

**PENGARUH PENGGUNAAN ISOLATOR TERHADAP EFISIENSI
ENERGI DAN PERFORMA PEMANASAN DALAM PROSES PRODUKSI
GULA AREN**

Skripsi



**Disusun oleh:
RISHAN AZIZ
3331210049**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2025**

**PENGARUH PENGGUNAAN ISOLATOR TERHADAP EFISIENSI
ENERGI DAN PERFORMA PEMANASAN DALAM PROSES PRODUKSI
GULA AREN**

Skripsi

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan Strata-1 Pada
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.**



**Disusun oleh:
RISHAN AZIZ
3331210049**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2025**

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN ISOLATOR TERHADAP EFISIENSI ENERGI DAN PERFORMA PEMANASAN DALAM PROSES PRODUKSI GULA AREN

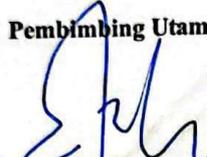
Diperiapkan dan disusun Oleh :

RISHAN AZIZ

3331210049

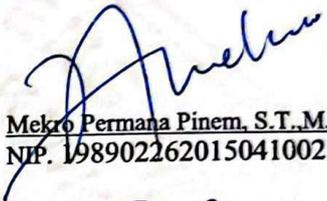
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 26 Juni 2025

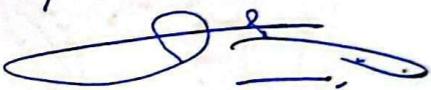
Pembimbing Utama

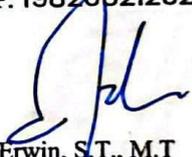

Dr. Erwin, S.T., M.T
NIP. 197310062009121001


Dr. Reski Septiana, S.T., M.T
NIP. 1004099402

Anggota Dewan Penguji


Mekro Permana Pinem, S.T., M.T
NIP. 198902262015041002


Ir. Dedy Triawan Suprayogi, S.T., MEng
NIP. 198206212022031001


Dr. Erwin, S.T., M.T
NIP. 197310062009121001


Dr. Reski Septiana, S.T., M.T
NIP. 1004099402

Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal, 08 Juli 2025
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA



PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang berada tanda tangan dibawah ini,

Nama : Rishan Aziz

NIM : 3331210049

Judul : Pengaruh Penggunaan Isolator Terhadap Efisiensi Energi Dan Performa Pemanasan Dalam Proses Produksi Gula Aren

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,

MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya.

Cilegon, 21 Juli 2025



Rishan Aziz

NPM.3331210049

ABSTRAK

PENGARUH PENGGUNAAN ISOLATOR TERHADAP EFISIENSI ENERGI DAN PERFORMA PEMANASAN DALAM PROSES PRODUKSI GULA AREN

Disusun oleh:

RISHAN AZIZ

3331210049

Gula aren merupakan produk pangan dengan prospek cerah di pasar domestik maupun internasional, yang diperoleh dari hasil pemanasan nira pohon aren. Namun, proses pemanasan ini sering kali tidak efisien dan menyebabkan pemborosan energi akibat kehilangan panas ke lingkungan sekitar. Oleh karena itu, diperlukan penerapan teknologi seperti isolator termal untuk meminimalkan kehilangan panas dan menjaga kestabilan suhu selama proses pemasakan. Penggunaan isolator bertujuan agar energi panas yang diberikan dapat dimanfaatkan secara maksimal, sehingga proses produksi menjadi lebih efisien. Langkah awal dari penelitian ini adalah dengan membandingkan proses menggunakan isolator dan tanpa isolator dengan menggunakan percobaan air sebanyak 20 L dalam kondisi vakum -0,6 bar sampai -0,7 bar dengan pengujian selama 2 jam. Hasil penelitian ini menggunakan isolator dapat mencapai suhu 65°C dalam waktu 102 menit sedangkan tanpa isolator sebesar 113 menit. Dengan itu, Hasil menunjukkan bahwa penggunaan isolator dapat meningkatkan efisiensi energi sebesar 12,28% serta meningkatkan performa pemanas dengan efisiensi termal dari 72,08% mencapai 81,65%. Temuan ini menegaskan peran penting isolator dalam optimalisasi proses pemanasan pada produksi gula aren. Kesimpulannya adalah dengan menggunakan isolator dapat meningkatkan performa pemanasan dan meningkatkan efisiensi energi.

Kata Kunci: Efisiensi energi;Efisiensi Termal;Gula aren; Isolator.

ABSTRACT

THE EFFECT OF INSULATOR USE ON ENERGY EFFICIENCY AND HEATING PERFORMANCE IN THE PALM SUGAR PRODUCTION PROCESS

Prepared by:

RISHAN AZIZ

3331210049

Palm sugar is a food product with promising prospects in both domestic and international markets, produced through the heating process of sap extracted from the aren tree. However, this heating process is often inefficient, leading to significant energy loss due to heat transfer to the surrounding environment. Therefore, the application of thermal insulation technology is essential to minimize heat loss and maintain temperature stability during the cooking process. The use of insulation aims to ensure that the heat energy supplied is utilized optimally, thus improving production efficiency. This study begins by comparing two conditions using insulation and without insulation by conducting an experiment with 20 liters of water under a vacuum condition of -0.6 to -0.7 bar for 2 hours. The results show that with insulation, the system reached 65°C in 102 minutes, whereas without insulation it took 113 minutes. Furthermore, the use of insulation increased energy efficiency by 12.28% and improved heating performance with thermal efficiency reaching 78.35%. These findings highlight the important role of insulation in optimizing the heating process for palm sugar production. In conclusion, the use of thermal insulation can enhance heater performance and significantly improve energy efficiency.

Keywords: *Energy efficiency; Isolator; Palm sugar; Thermal efficiency.*

KATA PENGANTAR

Puja Puji syukur ke hadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan, sehingga penyusun bisa menyelesaikan laporan untuk seminar proposal dengan judul “pengaruh penggunaan isolator terhadap efisiensi energi dalam proses produksi gula aren” Adapun tujuan disusunnya laporan ini ditujukan untuk memenuhi syarat untuk menyelesaikan Strata-1 (S1) di jurusan teknik mesin FT. UNTIRTA. Semoga laporan ini dapat memberikan informasi bagi pembaca, dan penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran demi memperbaiki penulisan laporan ini dimasa yang akan datang.

Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada yang terhormat:

1. Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Bapak Prof. Dr.Eng Ir. A. Ali Alhamidi, S.T., M.Tselaku dosen pembimbing akademik.
3. Bapak Dr. Erwin S.T., M. T. Selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, fikiran dan tenaga untuk membimbing dan mengarahkan saya sekama bimbingan seminar proposal ini.
4. Ibu Dr. Reski Septiana, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan motivasi dan arahan sekaligus menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan Skripsi ini.
5. Bapak Yusvardi Yusuf, S.T., M.T. selaku koordinator tugas akhir periode saat ini di jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
6. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
7. Kepada bapak Priyo dan Ibu Fitri yang telah berjuang demi mengkuliahkan dan membiayai anaknya hingga menjadi lulusan sarjana.

8. Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan Strata-1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Sebagai penutup, penulis memohon kepada Allah SWT agar membalas segala kebaikan serta memberikan kemudahan dalam setiap urusan bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan.

Cilegon, 25 Februari 2025

Rishan Aziz
3331210049

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|----------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR..... | iv |
| ABSTRAK | v |
| ABSTRACT | vi |
| KATA PENGANTAR..... | vii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xii |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 2 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.5 Manfaat penelitian..... | 3 |
| BAB II TIJAUAN PUSTAKA..... | 4 |
| 2.1 <i>Vacuum evaporator</i> | 4 |
| 2.1.1 Prinsip Dasar Evaporator..... | 5 |
| 2.1.2 Evaporasi | 5 |
| 2.2 Perpindahan panas..... | 6 |
| 2.3 Konsep Isolator dalam Efisiensi Energi | 10 |
| 2.3.1 Definisi isolator termal..... | 10 |
| 2.3.2 jenis-jenis bahan isolator | 10 |
| 2.3.3 Cara kerja isolator dalam mengurangi kehilangan panas | 12 |
| 2.4 Pengaruh Penggunaan Isolator | 13 |
| 2.5 Efisiensi Energi | 14 |
| 2.4.1 Definisi efisiensi energi..... | 14 |
| 2.4.2 Faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi energi..... | 15 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 16 |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian..... | 16 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 3.2 | Prosedur Penelitian..... | 20 |
| 3.3 | Alat dan Bahan yang digunakan..... | 21 |
| 3.4 | Metode Penelitian..... | 24 |
| 3.5 | Setup Experiment | 25 |
| BAB IV DATA DAN ANALISA | | 28 |
| 4.1 | Proses Vacuum Dengan Menggunakan Isolator..... | 28 |
| 4.2 | Perbandingan Suhu dan Konsumsi Daya Terhadap Waktu | 30 |
| 4.3 | Perbandingan tekanan terhadap waktu | 33 |
| 4.4 | Mengitung Efisiensi Energi..... | 34 |
| 4.5 | Perbandingan antara perhitungan dengan data aktual..... | 36 |
| 4.6 | Hasil dan pembahasan | 38 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | | 41 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 41 |
| 5.2 | Saran | 42 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | | 43 |
| LAMPIRAN..... | | 46 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|----------------|
| Gambar 2. 1 Komponen utama vacuum evaporator | 4 |
| Gambar 2. 2 Gambaran perpindahan panas | 7 |
| Gambar 2. 3 perpindahan panas Konduksi | 7 |
| Gambar 2. 4 Perpindahan panas Radiasi | 9 |
| Gambar 2. 5 Serbuk kayu jati | 11 |
| Gambar 2. 6 <i>Nitrile-Butadiene Rubber (NBR)</i> | 11 |
| Gambar 2. 7 <i>Glasswool insulation</i> | 12 |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian | 17 |
| Gambar 3. 2 Panci Vakum | 21 |
| Gambar 3. 3 Isolator | 21 |
| Gambar 3. 4 Booster Pump BR-371CPA | 22 |
| Gambar 3. 5 Pressure gauge | 22 |
| Gambar 3. 6 Sensor tekanan | 23 |
| Gambar 3. 7 Sensor suhu | 23 |
| Gambar 3. 8 Wisner ch102 | 23 |
| Gambar 3. 9 Heater | 24 |
| Gambar 3. 10 Wattmeter | 24 |
| Gambar 3. 11 Setup Experiment | 25 |
| Gambar 3. 12 Gambaran sistem kerja Kontroler | 26 |
| Gambar 4. 1 Ilustrasi dari pemasangan Isolator | 28 |
| Gambar 4. 2 Vacuum evaporator dengan isolator | 29 |
| Gambar 4. 3 Perbandingan Suhu dan Konsumsi Daya Terhadap Waktu | 30 |
| Gambar 4. 4 Grafik Kenaikan Suhu Per menit | 31 |
| Gambar 4. 5 Tekanan kedua percobaan | 33 |
| Gambar 4. 6 Grafik Konsumsi Daya | 34 |
| Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Perhitungan Dan Aktual TI | 37 |
| Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Perhitungan Dan Aktual MI | 38 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|----------------|
| Tabel 3. 1 Prosedur Pengujian | 19 |
| Tabel 4. 1 Tabel peningkatan suhu pada kedua Percobaan..... | 31 |
| Tabel 4. 2 Tabel penurunan suhu pada kedua Percobaan | 32 |

BAB I

PENDAHULAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu produk pangan yang memiliki prospek cerah baik di pasar domestik maupun internasional adalah gula merah. Gula aren diperoleh dari nira hasil buah pohon aren dan merupakan salah satu bahan baku dari pembuatan makanan maupun minuman [1]. Proses pembuatan gula aren terjadi karena mengekstrak nira dari pohon aren dengan cara dilakukan pemanasan menggunakan suhu tinggi, sehingga kadar air yang terdapat pada nira cair berkurang. Namun, pada proses pemanasan nira cair sering kali tidak efisien dan menyebabkan borosnya energi yang signifikan. Maka dari itu dibutuhkan isolator untuk mengurangi energi yang terbuang terlalu banyak akibat perpindahan panas dari sistem ke lingkungan sekitar [2].

Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi energi panas dan mengurangi energi yang keluar dengan menggunakan isolator, sehingga energi yang digunakan dalam proses pembuatan gula aren dapat dimaksimalkan. Seiring dengan kesadaran produsen untuk meningkatkan efisiensi dari produksi gula aren mulai mempertimbangkan penerapan teknologi yang modern dengan menerapkan isolator ke dalam produksi mereka.

Di dalam industri beberapa menggunakan isolator dan terbukti meningkatkan efisiensi energi secara signifikan. Untuk lebih memaksimalkan efisiensi termal dibutuhkan isolator yang memiliki konduktifitas termal yang rendah agar suhu didalam panci nantinya dapat terjaga dan tidak terpengaruh oleh suhu ruangan. Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa isolator dapat meningkatkan efisiensi termal sebesar 5,6% pada oven. Apabila hal ini diterapkan untuk produksi gula aren, potensi penghematan energi yang cukup untuk meningkatkan efisiensi dari produksi gula aren tersebut [3].

Tujuan dari penelitian ini yaitu penggunaan isolator dalam produksi gula aren dapat menjadi peluang besar untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya produksi. Dengan pendekatan yang tepat, produsen tidak

hanya dapat meningkatkan profitabilitas, juga dapat apakah menggunakan isolator dapat memaksimalkan hasil dari produksi gula aren.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah didasarkan untuk menjabarkan masalah pada penelitian. berikut adalah Rumusan masalah antara lain sebagai berikut.

1. Bagaimana aplikasi isolator pada panci evaporator dapat meningkatkan performa pemanasan?
2. Bagaimana pengaruh isolator terhadap efisiensi energi?
3. Bagaimana perbandingan performa pemanasan yang dihasilkan antara panci yang menggunakan isolator dan tanpa isolator.?

1.3 Tujuan Penelitian

berikut adalah perincian dari tujuan penelitian yang mengacu pada rumusan masalah, dapat dilihat dibawah ini.

1. Merancang sistem isolator untuk meningkatkan performa pemanasan yang digunakan pada *vacuum evaporator* agar memaksimalkan produksi nira cair.
2. Menganalisa peningkatan efisiensi energi
3. Menganalisa performa pemanasan yang ideal antara tanpa isolator dengan menggunakan isolator.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat batasan masalah yang bertujuan agar fokus penelitian ini tidak meluas dan hanya berfokus pada tujuan yang akan dicapai. Berikut adalah batasan masalah pada penelitian ini antara lain yaitu.

1. Berfokus pada peningkatan performa pada *heater* menggunakan isolator.
2. Isolator yang digunakan berupa lembaran superlon berbahan NBR (Nitrile Butadiene Rubber) dengan tebal 1 cm yang akan diaplikasikan pada panci *vacuum evaporator*.
3. Target suhu yang dicapai yaitu 65°C
4. Batasan perhitungan suhu pada panci hanya berfokus pada panci dan juga isolator.
5. Dilakukan di laboratorium REBT.

6. Data tekanan hanya menunjukkan bahwa proses berlangsung dalam kondisi vakum.
7. Hanya menggunakan *heater* berbentuk U dengan fin berbahan stainless steel

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat penelitian ini pada perancangan sistem *vacuum evaporator* adalah dengan menggunakan isolator dapat mengetahui peningkatan performa dari *heater* dan juga mempercepat peningkatan suhu didalam panci. Dengan itu proses pembuatan nira cair bisa dilakukan dengan lebih efisien dan meningkatkan kualitas dari produksi gula aren.

BAB II

TIJAUAN PUSTAKA

2.1 *Vacuum evaporator*

Vacuum evaporator ialah alat yang digunakan untuk menurunkan kadar air dari suatu bahan pangan yang berbentuk cair. *Vacuum evaporator* umumnya menggunakan pemanasan langsung pada bahan dengan pengaturan suhu yang disesuaikan sesuai kebutuhan proses. Kondisi vakum yang tercipta di dalam ruang evaporasi menyebabkan tekanan dan suhu di dalamnya menjadi lebih rendah, sehingga kandungan gizi dan sifat fisik bahan makanan tetap terjaga tanpa mengalami kerusakan selama proses berlangsung. Hasil dari evaporator biasanya dapat berbentuk larutan atau padatan berkonsentrat. Beberapa komponen yang sudah menguap adalah hasil dari larutan yang sudah dievaporasi [4].

Vacuum evaporator bekerja berdasarkan prinsip bahwa tekanan di bawah tekanan atmosfer (kondisi vakum) dapat menurunkan titik didih pelarut. Proses evaporasi tidak hanya berfungsi untuk menurunkan aktivitas air dalam suatu larutan, tetapi juga meningkatkan konsentrasi dan viskositas larutan. Peningkatan ini menyebabkan volume larutan menyusut, sehingga proses evaporasi memberikan keuntungan tambahan berupa penghematan biaya penyimpanan, transportasi, dan kebutuhan logistik lainnya *Vacuum evaporator* terdiri dari sejumlah komponen utama yang tersusun secara sistematis, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.1[9].



Gambar 2. 1 Komponen utama *vacuum evaporator*

Vacuum evaporator terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu wadah atau tangki yang berfungsi untuk menampung larutan atau campuran yang akan

diuapkan, pemanas untuk menyediakan energi panas, serta sistem pengendali tekanan vakum. Proses evaporasi diawali dengan pengurangan tekanan di dalam wadah menggunakan pompa vakum, sehingga tekanan menjadi sangat rendah. Pemanas kemudian memberikan energi panas pada larutan di dalam wadah, menyebabkan pelarut menguap dan berubah menjadi uap. Uap tersebut selanjutnya diarahkan menuju kondensor, di mana ia didinginkan hingga kembali menjadi cairan yang lebih murni. Cairan hasil kondensasi dikumpulkan untuk digunakan lebih lanjut, sementara residu yang tersisa tetap berada di dalam wadah. Proses ini memungkinkan pemisahan yang efektif antara pelarut dan residu, dengan efisiensi tinggi [9].

2.1.1 Prinsip Dasar Evaporator

Evaporator merupakan alat yang berfungsi untuk mengurangi kadar air dalam suatu bahan dengan memanfaatkan prinsip penguapan (evaporasi) pelarut hingga mencapai tingkat yang diinginkan. Proses evaporasi sendiri adalah metode pengentalan larutan dengan cara memanaskan atau menguapkan pelarutnya, yang bertujuan untuk mengecilkan volume larutan sekaligus menurunkan aktivitas air di dalamnya. Prinsip dasarnya ialah dengan memisahkan pelarut dari larutan sehingga menghasilkan larutan yang lebih padat. Beberapa tujuan dilakukannya evaporasi adalah untuk memekatkan larutan yang mengandung zat yang sulit menguap sebagai bahan pelarut yang mudah menguap dengan cara menguapkan Sebagian dari pelarutnya [5].

Evaporasi pada tekanan atmosfer adalah proses evaporasi paling sederhana di mana cairan di dalam wadah terbuka dipanaskan dan uap air dikeluarkan ke udara. Meskipun ini adalah jenis evaporator yang paling sederhana, prosesnya lambat dan membutuhkan lebih banyak energi [5].

2.1.2 Evaporasi

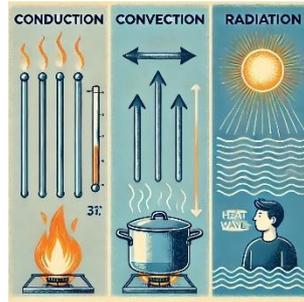
Evaporasi adalah proses yang mengakibatkan perubahan air menjadi uap air dari perairan terbuka, tanah dan batuan lainnya. Proses evaporasi dipengaruhi oleh banyak faktor seperti perbedaan tekanan uap, suhu udara, angin, kualitas air dan permukaan bidang evaporasi [6].

Penguapan dapat dipakai untuk tujuan pemisahan pelarut (*solven*) dari larutan yang lebih pekat. Setelah larutan menjadi lebih pekat, biasanya proses selanjutnya adalah kristalisasi. Dalam proses evaporasi, terdapat dua mekanisme utama yang berlangsung, yaitu perpindahan panas dan perpindahan massa. Cairan yang mudah menguap (*volatile*) akan berubah menjadi uap, dan uap tersebut kemudian harus dipisahkan dari larutan untuk melanjutkan proses selanjutnya.

Salah satu cara untuk memisahkan uap tersebut dengan memvakum menggunakan pompa. proses evaporasi (pemekatan) dapat diperoleh suatu konsentrasi larutan tertentu, kondisi operasi sangat berpengaruh terhadap hasil yang diinginkan. Penguapan sebuah evaporator dapat dihitung dengan mengetahui tekanan absolut yang terjadi di ruang penguapan. Besarnya laju evaporasi merupakan parameter yang menggambarkan jumlah cairan yang berhasil menguap atau bertransformasi menjadi uap dalam suatu satuan waktu tertentu. Tingkat laju evaporasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk suhu larutan dan volume larutan yang tersedia [7].

2.2 Perpindahan panas

Perpindahan panas atau *heat transfer*, adalah fenomena alam yang kaitannya pada kalor yang mengalami perpindahan panas. Perpindahan panas tidak dapat diukur dan dilihat secara langsung, tetapi pengaruhnya dapat diamati dan diukur [8]. Termodinamika menjelaskan bahwa energi yang ditransferkan pada proses perpindahan panas bahwa mendefinisikan sebagai panas atau kalor. Perpindahan panas tidak hanya menjelaskan proses energi panas dapat ditransfer, tetapi juga untuk memprediksi laju perpindahan panas yang akan berlangsung dalam kondisi tertentu [10].

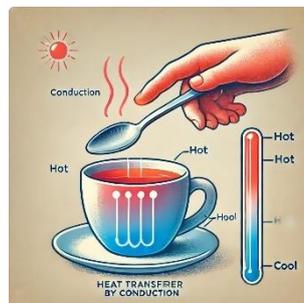


Gambar 2. 2 Gambaran perpindahan panas

dari gambar diatas, perpindahan energi sebagai panas adalah energi akan berpindah dari suhu yang lebih tinggi menuju suhu yang lebih rendah dan akan berhenti apabila kedua sistem telah mencapai kesetimbangan panas. Didalam pembuatan gula aren perlu yang namanya kestabilan suhu agar menjaga kualitas dari gula aren tersebut. Maka dari itu perlu menghitung laju perpindahan panas pada *heater* yang digunakan. Pada umumnya mekanisme perpindahan panas dibagi menjadi 3 yaitu, perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi.

1. Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi terjadi pada suatu benda yang memiliki perbedaan suhu, di mana energi panas mengalir dari area dengan suhu lebih tinggi menuju area dengan suhu lebih rendah [2].



Gambar 2. 3 perpindahan panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi terutama terjadi pada benda padat atau media yang tidak bergerak, seperti fluida yang diam. Pada benda padat, perpindahan panas terjadi melalui getaran kisi molekul dan perpindahan energi oleh elektron bebas. Sementara itu, pada gas dan cairan, perpindahan panas konduksi terjadi akibat tumbukan antar molekul dan proses difusi. [9].

$$q = k \cdot A \cdot t \cdot \frac{\Delta t}{L}$$

Keterangan:

q : Laju perpindahan panas konduksi (Watt)

k : Koefisien konduksi termal (W/m²K)

A : Luas penampang (m²)

Δt : Perbedaan suhu (K)

t : Waktu (s)

L : Panjang (m)

2. Perpindahan panas konveksi

Konveksi merupakan proses perpindahan panas yang terjadi melalui pergerakan massa fluida. Perpindahan panas ini berlangsung antara permukaan dan fluida yang bergerak, yang memiliki perbedaan suhu. Proses konveksi terjadi ketika suhu permukaan berbeda dengan suhu fluida di sekitarnya [11]. Salah satu contohnya adalah jika Plat logam panas akan menjadi dingin lebih cepat bila di taruh di depan kipas angin dibandingkan dengan bila ditempatkan di udara sekitar [12].

$$q = h \cdot A(T_s - T_\infty)$$

Keterangan

q : Laju perpindahan panas konveksi (Watt)

h : Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m²K)

A : Luas penampang (m²)

T_s : Temperatur surface (K)

T_∞ : Temperatur infinity (K)

Isolator termal adalah material yang memiliki konduktivitas termal rendah, sehingga dapat menghambat aliran panas. Dalam konteks fisika, isolator termal berfungsi untuk mengurangi transfer energi panas.

3. Perpindahan panas radiasi

Pada jurnal sebelumnya menyatakan bahwa perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas dari gelombang elektromagnetik atau *photon* yang dibawa bisa mencapai jarak yang sangat jauh tanpa memerlukan interaksi dengan medium. Proses radiasi merupakan fenomena yang terjadi pada permukaan material dan tidak berlangsung di bagian dalamnya. Ketika

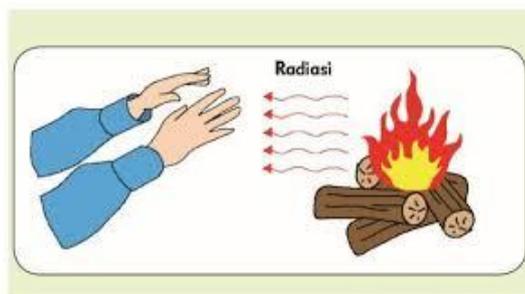
suatu bahan menerima radiasi panas, berbagai interaksi dapat terjadi. Sebagian energi panas yang mengenai permukaan akan dipantulkan, sebagian lagi diserap oleh material, dan sisanya dapat menembus material hingga keluar ke sisi lain. Oleh karena itu, dalam mempelajari perpindahan panas melalui radiasi, sifat fisik permukaan material menjadi faktor penting yang harus diperhatikan [13]. Contohnya adalah perpindahan kalor yang terjadi antara makhluk hidup dengan sekitarnya. Persamaan radiasi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{Q}{t} = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Keterangan:

- Q/t : Laju radiasi (J/s)
- e : Emisivitas
- σ : Tetapan stefan-Boltzman
- T : Suhu Mutlak (K)

Laju perpindahan panas radiasi suatu benda dipengaruhi oleh beberapa hal. Laju perpindahan energi melalui radiasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk suhu permukaan yang memancarkan dan menerima radiasi, emisivitas permukaan yang terpapar radiasi, serta sifat refleksi, absorpsi, dan transmisi material tersebut. Selain itu, faktor pandang (*view factor*) antara permukaan yang memancarkan dan yang menerima radiasi juga memainkan peran penting dalam menentukan efisiensi perpindahan energi [13]. Gambaran dari perpindahan panas radiasi dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Perpindahan panas Radiasi

2.3 Konsep Isolator dalam Efisiensi Energi

2.3.1 Definisi isolator termal.

Isolator termal adalah bahan yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas antara dua area dengan suhu berbeda. Bahan ini memiliki konduktivitas termal yang rendah, sehingga efektif dalam menghambat aliran panas. Penggunaan isolator termal sangat penting dalam berbagai aplikasi, seperti menjaga suhu ruangan, melindungi peralatan industri, dan mengoptimalkan sistem perpipaan, untuk meningkatkan efisiensi energi serta kenyamanan. Pada panci *vacuum evaporator* dapat dipasang isolator termal untuk meminimalisir kehilangan panas. Dengan memilih ketebalan isolator yang tepat adalah salah satu keuntungan utama dalam meminimalisir kerugian energi panas yang hilang [15].

Isolasi termal berfungsi untuk mengurangi kerugian energi akibat perpindahan panas dari sistem ke lingkungan atau sebaliknya, sehingga menghindari kebocoran panas dan memungkinkan pengendalian temperatur yang lebih efektif. Fungsi ini sangat krusial dalam penggunaan energi panas yang harus dikelola secara efisien. Oleh karena itu, diperlukan bahan isolasi termal dengan konduktivitas termal yang rendah untuk mendukung efisiensi energi dan kestabilan suhu dalam berbagai aplikasi industri maupun domestik [14].

2.3.2 jenis-jenis bahan isolator

Berikut adalah beberapa jenis bahan isolator termal yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Setiap jenis bahan memiliki karakteristik unik yang mempengaruhi efektivitasnya dalam menghambat perpindahan panas:

1. kayu dan olahannya

Salah satu isolator alami dari kayu dan olahannya adalah serbuk kayu jati. Serbuk kayu jati adalah isolator yang memiliki konduktivitas termal yang baik, dalam penelitian (Ramadhan) menyatakan bahwa kayu jati dapat menjaga temperatur dari lingkungan sekitar [17]. dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 5 Serbuk kayu jati

selain itu ada seperti papan serat dan gabus merupakan isolator termal alami yang efektif. Bahan ini sering digunakan dalam konstruksi bangunan, terutama untuk insulasi dinding dan atap. Sifatnya yang ringan, mudah dibentuk, serta konduktivitas termal yang rendah menjadikannya pilihan populer untuk menjaga kenyamanan termal dalam ruangan.

2. Karet Sintetis (*Nitrile Butadiene Rubber - NBR*)

Nitrile Butadiene Rubber (NBR) adalah karet sintetis yang dihasilkan dari polimerisasi butadiena dan akrilonitril. Material ini dikenal karena memiliki sifat unggul, seperti ketahanan yang baik terhadap minyak, kemampuan bertahan dalam suhu tinggi dan rendah, ketahanan terhadap keausan, serta daya tahan yang sangat baik terhadap deformasi akibat kompresi. Berkat karakteristik tersebut, NBR digunakan secara luas dalam berbagai sektor industri, termasuk penerbangan, otomotif, dan perminyakan [20].



Gambar 2. 6 Nitrile-Butadiene Rubber (NBR)

Nitrile-Butadiene Rubber (NBR) telah lama digunakan dalam industri, terutama dalam pembuatan seal, karena sifat-sifat unggulnya seperti biaya rendah, ketahanan terhadap minyak, bahan bakar, dan

pelumas, tingkat abrasi rendah, serta kemudahan proses produksi. Namun, daya tahan NBR terhadap penuaan sangat sensitif terhadap faktor lingkungan, seperti suhu tinggi, kelembapan tinggi, cahaya kuat, suhu rendah, dan beban mekanis, karena adanya struktur rantai tak jenuh pada bagian butadiena [19].

3. *Glasswool* (Wol Kaca)

Wol kaca adalah serat kaca buatan manusia yang terdiri dari natrium, kalsium dan magnesium silikat, tetapi mungkin mengandung sejumlah kecil unsur lain, termasuk boron. Bahan baku untuk pengenalan boron ke dalam wol kaca terutama ditambang *colemanite* ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$), untuk serat tujuan khusus, uleksit ditambang ($\text{Na}_2\text{Ca}_2\text{B}_{10}\text{O}_{18}\cdot 16\text{H}_2\text{O}$), boraks pentahidrat yang diproduksi ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 5\text{H}_2\text{O}$) dan kaca cullet daur ulang, untuk insulasi wol. Boron digunakan karena borat bertindak sebagai pembentuk kaca dan zat fluks dalam peleburan kaca, tetapi senyawa boron relatif mahal dibandingkan dengan komponen batch lainnya dan oleh karena itu, hanya digunakan jika ada yang bagus alasan teknis dan ekonomi [21]. contoh dari isolator *glasswool* sebagai berikut.



Gambar 2. 7 *glasswool insulation*

2.3.3 Cara kerja isolator dalam mengurangi kehilangan panas

Isolator termal berfungsi mengurangi kehilangan panas dengan menghambat aliran panas melalui bahan yang memiliki konduktivitas termal rendah. Dengan demikian, perpindahan panas melalui konduksi, konveksi, dan radiasi dapat diminimalkan. Setiap isolator memiliki nilai konduktivitas termal, yang mana material nilai tersebut dapat ditentukan melalui pengukuran tak langsung. Nilai konduktivitas termal dari setiap

material menunjukkan laju perpindahan panas yang mengalir dalam suatu bahan.

Nilai konduktivitas termal adalah sifat fisik bahan yang sangat penting saat memilih bahan untuk aplikasi proses perpindahan kalor. Laju perpindahan energi yang tinggi ditunjukkan oleh bahan dengan nilai konduktivitas termal yang tinggi, yang dikenal sebagai sementara isolator adalah yang memiliki harga (k) yang rendah [16].

2.4 Pengaruh Penggunaan Isolator

Burlian (2014), “Pengaruh Variasi Ketebalan Isolator Terhadap Laju Kalor Dan Penurunan Temperatur Pada Permukaan Dinding Tungku Biomassa” Dalam penelitian ini, triplek digunakan sebagai bahan isolator dengan variasi ketebalan 3 mm, 6 mm, hingga 9 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolator dengan ketebalan 9 mm memiliki kemampuan terbaik dalam meredam panas, menghasilkan efisiensi termal yang lebih tinggi, serta mengurangi laju perpindahan panas dari permukaan tungku [22].

Kurniawati (2013), “Pengaruh Jenis Dan Ketebalan Material Terhadap Distribusi Temperatur Dinding Tungku Dengan Pendekatan CFD (Studi Kasus Di Industri Tempe Kecamatan Tenggilis Mejoyo Surabaya)” Sebelum dilakukan penambahan ketebalan 8 cm dan 10 cm, hasil simulasi menunjukkan bahwa material dengan *heat loss* (panas hilang) tertinggi adalah beton dengan ketebalan 2 cm, sedangkan yang terendah adalah *firebrick* dengan ketebalan 5 cm. Setelah penambahan ketebalan pada setiap jenis material, *heat loss* mendekati nol tercapai pada *firebrick* dengan ketebalan 10 cm. Nilai *heat loss* yang semakin rendah maka menghasilkan nilai efisiensi tungku yang semakin tinggi [23].

Ma'arif, M (2016). “Pengaruh Isolator Terhadap Kinerja Tungku Gasifikasi Tipe *Downdraft*”. Pada penelitian ini menggunakan 3 bahan isolator yaitu serbuk batu bata, serbuk batu padas, dan pasir. Hasil yang didapatkan bahwa dengan menggunakan isolator dapat menaikkan temperatur pada proses pembakaran. Serbuk batu bata menunjukkan temperatur nyala efektif tertinggi sebesar 563,9°C dengan temperatur isolator terendah 103,6°C. Serbuk padas memiliki temperatur nyala efektif 540,8°C dengan temperatur isolator 135,8°C,

sementara pasir mencatat temperatur nyala efektif terendah 514,62°C dengan temperatur isolator tertinggi 147,7°C [24].

Dari hasil penelitian terdahulu bahwa isolator berpengaruh dalam mengoptimalkan energi dan meminimalisir *heat loss*. Dapat dilihat bahwa temperatur dari setiap pengujian menghasilkan peningkatan temperatur. Maka dari itu isolator berpengaruh terhadap peningkatan performa dari pengujian yang telah dilakukan sebelumnya.

2.5 Efisiensi Energi

2.4.1 Definisi efisiensi energi.

Efisiensi energi adalah upaya untuk mengurangi jumlah energi yang dibutuhkan dalam penggunaan peralatan atau sistem energi, tanpa mengorbankan kinerja yang diharapkan. Tujuan utamanya adalah memaksimalkan keluaran energi yang berguna dengan meminimalkan input energi, sehingga mengurangi pemborosan dan meningkatkan efektivitas penggunaan energi. Penelitian ini melakukan perbandingan antara panas yang keluar dan panas yang masuk. Untuk menghitung nilai efisiensi termal, perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\%$$

Keterangan:

η : Efisiensi (%)

Q_{in} : Panas yang masuk (Watt)

Q_{out} : Panas yang keluar (Watt)

Untuk memaksimalkan efisiensi pada *vacuum evaporator*, konsep dasarnya adalah membandingkan output panas yang diserap oleh air dengan input panas yang dihasilkan oleh bahan bakar. Efisiensi sistem ini dihitung berdasarkan rasio antara energi panas yang dimanfaatkan untuk proses penguapan air dengan total energi panas yang dipasok ke sistem. Persamaan yang digunakan untuk menghitung efisiensi ini dapat menggambarkan sejauh mana energi input dimanfaatkan secara optimal untuk mendukung proses evaporasi [18].

2.4.2 Faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi energi.

Vacuum evaporator merupakan teknologi yang umum digunakan dalam berbagai industri, termasuk makanan, farmasi, dan pengolahan limbah, untuk memisahkan komponen cair dengan memanfaatkan prinsip pengurangan titik didih akibat tekanan rendah. Efisiensi energi dalam penggunaannya sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, yang dapat diklasifikasikan berdasarkan parameter desain, operasional, dan lingkungan.

1. Dari segi parameter desain Penelitian oleh Zahorulko menunjukkan bahwa memperbesar permukaan pertukaran panas dapat meningkatkan efisiensi termal evaporator. Hal ini dikarenakan transfer panas yang lebih efektif antara medium pemanas dan cairan yang diuapkan [25].
2. Pada kondisi vacuum dengan kondisi tekanan yang optimal mengurangi titik didih cairan sehingga membutuhkan energi lebih sedikit untuk pemanasan Adanya gas non-kondensabel dapat mengurangi efisiensi pemanasan dengan meningkatkan hambatan panas [26].
3. Pada kondisi oprasional Suhu awal cairan dan kehilangan panas ke lingkungan memengaruhi efisiensi sistem. Pengisolasian termal dapat mengurangi kehilangan energi. [27]

Dari pernyataan diatas dapat disimpulkan bahwa ada beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi energi seperti desain dari *vacuum evaporator*, perlakuan dari produksi serta, kondisi lingkungan sekitar dapat mempengaruhi dari efisiensi itu tersebut Pengoptimalan aspek-aspek ini tidak hanya mengurangi biaya operasional tetapi juga mendukung keberlanjutan energi dalam industri.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

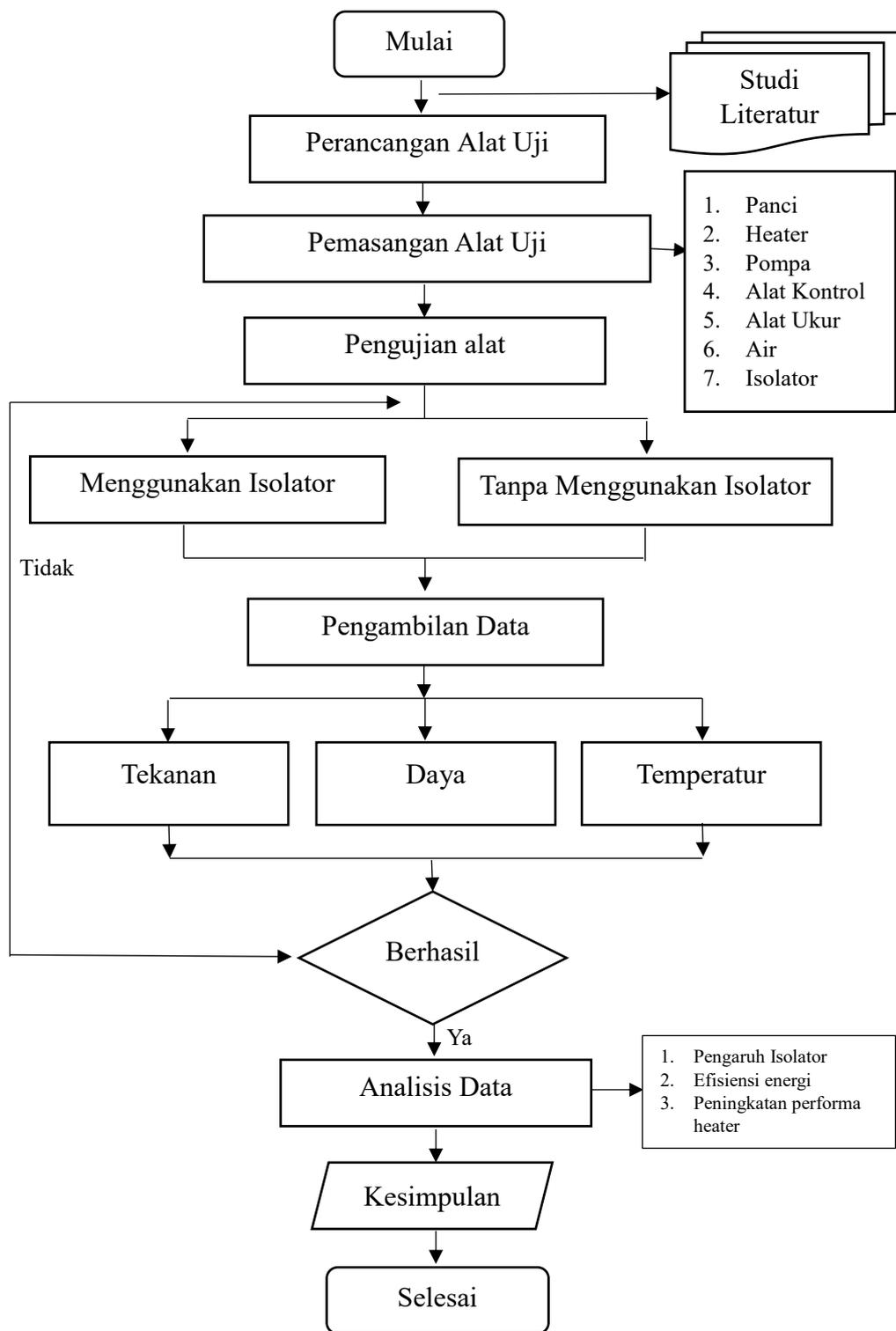
3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini berfokus pada pengembangan dan peningkatan performa *vacuum evaporator* yang digunakan dalam produksi nira cair sebagai bahan baku pembuatan gula aren. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan efisiensi proses produksi dengan meminimalisir kehilangan energi (*energy lost*) selama proses evaporasi. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan menggunakan isolator sebagai media untuk mengurangi hilangnya energi panas ke lingkungan. Isolator tersebut diharapkan dapat menjaga suhu dan tekanan dalam sistem *vacuum evaporator* agar tetap stabil, sehingga proses penguapan nira dapat berlangsung lebih efisien.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan eksperimen kuantitatif dengan desain eksperimen yang membandingkan kondisi sebelum dan sesudah penggunaan isolator. Data yang dikumpulkan meliputi pengukuran suhu dan tekanan selama proses evaporasi. Hasil pengukuran tersebut kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan data yang diperoleh dari uji coba tanpa

menggunakan isolator. Melalui perbandingan ini, diharapkan dapat diketahui sejauh mana isolator mampu meningkatkan performa *vacuum evaporator* dalam hal efisiensi energi dan kualitas produksi nira cair. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi produksi gula aren yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Pada penelitian ini dibuat diagram alir untuk memperlihatkan gambaran penelitian yang akan dilakukan dari awal hingga selesai. Berikut adalah uraian diagram alir yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Proses pengujian ini dapat dijelaskan sebagai berikut ini, berdasarkan diagram alir yang sudah tertera pada gambar 3.1.

1. Mulai

Bagian mulai ini menandakan bahwa proses penelitian skripsi ini akan dimulai.

2. Perancangan Alat

Tahap ini dilakukannya tahapan merancang alat untuk melakukan uji coba kemudian dilakukan perancangan alat dengan konsep yang sudah dirancang dengan spesifikasi yang sudah ditentukan.

3. Pemasangan Alat Uji

pemasangan *heater*, sensor suhu, sensor tekanan, dan struktur dari *vacuum evaporator*. Setelah alat sudah dipasang dan dipastikan semua struktur sensor, pemanas dan isolator sudah siap untuk digunakan.

4. Pengujian alat

Untuk pengujian alat ini dilakukan 2 kali pada *vacuum evaporator* dengan menggunakan *heater* dan media air sebagai alat dan bahan yang digunakan. pengujian pertama menggunakan isolator dan pengujian kedua tanpa isolator. Data yang dilihat adalah kenaikan suhu pada *vacuum evaporator* tersebut, yang dimana apakah tempratur yang dihasilkan dapat sesuai target yaitu 65°C.

5. Pengambilan data

Pengambilan data kali ini melihat peningkatan tempratur pada display tempratur yang sudah dibuat, data yang diambil dilakukan setiap 1 menit lalu dicatat, data yang diambil berupa daya, tekanan, dan temprature Dilakukan selama 2 jam pengujian.

6. Analisis dan Kesimpulan

Pada tahap terakhir yaitu analisis dan kesimpulan, setelah dilakukannya penelitian, data yang sudah didapatkan dianalisa setiap kenaikan suhu yang dihasilkan pada setiap menit dan dibandingkan dari kedua pengujian tersebut. Dan dari hasil tersebut dibuat kesimpulan.

Tabel 3. 1 Prosedur Pengujian

| No | Langkah pekerjaan | Penjelasan | Keterangan |
|----|---------------------|---|---|
| 1 | Memulai penelitian | Mempersiapkan alat dan bahan untuk penelitian <i>vacuum evaporator</i> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Booster pump 2. <i>vacuum evaporator</i> 3. Isolator 4. Pressure gauge 5. Vacuum electrical pressure gauge 6. <i>Heater</i> |
| 2 | Perancangan Alat | Tahap ini meliputi perancangan alat uji coba berdasarkan konsep yang telah dirumuskan serta spesifikasi yang telah ditentukan. | |
| 3 | Pemasangan Alat Uji | pemasangan <i>heater</i> , sensor suhu, sensor tekanan, dan struktur dari <i>vacuum evaporator</i> . Setelah alat sudah dipasang dan dipastikan semua struktur sensor, pemanas dan isolator sudah siap untuk digunakan | <ol style="list-style-type: none"> 1. Obeng 2. Kunci pas |
| 4 | Pengujian alat | Pengujian dilakukan dua kali pada <i>vacuum evaporator</i> dengan <i>heater</i> dan air sebagai media. Pengujian pertama menggunakan isolator, sementara pengujian kedua tanpa isolator. Data yang diamati adalah kenaikan suhu | |

| | | | |
|---|------------------------|--|-----------|
| | | untuk memastikan apakah temperatur mencapai target 65°C. | |
| 5 | Pengambilan data | Pengambilan data dilakukan dengan merekam dengan menggunakan kamera. Data yang diambil adalah tekanan, daya, dan temperatur dan dicatat setiap 1 menit selama 2 jam hingga suhu mencapai 65°C. | 1. Kamera |
| 6 | Analiis dan Kesimpulan | Pada tahap terakhir yaitu analisis dan kesimpulan, setelah dilakukannya penelitian, data yang sudah didapatkan dianalisa setiap kenaikan suhu yang dihasilkan pada setiap menit dan dibandingkan dari kedua pengujian tersebut. Dan dari hasil tersebut dibuat kesimpulan. | |

3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang digunakan yaitu mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk membantu berlangsungnya pengujian. Jika pengujian isolator, maka pasang terlebih dahulu isolator yang sudah disesuaikan untuk menutupi permukaan panci. Kemudian siapkan air sebanyak 20 liter untuk bahan yang akan dipanaskan, kemudian sensor dan kabel *heater* dipasang pada panci yang sudah berisi air. Setelah itu pasang venturi pada pompa. Jika sudah dipasangkan semua bagian bagian yang menunjang pengujian, pompa dan sensor dinyalakan. Pada temperature awal berkisar 30 – 33°C, data sudah siap diambil.

Pada tahap pengambilan data disiapkan kamera untuk merekam data secara *realtime*. Hasil rekaman dari pengambilan data setiap 1 menit diamati dan dicatat setiap perubahan tekanan, daya, temperatur yang tertera pada display layar. Pengambilan data ini berlangsung selama 2 jam dan ditargetan suhu mencapai 65°C.

3.3 Alat dan Bahan yang digunakan

Berikut adalah alat dan bahan yang akan digunakan untuk mendukung kelancaran proses pengujian pada kesempatan kali ini. Setiap komponen telah dipilih secara cermat untuk memastikan hasil pengujian yang optimal dan akurat. Adapun alat dan bahan sebagai berikut.

1. Panci Vakum

Panci vakum ini berguna untuk wadah dari proses pembuatan gula aren yang mana pada penelitian kali ini digunakan air terlebih dahulu untuk pengujianya.



Gambar 3. 2 Panci Vakum

2. Isolator

Isolator ini akan berfungsi sebagai elemen pembanding dalam pengujian yang dilakukan. Isolator akan dipasang pada seluruh permukaan panci vakum untuk meminimalkan transfer panas dari dalam panci ke lingkungan luar. Dengan demikian, isolator berperan penting dalam menjaga kestabilan suhu di dalam panci vakum selama proses berlangsung, sehingga pengujian dapat dilakukan dengan lebih akurat dan sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.



Gambar 3. 3 Isolator

3. *Boosterpump*

Boosterpump digunakan karena memiliki head paling tinggi. *Boosterpump* menciptakan kondisi vakum di dalam panci dengan mengeluarkan udara dari dalamnya. Proses ini bertujuan untuk menurunkan tekanan di dalam panci sehingga mencapai kondisi yang sesuai dengan kebutuhan pengujian.



Gambar 3. 4 *Booster Pump BR-371CPA*

4. *Pressure gauge*

Pressure gauge digunakan untuk mengukur dan memantau tekanan di dalam sistem, serta berfungsi sebagai alat pembanding terhadap hasil pengukuran tekanan yang diperoleh dari sensor tekanan yang digunakan. Alat ini memastikan validasi data tekanan yang diukur, sehingga hasil pengujian dapat lebih akurat.



Gambar 3. 5 *Pressure gauge*

5. *Vacuum electrical pressure gauge*

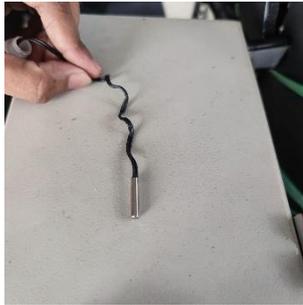
Sensor tekanan berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur tekanan di dalam panci vakum. Data hasil pengukuran tersebut kemudian ditransmisikan dan ditampilkan secara *real-time* pada layar display.



Gambar 3. 6 Sensor tekanan

6. Sensor temperatur

Sensor temperatur berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur temperatur di dalam panci yang dipanaskan oleh *heater*. Data temperatur yang dihasilkan oleh sensor ini digunakan untuk memantau dan mengontrol suhu secara akurat selama proses berlangsung



Gambar 3. 7 Sensor suhu

7. *Controller Wishner ch102*

Alat ini berfungsi sebagai pengendali otomatis untuk mengatur operasi pompa, dengan menyalakan atau mematikan pompa secara otomatis ketika tekanan di dalam sistem mencapai nilai 0,3 bar.



Gambar 3. 8 Wishner ch102

8. *Heater*

Heater berfungsi sebagai sumber energi panas yang digunakan untuk memanaskan panci vakum. Alat ini bertanggung jawab dalam menyediakan energi termal yang dibutuhkan untuk meningkatkan suhu di dalam panci, sehingga mendukung proses evaporasi.



Gambar 3. 9 *Heater*

9. *Wattmeter*

Fungsi dari wattmeter dalam proses ini adalah untuk mengukur dan mencatat besarnya konsumsi daya listrik yang digunakan oleh elemen pemanas (*heater*) selama proses produksi berlangsung. Alat ini sangat penting dalam pengambilan data karena memberikan informasi kuantitatif mengenai jumlah energi listrik yang dikonsumsi, yang selanjutnya dapat digunakan untuk analisis efisiensi energi sistem.



Gambar 3. 10 *Wattmeter*

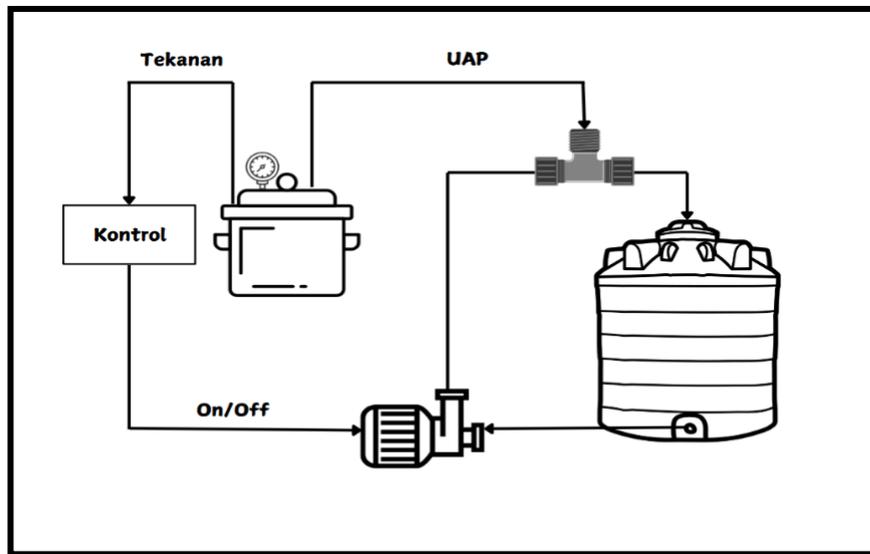
3.4 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan uji eksperimental untuk pengujian menggunakan isolator yang diaplikasikan pada panci vakum evaporator. Beberapa parameter yang diambil adalah perubahan suhu dan daya yang digunakan oleh *heater* selama 2 jam pengujian. Setelah dilakukan pengujian dan data sudah didapatkan sesuai parameter yang dibutuhkan dengan pengaplikasian isolator terdapat dua variabel, yaitu variabel bebas dan terikat. Variabel bebas dari pengujian ini adalah waktu dalam

pengujian dan bahan isolator yang digunakan pada pengujian ini, sedangkan variabel terikatnya adalah peningkatan suhu dan juga konsumsi daya yang digunakan selama pengujian berlangsung.

3.5 Setup Experiment

Merupakan prosedur pengujian yang dirancang untuk mengatur dan mengendalikan variabel-variabel yang terlibat agar tetap fokus pada tujuan penelitian. Dengan penerapan setup eksperimen yang tepat, data yang dihasilkan akan lebih akurat dan relevan, sekaligus memastikan bahwa proses penelitian berjalan secara efektif dan efisien. Berikut ini disajikan gambaran setup eksperimen pada percobaan penggunaan isolator.



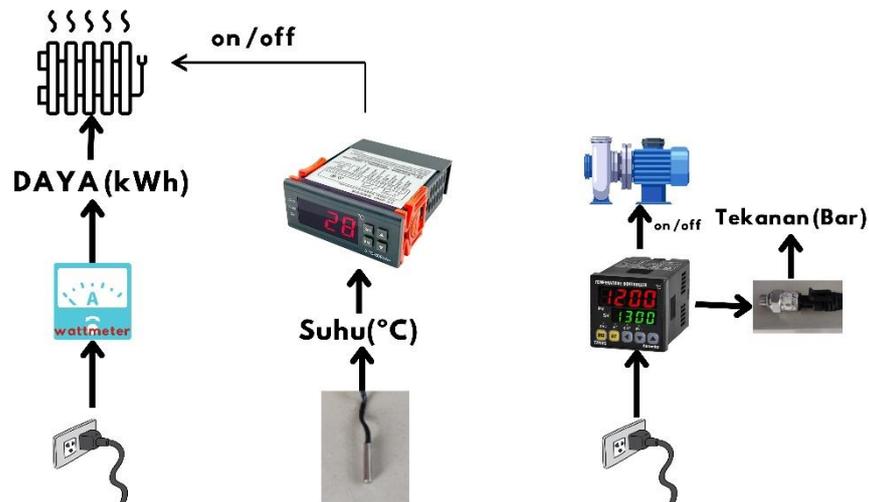
Gambar 3. 11 Setup Experiment

Pada sistem ini, proses produksi dilakukan menggunakan metode vakum untuk mempercepat penguapan. Proses vakum berlangsung di dalam panci vakum, di mana udara di dalam panci tersebut dikeluarkan menggunakan booster pump. Pompa ini menciptakan tekanan rendah (vakum) di dalam panci dengan cara menarik udara keluar melalui jalur yang terhubung ke venturi.

Venturi bekerja berdasarkan prinsip perbedaan tekanan, di mana aliran air digunakan sebagai media bantu (ejector) untuk menciptakan efek hisap. Air yang mengalir dengan kecepatan tinggi melalui venturi menghasilkan tekanan rendah yang membantu menarik udara dari dalam panci. Dengan kombinasi booster pump dan aliran air melalui venturi, tekanan di dalam panci dapat

diturunkan secara signifikan sehingga tercapai kondisi vakum yang diperlukan untuk proses pemanasan nira atau bahan lainnya.

Adapun gambaran sistem kerja kontroler yang digunakan saat penelitian berlangsung sebagai berikut.



Gambar 3. 12 Gambaran sistem kerja Kontroler

Gambar di atas menunjukkan sistem kontrol yang digunakan dalam proses pengambilan data selama pengujian. Pengukuran konsumsi daya dilakukan menggunakan wattmeter, yang mencatat daya listrik yang digunakan oleh elemen pemanas (heater) selama tahap persiapan produksi.

Untuk pemantauan suhu, digunakan termokopel yang ditempatkan di dalam panci untuk mendeteksi suhu fluida. Sistem kontrol akan mematikan heater secara otomatis ketika suhu mencapai 65°C , dan akan menyalakannya kembali saat suhu turun hingga 62°C , sehingga menjaga suhu tetap stabil dalam rentang tersebut.

Selain itu, kontroler juga mengatur operasi pompa vakum berdasarkan data dari sensor tekanan. Pompa akan otomatis berhenti ketika tekanan dalam panci mencapai $-0,7$ bar, dan akan menyala kembali saat tekanan naik hingga $-0,6$ bar. Siklus ini berlangsung secara otomatis dan berulang selama proses pengujian berlangsung, yaitu selama 2 jam.

Adapun spesifikasi alat yang digambarkan seperti diatas untuk mendukung pengujian kali ini yaitu:

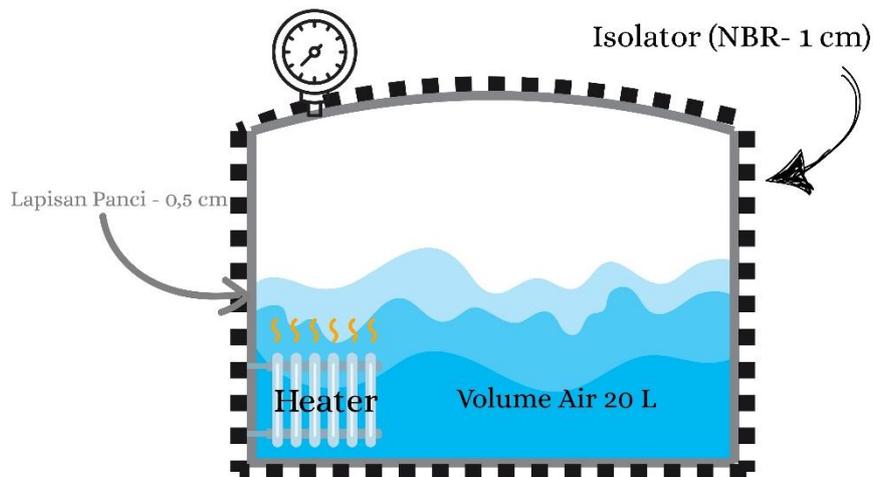
Tabel 3. 2 Spesifikasi Peralatan

| | |
|---------------------------------|--|
| Heater | Daya: 500 W Bentuk : U (dengan fin) Bahan : Stainless steel |
| Isolator | Bahan: Karet Sintetis (Nitril Butadine Rubber-NBR) Dimensi: 120 x 90 cm Nilai Konduktivitas Termal : 0,4 W/m.K |
| Booster Pump | Daya : 200 W Hmax : 23 m Qmax : 92 lpm |
| <i>Controller Wishner ch102</i> | Dimensi: 48 x 48 x 85 mm Output : Wishner WPT-83G Series |

BAB IV DATA DAN ANALISA

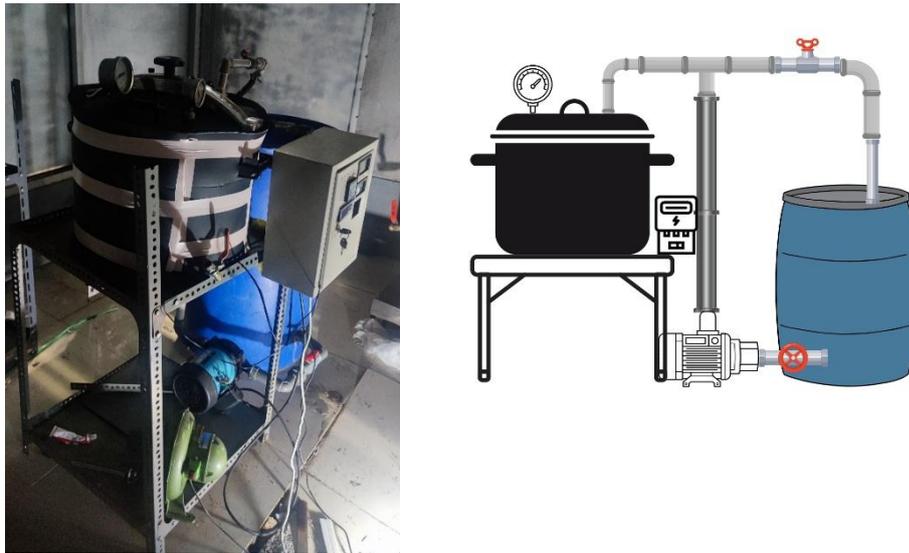
4.1 Proses Vacuum Dengan Menggunakan Isolator

Pada penelitian ini, sistem vacuum evaporator dimodifikasi dengan menambahkan isolator termal yang melapisi bagian luar panci evaporasi. Penambahan isolator ini bertujuan untuk mengurangi kehilangan panas (heat loss) selama proses pemanasan, sehingga panas yang dihasilkan dapat lebih optimal tersimpan di dalam panci. Sebelum penggunaan isolator, panas yang dihasilkan oleh sumber pemanas sebagian besar terbuang ke lingkungan sekitar akibat tidak adanya pelindung termal pada panci vacuum. Hal ini menyebabkan proses pemanasan menjadi kurang efisien, karena energi yang digunakan tidak sepenuhnya tersalurkan untuk meningkatkan suhu bahan. Adapun gambaran mengenai rancangan yang digunakan pada penggunaan Isolator yang diaplikasikan pada percobaan ini, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 1 Ilustrasi dari pemasangan Isolator

Setelah dilapisi dengan isolator, performa pemanasan meningkat secara signifikan. Hal ini ditunjukkan dengan kemampuan panci dalam menjaga suhu lebih stabil dan mempertahankan panas dalam jangka waktu lebih lama. Dampak positif lainnya adalah peningkatan efisiensi energi, karena proses pemanasan menjadi lebih cepat dan konsumsi energi berkurang. Penggunaan isolator terbukti menjadi solusi efektif dalam meningkatkan efisiensi termal pada proses pembuatan gula aren cair dengan metode vacuum evaporasi. Setup lengkap sistem yang digunakan dalam pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Vacuum evaporator dengan isolator

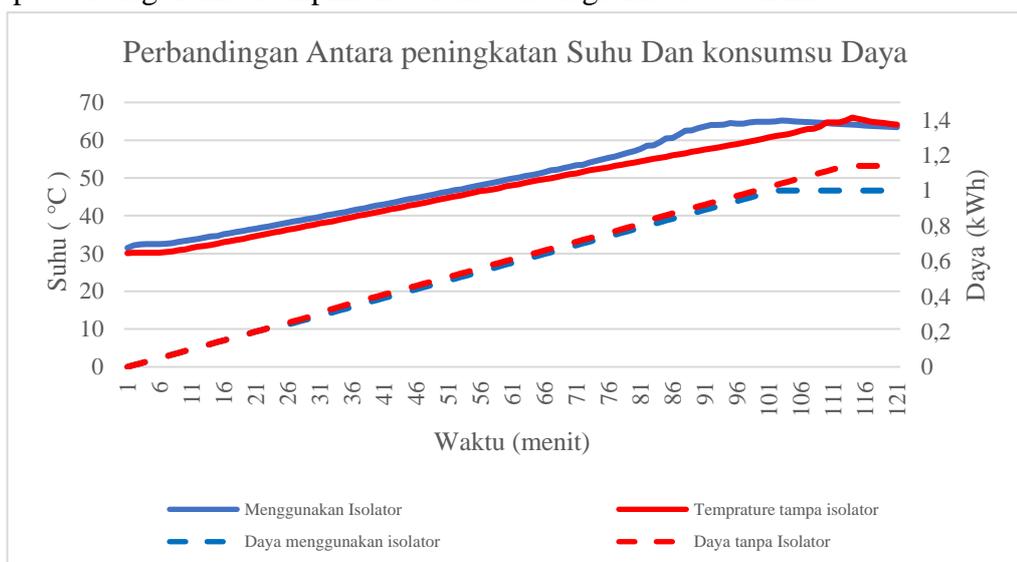
Prinsip kerja sistem vacuum evaporator pada penelitian ini didasarkan pada penggunaan elemen pemanas (heater) sebagai media untuk memanaskan air, serta pompa vakum yang berfungsi menurunkan tekanan di dalam panci evaporator hingga mencapai kisaran -0,6 bar hingga -0,7 bar. Penurunan tekanan ini bertujuan untuk mempercepat proses penguapan pada suhu yang lebih rendah, sehingga lebih efisien dan menjaga kualitas produk. Untuk memantau dan mengontrol proses secara real-time, sistem dilengkapi dengan sensor suhu dan sensor tekanan yang mumpuni. Sensor-sensor ini memberikan data secara kontinu, sehingga proses dapat dikendalikan secara otomatis sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan.

Saat proses berlangsung, apabila suhu mencapai 65°C dan tekanan mencapai -0,7 bar, maka sistem kontrol akan mematikan heater dan pompa secara otomatis. Hal ini dilakukan untuk menghemat konsumsi. Sistem akan

kembali aktif apabila tekanan naik hingga -0,6 bar dan suhu turun ke 62°C. Dengan sistem kontrol otomatis ini, tekanan dan suhu dalam panci vacuum dapat terjaga secara stabil dan terkontrol, sehingga proses pemanasan menjadi lebih efisien dan berkelanjutan. Pengaturan kerja pompa dan heater secara otomatis ini juga berkontribusi terhadap peningkatan performa pemanasan, karena menghindari pemborosan energi serta mempertahankan kondisi ideal selama proses produksi gula aren berlangsung.

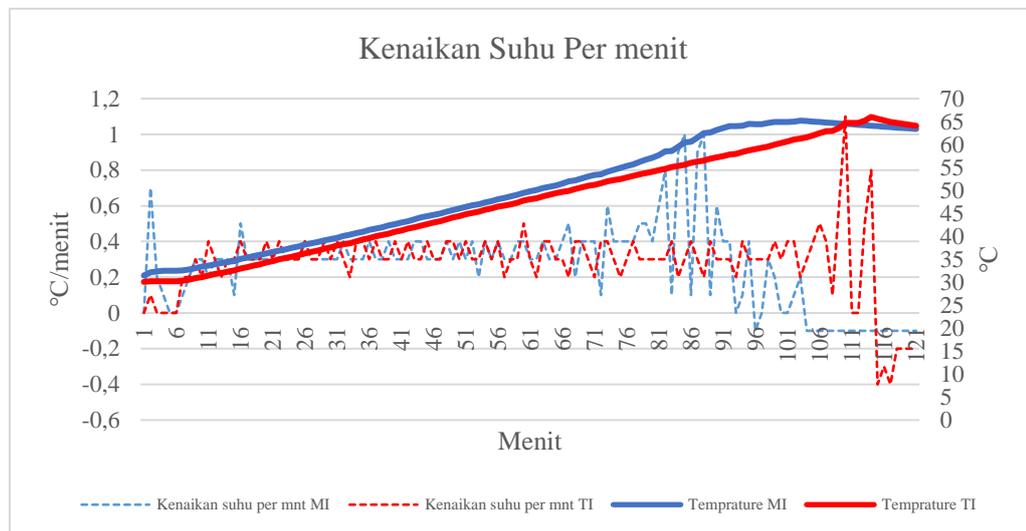
4.2 Perbandingan Suhu dan Konsumsi Daya Terhadap Waktu

Hasil pengujian pada sistem vacuum evaporator diuji dalam dua kondisi, yaitu dengan dan tanpa penggunaan isolator termal. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan sensor thermocouple, sementara daya pemanas diperoleh dari heater dengan spesifikasi nominal sebesar 500 watt. Namun, selama proses berlangsung, daya heater tercatat dapat mencapai hingga 600 watt, tergantung pada beban dan kestabilan sistem saat pemanasan berlangsung. Pengambilan data dilakukan selama 2 jam, dengan suhu awal bahan berada pada kisaran 30°C hingga 32°C. Untuk menurunkan titik didih dan mempercepat proses penguapan, sistem divakum menggunakan pompa, sehingga tekanan di dalam panci dipertahankan pada kisaran -0,6 hingga -0,7 bar. Pengaruh penggunaan isolator pada proses pemanasan dapat dilihat dengan membandingkan suhu yang dicapai dan daya listrik yang digunakan dalam waktu yang sama. Hasil perbandingan ini ditampilkan dalam bentuk grafik dibawah ini



Gambar 4. 3 Perbandingan Suhu dan Konsumsi Daya Terhadap Waktu

Berdasarkan grafik di atas, terlihat adanya perbedaan peningkatan suhu yang cukup signifikan antara dua kondisi pengujian. Pada menit ke-77, mulai terlihat perbedaan laju kenaikan suhu. Pada percobaan dengan isolator, suhu 65°C berhasil dicapai lebih cepat, yaitu pada menit ke-102. Sementara itu, pada percobaan tanpa isolator, suhu yang sama baru tercapai pada menit ke-113. Selisih waktu selama 11 menit ini menunjukkan bahwa penggunaan isolator memberikan pengaruh nyata terhadap proses pemanasan, yaitu dengan mempercepat pencapaian suhu target. Hal ini menunjukkan bahwa isolator mampu membantu menjaga panas agar tidak mudah hilang, sehingga proses pemanasan menjadi lebih efisien. Adapun grafik dari peningkatan suhu per menit dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 4. 4 Grafik Kenaikan Suhu Per menit

Tabel 4. 1 Tabel peningkatan suhu pada kedua Percobaan

| Keterangan | Menggunakan Isolator | Tanpa Isolator |
|-----------------------|----------------------|----------------|
| Peningkatan Tertinggi | 1°C | 1,1°C |
| Peningkatan Terendah | 0°C | 0°C |
| Rata Rata | 0,33°C | 0,3°C |

Dari grafik diatas terlihat perbandingan antara pertumbuhan suhu dari kedua percobaan tersebut. Pada percobaan menggunakan isolator perubahan suhu per menitnya memiliki rata rata sebesar 0,33°C hingga suhu mencapai 65°C untuk perubahan tertinggi selama 1 menit yaitu sebesar 1°C dan ter rendahnya sebesar 0°C. Pada percobaan tanpa isolator memiliki rata rata peningkatan suhu di 0,3°C

hingga suhu mencapai 65°C. Dan suhu peningkatan tertinggi sebesar 1,1°C dan dan suhu ter rendah untuk peningkatan per menitnya sebesar 0°C.

Tabel 4. 2 Tabel penurunan suhu pada kedua Percobaan

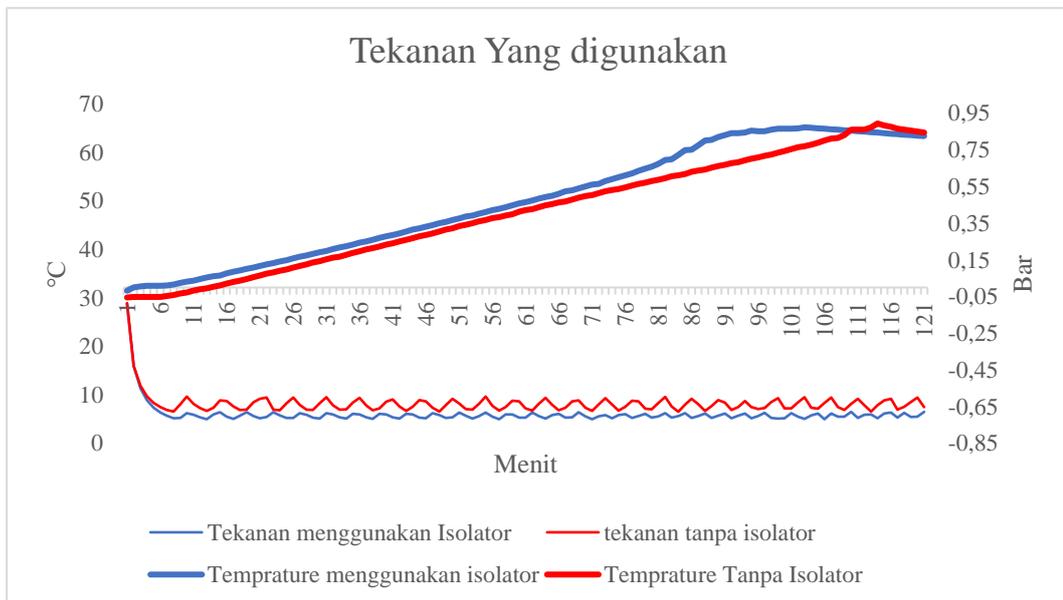
| Menit Ke | Menggunakan Isolator | Tanpa Isolator |
|----------|----------------------|----------------|
| 102 | 65 | 61,1 |
| 103 | 65,2 | 61,3 |
| 104 | 65,1 | 61,6 |
| 105 | 65 | 62 |
| 106 | 64,9 | 62,5 |
| 107 | 64,8 | 62,9 |
| 108 | 64,7 | 63 |
| 109 | 64,6 | 63,6 |
| 110 | 64,5 | 64,7 |
| 111 | 64,4 | 64,7 |
| 112 | 64,3 | 64,7 |
| 113 | 64,2 | 65,2 |
| 114 | 64,1 | 66 |
| 115 | 64 | 65,6 |
| 116 | 63,9 | 65,3 |
| 117 | 63,8 | 64,9 |
| 118 | 63,7 | 64,7 |
| 119 | 63,6 | 64,5 |
| 120 | 63,5 | 64,3 |
| 121 | 63,4 | 64,1 |

Pada tabel diatas, saat suhu mencapai 65°C, sistem secara otomatis mematikan heater. Setelah itu, terjadi penurunan suhu pada kedua kondisi pengujian, namun dengan pola yang berbeda. Pada percobaan dengan isolator, pada menit ke 102 penurunan suhu terjadi secara lebih stabil, yaitu sekitar 0,1°C per menit. Sementara itu, pada percobaan tanpa isolator, penurunan suhu terjadi pada menit 113 berlangsung lebih cepat dan cenderung fluktuatif, berkisar antara 0,2°C hingga 0,4°C per menit, namun pada percobaan tanpa isolator ini terjadi lonjakan suhu yang dimana heater sudah tidak menyala namun

temperature pada menit ke 114 melonjak hingga 66°C. Perbedaan ini menunjukkan bahwa penggunaan isolator berperan penting dalam menahan panas lebih lama, sehingga suhu dalam panci tidak cepat turun meskipun sumber panas telah dimatikan. Hal ini menjadi bukti bahwa isolator mampu menjaga kestabilan suhu, yang tentu saja sangat mendukung efisiensi proses pemanasan dalam pembuatan gula aren.

4.3 Perbandingan tekanan terhadap waktu

Tekanan dari kedua percobaan disetting sama, pompa memvakum dari 1 bar hingga -0,7 bar. Kemudian pompa akan mati pada -0,6 bar dengan itu seharusnya kondisi vacuum terjadi dan tetap stabil. Ada pun perbandingan tekanan terhadap waktu dapat dilihat pada grafik dibawah ini



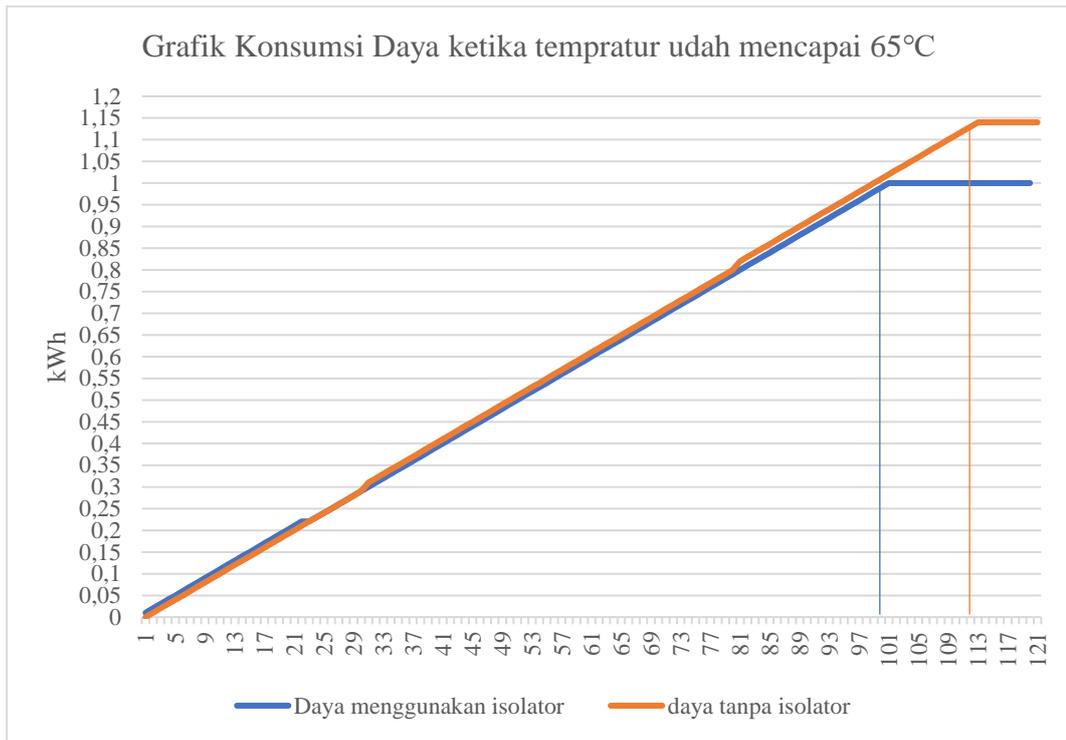
Gambar 4. 5 Tekanan kedua percobaan

Dari grafik diatas menggambarkan tekanan yang digunakan selama proses berjalannya pengujian yang dimana pada proses pengujian menggunakan isolator sebelumnya dilakukan test pompa terlebih dahulu dan dapat memvakum hingga -0,7 bar sedangkan yang tanpa isolator hanya mampu di -0,65 saja tentu ini tidak terlalu dipermasalahakan hanya selisih -0,05 bar. Grafik diatas juga menunjukkan kestabilan pada saat proses pengujian berlangsung dan berjalan sesuai yang direncanakan. Grafik diatas menunjukkan kestabilan dari tekana yang digunakan dalam proses vakum. Fenomena ini disebut dengan

isobarik dimana tekanan dijaga dalam kondisi konstan pada suhu yang terus meningkat.

4.4 Mengitung Efisiensi Energi

Efisiensi pada proses ini dihitung dari daya yang dikonsumsi pada setiap pengujian menggunakan isolator dan tanpa isolator. Kedua data daya yang



Gambar 4. 6 Grafik Konsumsi Daya

diperoleh dibandingkan dan dihitung dari kedua efisiensi tersebut. Pada porses dengan menggunakan isolator daya yang dikonsumsi dalam 2 jam sebesar 1 kWh dan pada pengujian tanpa isolator diperoleh konsumsi daya total sebesar 1,14 kWh. Untuk lebih spesifiknya dapat dilihat pada grafik dibawah ini.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa total konsumsi energi tanpa isolator adalah 1,14 kWh, sedangkan dengan isolator sebesar 1,00 kWh. Dari hasil masing masing pengujian didapatkan hasil efisiensi energi sebesar 78% dari menggunakan isolator kemudian tanpa isolator diperoleh hasil sebesar 70% efisiensi energi dari hasil diatas maka adanya peningkatan efisiensi energi yang diperoleh dari hasil pemanasan yang dilakukan selama 2 jam. Untuk perhitungan dari hasil efisiensi diatas dapat dilihat pada rumus dibawah ini.

1. Tanpa Isolator

$$E_{Listrik} = E_{Heater}$$

Energi Listrik

$$\begin{aligned} 1,14 kWh &= (1000 Watt) \times (3600 s) \\ &= 4104000 J \end{aligned}$$

Energi Heater

$$\begin{aligned} Q &= m \times c_{air} \times \Delta T \\ Q &= 20kg \times 4,184 J/g^{\circ}C \times (65 - 30,5) \\ Q &= 2886960 J \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \\ \eta &= \frac{2886960 J}{4104000 J} \times 100\% \\ \eta &= 70\% \end{aligned}$$

2. Menggunakan Isolator

$$E_{Listrik} = E_{Heater}$$

Energi Listrik

$$\begin{aligned} 1 kWh &= (1000 Watt) \times (3600 s) \\ &= 3600000 J \end{aligned}$$

Energi Heater

$$\begin{aligned} Q &= m \times c_{air} \times \Delta T \\ Q &= 20kg \times 4,184 J/g^{\circ}C \times (65 - 31,5) \\ Q &= 2803280 J \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \\ \eta &= \frac{2803280 J}{3600000 J} \times 100\% \\ \eta &= 78\% \end{aligned}$$

Dengan demikian, penggunaan isolator memberikan peningkatan efisiensi konsumsi listrik sebesar 12,28%. Efisiensi ini diperoleh karena isolator mampu mengurangi kehilangan panas ke lingkungan, sehingga energi yang dibutuhkan

untuk mencapai suhu target menjadi lebih rendah. Perhitungan Diatas didapatkan dengan rumus dibawah ini.

$$\eta = \frac{E \text{ tanpa isolator} - E \text{ menggunakan isolator}}{E \text{ tanpa isolator}} \times 100\%$$

- E tanpa isolator=1,14kWh
- E dengan isolator=1,00 kWh

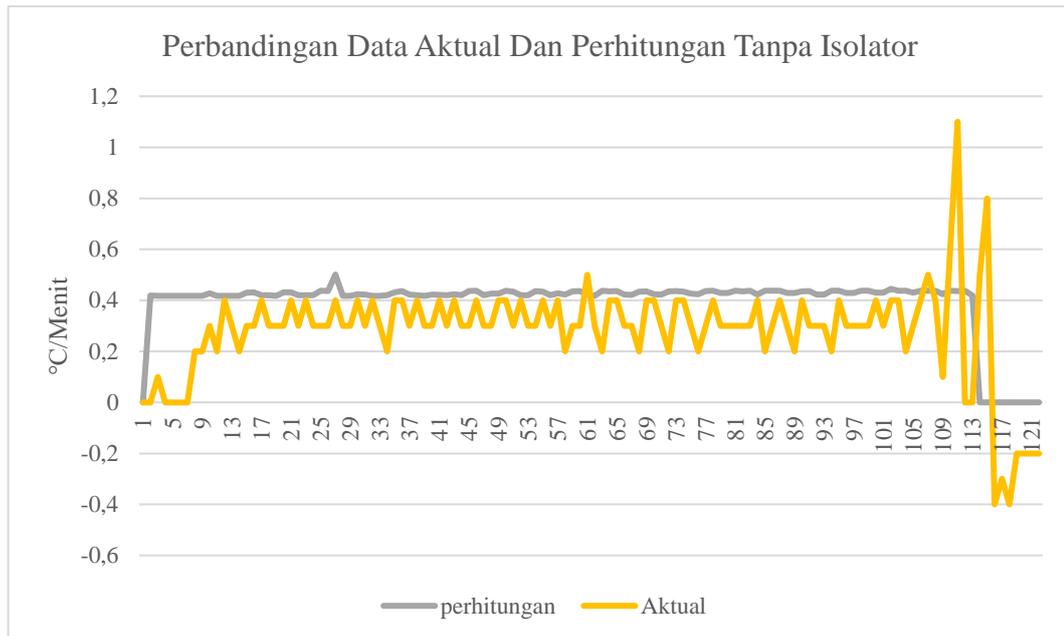
$$\eta = \frac{1,14 - 1,0}{1,14} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{0,14}{1,14} \times 100\% = 12,28\%$$

Pada hasilnya penggunaan isolator dengan konduktivitas termal sebesar 0,4 W/m·K berhasil menghasilkan efisiensi daya sebesar 12,18%. Oleh karena itu, fokus analisis difokuskan pada rentang suhu mulai dari kondisi awal hingga mencapai suhu target sebesar 65°C. Hal ini dikarenakan setelah suhu mencapai batas atas tersebut, sistem heater memasuki fase mati-nyala (*on-off control*), di mana heater akan mati saat suhu mencapai 65°C dan menyala kembali ketika suhu turun hingga sekitar 62°C. Pada fase ini terjadi penghematan energi yang signifikan dibandingkan dengan proses pemanasan awal selama dua jam pertama. Dengan demikian, efisiensi energi pada fase mati-nyala ini lebih tinggi daripada saat pemanasan awal berlangsung secara kontinu. Fenomena ini menunjukkan bahwa penggunaan isolator tidak hanya efektif dalam mengurangi kehilangan panas selama pemanasan awal tetapi juga memberikan manfaat hemat energi selama Proses berlangsung.

4.5 Perbandingan antara perhitungan dengan data aktual

Perbandingan antara data aktual dan hasil perhitungan memberikan gambaran mengenai tingkat efisiensi proses pemanasan yang berlangsung. Untuk melakukan perbandingan ini, digunakan rumus perpindahan panas sebagai dasar analisisnya. Grafik di bawah ini memperlihatkan perkembangan pertumbuhan panas setiap menitnya, baik dari hasil perhitungan maupun data aktual yang diperoleh selama proses berlangsung. Dengan demikian, evaluasi tersebut dapat membantu dalam mengidentifikasi sejauh mana peningkatan performa dapat dicapai pada proses pembuatan gula aren melalui penggunaan isolator yang diaplikasikan.

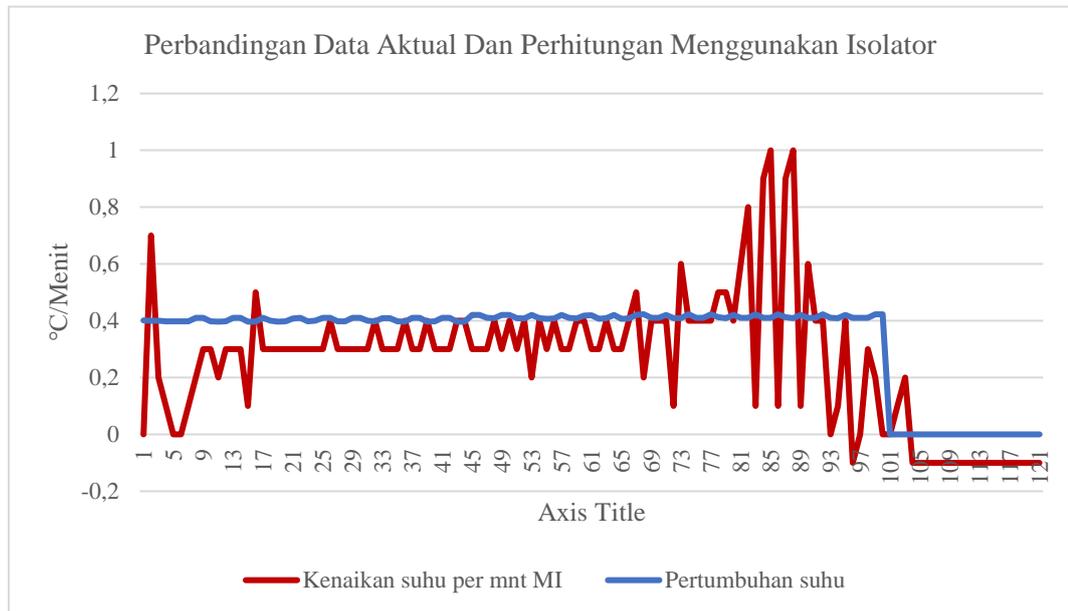


Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Perhitungan Dan Aktual TI

Dari Grafik diatas menunjukkan hasil perhitungan dengan data aktual yang dihasilkan pada hasil pengujian kali ini. Terlihat diatas pada setiap menit seharusnya pertumbuhan tempratur pada percobaan tersebut adalah $0,4^{\circ}\text{C}$. Pada nyatanya tanpa isolator didapatkan dengan rata-rata pertumbuhan per menitnya adalah sebesar $0,3^{\circ}\text{C}$. Untuk percobaan tanpa isolator memiliki efektivitas pemanasan sebesar $72,08\%$. Dengan itu ada panas yang hilang dan mengakibatkan banyaknya energi lebih digunakan untuk mencapai suhu yang telah di tentukan.

Pada saat suhu sudah mencapai 60°C adanya lonjakan kenaikan suhu. Salah satu faktornya adalah daya yang dikonsumsi dapat mencapai 600W . Dengan itu pertumbuhan suhu yang seharusnya dapat stabil di $0,4^{\circ}\text{C}$ dapat melonjak hingga $1,1^{\circ}\text{C}$. alah satu faktor yang mempengaruhi dinamika pemanasan pada percobaan ini adalah desain heater yang menggunakan fin. Pada tahap awal pemanasan, peningkatan suhu fluida tidak langsung terjadi karena energi panas terlebih dahulu diserap oleh fin heater sebelum diteruskan ke fluida. Proses pemanasan fin ini menyebabkan adanya penundaan dalam kenaikan suhu fluida, sehingga pada awal pengujian suhu cenderung stagnan. Fenomena ini perlu diperhatikan dalam analisis performa sistem pemanasan agar dapat mengoptimalkan waktu respons dan efisiensi transfer panas.

Untuk perbandingan nilai aktual dan perhitungan menggunakan isolator dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini.



Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Perhitungan Dan Aktual MI

Pada grafik diatas terlihat penambahan suhu yang lebih stabil dibandingkan dengan tanpa isolator. Rata-rata kenaikan suhu yang dicapai menggunakan isolator adalah sekitar 0,33°C per menit, meskipun secara perhitungan idealnya kenaikan suhu tersebut seharusnya mencapai 0,4°C per menit. Pada awal pemanasan, terdapat beberapa menit di mana suhu tidak mengalami peningkatan yang signifikan, namun setelah menit ke-20, kenaikan suhu mulai menunjukkan kestabilan yang baik. Pada percobaan menggunakan isolator juga adanya lonjakan suhu ketika sudah mencapai 60°C. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi lonjakan suhu tersebut salah satunya ada kebocoran daya yang dapat mencapai 600W.

Pada percobaan menggunakan isolator memiliki efektivitas pemanasan sebesar 81,65% , lebih besar jika dibandingkan dengan tanpa isolator. Dengan ini isolator berperan penting untuk meningkatkan performa dan efisiensi energi pada proses pembuatan gula aren.

4.6 Hasil dan pembahasan

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian proses pemanasan dengan sistem vacuum evaporator dalam dua kondisi, yaitu menggunakan isolator dan tanpa isolator. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar

pengaruh penggunaan isolator terhadap efisiensi energi dan performa pemanasan. Pada sistem yang dilapisi isolator dengan ketebalan 1 cm di seluruh permukaan panci, suhu dapat meningkat lebih cepat dan stabil jika dibandingkan dengan sistem tanpa isolator.

Pada hasil pengamatan menunjukkan bahwa suhu 65°C berhasil dicapai pada menit ke-102 saat menggunakan isolator, sedangkan pada kondisi tanpa isolator suhu yang sama baru tercapai pada menit ke-113. Artinya, penggunaan isolator mampu mempercepat waktu pemanasan sekitar 11 menit, yang tentunya baik buat langkah awal untuk penerapan isolator dalam produksi gula aren. Selain dari sisi suhu, data konsumsi daya listrik juga menunjukkan bahwa sistem dengan isolator lebih hemat energi. Konsumsi energi saat menggunakan isolator tercatat sebesar 1,00 kWh, sedangkan tanpa isolator mencapai 1,14 kWh. Selisih ini menunjukkan adanya penghematan energi sebesar 12,28%, yang cukup signifikan untuk sistem pemanasan skala produksi. Selama proses berlangsung, tekanan vakum membantu untuk menurunkan titik didih dari air yang digunakan sebagai percobaan awal pada penelitian ini.

Perhitungan efektivitas pemanasan juga menunjukkan bahwa sistem dengan isolator memiliki kinerja yang lebih baik, karena sebagian besar energi yang masuk benar-benar digunakan untuk menaikkan suhu, bukan terbuang sebagai panas ke lingkungan. Rata-rata kenaikan suhu per menit saat menggunakan isolator tercatat sekitar $0,33^{\circ}\text{C}$, sedangkan tanpa isolator penurunan suhu setelah heater mati lebih fluktuatif dan cenderung lebih cepat. Ketika suhu mencapai 65°C dan heater mati otomatis, penurunan suhu per menit pada sistem dengan isolator hanya sekitar $-0,1^{\circ}\text{C}$, sedangkan tanpa isolator bisa turun antara $-0,2^{\circ}\text{C}$ hingga $-0,4^{\circ}\text{C}$ per menit. Fakta ini membuktikan bahwa isolator berperan penting dalam menjaga panas lebih lama di dalam panci. Jika dilihat dari perbandingan antara data aktual dan teori, hasil percobaan menggunakan isolator lebih mendekati perhitungan ideal dibandingkan tanpa isolator. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan isolator tidak hanya berdampak pada penghematan energi, tapi juga meningkatkan efisiensi pemanasan secara menyeluruh. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa isolator sangat

berpengaruh dalam meningkatkan efisiensi dan performa sistem vacuum evaporator dalam proses awal dalam produksi gula aren ini.

Dari hasil diatas didukung dari beberapa penelitian terdahulu yang mana pada penelitian sebelumnya yang membahas mengenai penggunaan isolator glaswool dapat meningkatkan peningkatan suhu yang mana dengan menggunakan isolator dapat menempuh selama 25 menit mencapai titik didih air sedangkan tanpa isolator untuk mencapai suhu yang sama diperlukan waktu selama 41 menit. Dan penggunaan isolator pada penelitian tersebut dapat menjaga tekanan dengan itu dalam penelitian ini hal tersebut memperkuat bahwa dengan menggunakan isolator dengan jenir Nitirin butadine rubber dapat menjaga panas agar tidak terjadi energi lost [28].

Perpindahan kalor secara konduksi merupakan proses perpindahan energi termal dari bagian yang bertemperatur tinggi ke bagian yang bertemperatur rendah pada zat padat. Dalam penelitian ini, isolator yang digunakan memiliki nilai konduktivitas termal sebesar $0,4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, yang menunjukkan kemampuan material tersebut dalam menghambat perpindahan panas. Nilai konduktivitas yang relatif rendah ini menandakan bahwa isolator tersebut efektif sebagai penghambat aliran energi termal, sehingga mampu mengurangi kehilangan panas selama proses pemanasan. Dengan demikian, penggunaan isolator ini berkontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi energi pada sistem vacuum evaporator dengan menjaga panas tetap terperangkap di dalam panci, mempercepat pencapaian suhu target, dan mengurangi konsumsi daya. Faktor ini sangat penting dalam optimasi performa sistem pemanasan dan penghematan energi secara keseluruhan.[29]

Dari kedua pengujian tersebut didapatkan hasil efisiensi energi yang mana dengan dan tanpa isolator terlihat adanya perbedaan pada kedua percobaan tersebut jelas itu didukung dari penelitian sebelumnya yang dengan menggunakan isolator dapat meningkatkan efektivitas pemanasan dalam suatu sistem. Dari hasil kedua pengujian didapatkan hasil efisiensi energi sebesar 70% untuk tanpa isolator dan 78% dengan menggunakan isolator.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian vacuum evaporator tanpa dan menggunakan isolator yang diaplikasikan pada panci vakum. Didapatkan data dan dianalisa serta dapat ditarik kesimpulan. Berikut adalah kesimpulan dari pengujian ini yang menjawab dari tujuan penelitian yaitu.

1. Berdasarkan hasil rancangan dan pengujian vacuum evaporator, dapat disimpulkan bahwa penerapan isolator pada panci vakum secara signifikan meningkatkan performa dan efisiensi energi dalam proses vacuum evaporasi. Penggunaan isolator memungkinkan panci mencapai suhu 65°C dalam waktu 103 menit, yang berarti 10 menit lebih cepat dibandingkan dengan kondisi tanpa isolator yang membutuhkan waktu 113 menit untuk mencapai suhu yang sama. Dengan demikian, isolator yang diaplikasikan pada panci vakum terbukti efektif dalam meningkatkan kinerja heater serta mempercepat proses pemanasan, sehingga berkontribusi pada efisiensi operasional sistem secara keseluruhan.
2. Dengan menggunakan Pemanas Tubular Fin Strip yang memiliki daya sebesar 500W. Pada penggunaan isolator mengkonsumsi daya sebesar 1 kWh sedangkan tanpa isolator dapat mencapai 1,14 kWh maka dari itu, Efisiensi energi yang dihasilkan setelah diaplikasikan isolator yaitu sebesar 12,18% dengan itu selama 2 jam proses awal pemanasan dalam panci vakum dapat meminimalisir pemborosan daya yang digunakan.
3. Performa heater jika dibandingkan menggunakan isolator dan tanpa isolator dari hasil pengujian menyimpulkan bahwa menggunakan isolator dapat meningkatkan performa pada heater yang mana dilihat pada suhu yang dicapai lebih cepat dari. Performa pemanasan meningkat dengan penggunaan isolator, yaitu $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ 0,33°C/*Menit* dibandingkan $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ 0,3°C/*Menit* tanpa isolator. menunjukkan isolator berperan penting dalam meningkatkan performa pemanasan dan efisiensi pemanasan.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian penggunaan isolator untuk meningkatkan performa dan efisiensi energi. Agar penelitian selanjutnya dapat diperbaiki dan dikembangkan agar mendapatkan hasil yang maksimal, berikut adalah saran tersebut yaitu.

1. Dapat divariasikan ketebalan isolator yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal.
2. Untuk penelitian selanjutnya, agar mendapatkan hasil yang maksimal penelitian ini dapat dilakukan ketika suhu sudah mencapai 65°C. Dengan itu dapat dilihat dari hasil data yang didapat untuk efisiensi yang didapatkan selama proses produksi berlangsung. Pada penelitian ini hanya berfokus pada proses mulainya produksi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asisa, N., & Apriady, M. K. (2024). *Rancang Bangun Mesin Pembuat Gula Aren Cair Terintegrasi Sistem Otomasi* (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri ujung Pandang).
- [2] Vazri Muharom, & Rifky. (2022). Pengaruh Sifat Konduktivitas Termal Material Isolator (Kayu, Karet Dan Styrofoam) Terhadap Perpindahan Panas Dan Daya Keluaran Sistem Generator Thermoelectric.
- [3] Hutajulu, M. J., Dianta Mustofa Kamal, & Yuli Mafendro Dedet Eka Saputra. (2023). Rancang Bangun Ulang Oven Pengering Listrik. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, 13(1), 663–671.
- [4] Syakdani, A. (2019). Prototipe alat evaporator vakum (efektivitas temperatur dan waktu evaporasi terhadap tekanan vakum dan laju evaporasi pada pembuatan sirup buah mengkudu (*Morinda citrifolia L.*)). *KINETIKA*, 10(2), 29-35.
- [5] Putri, P. C. E. (2018). Pengaruh Suhu dan Waktu Terhadap Pemekatan Buah Naga Merah (*Hylocereus Polyrhizus*) Menggunakan Sistem Evaporator Vakum (The Effect of Temperature and Time toward Concentration of Red Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) in *Vacuum evaporator System*) (Doctoral dissertation, undip).
- [6] Jesiani, E. M., Apriansyah, A., & Adriat, R. (2019). Model Pendugaan Evaporasi dari Suhu Udara dan Kelembaban Udara Menggunakan Metode Regresi Linier Berganda di Kota Pontianak. *Prisma Fisika*, 7(1), 46-50.
- [7] Ismiyati, I., & Lubis, F. (2020). Identifikasi Kenaikan Titik Didih Pada Proses Evaporasi, Terhadap Konsentrasi Larutan Sari Jahe. *Jurnal Konversi*, 9(2), 7.
- [8] Jamilah, J. J., Oktavia, F. R., & Nafita, S. W. (2021). Pengaruh Material yang Berbeda Terhadap Laju Perpindahan Panas. *Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya (JUPITER)*, 3(1), 1-4.
- [9] Situmorang, A., 2024. Studi Pengaruh Suhu Pemasakan Jagung Terhadap Kualitas Emping Jagung Menggunakan Tipe Rotary.
- [10] Nursalam, S. (2024). Rancang Bangun Alat Pemantau Laju Penurunan Massa Larutan Dan Kadar Brix Pada Proses Pembuatan Gula Aren Cair Dengan

Teknologi *Vacuum evaporator* (Doctoral dissertation, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa).

- [11] Siregar, A. P., Hamsi, A., Sabri, M., Isranuri, I., & Syam, B. (2015). PERANCANGAN INSULATION MATERIAL MESIN MIXER KAPASITAS 6, 9 LITER DAN PUTARAN 280 RPM. *DINAMIS*, 3(1).
- [12] Irawati, E., Huda, C. and Kurniawan, W., 2019, November. Pengembangan Alat Peraga Perpindahan Kalor secara Konduksi, Konveksi, dan Radiasi dalam Satu Set Alat berbasis Digital. In Prosiding Seminar Nasional Lontar Physics Forum (pp. 86-91).
- [13] Wahyono, W., & Rochani, I. (2019). Pembuatan alat uji perpindahan panas secara radiasi. *Eksergi: Jurnal Teknik Energi*, 15(2), 50-59.
- [14] Muharom, V. (2022). Rifky, "Pengaruh Sifat Konduktivitas Termal Material Isolator (Kayu, Karet Dan Styrofoam) Terhadap Perpindahan Panas Dan Daya Keluaran Sistem Generator Thermoelectric,". *Met. J. Manufaktur, Energi, Mater. Tek*, 1(1), 8-15.
- [15] Fahrezi, D. Z., & Nugroho, B. S. (2024, December). OPTIMASI TEBAL ISOLASI TERMAL CALCIUM SILICATE PADA HEAT EXCHANGER E-14-009 DI HIGH VACUUM UNIT PT X. In Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral (Vol. 4, No. 1, pp. 643-652).
- [16] Tarigan, N. (2023). Pengaruh bahan isolasi termal terhadap perpindahan kalor pada tangki penyimpanan steam untuk meminimalisir *heat loss* dan tekanan. *JURNAL VOKASI TEKNIK*, 1(01), 10-16.
- [17] M Ramadhan, K. (2022). Rancang Bangun Tangki Pengolah Virgin Coconut Oil Dengan Memanfaatkan Isolator Serbuk Kayu Jati (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA BARAT).
- [18] Widodo, A. S. (2015). Jarak Optimum Panci Terhadap Selubung Pada Efisiensi Sistem Pemanasan Air. *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Brawijaya*, 6(1), 130709.
- [19] Liu, J., Li, X., Xu, L., & Zhang, P. (2016). Investigation of aging behavior and mechanism of nitrile-butadiene rubber (NBR) in the accelerated thermal aging environment. *Polymer testing*, 54, 59-66.

- [20] Tang, Q. Y., & Zhang, W. F. (2014). Environmental factors on aging of *Nitrile Butadiene Rubber* (NBR)-A review. *Advanced Materials Research*, 1033, 987-990.
- [21] Jensen, A. A. (2009). Risk assessment of boron in glass wool insulation. *Environmental Science and Pollution Research*, 16, 73-78.
- [22] Burlian, F., & Khoirullah, M. I. (2014). Pengaruh variasi ketebalan isolator terhadap laju kalor dan penurunan temperatur pada Permukaan Dinding Tungku Biomassa. *Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya*.
- [23] Kurniawati, S. D., Hantoro, D. R., ST, M., & Dyah Sawitri, S. T. MT, 2013. *Pengaruh Jenis Dan Ketebalan Material Terhadap Distribusi Temperatur Dinding Tungku Dengan Pendekatan CFD (Studi Kasus Di Industri Tempe KecamatanTenggilis Mejoyo Surabaya)*.
- [24] Ma'arif, M., & Sarjito, I. (2016). *Pengaruh Isolator Terhadap Kinerja Tungku Gasifikasi Tipe Downdraft* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- [25] Zahorulko, A., Zagorulko, A., Fedak, N., Sabadash, S., Kazakov, D., & Kolodnenko, V. (2019). Improving a vacuum-evaporator with enlarged heat exchange surface for making fruit and vegetable semi-finished products.
- [26] Kim, K. H., Schwartzberg, H. G., & Rosenau, J. R. (1983). Factors affecting performance of brine driven evaporators. *Journal of Food Process Engineering*, 7(1), 37-62.
- [27] Icier, F., Doner, D., Cokgezme, O. F., Sabanci, S., & Cevik, M. (2024). Recent trends in evaporation techniques. In *Evaporation Technology in Food Processing* (pp. 335-367). Woodhead Publishing.
- [28] Gunawan, S., Susilo, H., & Sinurat, F. (2022). Analisa Perbandingan Kinerja Boiler Tanpa dan Dengan Menggunakan Glasswool sebagai Isolator. *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, 6(2), 208-215.
- [29] Haryanto, D., Rosidi, A., & Juarsa, M. (2023). Perhitungan Desain Ketebalan Isolator Termal Pada Water Heating Tank FASSIP-02 Mod. 01. *JlIF (Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika)*, 7(2), 174-184.

LAMPIRAN

Lampiran Pengambilan data



Data tanpa isolator

| Tanpa isolator | | | | | | |
|----------------|---------|------------|------|------------|-------------|------|
| Menit ke | Tekanan | daya pompa | kWh | temprature | Daya Heater | kWh |
| mulai | -0,09 | 559,6 | 0 | 30,1 | 582,9 | 0 |
| 1 | -0,43 | 559,8 | 0,01 | 30,2 | 582,7 | 0,01 |
| 2 | -0,54 | 591,9 | 0,02 | 30,2 | 582,4 | 0,02 |
| 3 | -0,59 | 561,3 | 0,03 | 30,2 | 581,3 | 0,03 |
| 4 | -0,63 | 564,2 | 0,04 | 30,2 | 581,9 | 0,04 |
| 5 | -0,65 | 564,4 | 0,05 | 30,2 | 582,2 | 0,05 |
| 6 | -0,67 | 583,9 | 0,06 | 30,4 | 581,7 | 0,06 |
| 7 | -0,68 | 583,9 | 0,07 | 30,6 | 581,9 | 0,07 |
| 8 | -0,64 | 0 | 0,07 | 30,9 | 596,7 | 0,08 |
| 9 | -0,60 | 562,1 | 0,07 | 31,1 | 581,4 | 0,09 |
| 10 | -0,63 | 564,2 | 0,08 | 31,5 | 581,7 | 0,1 |
| 11 | -0,66 | 564,2 | 0,9 | 31,8 | 581,7 | 0,11 |
| 12 | -0,67 | 583,9 | 0,1 | 32 | 581,7 | 0,12 |
| 13 | -0,66 | 0 | 0,1 | 32,3 | 600,1 | 0,13 |
| 14 | -0,62 | 0 | 0,1 | 32,6 | 600,6 | 0,14 |
| 15 | -0,62 | 563,6 | 0,11 | 33 | 585,3 | 0,15 |
| 16 | -0,65 | 561,5 | 0,12 | 33,3 | 585,3 | 0,16 |
| 17 | -0,67 | 562,8 | 0,13 | 33,6 | 582,4 | 0,17 |
| 18 | -0,67 | 0 | 0,14 | 33,9 | 600,6 | 0,18 |
| 19 | -0,63 | 0 | 0,14 | 34,3 | 600,9 | 0,19 |
| 20 | -0,61 | 558 | 0,14 | 34,6 | 585 | 0,2 |
| 21 | -0,60 | 583 | 0,15 | 35 | 585,3 | 0,21 |
| 22 | -0,67 | 563,1 | 0,16 | 35,3 | 584,8 | 0,22 |
| 23 | -0,67 | 0 | 0,17 | 35,6 | 609,2 | 0,23 |
| 24 | -0,63 | 0 | 0,17 | 35,9 | 608,4 | 0,24 |
| 25 | -0,60 | 568,2 | 0,17 | 36,3 | 698,4 | 0,25 |
| 26 | -0,64 | 560,7 | 0,18 | 36,6 | 581,9 | 0,26 |
| 27 | -0,67 | 560,5 | 0,19 | 36,9 | 581,7 | 0,27 |
| 28 | -0,67 | 0 | 0,19 | 37,3 | 589,9 | 0,28 |
| 29 | -0,63 | 0 | 0,19 | 37,6 | 589 | 0,29 |
| 30 | -0,60 | 558,6 | 0,2 | 38 | 581,7 | 0,31 |
| 31 | -0,64 | 560,5 | 0,21 | 38,3 | 581,2 | 0,32 |
| 32 | -0,67 | 561,5 | 0,22 | 38,5 | 585,8 | 0,33 |
| 33 | -0,66 | 0 | 0,22 | 38,9 | 600,8 | 0,34 |
| 34 | -0,63 | 0 | 0,22 | 39,3 | 608,9 | 0,35 |
| 35 | -0,60 | 561 | 0,22 | 39,6 | 589 | 0,36 |
| 36 | -0,64 | 560,4 | 0,23 | 40 | 585 | 0,37 |
| 37 | -0,67 | 559,9 | 0,24 | 40,3 | 582,8 | 0,38 |
| 38 | -0,66 | 0 | 0,25 | 40,6 | 589 | 0,39 |

| | | | | | | |
|----|-------|-------|------|------|-------|------|
| 39 | -0,62 | 0 | 0,25 | 41 | 588 | 0,4 |
| 40 | -0,61 | 560,3 | 0,25 | 41,3 | 585 | 0,41 |
| 41 | -0,65 | 561,8 | 0,26 | 41,7 | 589,9 | 0,42 |
| 42 | -0,67 | 564,2 | 0,27 | 42 | 586 | 0,43 |
| 43 | -0,65 | 0 | 0,27 | 42,3 | 608 | 0,44 |
| 44 | -0,61 | 0 | 0,27 | 42,7 | 609,8 | 0,45 |
| 45 | -0,62 | 569,2 | 0,28 | 43 | 584,7 | 0,46 |
| 46 | -0,66 | 569,1 | 0,29 | 43,3 | 594,7 | 0,47 |
| 47 | -0,68 | 569 | 0,3 | 43,7 | 594,5 | 0,48 |
| 48 | -0,64 | 0 | 0,3 | 44,1 | 610,4 | 0,49 |
| 49 | -0,61 | 0 | 0,3 | 44,4 | 604 | 0,5 |
| 50 | -0,63 | 565 | 0,31 | 44,8 | 585,8 | 0,51 |
| 51 | -0,66 | 563,3 | 0,32 | 45,1 | 585 | 0,52 |
| 52 | -0,67 | 0 | 0,32 | 45,4 | 608 | 0,53 |
| 53 | -0,63 | 0 | 45,7 | 45,8 | 604,5 | 0,54 |
| 54 | -0,60 | 592,8 | 0,32 | 46,1 | 585 | 0,55 |
| 55 | -0,64 | 561,1 | 0,33 | 46,5 | 595,3 | 0,56 |
| 56 | -0,67 | 561,1 | 0,34 | 46,7 | 589 | 0,57 |
| 57 | -0,65 | 0 | 0,35 | 47 | 605,8 | 0,58 |
| 58 | -0,62 | 0 | 0,35 | 47,3 | 608,9 | 0,59 |
| 59 | -0,62 | 562,2 | 0,35 | 47,8 | 586,5 | 0,6 |
| 60 | -0,66 | 560,6 | 0,36 | 48,1 | 582,4 | 0,61 |
| 61 | -0,67 | 0 | 0,37 | 48,3 | 609 | 0,62 |
| 62 | -0,64 | 0 | 0,37 | 48,7 | 606,8 | 0,63 |
| 63 | -0,60 | 0 | 0,37 | 49,1 | 608 | 0,64 |
| 64 | -0,64 | 568 | 0,38 | 49,4 | 589 | 0,65 |
| 65 | -0,67 | 567,9 | 0,39 | 49,7 | 588 | 0,66 |
| 66 | -0,66 | 0 | 0,39 | 49,9 | 605 | 0,67 |
| 67 | -0,62 | 0 | 0,39 | 50,3 | 605,5 | 0,68 |
| 68 | -0,62 | 565 | 0,39 | 50,7 | 589,9 | 0,69 |
| 69 | -0,66 | 564,9 | 0,4 | 51 | 589,4 | 0,7 |
| 70 | -0,67 | 0 | 0,41 | 51,2 | 605,5 | 0,71 |
| 71 | -0,64 | 0 | 0,41 | 51,6 | 608,7 | 0,72 |
| 72 | -0,60 | 0 | 0,41 | 52 | 605 | 0,73 |
| 73 | -0,64 | 568,9 | 0,42 | 52,3 | 594,5 | 0,74 |
| 74 | -0,67 | 567,9 | 0,43 | 52,5 | 591,1 | 0,75 |
| 75 | -0,65 | 0 | 0,43 | 52,8 | 608,5 | 0,76 |
| 76 | -0,62 | 0 | 0,43 | 53,2 | 609,7 | 0,77 |
| 77 | -0,62 | 568,9 | 0,44 | 53,5 | 598 | 0,78 |
| 78 | -0,66 | 565,7 | 0,45 | 53,8 | 598,4 | 0,79 |
| 79 | -0,66 | 0 | 0,45 | 54,1 | 609,2 | 0,8 |
| 80 | -0,63 | 0 | 0,45 | 54,4 | 605,5 | 0,82 |
| 81 | -0,60 | 0 | 0,45 | 54,7 | 609,8 | 0,83 |

| | | | | | | |
|-----|-------|-------|------|------|-------|------|
| 82 | -0,65 | 565,5 | 0,46 | 55,1 | 588,6 | 0,84 |
| 83 | -0,68 | 0 | 0,47 | 55,3 | 609 | 0,85 |
| 84 | -0,64 | 0 | 0,47 | 55,6 | 609,2 | 0,86 |
| 85 | -0,61 | 0 | 0,47 | 56 | 609,2 | 0,87 |
| 86 | -0,64 | 565,3 | 0,48 | 56,3 | 598,4 | 0,88 |
| 87 | -0,67 | 565,5 | 0,49 | 56,5 | 598,1 | 0,89 |
| 88 | -0,65 | 0 | 0,49 | 56,9 | 606,1 | 0,9 |
| 89 | -0,61 | 0 | 0,49 | 57,2 | 608,4 | 0,91 |
| 90 | -0,63 | 569,4 | 0,5 | 57,5 | 589,6 | 0,92 |
| 91 | -0,67 | 568,5 | 0,51 | 57,8 | 588,9 | 0,93 |
| 92 | -0,65 | 0 | 0,51 | 58 | 609,8 | 0,94 |
| 93 | -0,62 | 0 | 0,51 | 58,4 | 609 | 0,95 |
| 94 | -0,65 | 565,4 | 0,51 | 58,7 | 598,4 | 0,96 |
| 95 | -0,66 | 565,6 | 0,52 | 59 | 598 | 0,97 |
| 96 | -0,66 | 0 | 0,53 | 59,3 | 609,2 | 0,98 |
| 97 | -0,62 | 0 | 0,53 | 59,6 | 609 | 0,99 |
| 98 | -0,60 | 565 | 0,53 | 60 | 598,9 | 1 |
| 99 | -0,66 | 565,5 | 0,54 | 60,3 | 598,9 | 1,01 |
| 100 | -0,66 | 0 | 0,55 | 60,7 | 620,8 | 1,02 |
| 101 | -0,63 | 0 | 0,55 | 61,1 | 609,1 | 1,03 |
| 102 | -0,60 | 0 | 0,55 | 61,3 | 609,9 | 1,04 |
| 103 | -0,66 | 565,4 | 0,55 | 61,6 | 598,9 | 1,05 |
| 104 | -0,66 | 0 | 0,56 | 62 | 609,5 | 1,06 |
| 105 | -0,63 | 0 | 0,56 | 62,5 | 609,4 | 1,07 |
| 106 | -0,60 | 0 | 0,56 | 62,9 | 609,5 | 1,08 |
| 107 | -0,65 | 568 | 0,57 | 63 | 591,4 | 1,09 |
| 108 | -0,67 | 0 | 0,58 | 63,6 | 609,2 | 1,1 |
| 109 | -0,63 | 0 | 0,58 | 64,7 | 608,7 | 1,11 |
| 110 | -0,61 | 0 | 0,58 | 64,7 | 609,1 | 1,12 |
| 111 | -0,64 | 557,1 | 0,58 | 64,7 | 583,2 | 1,13 |
| 112 | -0,68 | 0 | 0,59 | 65,2 | 0 | 1,14 |
| 113 | -0,64 | 0 | 0,59 | 66 | 0 | 1,14 |
| 114 | -0,62 | 0 | 0,59 | 65,6 | 0 | 1,14 |
| 115 | -0,61 | 570,7 | 0,6 | 65,3 | 0 | 1,14 |
| 116 | -0,67 | 570,4 | 0,61 | 64,9 | 0 | 1,14 |
| 117 | -0,65 | 0 | 0,61 | 64,7 | 0 | 1,14 |
| 118 | -0,62 | 0 | 0,61 | 64,5 | 0 | 1,14 |
| 119 | -0,60 | 0 | 0,61 | 64,3 | 0 | 1,14 |
| 120 | -0,65 | 570,7 | 0,62 | 64,1 | 0 | 1,14 |

Data Menggunakan Isolator

| Menit ke | Tekanan | daya pompa | kWh | temprature | Daya Heater | kWh |
|----------|---------|------------|------|------------|-------------|------|
| Mulai | -0,09 | | 0 | 31,5 | | 0 |
| 1 | -0,43 | 544,5 | 0,01 | 32,2 | 559,2 | 0,01 |
| 2 | -0,55 | 547,7 | 0,02 | 32,4 | 557,5 | 0,02 |
| 3 | -0,61 | 545,4 | 0,03 | 32,5 | 557,8 | 0,03 |
| 4 | -0,66 | 543,7 | 0,04 | 32,5 | 554,2 | 0,04 |
| 5 | -0,68 | 543,5 | 0,05 | 32,5 | 554,2 | 0,05 |
| 6 | -0,70 | 544 | 0,06 | 32,6 | 554,2 | 0,06 |
| 7 | -0,71 | 544 | 0,07 | 32,8 | 554,7 | 0,07 |
| 8 | -0,71 | 0,23 | 0,07 | 33,1 | 572 | 0,08 |
| 9 | -0,68 | 0,23 | 0,07 | 33,4 | 571,5 | 0,09 |
| 10 | -0,69 | 544,2 | 0,08 | 33,6 | 553,8 | 0,1 |
| 11 | -0,71 | 543 | 0,09 | 33,9 | 552,8 | 0,11 |
| 12 | -0,72 | 544,7 | 0,1 | 34,2 | 554,2 | 0,12 |
| 13 | -0,69 | 0,23 | 0,1 | 34,5 | 571 | 0,13 |
| 14 | -0,68 | 0,23 | 0,1 | 34,6 | 571 | 0,14 |
| 15 | -0,70 | 544,5 | 0,11 | 35,1 | 553,5 | 0,15 |
| 16 | -0,72 | 544,2 | 0,12 | 35,4 | 553,3 | 0,16 |
| 17 | -0,70 | 0,23 | 0,12 | 35,7 | 571 | 0,17 |
| 18 | -0,68 | 545,7 | 0,13 | 36 | 557,3 | 0,18 |
| 19 | -0,70 | 544,7 | 0,14 | 36,3 | 553,5 | 0,19 |
| 20 | -0,71 | 544,7 | 0,14 | 36,6 | 554 | 0,2 |
| 21 | -0,71 | 0,23 | 0,15 | 36,9 | 568 | 0,21 |
| 22 | -0,68 | 0,21 | 0,15 | 37,2 | 571,3 | 0,22 |
| 23 | -0,70 | 545,7 | 0,16 | 37,5 | 554,2 | 0,22 |
| 24 | -0,71 | 548 | 0,17 | 37,8 | 557,5 | 0,23 |
| 25 | -0,71 | 0,21 | 0,18 | 38,2 | 571,5 | 0,24 |
| 26 | -0,68 | 0,23 | 0,18 | 38,5 | 571,3 | 0,25 |
| 27 | -0,69 | 544,7 | 0,18 | 38,8 | 554,2 | 0,26 |
| 28 | -0,71 | 544 | 0,19 | 39,1 | 554,2 | 0,27 |
| 29 | -0,71 | 0,21 | 0,2 | 39,4 | 572 | 0,28 |
| 30 | -0,69 | 0,23 | 0,2 | 39,7 | 572,3 | 0,29 |
| 31 | -0,69 | 543,7 | 0,21 | 40,1 | 557 | 0,3 |
| 32 | -0,71 | 542,8 | 0,21 | 40,4 | 554 | 0,31 |
| 33 | -0,72 | 0,21 | 0,22 | 40,7 | 570,8 | 0,32 |
| 34 | -0,69 | 0,23 | 0,22 | 41 | 570,8 | 0,33 |
| 35 | -0,69 | 544 | 0,23 | 41,4 | 554,5 | 0,34 |
| 36 | -0,71 | 542,7 | 0,24 | 41,7 | 553,5 | 0,35 |
| 37 | -0,72 | 0,21 | 0,25 | 42 | 571,5 | 0,36 |
| 38 | -0,69 | 0,23 | 0,25 | 42,4 | 571 | 0,37 |
| 39 | -0,69 | 543 | 0,25 | 42,7 | 553,5 | 0,38 |

| | | | | | | |
|----|-------|-------|------|------|-------|------|
| 40 | -0,71 | 543,7 | 0,26 | 43 | 554,2 | 0,39 |
| 41 | -0,72 | 0,21 | 0,27 | 43,3 | 571,3 | 0,4 |
| 42 | -0,69 | 0,21 | 0,27 | 43,7 | 571 | 0,41 |
| 43 | -0,69 | 540 | 0,28 | 44,1 | 553,5 | 0,42 |
| 44 | -0,71 | 538,5 | 0,28 | 44,4 | 552,8 | 0,43 |
| 45 | -0,71 | 0,21 | 0,29 | 44,7 | 585,3 | 0,44 |
| 46 | -0,69 | 0,23 | 0,29 | 45 | 585,8 | 0,45 |
| 47 | -0,70 | 551,4 | 0,3 | 45,4 | 571,3 | 0,46 |
| 48 | -0,71 | 554 | 0,31 | 45,7 | 570,6 | 0,47 |
| 49 | -0,71 | 0,21 | 0,32 | 46,1 | 585 | 0,48 |
| 50 | -0,68 | 0,21 | 0,32 | 46,4 | 585,5 | 0,49 |
| 51 | -0,70 | 554,9 | 0,32 | 46,8 | 570,8 | 0,5 |
| 52 | -0,71 | 550,7 | 0,33 | 47 | 568 | 0,51 |
| 53 | -0,70 | 0,21 | 0,34 | 47,4 | 586 | 0,52 |
| 54 | -0,68 | 554,4 | 0,34 | 47,7 | 570,6 | 0,53 |
| 55 | -0,70 | 554 | 0,35 | 48,1 | 567,5 | 0,54 |
| 56 | -0,72 | 554,4 | 0,36 | 48,4 | 568 | 0,55 |
| 57 | -0,69 | 0,21 | 0,36 | 48,7 | 585,5 | 0,56 |
| 58 | -0,69 | 555,6 | 0,36 | 49,1 | 571 | 0,57 |
| 59 | -0,71 | 554,7 | 0,37 | 49,5 | 569 | 0,58 |
| 60 | -0,71 | 0,21 | 0,38 | 49,8 | 581,9 | 0,59 |
| 61 | -0,68 | 0,23 | 0,38 | 50,1 | 584,3 | 0,6 |
| 62 | -0,70 | 551,2 | 0,39 | 50,5 | 567,7 | 0,61 |
| 63 | -0,72 | 553,5 | 0,4 | 50,8 | 570,6 | 0,62 |
| 64 | -0,70 | 0,21 | 0,4 | 51,1 | 585,3 | 0,63 |
| 65 | -0,69 | 551,4 | 0,4 | 51,5 | 567 | 0,64 |
| 66 | -0,71 | 551,6 | 0,41 | 52 | 568 | 0,65 |
| 67 | -0,71 | 0,21 | 0,42 | 52,2 | 586,3 | 0,66 |
| 68 | -0,68 | 0,21 | 0,42 | 52,6 | 589,6 | 0,67 |
| 69 | -0,70 | 551,4 | 0,43 | 53 | 571,3 | 0,68 |
| 70 | -0,72 | 554,5 | 0,44 | 53,4 | 571,5 | 0,69 |
| 71 | -0,70 | 0,21 | 0,44 | 53,5 | 586,5 | 0,7 |
| 72 | -0,70 | 550,9 | 0,45 | 54,1 | 570,3 | 0,71 |
| 73 | -0,71 | 551,7 | 0,46 | 54,5 | 570,8 | 0,72 |
| 74 | -0,70 | 0,21 | 0,46 | 54,9 | 589,4 | 0,73 |
| 75 | -0,69 | 555,9 | 0,46 | 55,3 | 572 | 0,74 |
| 76 | -0,71 | 555,4 | 0,47 | 55,7 | 571,5 | 0,75 |
| 77 | -0,70 | 0,21 | 0,48 | 56,2 | 589,1 | 0,76 |
| 78 | -0,69 | 556,4 | 0,48 | 56,7 | 574,9 | 0,77 |
| 79 | -0,71 | 550,5 | 0,49 | 57,1 | 570,6 | 0,78 |
| 80 | -0,70 | 0,21 | 0,5 | 57,7 | 585 | 0,79 |
| 81 | -0,68 | 556,4 | 0,5 | 58,5 | 572 | 0,8 |
| 82 | -0,71 | 556,1 | 0,51 | 58,6 | 571,8 | 0,81 |

| | | | | | | |
|-----|-------|-------|------|------|-------|------|
| 83 | -0,70 | 0,23 | 0,51 | 59,5 | 588,6 | 0,82 |
| 84 | -0,68 | 555,3 | 0,51 | 60,5 | 572 | 0,83 |
| 85 | -0,71 | 552,3 | 0,52 | 60,6 | 572 | 0,84 |
| 86 | -0,70 | 0,21 | 0,53 | 61,5 | 589,1 | 0,85 |
| 87 | -0,69 | 555 | 0,53 | 62,5 | 574,4 | 0,86 |
| 88 | -0,71 | 553,2 | 0,54 | 62,6 | 570,1 | 0,87 |
| 89 | -0,70 | 0,21 | 0,55 | 63,2 | 585,8 | 0,88 |
| 90 | -0,69 | 554,9 | 0,55 | 63,6 | 571,3 | 0,89 |
| 91 | -0,71 | 555,2 | 0,56 | 64 | 571,3 | 0,9 |
| 92 | -0,70 | 0,21 | 0,56 | 64 | 588,6 | 0,91 |
| 93 | -0,69 | 555,5 | 0,56 | 64,1 | 571,3 | 0,92 |
| 94 | -0,71 | 553,7 | 0,57 | 64,5 | 570,6 | 0,93 |
| 95 | -0,70 | 0,21 | 0,58 | 64,4 | 585,8 | 0,94 |
| 96 | -0,68 | 558,3 | 0,58 | 64,4 | 572 | 0,95 |
| 97 | -0,71 | 558,6 | 0,59 | 64,7 | 571,8 | 0,96 |
| 98 | -0,72 | 558,3 | 0,6 | 64,9 | 571,5 | 0,97 |
| 99 | -0,71 | 0,21 | 0,61 | 64,9 | 588,6 | 0,98 |
| 100 | -0,69 | 0,21 | 0,61 | 64,9 | 588,9 | 0,99 |
| 101 | -0,70 | 568,1 | 0,61 | 65 | 0 | 1 |
| 102 | -0,72 | 567,9 | 0,62 | 65,2 | 0 | 1 |
| 103 | -0,70 | 0,22 | 0,63 | 65,1 | 0 | 1 |
| 104 | -0,69 | 568,1 | 0,63 | 65 | 0 | 1 |
| 105 | -0,72 | 567,6 | 0,64 | 64,9 | 0 | 1 |
| 106 | -0,69 | 0,22 | 0,64 | 64,8 | 0 | 1 |
| 107 | -0,70 | 567,9 | 0,64 | 64,7 | 0 | 1 |
| 108 | -0,70 | 0,22 | 0,65 | 64,6 | 0 | 1 |
| 109 | -0,68 | 560,5 | 0,65 | 64,5 | 0 | 1 |
| 110 | -0,71 | 567,5 | 0,66 | 64,4 | 0 | 1 |
| 111 | -0,69 | 0,22 | 0,66 | 64,3 | 0 | 1 |
| 112 | -0,69 | 568,8 | 0,67 | 64,2 | 0 | 1 |
| 113 | -0,71 | 0,22 | 0,68 | 64,1 | 0 | 1 |
| 114 | -0,69 | 0,22 | 0,68 | 64 | 0 | 1 |
| 115 | -0,68 | 567,9 | 0,68 | 63,9 | 0 | 1 |
| 116 | -0,71 | 0,22 | 0,69 | 63,8 | 0 | 1 |
| 117 | -0,68 | 0,22 | 0,69 | 63,7 | 0 | 1 |
| 118 | -0,71 | 568,5 | 0,7 | 63,6 | 0 | 1 |
| 119 | -0,70 | 0,22 | 0,71 | 63,5 | 0 | 1 |
| 120 | -0,68 | 0,22 | 0,71 | 63,4 | 0 | 1 |