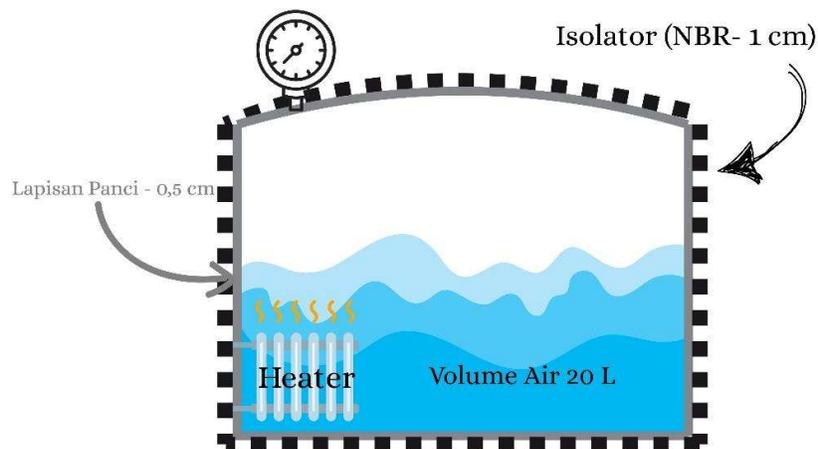


BAB IV DATA DAN ANALISA

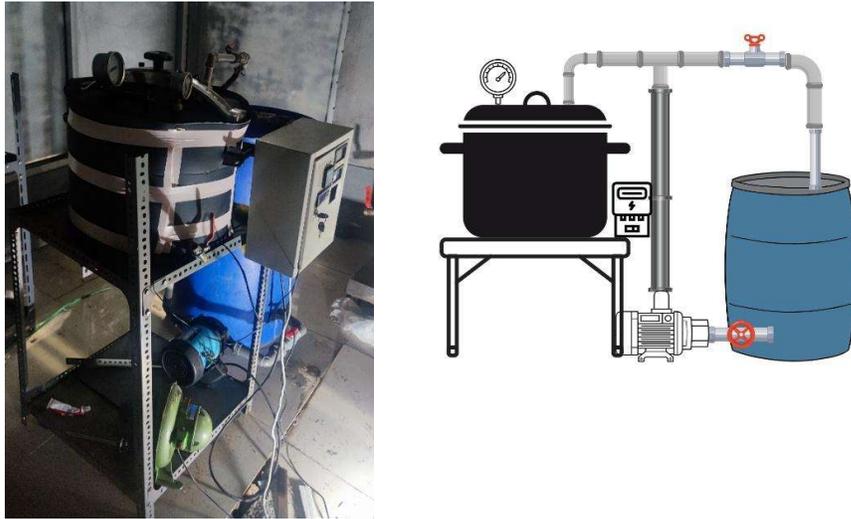
4.1 Proses Vacuum Dengan Menggunakan Isolator

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

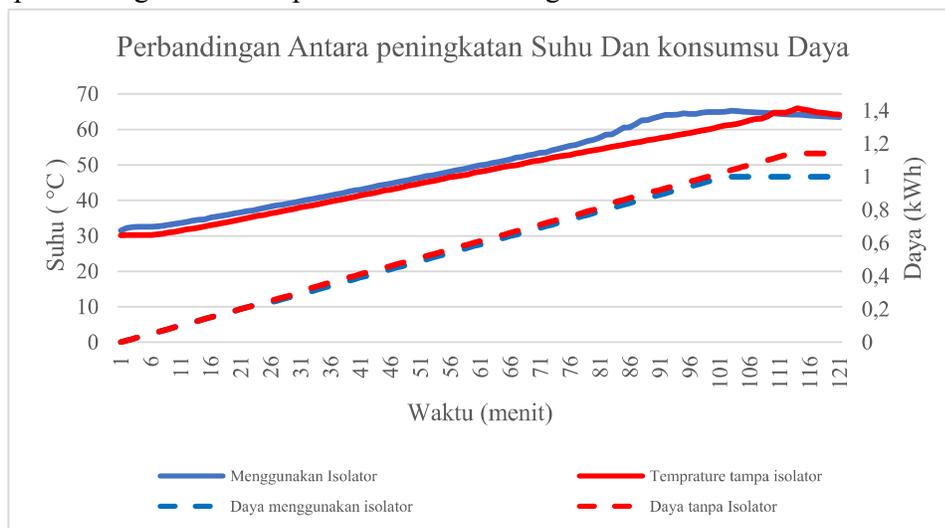
Prinsip kerja sistem vacuum evaporator pada penelitian ini didasarkan pada penggunaan elemen pemanas (heater) sebagai media untuk memanaskan air, serta pompa vakum yang berfungsi menurunkan tekanan di dalam panci evaporator hingga mencapai kisaran $-0,6$ bar hingga $-0,7$ bar. Penurunan tekanan ini bertujuan 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.

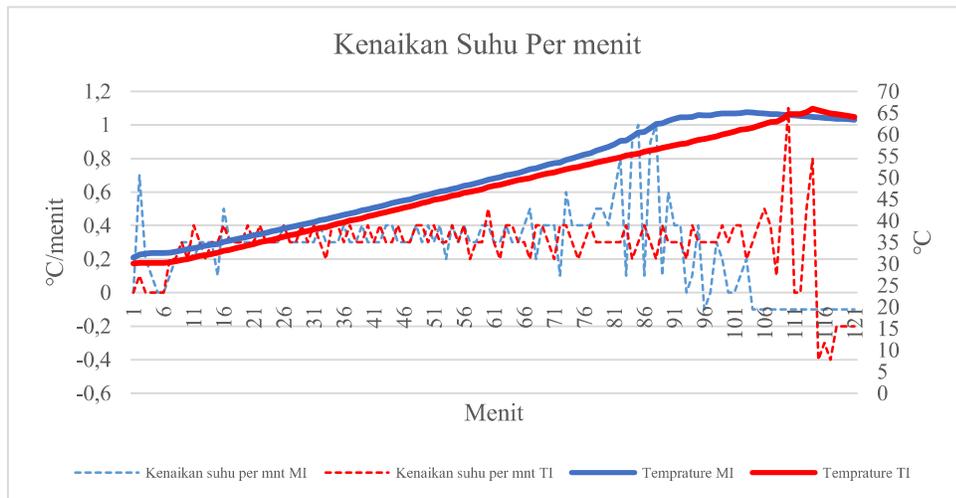
4.2 Perbandingan Suhu dan Konsumsi Daya Terhadap Waktu

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

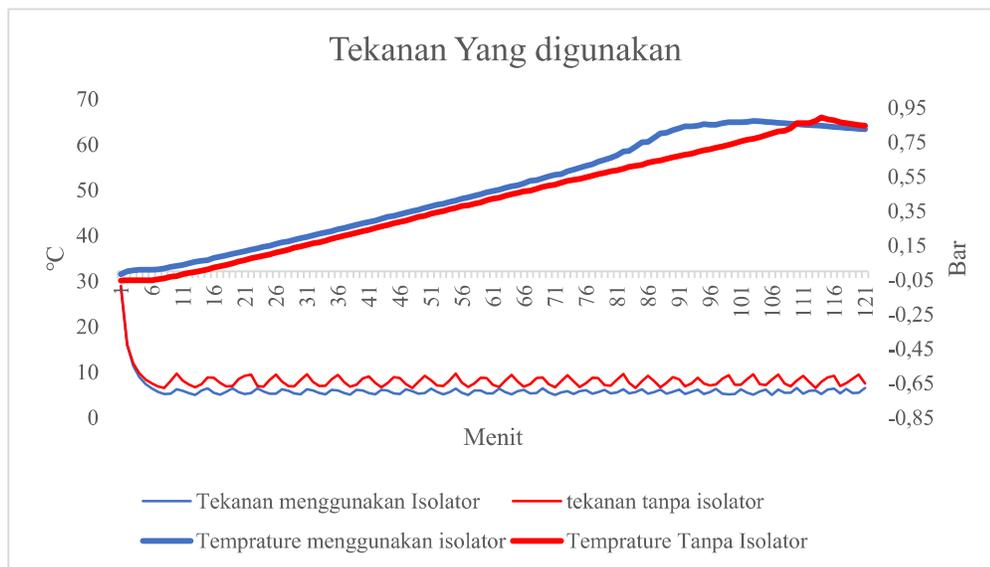
Menit Ke	Menggunakan Isolator	Tanpa Isolator
102	65	61,1
103	65,2	61,3
104	65,1	61,6
105	65	62
106	64,9	62,5
107	64,8	62,9
108	64,7	63
109	64,6	63,6
110	64,5	64,7
111	64,4	64,7
112	64,3	64,7
113	64,2	65,2
114	64,1	66
115	64	65,6
116	63,9	65,3
117	63,8	64,9
118	63,7	64,7
119	63,6	64,5
120	63,5	64,3
121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



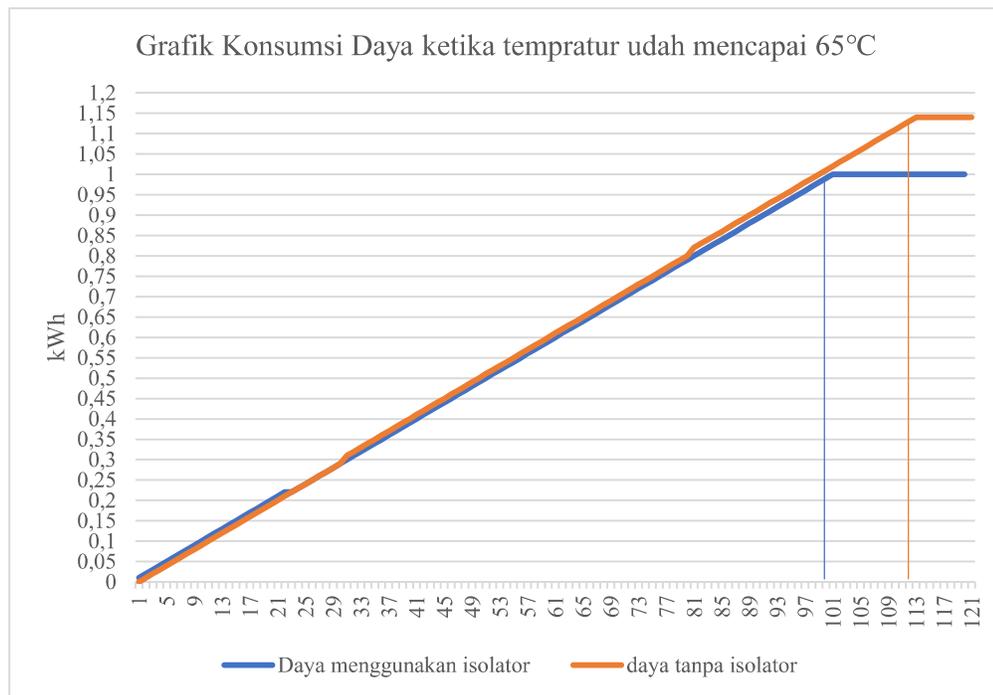
Gambar 4. 5 Tekanan kedua percobaan

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 proses 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

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

Energi Heater

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

Maka:

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

2. Menggunakan Isolator

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

Energi Listrik

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

Energi Heater

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

Maka:

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

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

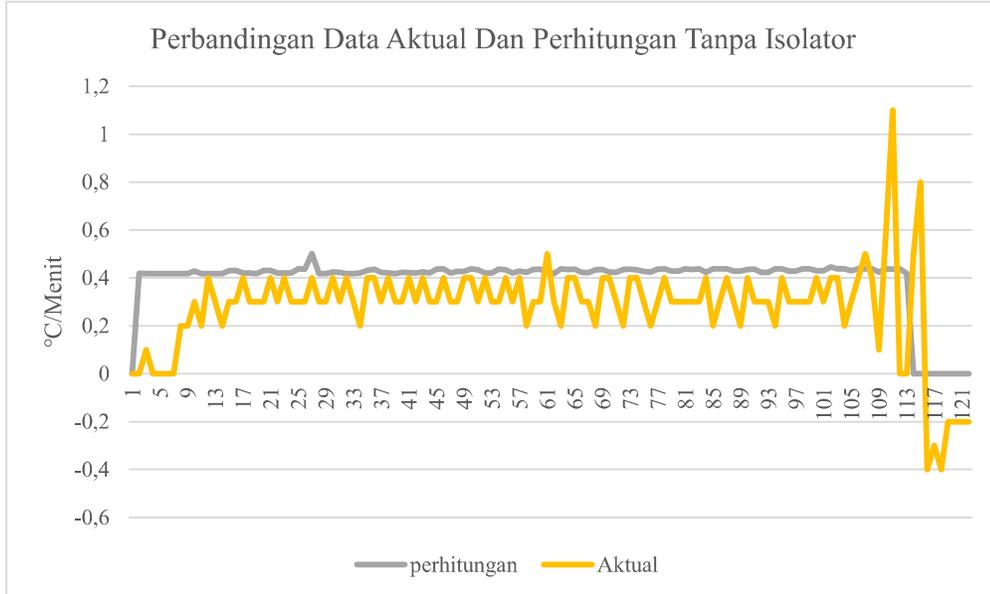
$$\eta = \frac{1,14 - 1,0}{1,14} \times 100\%$$

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

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.

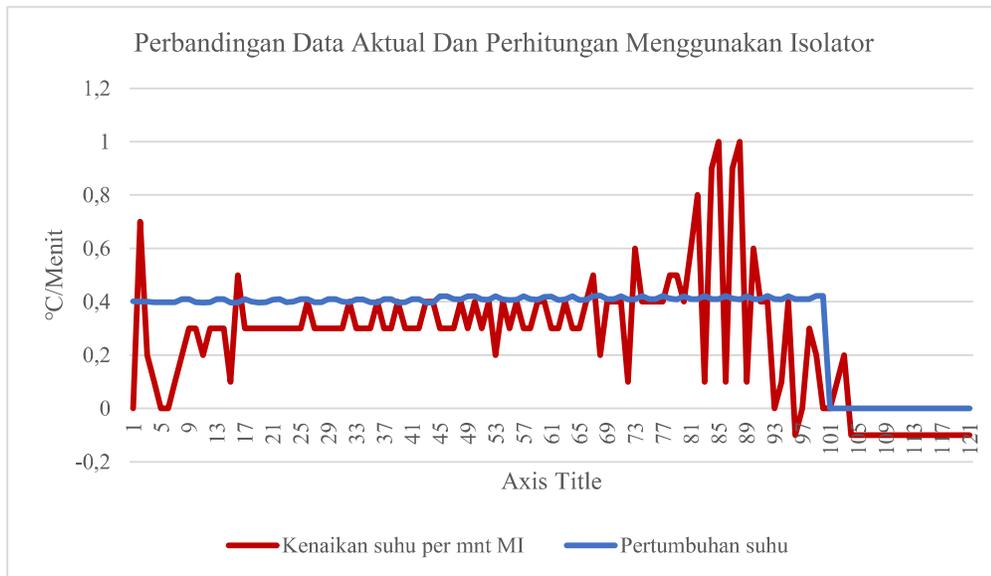


Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Perhitungan Dan Aktual TI

Dari Grafik diatas menunjukan 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 $0,33^{\circ}\text{C}$ per menit, meskipun secara perhitungan idealnya kenaikan suhu tersebut seharusnya mencapai $0,4^{\circ}\text{C}$ 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.