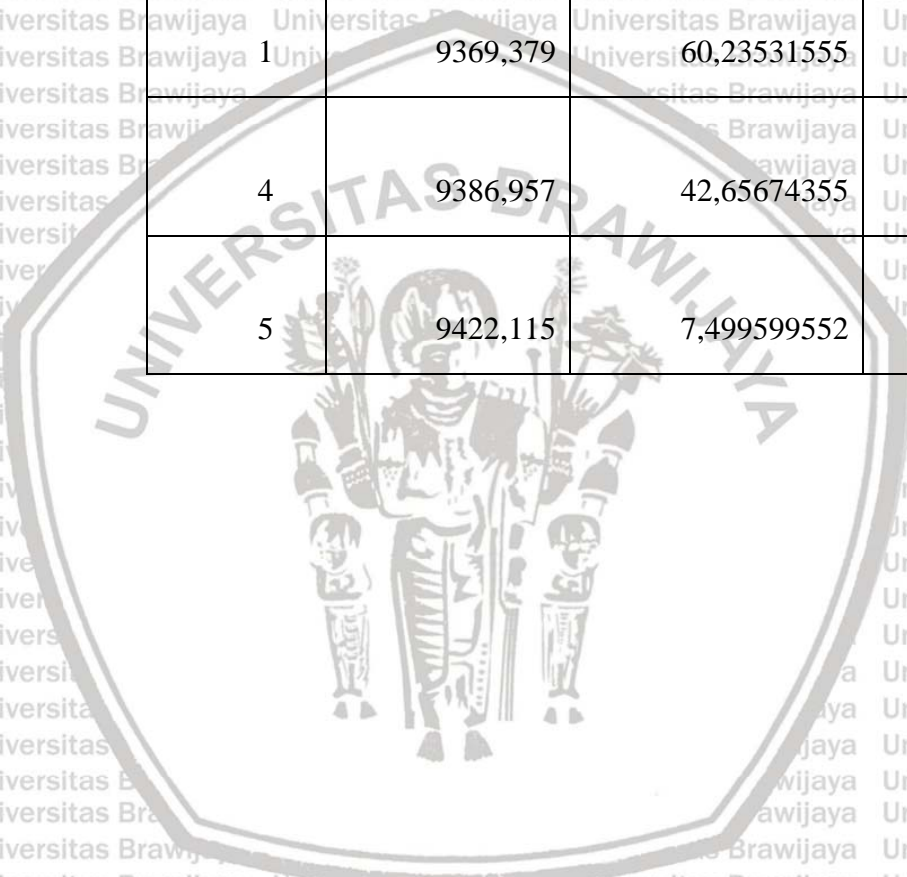
Nilai BNt 104,1817456

Nilai Rata-rata 9429,614192

$$|(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)| \leq LSD_{\alpha} = \text{Tidak Berbeda Signifikan}$$


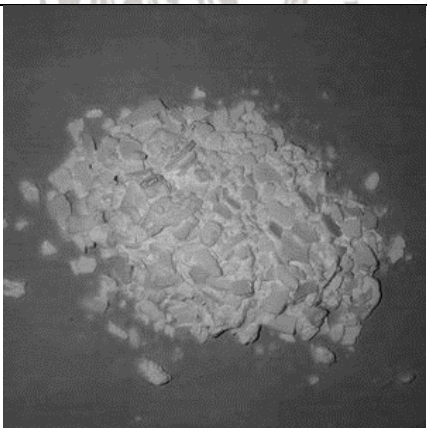



Run Ke-	Rerata	Beda Simpangan	NOTASI
2	9325,432	104,1817456	Beda Tidak Signifikan
3	9348,871	80,74364955	Beda Tidak Signifikan
1	9369,379	60,23531555	Beda Tidak Signifikan
4	9386,957	42,65674355	Beda Tidak Signifikan
5	9422,115	7,499599552	Beda Tidak Signifikan



LAMPIRAN II

DOKUMENTASI BAHAN, ALAT DAN KEGIATAN PENELITIAN

No.	Dokumentasi	Keterangan
1.		Larutan Heat storage : Etilen Glikol (teknis) merk ME Global
2.		Larutan Heat storage : CaCl_2 (teknis) Padat
3.		Larutan heat storage



4.



Arang tempurung kelapa

5.



Alat konversi : Tipe SP1848 SA 27145

6.



Kompor biomassa : UB-03

7.



Chiller

8.



Peltier water block / pendingin

9.



Pengukuran kadar moisture arang : moisture balance

10.



Neraca analitik

11.



Neraca digital

12.



Termometer digital

13.



Termometer
infrared

14.



Heating
mantle

15.



Piknometer

16.



Tray dryer

17.



Multimeter

18.



Penimbangan larutan Heat storage

19.



Rangkaian alat penelitian



LAMPIRAN III RIWAYAT HIDUP

Mahasiswa 1

Reffly Wahyu Nugroho, lahir di Malang 05 Desember 1997, merupakan anak dari Rubowo S. Boesari dan M. Lilik Pudjiastuti. Riwayat Pendidikan yang pernah dijalani adalah TK Shabilul Mu'shinin Lawang pada tahun 2002 – 2004, SD Kalirejo V Lawang pada tahun 2004 – 2010, SMP Negeri 1 Lawang pada tahun 2010 – 2013, SMA Negeri 1 Singosari pada tahun 2013 – 2016, dan Pendidikan strata 1 di jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang pada tahun 2016 – 2021. Pengalaman organisasi adalah menjadi staff departemen minat dan bakat Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Universitas Brawijaya pada tahun 2017 – 2018, Staff departemen Sarana Prasarana & Administrasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Universitas Brawijaya pada tahun 2018 – 2019, dan kepala departemen Sosial Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Universitas Brawijaya pada tahun 2019 – 2020. Praktik kerja lapangan di PT. Indolakto Purwosari selama 1 bulan pada tahun 2019 pada departemen *Quality Assurance*.

Malang, 1 Juni 2021



Mahasiswa 2

Afrizal Fahmi Santoso, lahir di Surabaya 27 Maret 1998, merupakan anak dari Budi Slamet Santoso dan Asiatin. Riwayat pendidikan yang pernah ditempuh adalah TK Bunga Samudra Surabaya pada tahun 2002-2004, SD Negeri Sememi 1 Surabaya pada tahun 2004-2010, SMP Negeri 26 Surabaya pada tahun 2010-2013, SMA Negeri 6 Surabaya pada tahun 2013-2016, dan Pendidikan Strata 1 di jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang pada tahun 2016-2021. Pengalaman organisasi adalah menjadi Dewan Perwakilan Angkatan periode 2017-2018, menjadi staff Departemen Eksternal Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Brawijaya periode 2018-2019, dan Kepala Departemen Kewirausahaan Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Universitas Brawijaya periode 2019-2020. Praktik Kerja Lapangan di PT. Indolakto Purwosari selama 1 bulan pada tahun 2019 di departemen *Quality Assurance*.

Malang, 1 Juni 2021

