PENGARUH SISTEM KONTROL TEKANAN TERHADAP KINERJA POMPA PADA *VACUUM EVAPORATOR* PRODUKSI GULA AREN CAIR

Skripsi

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

Disusun Oleh:

Muhammad Rafi Atthaya Subhan
3331210037

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON-BANTEN
2025

PENGARUH SISTEM KONTROL TEKANAN TERHADAP KINERJA POMPA PADA *VACUUM EVAPORATOR* PRODUKSI GULA AREN CAIR

Skripsi

Disusun Oleh:

Muhammad Rafi Atthaya Subhan

3331210037

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

CILEGON-BANTEN

2025

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Muhammad Rafi Atthaya Subhan

NPM : 3331210037

Judul : *Pengaruh Sistem Kontrol Tekanan Terhadap Kinerja Pompa pada Vacuum Evaporator Produksi Gula Aren*

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

MENYATAKAN

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

Cilegon, 9 Juli 2025

Muhar Subhan

NPM. 3331210037

No : 035/UN.43.3.1/PK.03.09/2025

TUGAS AKHIR

PENGARUH SISTEM KONTROL TEKANAN TERHADAP KINERJA POMPA PADA VACUUM EVAPORATOR PRODUKSI GULA AREN

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

Muhammad Rafi Atthaya Subhan

3331210037

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

pada tanggal, 17 Juni 2025

Pembimbing Utama

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

Anggota Dewan Penguji

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

Haryadi, S.T., M.T
NIP. 198112042008121004

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

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

Tanggal, 03 Juli 2025
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

Ir. Dhimas Satria, ST., M.Eng
NIP. 198305102012121006

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT berkat rahmat dan hidayah-nya, penulis dapat menyelesaikan proposal Tugas Akhir dengan judul " Pengaruh Sistem Kontrol Tekanan terhadap Kinerja Pompa pada *Vacuum Evaporator* Produksi Gula Aren Cair". Adapun disusunnya laporan ini ditujukan untuk memenuhi syarat untuk menyelesaikan Strata-1 (S1) jurusan teknik mesin FT. UNTIRTA. Semoga laporan ini dapat memberikan informasi kepada pembaca dan penulis menyadari bahwa pada laporan ini masih banyak kekurangan oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran demi memperbaiki penulisan laporan ini dimasa yang akan datang. Dengan kerendahan hati penulis mengucapkan banyak terimakasih atas bantuan dan bimbingan kepada:

1. Bapak Ir. Dhimas Satria, ST., M.Eng, Selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,
2. Bapak Prof. Dr.Eng Ir. A. Ali Alhamidi, S.T., M.T Selaku Dosen Pembimbing Akademik,
3. Bapak Dr. Erwin, S.T., MT.,selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir,
4. Bapak Yusvardi Yusuf S.T., M.T selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,
5. Seluruh staff dan jajaran dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,
6. Kedua Orang Tua yang selalu memberikan dukungan dan motivasi,
7. Teman-teman jurusan Teknik Mesin angkatan 2021 yang telah membantu dalam masa perkuliahan ini,
8. Keluarga *Renewable Energy and Design Laboratory* yang telah menerima penulis ke dalam keluarga RED Lab. Terimakasih bantuan berupa tenaga, waktu, dan pengalaman yang membantu penulis dalam melakukan pengujian.

Akhir Kata, Penulis berharap kepada Allah SWT untuk membalas dan juga memberikan keringanan dalam kegiatan apapun kepada pihak yang telah membantu.

Cilegon, 20 Mei 2025

Muhammad Rafi Atthaya Subhan

3331210037

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja pompa pada sistem *vacuum evaporator* dengan sistem kontrol tekanan dan tanpa kontrol tekanan. Pada sistem dengan *pressure controller*, tekanan diatur dalam rentang -0,68 bar hingga -0,72 bar, dengan siklus *on/off* pompa otomatis untuk menghemat konsumsi listrik dan mencegah *overheating* pada pompa. Sedangkan pada sistem tanpa *pressure controller*, pompa beroperasi secara berkelanjutan tanpa kontrol otomatis pada tekanan. Penelitian ini mengukur konsumsi energi listrik, performa pemanasan, serta stabilitas tekanan selama percobaan yang berlangsung selama 120 menit. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan *pressure controller* berhasil menghemat konsumsi energi listrik pompa sebesar 46,15%, dibandingkan dengan sistem tanpa kontrol tekanan. Selain itu, sistem dengan *pressure controller* menunjukkan kenaikan suhu yang lebih cepat dan stabil. Namun, pada sistem tanpa *pressure controller*, terjadi lonjakan suhu pada menit ke-94 yang membuat kedua sistem mencapai suhu 65°C pada waktu yang sama, yaitu pada menit ke-108. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *pressure controller* memberikan keuntungan dalam hal efisiensi energi listrik yang signifikan dan tidak ada peforma yang dikorbankan. Hal ini sangat penting dalam produksi gula aren yang efisien dan berkualitas.

Kata Kunci: *Vacuum evaporator*, *Pressure controller*, Efisiensi energi, Performa evaporasi.

ABSTRACT

This study aims to analyze the performance of the pump in a vacuum evaporator system with and without pressure control in the production of palm sugar. In the system with a pressure controller, the pressure is regulated within a range of -0.68 bar to -0.72 bar, with an automatic on-off pump cycle to save electricity and prevent pump overheating. On the other hand, in the system without a pressure controller, the pump operates continuously without automatic pressure regulation. This study measures energy consumption, evaporation performance, and pressure stability during the 120-minute experiment. The results show that the use of the pressure controller successfully saved 46.15% of the pump's electricity consumption compared to the system without pressure control. Additionally, the system with the pressure controller showed a faster and more stable temperature rise. However, in the system without the pressure controller, a temperature spike occurred at minute 94, causing both systems to reach a temperature of 65°C at the same time, at minute 108. Overall, the study demonstrates that the use of the pressure controller offers significant energy efficiency benefits without compromising performance. This is crucial for the efficient and high-quality production of palm sugar

.

Keywords: Vacuum evaporator, Pressure controller, Energy efficiency, Evaporation performance.

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR iii
HALAMAN PENGESAHAN iv
KATA PENGANTAR v
ABSTRAK vii
ABSTRACT viii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xii
BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Batasan Masalah 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 *State of Art* 3
2.2 *Vacuum Evaporator* 6
2.3 Evaporasi 8
2.4 Prinsip *Bernoulli* 10
2.5 Efek Venturi 11
2.6 Pengaruh Tekanan Terhadap Proses Produksi Gula Aren 12
2.7 Pompa 13
2.8 Alat Kontrol Proses 15
BAB III METODE PENELITIAN
3.1 Diagram Alir Penelitian 17
3.2 Prosedur Penelitian 18
3.3 Alat yang Digunakan 19

3.4 *Setup Experiment* 26
3.5 Perencanaan Data Penelitian 28
BAB IV DATA & ANALISA
4.1 *Vacuum Evaporator* dengan Tekanan Kontrol dan Tanpa Kontrol 29
4.1.1 Pengujian Menggunakan Kontrol Tekanan 31
4.1.2 Pengujian Tanpa Kontrol Tekanan 31
4.2 Hasil Pengujian Peforma *Vacuum Evaporator* dengan Kontrol Tekanan dan Tanpa Kontrol 31
4.2.1 Perbandingan Suhu dan Proses Evaporasi 32
4.2.2 Perbandingan Konsumsi Energi Listrik Pompa dan Heater 34
4.2.3 Perbandingan Stabilitas Tekanan Antara Kedua Sistem 36
4.3 Hasil dan Pembahasan *Vacuum Evaporator* dengan Pompa menggunakan *Pressure Controller* dan Tanpa *Pressure Controller* 38
BAB V KESIMPULAN
5.1 Kesimpulan 42
5.2 Saran 43
DAFTAR PUSTAKA 42
LAMPIRAN 42

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 *Vacuum Evaporator* 6
Gambar 2.2 Proses Evaporasi 8
Gambar 2.3 Pompa *Booster* 13
Gambar 2.4 Alat Kontrol Proses 15
Gambar 3.1 Diagram Alir 18
Gambar 3.2 *Internal Heater* 20
Gambar 3.3 Panci Vakum 20
Gambar 3.4 Waterplus BR-371CPA 21
Gambar 3.5 *Superlon* 21
Gambar 3.6 Termostat 22
Gambar 3.7 *Wisner CH-102* 23
Gambar 3.8 *Wisner Pressure Transmitter* 24
Gambar 3.9 Wattmeter 24
Gambar 3.10 Pressure Gauge 25
Gambar 3.11 *Thermometer* 25
Gambar 3.12 Venturi 26
Gambar 3.13 *Relay* 26
Gambar 3.14 *Setup Experiment Vacuum Evaporator* 27
Gambar 3.15 *Setup Experiment* Alat Ukur dan Alat Kontrol 27
Gambar 4.1 *Vacuum Evaporator* dengan *Pressure Controller* 29
Gambar 4.2 Variabel yang Dihasilkan saat Pengujian 32
Gambar 4.3 Perbandingan Suhu Antara Kedua Sistem 33
Gambar 4.4 Perbandingan kWh Pompa Antara Kedua Sistem 34
Gambar 4.5 Perbandingan kWh *Heater* Antara Kedua Sistem 35
Gambar 4.6 Perbandingan Tekanan Antara Kedua Sistem 37
Gambar 4.7 Korelasi Antara Watt Pompa & Watt *Heater* (Kontrol) 39
Gambar 4.8 Korelasi Watt Pompa & Watt *Heater* (Tanpa Kontrol) 40

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 3.1 Spesifikasi Pompa *booster Waterplus BR-371CPA* 20
Tabel 3.2 Spesifikasi *Thermostat STC-1000* 22
Tabel 3.3 Spesifikasi *Wisner CH-102 -F102-MV-AN*..... 23
Tabel 3.4 Spesifikasi *Wisner WPT-83G* 23
Tabel 3.5 Range Ukur *Wattmeter*..... 24
Tabel 3.6 Perencanaan Data Penelitian Menggunaan *Pressure Control* 28
Tabel 3.7 Perencanaan Data Penelitian Tanpa *Pressure Control*..... 28
Tabel 4.1 Perbandingan Suhu Antara Kedua Sistem 33
Tabel 4.2 Perbandingan Konsumsi Listrik Pompa Antara Kedua Sistem 35
Tabel 4.3 Perbandingan Konsumsi Listrik Heater Antara Kedua Sistem..... 36
Tabel 4.4 Perbandingan Konsumsi Listrik Antara Kedua Sistem 38

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Vacuum Evaporator adalah alat yang digunakan untuk mempercepat proses penguapan dengan cara menurunkan tekanan, sehingga cairan dapat mendidih pada suhu yang lebih rendah. Efektivitas sistem ini sangat dipengaruhi oleh kinerja pompa vakum dan sistem pemanas yang digunakan. Penggunaan *vacuum evaporator* di industri makanan, seperti pada proses pengentalan susu, memanfaatkan sistem pemanas *double jacket* dan menciptakan kondisi vakum menggunakan teknologi *water jet* dalam alat vacuum evaporator. Sistem ini memungkinkan pemanasan yang lebih merata dan efisien tanpa merusak kualitas susu (Huda, 2008). Selain itu, *vacuum evaporator* juga digunakan dalam pemekatan sirup glukosa, yang bertujuan untuk meningkatkan kadar padatan dalam larutan sebelum dikristalkan menjadi dekstrosa monohidrat. (Aulia Rahman et al., 2021).

Pada penelitian skripsi sebelumnya yang dilakukan oleh Bimo Saputro Angkatan Teknik Mesin 2020 dengan judul Eksperimen Alat Kontrol Berbasis ESP32 Pada *Vacuum Evaporator* Untuk Pengolahan Gula Aren Cair. Pada penelitian tersebut *vacuum evaporator* menggunakan sistem *external heater* dengan kompor sebagai pemanas, yang memerlukan waktu selama 17 jam untuk menurunkan kadar air hingga 77%. Proses tersebut menggunakan air nira seberat 21,4 kg, dengan menggunakan tekanan sebesar -0,75 bar dan menjaga temperatur tidak lebih dari 62-66°C. Dengan pengujian tersebut, gula aren yang dihasilkan memiliki indeks kemanisan sebesar 65 Brix. Pada pengujian ini, dilakukan inovasi dari pengujian sebelumnya yang dapat meningkatkan efisiensi energi dan efisiensi sistem proses evaporasi antara lain mengganti sistem pemanas dengan menggunakan *internal heater*, menambahkan isolator di semua permukaan panci untuk mengurangi kehilangan panas dan meningkatkan performa. Serta, *pressure controller* dipasang untuk mengontrol tekanan di dalam panci vakum, yang berfungsi untuk menghemat energi listrik,

serta menjaga kestabilan tekanan dan dapat mencegah kerusakan pada peralatan.

Sistem pengoperasian pompa dan *heater* menjadi faktor utama yang mempengaruhi performa dan konsumsi listrik pada *vacuum evaporator*. Pada umumnya sistem kerja pompa pada *vacuum evaporator* menyala hingga produk tersebut jadi, namun pada penelitian ini digunakan *pressure controller* untuk mengontrol pompa dengan cara menyala matikan pompa sesuai pada parameter tekanan yang diinginkan, Mematikan pompa dengan jeda waktu beberapa menit berdasarkan tekanan, diharapkan dapat menghemat konsumsi energi listrik mengingat karena alat *vacum evaporator* ini menggunakan sumber listrik dari *heater* dan pompa yang terbilang besar. Sebaliknya, pada sistem tanpa kontrol tekanan, pompa bekerja terus-menerus tanpa pengaturan otomatis, yang berpotensi menyebabkan konsumsi energi listrik lebih tinggi, ketidakstabilan pada tekanan dan menyebabkan *overheat* pada pompa seiring pemakaian jangka panjang yang dapat menyebabkan penurunan peforma.

Hal ini menjadi semakin krusial mengingat alat ini ditujukan untuk produsen gula aren, yang perlu mempertimbangkan efisiensi energi, kinerja optimal, dan keberlanjutan operasional. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan konsumsi energi listrik antara kedua sistem tersebut dan menganalisis kinerja antara kedua sistem. Dengan penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan solusi yang lebih hemat energi dan efisien untuk meningkatkan efektivitas sistem vakum evaporasi. Dengan ini, penelitian bertujuan untuk memberikan rekomendasi sistem pengoperasian pompa yang lebih efisien, dan dapat diandalkan untuk berbagai aplikasi industri yang membutuhkan *vacuum evaporator.*

1.2 Rumusan Masalah

Untuk memberikan fokus yang lebih spesifik dan terarah dalam penelitian ini, beberapa pertanyaan permasalahan utama telah dirumuskan sebagai acuan penelitian. Beberapa pertanyaan tersebut sebagai berikut:

1. Bagaimana konsumsi energi listrik dan kinerja pada pompa dengan *pressure controller* dan tanpa *pressure controller* saat proses vakum evaporasi?
2. Bagaimana efisiensi listrik dan kinerja dari kedua sistem saat proses vakum evaporasi?
3. Sistem pompa manakah yang terbaik berdasarkan efisiensi energi?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan sebagai upaya pengembangan *vacuum evaporator* dengan dengan tujuan-tujuan berikut sebagai dasar penelitian:

1. Mengukur konsumsi energi listrik dan kinerja pada pompa dengan *pressure controller* dan tanpa *pressure controller* saat proses vakum evaporasi.
2. Menganalisis efisiensi listrik dan kinerja dari kedua sistem saat proses vakum evaporasi.
3. Memberikan rekomendasi sistem pompa terbaik berdasarkan efisiensi energi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah Penelitian ini bermanfaat dalam meningkatkan efisiensi konsumsi listrik pada proses vakum evaporasi produksi gula aren cair. Secara teoritis, hasil penelitian dapat menjadi referensi mengenai pengaruh kontrol tekanan terhadap konsumsi energi dan kinerja pompa, serta mendukung pengembangan teknologi produksi yang lebih hemat energi.

Penelitian ini bertujuan membantu produsen gula aren cair yang menggunakan *vacuum evaporator* dalam memilih sistem kerja pompa yang lebih efisien atau hemat energi listrik. Perbandingan antara penggunaan *pressure controller* dan tanpa menggunakannya akan memberikan panduan dalam pengelolaan energi listrik serta menjadi acuan bagi pengembang alat *vacuum evaporator* dalam meningkatkan efisiensi daya

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang terdapat pada penelitian ini berfokus agar penelitian ini tidak menyebar dari variabel yang ingin dicari. Adapun batasan masalah yang ada pada penelitian ini sebagai berikut:

1. *Pressure controller* dan *thermostat* adalah alat kontrol yang digunakan untuk mengontrol tekanan dan suhu, output bisa dilihat pada layar LCD alat tersebut.
2. Output pemantauan berupa nilai suhu air (°C), nilai tekanan dalam panci (bar) dan konsumsi energi listrik (kWh)
3. Penelitian fokus pada upaya penghematan listrik pada pompa
4. Jenis cairan uji yang digunakan adalah air.
5. *Pressure controller* terhubung dengan *relay*, jika ketika tekanan menyentuh -0,72 bar , *relay* akan mematikan pompa dan menyalakan pompa ketika tekanan -0,68 bar
6. Pemanasan air dibatasi oleh termostat.sampai suhu mencapai 65°C dan akan dinyalakan kembali pada suhu 62 °C
7. Jenis *heater* yang digunakan adalah *internal heater* berbentuk huruf u dan permukaannya bersirip (*fin*).
8. Menggunakan isolator pada panci guna meningkatkan peforma pemanasan

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of Art*

Penelitian ini menggunakan referensi dari beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan pembahasan dan dapat dijadikan referensi dan acuan dalam upaya penghematan energi listrik menggunakan alat kontrol. Adapun tabel *state of art* dibuat sebagai berikut.

Tabel 2.1 *State of Art*

No	Judul & Peneliti	Objek Penelitian	Hasil
1	Implementasi Sistem Kontrol *On/Off* Pompa Air Sistem Tadon Berbasis Arduino untuk Penghematan Konsumsi Listrik Pompa Hutajulu, O. Y., Suryanto, E. D., & Sinaga, D. H. (2019)	Penelitian sistem kontrol *on/off* pompa air yang digunakan pada tadon. Sistem ini berbasis Arduino dan menggunakan sensor ultrasonik untuk memantau level air dalam penyimpanan	Sistem pengontrolan *on/off* yang diusulkan mengurangi konsumsi energi listrik hingga 69,97% dibandingkan dengan sistem pengontrolan sebelumnya, dan lebih efisien daripada penggunaan PLC.
2	Perbandingan Energi Listrik Antara Mesin Pompa Air Berbasis Timer dan Sensor Kelembapan Tanah Birri, A. (2023)	Penelitian membandingkan konsumsi energi listrik pompa air yang dikendalikan oleh timer dan sensor kelembaban tanah. Penggunaan sensor kelembaban	Penelitian ini membandingkan energi listrik yang digunakan oleh mesin pompa air otomatis berbasis timer dan sensor kelembaban tanah. Hasil menunjukkan bahwa

		tanah bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan air dengan mengaktifkan pompa hanya saat dibutuhkan berdasarkan kelembaban tanah.	pompa berbasis sensor kelembaban tanah lebih efisien dalam penggunaan energi, dengan penghematan energi sebesar 0,738 kWh dibandingkan dengan sistem *timer*
3	Analisis Penghematan Energi Listrik Pada Sistem Pompa Air Menggunakan *Altivar-312* Primanto, I. A. (2015)	Penelitian menganalisis penghematan energi pada sistem pompa air menggunakan *Variable Speed Drive* (VSD) *Altivar-312*. Penelitian ini membandingkan konsumsi energi antara sistem kontrol berbasis katup tradisional dan sistem VSD	Menguji penggunaan *Variable Speed Drive* (VSD) *Altivar-312* untuk mengatur kecepatan motor pompa air. Hasilnya menunjukkan sistem ini menghasilkan penghematan energi sebesar 43% dibandingkan dengan sistem yang menggunakan katup manual.
4	Rancang Bangun Sistem Kendali Pompa Otomatis Kapal Nelayan Menggunakan Panel Surya Berbasis *Arduino*	Penelitian menggunakan alat kontrol arduino dan sensor ultrasonik untuk memantau level air di kapal dan secara otomatis mengaktifkan pompa	Sistem kontrol pompa otomatis untuk kapal nelayan berbasis Arduino berhasil mengaktifkan pompa secara otomatis saat ketinggian air mencapai 25 cm dan

	Dandy, M., Muchtar, M., & Muchtar, T. (2022)	saat level air mencapai tinggi tertentu. Sistem ini menggunakan panel surya untuk memberi daya.	mematikannya saat mencapai 32 cm. Sistem ini menggunakan sensor ultrasonik dan panel surya untuk meningkatkan efisiensi pengeluaran air di kapal
5	Prototype Kontrol Tekanan Air Menggunakan Sensor Pressure Transduser Untuk Kerja Pompa Air Berbasis Arduino Ridowi, A. A., Rizal, R. F., & Yumono, F. (2023)	Penelitian berfokus pada desain sistem kontrol pompa air otomatis menggunakan sensor tekanan berbasis Arduino. Sistem ini memantau tekanan air di gedung bertingkat untuk memastikan pasokan air yang optimal ke berbagai lantai.	Mengembangkan sistem pompa air otomatis yang menggunakan sensor tekanan untuk mengatur nyala-mati pompa. Dengan memanfaatkan pembacaan sensor tekanan, sistem dapat mengontrol dua pompa yang beroperasi sesuai dengan kondisi tekanan air dalam sistem.

Berdasarkan tabel *state of the art* di atas, terdapat berbagai metode penghematan energi pada sistem pompa yang disesuaikan dengan fungsinya. Sebagian besar penelitian memanfaatkan sistem kontrol berbasis *Arduino* untuk mengatur variabel seperti kelembapan tanah atau level air. Namun, belum banyak yang membahas secara spesifik penerapan *pressure controller* pada *vacuum evaporator*, khususnya untuk produksi gula aren cair.

Dalam penelitian ini, sistem kontrol tekanan menggunakan *pressure* sensor dipilih agar pompa dapat berhenti sementara saat tekanan mencapai batas tertentu. Hal ini bertujuan untuk menghemat energi listrik dan mencegah *overheat* akibat pompa menyala terus-menerus. Penelitian ini memberikan kontribusi baru dengan membandingkan kinerja pompa dan proses evaporasi menggunakan dan tanpa *pressure controller* pada tekanan kerja -0.68 hingga -0.72 bar.

2.2 *Vacuum Evaporator*

Evaporator merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah sebagian atau seluruh pelarut dalam suatu larutan cair menjadi uap, sehingga yang tersisa adalah larutan yang lebih padat atau kental. Proses yang terjadi di dalam *evaporator* ini disebut sebagai evaporasi. Dalam dunia industri, *evaporator* digunakan untuk berbagai tujuan, antara lain untuk pengentalan cairan sebelum diproses lebih lanjut, mengurangi volume cairan, serta menurunkan aktivitas air dalam produk. Secara umum, *evaporator* memiliki dua prinsip dasar, yaitu untuk menukar panas dan untuk memisahkan uap air yang terlarut dalam cairan (Nuradi & Hadimanto, 2019)

Gambar 2.1 *Vacuum Evaporator*

Tekanan vakum adalah kondisi di mana tekanan udara dalam suatu ruangan lebih rendah dibandingkan dengan tekanan udara normal di sekitarnya. Pada kondisi ini, udara dalam ruangan telah dikurangi atau bahkan dihilangkan, sehingga tercipta tekanan udara yang lebih rendah. Pada proses evaporasi, semakin tinggi suhu dan semakin rendah tekanan vakum, maka laju evaporasi cairan akan semakin cepat (Huda, 2008). Hal ini disebabkan oleh penurunan

titik didih larutan yang terjadi akibat rendahnya tekanan. Penggunaan tekanan vakum dalam proses evaporasi menyebabkan tekanan dalam ruang vakum menjadi lebih rendah (di bawah 1 atm), yang bertujuan untuk mengurangi kadar air dalam bahan dan meminimalkan kerusakan kualitas produk (Syakdani et al., 2014).

Vacuum evaporator adalah alat yang digunakan untuk menguapkan cairan atau pelarut dengan menurunkan tekanan dalam sistem, sehingga titik didih cairan menjadi lebih rendah. Dengan cara ini, penguapan dapat terjadi pada suhu yang lebih rendah daripada jika dilakukan di bawah tekanan atmosfer (Siswanto & Widji, 2017). Dalam industri, baik skala besar maupun kecil, penggunaan *vacuum evaporator* sangat penting agar dapat menghasilkan produk sesuai dengan standar yang diinginkan, salah satunya pada industri makanan, dan banyak digunakan dalam pengolahan cairan yang mengandung zat-zat yang mudah terdegradasi pada suhu tinggi seperti pengolahan makanan, kimia, dan farmasi, karena dapat menjaga kualitas produk akhir yang rentan rusak akibat suhu tinggi, seperti contohnya *vacuum evaporator* mempunyai peran dalam proses produksi filtrat dari buah nanas, yang memungkinkan penguapan tanpa merusak vitamin C yang sensitif terhadap suhu tinggi, dengan pemanasan pada suhu rendah sekitar 40–60°C (Khoirun, 2018).

Vacuum evaporator memiliki berbagai tipe atau macam, tergantung pada variasi sistem ruang evaporasi yang digunakan. Salah satu contohnya adalah *rotary evaporator vacuum*, yang memiliki karakteristik ruang evaporasi yang berputar untuk membantu mempercepat proses penguapan dan menciptakan tekanan vakum menggunakan pompa vakum (Soeswanto et al., 2023). Selain itu, ada juga *Agitated Thin Film Evaporator* (ATFE), yang bekerja dengan cara mengaduk cairan agar menyebar ke permukaan tipis yang dipanaskan, sehingga transfer panasnya menjadi lebih cepat. Metode ini membantu meminimalkan paparan cairan pada suhu tinggi untuk menghindari kerusakan produk (Khoirun, 2018)

Jenis atau cara kerja pemanas pada *vacuum evaporator* juga bervariasi. Salah satu yang paling umum digunakan adalah pemanasan luar dengan sumber gas LPG, yang dapat dilakukan menggunakan kompor (Siswanto &

Widji, 2017). Selain itu, pemanasan juga dapat dilakukan menggunakan *water jacket*, di mana lapisan luar dialiri fluida panas, sementara lapisan dalamnya menyentuh bahan yang akan dipanaskan (Darmawan & Nazaruddin, 2015). Opsi lainnya adalah pemanas berbasis listrik, yang bisa berupa *heater* yang ditempatkan di dalam ruang evaporasi untuk efisiensi yang lebih tinggi, atau menggunakan *band heater*, yaitu pemanas yang dipasang di luar tabung secara melingkar untuk memanaskan dinding tabung secara langsung (Khoirun, 2018).

Untuk menciptakan tekanan vakum pada ruang evaporator, terdapat beberapa metode. Salah satunya adalah dengan menggunakan metode *water jet pump*, yang mengandalkan *head* pompa yang tinggi untuk mensirkulasikan air berkecepatan tinggi melalui *venturi injector*. Pada venturi, kondisi tekanan sangat rendah tercipta, yang menghasilkan daya hisap pada ruang evaporasi (Widiastuti et al., 2023). Opsi lainnya adalah menggunakan pompa vakum, seperti model *liquid ring vacuum pump* (LRVP), yang bekerja dengan cara memutar impeler di dalam pompa. Cairan (biasanya air) mengalir di sekitar impeler untuk membentuk cincin cair, yang menciptakan vakum dengan menarik uap atau gas ke dalam pompa. Gas tersebut kemudian dibuang melalui saluran pembuangan, sementara cairan disirkulasikan kembali untuk mempertahankan kondisi vakum. Proses ini digunakan untuk menurunkan titik didih cairan dalam sistem evaporasi (Siswanto & Widji, 2017).

2.3 Evaporasi

Evaporasi atau penguapan adalah proses di mana suatu fluida berubah dari keadaan cair menjadi uap. Penguapan digunakan untuk memisahkan pelarut dari larutan yang lebih pekat, yang kemudian biasanya diproses lebih lanjut untuk kristalisasi. Dalam proses ini, terjadi perpindahan panas dan perpindahan massa sebagai dua mekanisme utama. Panas harus diberikan untuk menyediakan energi yang diperlukan agar cairan volatil dapat berubah menjadi uap, sementara uap yang terbentuk harus dipisahkan dari larutan (Ismiyati & Sari, 2020). Evaporasi terjadi karena adanya pemanasan dari sumber panas seperti sinar matahari maupun pemanas jenis lain yang

menghasilkan energi yang diperlukan untuk mengubah wujud air dari cair menjadi gas. Laju evaporasi adalah kuantitas air yang berhasil dievaporasi (diuapkan) menjadi uap persatuan waktu tertentu dan dinyatakan dengan volume air yang hilang oleh proses tersebut tiap satuan luas atau volume dalam satu satuan waktu. Besarnya laju evaporasi dipengaruhi oleh temperatur larutan dan banyaknya larutan (Bunganaen, 2015).

Gambar 2.2 Proses Evaporasi

Proses evaporasi dimulai ketika cairan dipanaskan menggunakan pemanas, yang menyebabkan molekul-molekul di permukaan cairan memperoleh energi kinetik lebih tinggi. Molekul-molekul yang memiliki cukup energi akan mengatasi gaya tarik antar molekul (gaya kohesi) dan terlepas menjadi uap. Proses evaporasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti temperatur, luas permukaan cairan, kecepatan aliran udara, dan tekanan. Semakin tinggi suhu cairan, semakin cepat proses evaporasi, karena molekul cairan mendapatkan lebih banyak energi untuk berubah menjadi uap. Selain itu, semakin besar luas permukaan cairan yang terpapar udara, semakin cepat pula evaporasi terjadi (Incropera & DeWitt, 2007). Proses evaporasi lebih cepat jika aliran udara di sekitar cairan lebih cepat, karena udara yang bergerak dapat membawa molekul uap jauh dari permukaan cairan (Wiyono et al., 2023).

Semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk proses evaporasi, maka kadar air yang terkandung dalam bahan makanan atau cairan akan semakin rendah. Kandungan air ini berpengaruh pada kesegaran dan daya tahan produk. Air memiliki peran penting dalam makanan atau cairan, karena dapat memengaruhi bentuk fisik, tekstur, dan rasa. Setiap

jenis makanan atau cairan memiliki kadar air yang berbeda-beda (Assah & Indrianty, 2018).

2.4 Prinsip Bernoulli

Prinsip Bernoulli merupakan hukum dasar dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa suatu aliran fluida ideal, jumlah total energi di sepanjang garis aliran akan tetap konstan. Energi total terdiri dari tiga komponen utama, yakni energi tekanan, energi kinetik, dan energi potensial. Hukum ini ditemukan oleh Daniel Bernoulli pada abad ke-18 dan hingga sekarang tetap menjadi dasar dalam banyak pengaplikasian di dunia teknik, fisika, dan penerbangan (Munson et al. 2013). Dalam matematis, prinsip Bernoulli dinyatakan dengan rumus

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = \text{konstan} \quad \text{.....(2.1)}$$

P = Tekanan fluida (Pascal atau N/m²)

ρ = Kepadatan fluida atau massa jenis fluida (kg/m^3)

v = Kecepatan aliran fluida (m/s)

g = Percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s^2)

h = Ketinggian (m)

Persamaan ini menjelaskan jika kecepatan fluida meningkat pada suatu titik, maka tekanannya akan menurun, dan sebaliknya. Fenomena ini terjadi karena energi total fluida tetap konstan, dan ketika satu jenis energi (seperti energi kinetik) bertambah, energi lain (seperti energi potensial atau tekanan) harus berkurang (Fitriyah et al., 2020). Prinsip Bernoulli bermanfaat untuk memahami bagaimana fluida bergerak dalam berbagai situasi. Seperti contoh, pada sayap pesawat, udara mengalir lebih cepat di atas sayap dibandingkan dengan bagian bawahnya. Dikarenakan kecepatan lebih tinggi di atas sayap, maka tekanannya menjadi lebih rendah dibandingkan tekanan di bawah sayap, dan selisih tekanan inilah yang menghasilkan gaya angkat yang membuat pesawat terbang.

2.5 Efek Venturi

Efek Venturi adalah fenomena dalam mekanika fluida di mana fluida yang mengalir melalui pipa yang menyempit akan mengalami peningkatan kecepatan dan penurunan tekanan statis pada bagian sempit tersebut. fenomena ini berdasarkan prinsip Bernoulli dan hukum konservasi energi. Efek ini pertama kali diamati oleh Giovanni Battista Venturi (1746–1822), yang menemukan bahwa ketika fluida melewati tabung dengan bagian yang menyempit, kecepatan fluida meningkat dan tekanan statis menurun (Șcheaua, 2016). Efek venturi ini adalah penerapan langsung dari hukum Bernoulli, yang menyatakan bahwa dalam aliran fluida ideal yang kontinu, peningkatan kecepatan aliran akan disertai dengan penurunan tekanan (Munson et al. 2013).

Dalam saluran yang memiliki diameter menyempit, volume fluida yang mengalir per satuan waktu harus tetap sama sesuai dengan hukum kontinuitas, sehingga fluida harus mempercepat saat memasuki bagian sempit. Karena kecepatan meningkat, maka tekanan dinamisnya meningkat, dan sebagai kompensasi, tekanan statis fluida di titik tersebut akan menurun. Fenomena ini dapat diamati misalnya dalam tabung Venturi, yaitu alat berbentuk tabung dengan bagian tengah yang menyempit. Ketika fluida seperti udara atau air mengalir melalui tabung ini, tekanan di bagian sempit menjadi lebih rendah dibandingkan dengan bagian yang lebih lebar (Fitriyah et al, 2020).

$$\mathrm{P1} + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = \mathrm{P2} + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \quad \text{.....(2.2)}$$

P1 & P2 = Tekanan pada dua titik berbeda (bagian lebar dan sempit pipa)

ρ = Kepadatan fluida

v_1 & v_1 = Kecepatan fluida pada titik pertama dan titik kedua (bagian lebar dan sempit pipa).

Efek venturi sangat berguna dan diaplikasikan dalam berbagai teknologi. Dalam sistem penyemprot atau karburator, udara mengalir melalui saluran sempit yang menciptakan zona bertekanan rendah, dan tekanan rendah ini mampu menyedot bahan bakar atau cairan dari tangki untuk kemudian bercampur dengan udara. Sama halnya pada alat *vacuum evaporator*, Efek venturi digunakan untuk mempercepat menciptakan tekanan rendah (*vacuum*) di dalam panci evaporator. Tekanan rendah yang evaporator terhisap karena

adanya perbedaan tekanan. Penurunan tekanan ini menyebabkan titik didih cairan menjadi lebih rendah, yang memungkinkan evaporasi terjadi pada suhu yang lebih rendah tanpa merusak produk (Fitriyah et al, 2020).terdapat pada venturi injector membuat udara didalam panci

2.6 Pengaruh Tekanan Terhadap Proses Produksi Gula Aren

Proses produksi gula aren cair sangat dipengaruhi oleh faktor tekanan yang diterapkan selama proses evaporasi. Pada tekanan atmosfer standar (sekitar 1 atm), titik didih air berada pada suhu 100°C. Namun, dengan penggunaan *vacuum evaporator*, tekanan di dalam sistem dapat diturunkan, yang menyebabkan titik didih cairan menjadi lebih rendah, yaitu sekitar 65°C, tergantung pada tekanan vakum dan karakteristik cairan. Penurunan titik didih ini memungkinkan proses penguapan berjalan lebih cepat, karena air dalam nira dapat menguap pada suhu yang lebih rendah. Hal ini sangat menguntungkan dalam hal efisiensi energi, karena mengurangi kebutuhan akan suhu tinggi dan mempercepat proses produksi (Saputro, 2024).

Titik didih suatu cairan terjadi ketika tekanan uap jenuh dari cairan tersebut sama dengan tekanan eksternal di sekitarnya. Saat tekanan eksternal diturunkan, seperti dalam kondisi vakum, titik didih cairan juga akan menurun. Hal ini disebabkan karena molekul cairan memerlukan energi yang lebih rendah untuk mengatasi tekanan lingkungan dan berubah menjadi uap. Oleh karena itu, pada tekanan rendah, cairan dapat mendidih pada suhu yang lebih rendah dibandingkan kondisi tekanan normal (Khoirun, 2018).

Pada tekanan atmosfer normal, molekul-molekul cairan di permukaan harus memiliki energi yang cukup untuk mengatasi tekanan udara di sekitarnya agar bisa terlepas ke udara. Namun, ketika tekanan dikurangi, molekul-molekul cairan memerlukan lebih sedikit energi untuk mengatasi gaya tarik antar molekul karena tekanan eksternal yang menahan molekul cairan berkurang (Aulia Rahman et al., 2021). Selain itu, penguapan dengan suhu yang lebih rendah juga memiliki manfaat lain, yaitu mencegah terjadinya kerusakan atau karamelisasi pada gula aren. Pada suhu tinggi, gula dapat mengalami proses karamelisasi yang akan merusak rasa dan kualitas produk. Dengan

menggunakan tekanan vakum, suhu yang lebih rendah dapat dipertahankan selama proses penguapan, sehingga gula aren tetap mempertahankan rasa dan kualitasnya. Selain itu, penguapan pada suhu rendah juga membantu menjaga kandungan gizi dalam nira, karena suhu tinggi dapat merusak beberapa zat gizi penting dalam nira, seperti vitamin dan mineral. Dengan demikian, proses evaporasi dengan tekanan vakum tidak hanya menghemat energi, tetapi juga mempertahankan kualitas dan kandungan gizi dari gula aren (Khoirun, 2018).

2.7 Pompa

Pompa adalah alat yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan fluida dan memindahkannya dari satu tempat ke tempat lainnya melalui instalasi pipa yang ditandai terjadinya perubahan tekanan pada fluida yang berlangsung secara terus-menerus (*countinue*). Perubahan tekanan pompa terjadi antara pada jalur sisi isap (*suction side*) dan jalur sisi keluar (*discharge side*) (Puspawan & Leonanda, 2015). Pompa memiliki penggunaan yang sangat luas di hampir segala bidang, dengan jenis dan ukurannya yang beragam sesuai dengan kebutuhan. Prinsip kerja pompa adalah dengan menghisap fluida dan menambah tekanan pada fluida tersebut. Pompa menerima tenaga mekanis yang biasanya berupa putaran yang dihasilkan oleh motor penggerak, sehingga dapat memindahkan fluida cair dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi. Pompa bekerja dengan mengkonversikan energi mekanik menjadi energi kinetik, yang digunakan untuk meningkatkan kecepatan, tekanan, atau elevasi fluida. Pada umumnya, pompa digerakkan oleh motor, mesin, atau sumber tenaga sejenis lainnya (Helmizar et al., 2014)

Untuk pemilihan jenis pompa yang dipakai itu didasari dari nilai ekonomis dan jarak fluida yang akan dipindahkan, sehingga faktor utama yang dipertimbangkan adalah head dan flowrate dikarenakan kedua faktor ini saling berhubungan tetapi memiliki fokus yang berbeda (Putro & Widodo, 2013). *Head* pompa adalah energi per satuan berat yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah zat cair sesuai dengan kondisi instalasi pompa, yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang. Secara sederhana, *head* pompa dapat diartikan sebagai ketinggian maksimum atau jarak terjauh yang dapat

dicapai oleh aliran fluida akibat tekanan yang dihasilkan oleh pompa, biasanya dinyatakan dalam satuan meter. *Head* ini tidak tergantung dari berat jenis media, dengan kata lain sebuah pompa sentrifugal dapat menimbulkan *head* yang sama untuk jenis cairan. Tetapi berat jenis media akan menyebabkan tekanan pada pompa tersebut. Sedangkan debit aliran adalah jumlah fluida yang dapat dipindahkan oleh pompa dalam suatu periode waktu (Helmizar et al., 2014), atau jumlah aliran air perdetik. *Flowrate* didapat dari selisih debit air saat itu dengan debit air sebelumnya (Imansyah, 2022)

Pompa memiliki berbagai manfaat, salah satunya dalam produksi gula aren menggunakan *vacuum evaporator*. Peran utama pompa adalah mensirkulasikan air berkecepatan tinggi melalui venturi agar menciptakan tekanan rendah sehingga dapat memvakum tekanan pada ruang evaporator, (Widiastuti, 2023). Dalam proses *vacuum evaporasi* produksi gula aren pompa dengan *head* tinggi seperti pompa *booster* lebih diprioritaskan karena semakin besar *head* pompa, semakin besar tekanan vakum yang dihasilkan dalam ruang evaporasi. Hal ini mempercepat laju evaporasi, karena penurunan tekanan yang signifikan menyebabkan titik didih cairan turun, sehingga proses penguapan berlangsung lebih cepat dan efisien (Wiyono et al., 2023).

Gambar 2.3 Pompa *Booster*

Selain itu, penggunaan pompa yang mampu menurunkan titik didih juga berperan dalam menjaga kualitas produk gula aren cair. Pemanasan pada suhu tinggi dapat menyebabkan karamelisasi serta merusak kandungan gizi dalam gula aren cair. Oleh karena itu, pemilihan pompa yang tepat sangat penting untuk menghasilkan proses evaporasi yang optimal, di mana tekanan vakum yang cukup dapat menurunkan suhu penguapan sehingga kualitas gula tetap

terjaga. Dengan pemilihan pompa yang sesuai, proses produksi menjadi lebih efisien, mengurangi risiko degradasi produk, dan memastikan gula aren cair memiliki warna, rasa, serta kandungan nutrisi yang tetap terjaga sesuai standar kualitas yang diinginkan (Soeswanto et al., 2023).

2.8 Alat Kontrol Proses

Alat kontrol proses adalah perangkat yang digunakan untuk mengatur, memonitor, dan mengoptimalkan variabel dalam suatu sistem industri atau manufaktur agar proses berjalan sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan. Variabel yang dikontrol dapat berupa tekanan, suhu, aliran fluida, level, pH, kelembaban, dan lainnya, tergantung pada kebutuhan proses (Agung Ridowi et al., 2023). Alat kontrol proses memiliki berbagai jenis yang dikategorikan berdasarkan fungsinya.

a) Temperatur *Control*
b) *Pressure Control*
c) *Level Control*
d) Alat kontrol kelembapan
e) *Speed Control*

Alat kontrol proses sangat bermanfaat dalam menghemat konsumsi listrik, terutama pada peralatan dengan daya besar seperti pompa air. Terdapat berbagai metode atau sistem yang dapat diterapkan untuk menghemat konsumsi listrik pada pompa, tergantung pada tujuan dan pola pemakaian pompa tersebut. Salah satunya adalah penghematan kerja pompa pada pemakaian pompa untuk rumah tangga dengan menggunaan sensor ultrasonik berbasis *Arduino Uno* yang mengontrol pompa berdasarkan level air pada tandon. Jika air dalam tandon kurang dari 50%, pompa otomatis menyala hingga penuh. Pengukuran selama 14 hari menunjukkan konsumsi listrik turun dari 3,43 kWh menjadi 1,03 kWh per hari, sehingga tercapai penghematan sebesar 69,97%. (Hutajulu, et al., 2019).

Upaya penghematan listrik pada pompa juga dapat dilakukan berdasarkan tekanan, misalnya pada dua pompa yang menyuplai air ke 10 *valve* di 10 lantai. Dalam sistem ini, *Arduino Uno* digunakan sebagai pusat pengendali, yang menerima data dari sensor tekanan. *Arduino* kemudian

memproses data tersebut dan mengatur nyala-mati kedua pompa secara otomatis berdasarkan nilai tekanan yang terdeteksi. (Ridowi et al., 2023).

Pada alat *vacuum evaporator* pada produksi gua aren cair, penggunaan sensor tekanan dan sensor suhu dengan resolusi tinggi dalam teknologi evaporasi vakum semakin penting untuk meningkatkan kontrol proses dan efisiensi, seperti yang diungkapkan oleh (Fazekas et al., 2019). Alat kontrol proses memiliki peran krusial dalam proses evaporasi, terutama dalam mengontrol suhu produk selama pemanasan agar kualitas dan kandungan gizi pada gula aren cair tetap terjaga. Alat kontrol suhu ini bekerja dengan memantau suhu, dan jika suhu melebihi parameter *setpoint,* sistem akan secara otomatis mematikan pemanas (*heater*) dan menyalakannya kembali saat suhu kembali turun (Saputro, 2024).

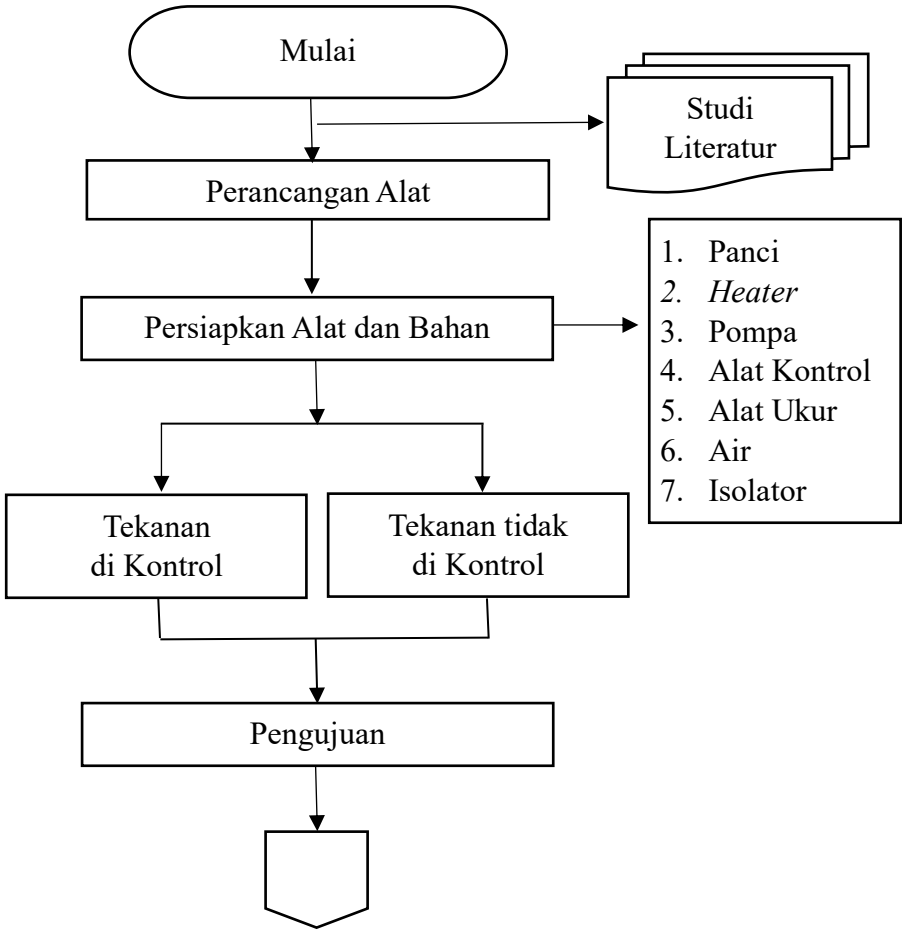
Gambar 2.4 Alat Kontrol Proses

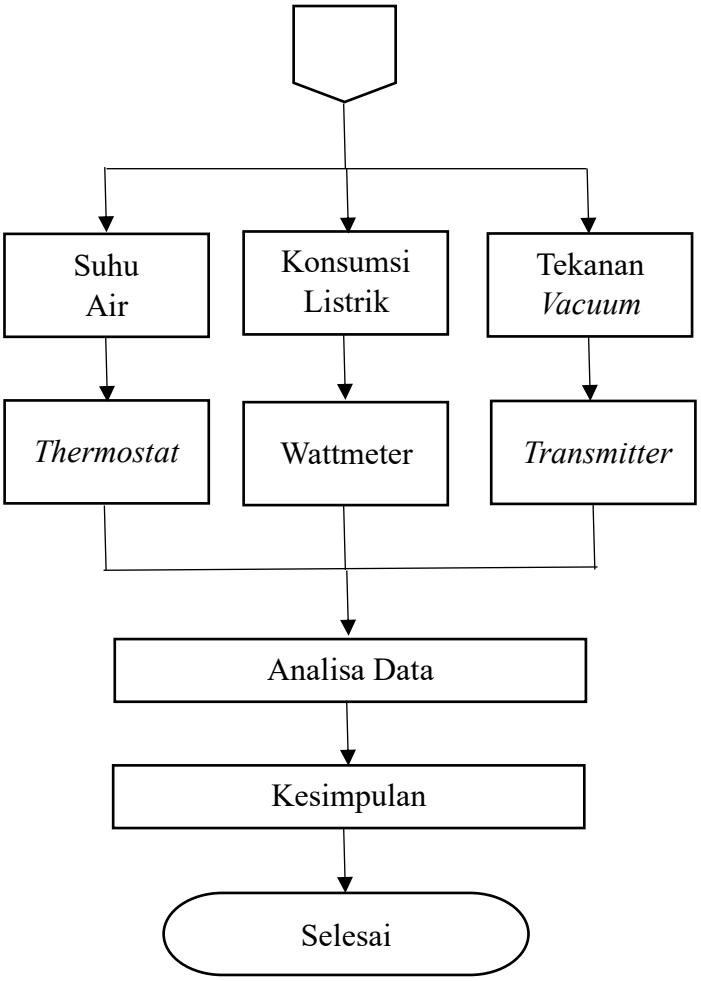
Selain itu, *pressure controller* juga berperan penting dalam proses evaporasi. Penggunaannya memberikan manfaat, seperti menjaga stabilitas tekanan, meningkatkan efisiensi konsumsi listrik, serta mencegah kerusakan pada pompa *vacuum evaporator*. Prinsip kerja *pressure controller* pada *vacuum evaporator* dimulai dengan mengukur tekanan di dalam ruang evaporasi. Data tekanan ini kemudian dikirim ke *controller*, yang menganalisis dan menyesuaikan tekanan sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Jika tekanan melebihi batas yang ditetapkan, *controller* akan secara otomatis menonaktifkan pompa untuk menurunkan tekanan, lalu mengaktifkannya kembali saat tekanan sudah kembali ke level yang diinginkan

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada percobaan kali ini, akan dilakukan uji coba *vacuum evaporator* dengan menggunakan *pressure controller* dan tanpa *pressure controller*. Tujuan utama penggunaan *pressure controller* adalah untuk menghemat energi listrik. Pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi apakah penggunaan *pressure controller* dapat memberikan hasil sesuai dengan yang diharapkan. Untuk lebih jelasnya, bisa dilihat pada diagram alir berikut





Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian

3.2 Prosedur Penelitian

Berikut ini merupakan prosedur yang dilakukan dalam penelitian mengenai penggunaan alat kontrol proses yaitu *pressure controller* pada pompa *vacuum evaporator* dan perbandingannya dengan sistem tanpa menggunakan alat kontrol tersebut.

1. Preparasi alat yang dibutuhkan dalam penelitian

   Alat *vacuum evaporator* dipersiapkan dengan memastikan bahwa alat-alat penting seperti pompa, *heater*, panci, venturi, alat ukur, toren, dan alat kontrol proses sudah terpasang dengan benar di tempatnya
2. Pemasangan *pressure controller*

   Pengujian pertama dimulai dengan menggunakan *vacuum evaporator* yang dilengkapi dengan *pressure controller*. *Pressure controller* dipasang

dan terhubung dengan *wattmeter* dan relay serta pompa. Selanjutnya, *gap* tekanan diatur pada rentang -0,68 bar hingga -0,72 bar.

3. Pengujian *vacum evaporator*

   Pengujian dimulai dengan memanaskan 20 kg air selama 120 menit, dengan suhu dibatasi pada 65°C. Pengujian dilakukan pada kedua sistem dengan suhu awal yang hampir sama atau adil. Pencatatan data dilakukan setiap satu menit hingga pengujian selesai.

4. Pengujian ulang tenpa alat kontrol proses

   Pengujian kedua dilakukan tanpa tekanannya itu dikontrol oleh *pressure controller*, dan pompa akan berjalan terus sampai pengujian selesai.

5. Analisa data

   Setelah data tercatat, langkah selanjutnya adalah menganalisis data suhu air (°C), konsumsi listrik (kWh), dan tekanan di dalam panci (bar) antara penggunaan *pressure controller* pada pompa dengan kondisi tanpa *pressure controller.*

6. Kesimpulan dan memberikan rekomendasi

   Setelah menganalisis data, dibuat kesimpulan mengenai kelebihan dan kekurangan dari masing-masing sistem (dengan dan tanpa *pressure controller*). Kemudian, diberikan rekomendasi tentang sistem mana yang lebih cocok untuk digunakan berdasarkan hasil pengujian

3.3 Alat yang Digunakan

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan untuk membantu jalannya pengujian kali ini seperti pada dibawah

1. *Heater*

   Heater yang digunakan adalah *internal heater* yang terpasang di dalam panci. *Heater* ini memiliki bentuk huruf U yang mempunyai *fin* dipermukaannya dan berfungsi untuk memanaskan air. *Heater* ini terbuat dari *bahan stainless* steel dan memiliki daya sebesar 500 W.

Gambar 3.2 *Internal Heater*

2. Panci Vakum

Panci vakum berfungsi sebagai wadah air dalam sistem yang menciptakan ruang tertutup. Udara di dalam panci tersebut akan dihisap oleh pompa melalui venturi yang terhubung dengan panci vakum, untuk menurunkan titik didih cairan. Panci vakum ini mempunyai diameter 44 cm, tinggi 34 cm dan memiliki kapasitas 50 L yang aman digunakan untuk keperluan pengolahan makanan.

Gambar 3.3 Panci Vakum

3. Pompa

Pompa digunakan untuk mensirkulasikan air dengan kecepatan air yang tinggi, sehingga dapat menciptakan tekanan vakum pada panci. Pompa yang digunakan adalah pompa *booster Waterplus BR-371CPA* yang memiliki spesifikasi berikut

Tabel 3.1 Spesifikasi Pompa *booster Waterplus BR-371CPA*

Daya Input (P1)	400 W
Daya (P2)	200 W
Voltase	1 x 220V-50Hz

Arus	2,3 A
Head *max*	23 m
Rated *head*	15,4 m
Kapasitas *max*	5,4 m^3/h (90L/menit)
Rated kapasitas	3,4 m^3/h (57L/menit)
Temperatur *max*	70°C (*intermittent*)
Inlet/outlet pompa	1”M x 1”M
Flow switch	1”F x 1”M
Seal	*Geraphite/ceramic*

Gambar 3.4 *Waterplus BR-371CPA*

4. Isolator

Isolator memiliki manfaat untuk meningkatkan dan mempercepat proses pemanasan karena tidak ada kalor atau panas yang terbuang keluar, sehingga proses pemanasan menjadi lebih efisien. Isolator *Superlon* dengan tebal 10 mm dipasang di semua permukaan panci untuk mengurangi kehilangan panas. Bahan isolator ini terbuat dari *nitrin butanien rubber*

Gambar 3.5 Isolator *Superlon*

5. Termostat

Termostat berfungsi untuk menampilkan suhu dan mengontrol suhu air dengan menerima informasi dari sensor NTC. Termostat memudahkan proses pengambilan data karena suhu dapat terlihat jelas pada layar termostat. Termostat ini bisa mengontrol suhu air, dengan mematikan *heater* saat suhu melewati batas yang ditentukan.

Tabel 3.2 Spesifikasi *Thermostat STC-1000*

Tegangan	220V
Arus maksimum *relay*	5A
Konsumsi daya	3W
Rentang pengukuran suhu	-50°C hingga 110°C
Akurasi pengukuran	0.1°C
Akurasi pengendalian	1.0°C
Sensor suhu	NTC 25°C 10K B3435

Gambar 3.6 *Thermostat STC-1000*

6. *Pressure Controller*

Pressure controller berfungsi untuk mengontrol atau menstabilkan tekanan di dalam panci. *Pressure controller Wisner CH-102* ini bekerja dengan mematikan pompa secara otomatis berdasarkan informasi yang diterima dari *pressure transmitter* dan akan menyalakan pompa kembali saat tekanan mencapai parameter yang telah ditentukan. *Pressure controller* juga memilki fungsi lain yaitu untuk menampilkan tekanan di layar digital agar mempermudah proses pengambilan data

Tabel 3.3 Spesifikasi *Wisner CH-102 -F102-MV-AN*

Input	0,5 – 4,5 V DC
Power supply untuk sensor	5 V DC
Power supply utama	220V AC
Akurasi pengukuran	0,5% FS
Output relay	Kapasitas kontak 250V AC, 3A
Output SSR	DC 12 V
Dimensi	48 x 48 x 85 mm

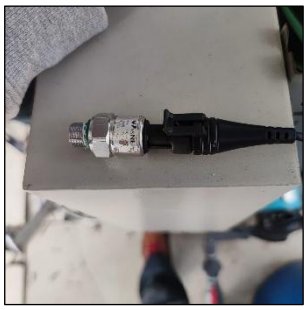
Gambar 3.7 *Wisner CH-102* -F102-MV-AN

7. *Pressure Transmitter*

Transmitter adalah alat yang berfungsi untuk mengubah sinyal fisik (seperti tekanan) menjadi sinyal listrik yang dapat diproses oleh *pressure controller*. *Transmitter* Wisner ini cocok digunakan untuk gas atau cairan yang tidak menyebabkan korosi, dengan rentang suhu -20°C hingga 85°C, dan mampu membaca tekanan dalam rentang -1 bar hingga 1 bar.

Tabel 3.4 Spesifikasi *Wisner WPT-83G*

Rentang pengukuran tekanan	-1 hingga 1 bar
Akurasi	1%FS
Rentang suhu kerja	-20°C hingga 85°C
Sinyal keluaran	*0,5 – 4,5 VDC*
Tegangan suplai	DC 5V
Kelas perlindungan	IP 65
Housing material	304 *stainless steel*
Media tekanan	Cairan atau gas yang tidak korosif



Gambar 3.8 *Wisner WPT-83G*

8. *Wattmeter*

Fungsi AC *wattmeter* pada pengujian ini adalah untuk memantau konsumsi daya yang digunakan oleh pompa dan heater dalam sistem *vacuum evaporator*. Dengan menggunakan *wattmeter*, kita dapat mengukur tegangan dan arus yang mengalir ke kedua alat tersebut, kemudian menghitung daya listrik yang dikonsumsi.

Tabel 3.5 Range Ukur Wattmeter

Tegangan	80 – 300 V
Freq	45 – 65 Hz
Watt	0 – 30,000 Watt
Arus	0 – 99.99 A
kWh	0 – 99999 kWh

Gambar 3.9 *Wattmeter*

9. *Pressure Gauge*

Pressure gauge digunakan untuk melihat seberapa besar jumlah tekanan vakum yang terjadi didalam panci dalam keadaan vakum, sehingga dapat memonitori kondisi tekanan dalam panci dari luar.

Gambar 3.10 *Pressure Gauge*

10. *Thermometer*

Thermometer digunakan untuk melihat seberapa besar suhu air pada saat proses evaporasi, pada pengujian ini *thermometer* digunakan untuk mengkalibrasi *thermostat* agar pembacaan lebih akurat.

Gambar 3.11 *Thermometer*

11. Venturi

Venturi berfungsi sebagai saluran untuk menghisap udara dari dalam panci. Dengan adanya ruang sempit, aliran fluida menjadi lebih cepat. Tekanan yang lebih rendah pada area Venturi membuat udara dari dalm panci terhisap karena adanya perbedaan tekanan, sehingga mempercepat proses vakum. Penurunan tekanan ini menyebabkan titik didih menjadi lebih rendah.

Gambar 3.12 Venturi

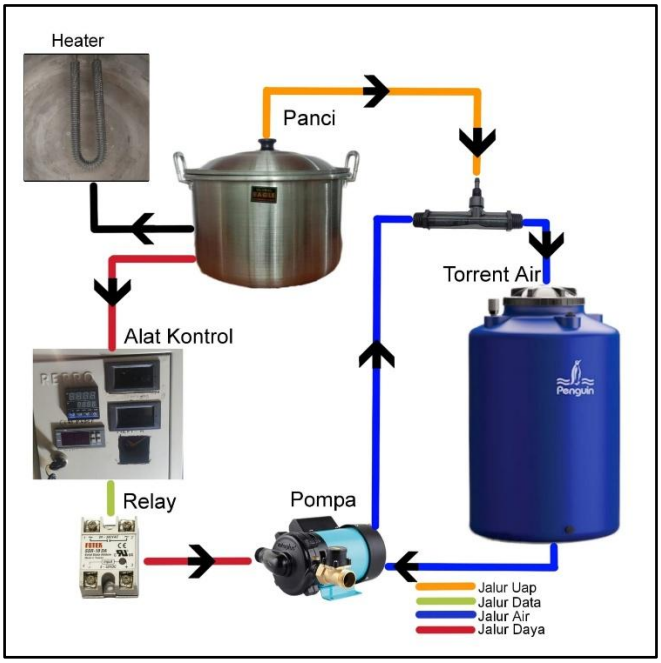
12. SSR (*Solid State Relay*)

Relay yang digunakan berjenis SSR (*Solid State Relay*). bekerja tanpa bagian mekanik. SSR menerima sinyal kontrol DC, yang mengaktifkan komponen elektronik seperti *triac* atau *thyristor* untuk mengalihkan atau memutuskan arus listrik. Karena tidak ada bagian yang bergerak, SSR lebih tahan lama, lebih cepat, dan lebih efisien dibanding relay mekanik.

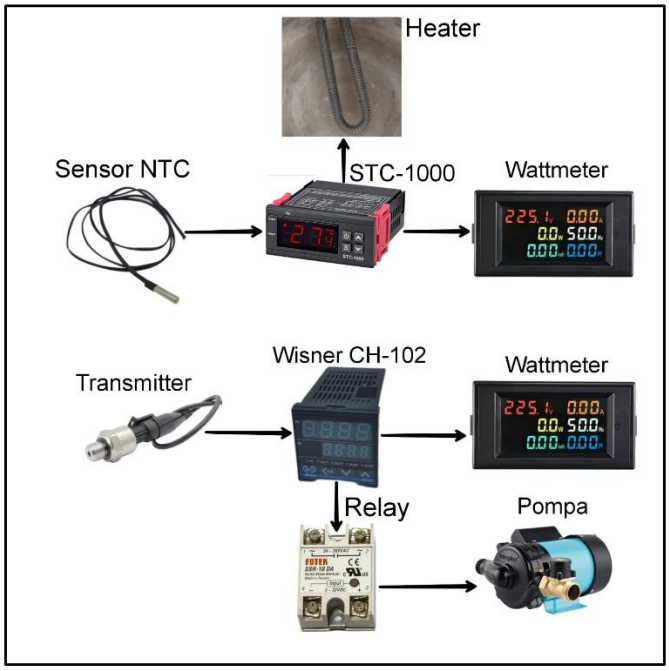
Gambar 3.13 SSR (*Solid State Relay*)

3.4 *Setup Experiment*

Setup experiment merupakan sebuah prosedur pengujian yang digunakan untuk mengatur dan mengendalikan variabel yang ada tidak melebar dari penelitian terkait. *Setup experiment* ini juga akan menghasilkan data yang akurat dan sesuai, dan juga akan memastikan penelitian dilakukan secara efektif dan efisien. Berikut ini merupakan gambaran *setup experiment* dari proses evaporasi air dengan *vacuum evaporator* dan *setup experiment* alat kontrol *pressure controller*



Gambar 3.14 *Setup Experiment Vacuum Evaporator*



Gambar 3.15 *Setup Experiment* Alat Ukur dan Alat Kontrol

Pada *setup experiment* diatas, termometer dan *pressure gauge* digunakan untuk mengkalibrasi pembacaan tekanan pada *pressure controller* dan pembacaan suhu pada thermostat agar hasil pengukuran menjadi akurat. Selama proses evaporasi, sensor transduser dan termistor mengukur tekanan

udara dan suhu air, dan informasi tersebut diberikan kepada masing-masing *controller,* yaitu *pressure controller* dan *thermostat*. Kedua controller ini berfungsi untuk mengawasi suhu air dan tekanan agar tetap sesuai dengan parameter yang diinginkan. Ketika nilai melebihi batas parameter, *pressure controller* akan mematikan pompa secara otomatis dan menyalakannya kembali ketika nilai mencapai parameter yang diinginkan. Hal yang sama juga berlaku pada *thermostat*. Kedua *controller* ini juga terhubung dengan wattmeter untuk memantau konsumsi listrik selama pengujian berlangsung.

3.5 Perencanaan Data Penelitian

Berikut ini merupakan gambaran data penelitian yang akan didapatkan setelah melakukan pengujian *vacuum evaporator* seperti dapat dilihat pada

Tabel 3.6 Perencanaan Data Penelitian Menggunaan *Pressure Control*

No	Waktu (*minute*)	Tekanan (bar)	*Temp* (°C)	Konsmsi Energi			
				kWh	V	A	W
1	-	≤ 0.72	-	-	-	-	-
2	-	≤ 0.72	-	-	-	-	-

Tabel 3.7 Perencanaan Data Penelitian Tanpa *Pressure Control*

No	Waktu (*minute*)	Tekanan (bar)	*Temp* (°C)	Konsmsi Energi			
				kWh	V	A	W
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-

BAB IV
DATA DAN ANALISA

4.1 *Vacuum Evaporator* dengan Tekanan Kontrol dan Tanpa Kontrol

Vacuum evaporator yang digunakan dalam penelitian ini merupakan alat yang telah mengalami beberapa pembaruan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Pembaruan tersebut meliputi penambahan isolator pada seluruh permukaan panci untuk mengurangi kehilangan panas, serta penggunaan *internal heater* sebagai sumber pemanas utama yang lebih efisien dibandingkan pemanas *external*. Mengingat alat ini telah dimodifikasi, sehingga sumber konsumsi listrik pada alat ini terbagi menjadi dua, yaitu untuk *heater* dan pompa, maka perlu dilakukan penambahan *pressure controller*. Tujuan dari *pressure controller* pada alat ini adalah untuk menghemat konsumsi listrik dari pompa dengan cara mengatur nyala-mati pompa secara otomatis, sehingga tekanan tetap stabil selama evaporasi dan sesuai dengan nilai yang diinginkan.

Gambar 4.1 *Vacuum Evaporator* dengan *Pressure Controller*

Secara umum, prinsip kerja alat ini adalah dengan menciptakan vakum di dalam ruang evaporasi. Udara yang ada di dalam ruang tersebut akan terhisap oleh pompa *booster* melalui efek venturi. Ketika fluida melewati saluran sempit di venturi, kecepatannya meningkat, yang menyebabkan penurunan tekanan di sekitar saluran tersebut. Perbedaan tekanan antara area venturi yang memiliki tekanan lebih rendah dan panci vakum yang memiliki tekanan lebih tinggi menyebabkan udara dari panci vakum terhisap ke dalam saluran venturi. Proses ini menciptakan kondisi vakum yang membuat cairan untuk mendidih pada suhu yang lebih rendah. Hal ini mempercepat penguapan tanpa merusak kualitas zat yang terkandung dalam cairan tersebut. Meskipun proses evaporasi berlangsung lebih cepat, kualitas produk tetap terjaga karena suhu yang digunakan lebih rendah daripada jika dilakukan tanpa sistem vakum.

Alat *vacuum evaporator* ini dilengkapi dengan dua alat kontrol utama, yaitu *pressure controller* dan *thermostat*. *Thermostat* berfungsi untuk membatasi suhu pemanasan maksimal hingga 65°C, dengan tujuan menghindari terjadinya karamelisasi serta menjaga agar kandungan nutrisi dalam nira aren cair tetap utuh. *Thermostat* akan mengatur kerja *heater* secara otomatis dengan sistem nyala-mati berdasarkan suhu yang terdeteksi. Sementara itu, *pressure controller* berperan penting dalam menjaga kestabilan tekanan selama proses berlangsung. Alat ini secara otomatis mematikan dan menyalakannya kembali sesuai pada nilai tekanan yang ditentukan. Dengan demikian, *pressure controller* tidak hanya menjaga tekanan tetap stabil, tetapi juga menghemat konsumsi energi listrik serta mencegah pompa mengalami *overheat* akibat bekerja terus-menerus.

Dalam penelitian ini dilakukan dua jenis percobaan utama untuk membandingkan kinerja *vacuum evaporator*, yaitu percobaan dengan sistem menggunakan *pressure controller* dan percobaan tanpa *pressure controller.* Data yang dikumpulkan selama pengujian mencakup suhu (°C), tekanan (bar), konsumsi energi (kWh), daya listrik (watt), baik pada pompa maupun *heater*. Semua parameter tersebut dicatat setiap menit selama proses evaporasi berlangsung selama dua jam.

4.1.1 Pengujian Menggunakan Kontrol Tekanan

Pada percobaan ini, alat *vacuum evaporator* menggunakan *pressure controller* yang berfungsi untuk mengatur tekanan dalam panci vakum. *Pressure controller* ini mengatur tekanan dengan cara menyala matikan pompa dengan otomatis dengan tekanan tertentu, pada pengujian ini *pressure controller* diatur akan mematikan pompa ketika tekanan mencapai -0,72 bar dan pompa akan dinyalakan kembali saat tekanan mencapai -0,68 bar. Hal ini membuat tekanan tetap berada dalam nilai yang diinginkan, tidak melebihi batas yang telah ditetapkan.

Dengan cara menyala-matikan pompa atau memberikan waktu bagi pompa untuk mati sejenak, diharapkan dapat menghindari pompa dari *overheat* dan menghemat konsumsi listrik dengan signifikan. Namun, tentunya ada hal yang harus dikorbankan, yaitu performa evaporasi. Pada pengujian ini, dilihat apakah sistem nyala-mati pompa memberikan pengaruh terhadap performa evaporasi jika dibandingkan dengan sistem yang tekanannya tidak dikontrol.

4.1.2 Pengujian Tanpa Kontrol Tekanan

Pada pengujian selanjutnya, fitur kontrol tekanan dimatikan, yang menyebabkan pompa beroperasi terus-menerus tanpa adanya pengaturan otomatis dari *pressure controller*. Akibatnya, pompa beroperasi secara terus-menerus dari awal hingga akhir percobaan. Pada pengujian ini, *pressure controller* hanya berfungsi untuk menampilkan informasi tekanan pada LCD, yang diperoleh dari *pressure transmitter* ke pompa. Dengan demikian, tekanan dalam panci vakum dibiarkan berfluktuasi tanpa adanya pengaturan otomatis dari *pressure controller*.

4.2 Hasil Pengujian Peforma *Vacuum Evaporator* dengan Kontrol Tekanan dan Tanpa Kontrol

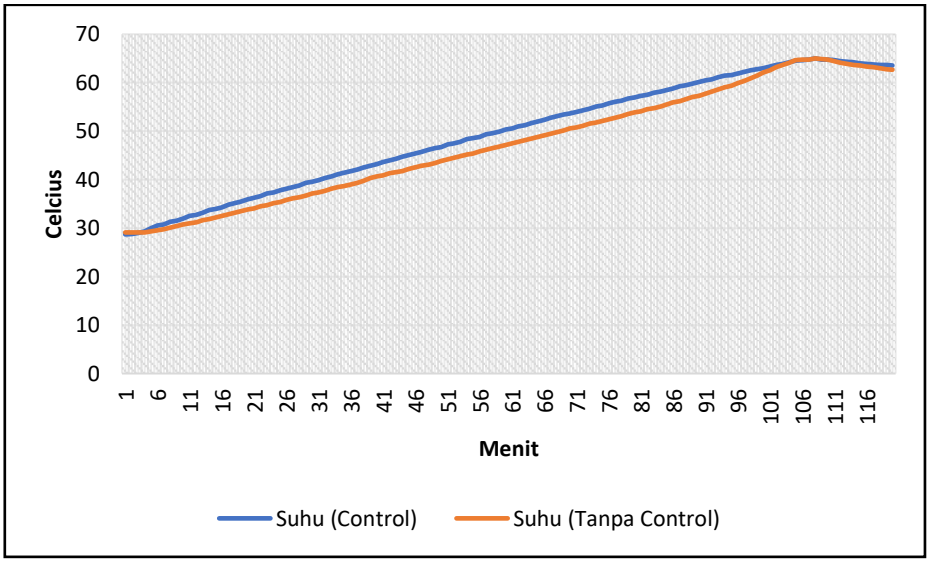
Data uji kinerja alat *vacuum evaporator* dengan kontrol tekanan dan tanpa kontrol tekanan mencakup berbagai variabel yang diukur selama percobaan. Variabel tersebut meliputi suhu air yang diukur menggunakan

sensor NTC, tekanan vakum yang diukur menggunakan *pressure transmitter*, serta konsumsi listrik pada pompa dan *heater* yang diukur menggunakan wattmeter. Data yang tercatat dari wattmeter mencakup volt, ampere, watt, dan kWh. Variabel-variabel tersebut dicatat setiap menit selama percobaan. Hasil pengujian dilakukan pada kedua sistem, yaitu dengan kontrol tekanan dan tanpa kontrol tekanan, dengan waktu pemanasan air selama 120 menit.

Gambar 4.2 Variabel yang Dihasilkan saat Pengujian

4.2.1 Perbandingan Suhu dan Proses Evaporasi

Dalam pengujian ini, kedua sistem, yaitu dengan *pressure controller* dan tanpa *pressure controller*, memiliki batasan suhu maksimum yang sama, yaitu 65°C. Ketika suhu mencapai 65°C, *heater* akan mati secara otomatis dan menyala kembali saat suhu turun hingga 62°C. Proses evaporasi dilakukan dengan menggunakan isolator yang melapisi seluruh permukaan panci, yang terbuat dari *nitrin butanien rubber*. Penggunaan isolator ini bertujuan untuk mempercepat proses evaporasi, karena mengurangi kehilangan panas yang tidak diinginkan. *Heater* yang digunakan untuk memanaskan air berbentuk huruf U dengan fin pada permukaannya, dan heater ini memiliki daya sebesar 500 watt. Suhu air diukur menggunakan sensor NTC yang diproses oleh *thermostat*. Hasil pengukuran suhu akan dicatat setiap menit selama 120 menit. Adapun perbandingan suhu dari kedua sistem dapat dilihat pada grafik Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Perbandingan Suhu Antara Kedua Sistem

Pengujian dilakukan dengan memulai pada suhu yang hampir sama antara kedua sistem, yaitu 28,7°C untuk sistem dengan kontrol tekanan dan 29,1°C untuk sistem tanpa kontrol tekanan. Setelah 120 menit, data suhu yang tercatat disajikan dalam grafik suhu (dalam satuan Celsius) terhadap waktu dalam menit.

Tabel 4.1 Perbandingan Suhu Antara Kedua Sistem

Menit	Kontrol (°C)	Tanpa Kontrol (°C
0	28,7	29,1
30	39,6	37,1
60	50,3	47,1
90	60,1	57,3
108	65	65
120	63,5	62,7

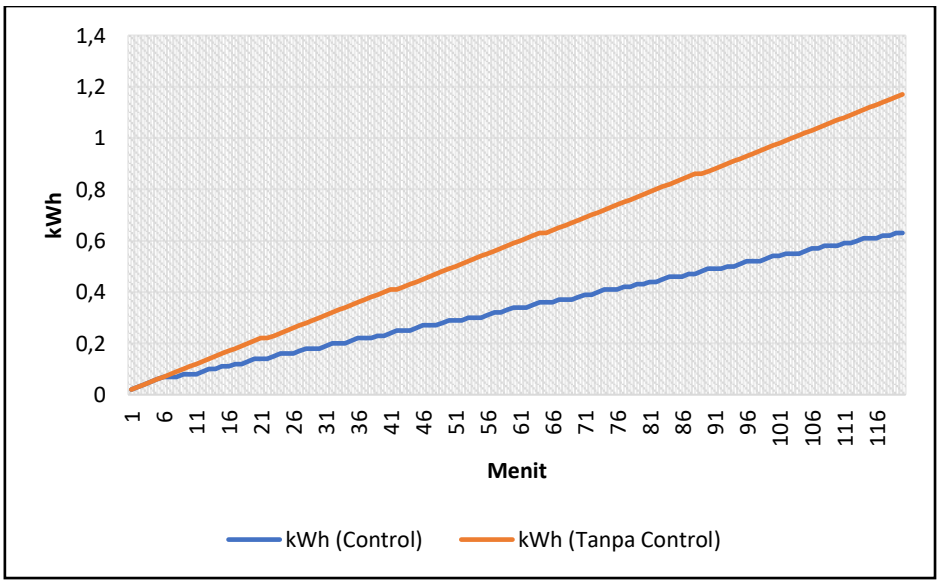
Pada sistem dengan kontrol tekanan, suhu naik secara konsisten dan lebih cepat menuju 65°C sejak awal pengujian, dan suhu tersebut tercapai pada menit ke-108. Sebaliknya, pada sistem tanpa kontrol tekanan, meskipun suhu awalnya naik lebih lambat, pada menit ke-94, suhu mengalami lonjakan tajam dan dengan cepat mencapai 65°C.

Akhirnya, kedua sistem mencapai suhu 65°C pada menit yang sama, yaitu menit ke-108.

Pada sistem dengan menggunakan *pressure control,* setelah *heater* mati, penurunan suhu berlangsung lebih lambat dibandingkan dengan sistem tanpa kontrol. Hal ini dapat memperlambat suhu mencapai *set point* suhu (62°C), yang dapat menghemat konsumsi listrik *heater* jika proses evaporasi berjalan cukup lama

4.2.2 Perbandingan Konsumsi Energi Listrik Pompa dan Heater

Dalam pengujian ini dilakukan perbandingan konsumsi energi listrik antara sistem vacuum evaporator yang menggunakan *pressure controller* dan sistem yang tidak menggunakannya. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk mengetahui pengaruh *pressure controller* terhadap efisiensi konsumsi daya listrik selama proses evaporasi berlangsung Parameter yang dibandingkan dalam penelitian ini meliputi konsumsi energi listrik pompa dan *heater* yang diukur dalam satuan *kilowatt-hour* (kWh), serta parameter kelistrikan lainnya seperti daya listrik (watt), tegangan (volt), dan arus listrik (ampere). Pengujian dilakukan selama dua jam secara kontinu, dengan pencatatan data setiap satu menit untuk memperoleh hasil yang lebih detail dan akurat terhadap masing-masing konsumsi daya pada kedua sistem.



Gambar 4.4 Perbandingan kWh Pompa Antara Kedua Sistem

Setelah melakukan pengujian selama 120 menit pada kedua sistem, yaitu dengan menggunakan kontrol tekanan dan sistem tanpa kontrol, didapatkan hasil konsumsi energi dalam satuan kWh.

Tabel 4.2 Perbandingan Konsumsi Listrik Pompa Antara Kedua Sistem

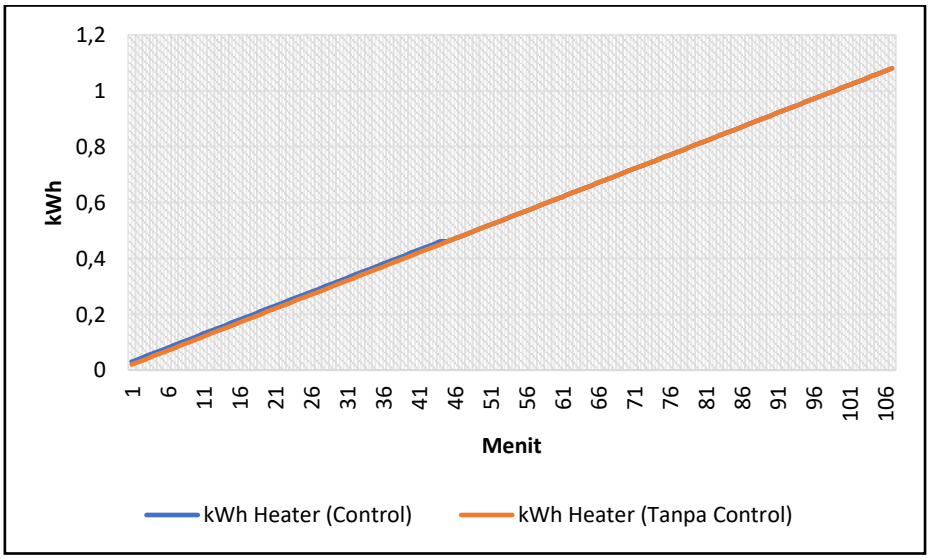
Menit	Kontrol (kWh)	Tanpa Kontrol (kWh)
30	0,18	0,3
60	0,34	0,59
90	0,49	0,87
120	0,63	1,17

Pada pengujian dengan tekanan dikontrol konsumsi energi pompa tercatat sebesar 0,63 kWh, sedangkan pada pengujian tanpa tekanan dikontrol, konsumsi energi pompa tercatat sebesar 1,17 kWh. Dengan demikian, terjadi penghematan energi yang dapat dihitung

$$\eta = \frac{\text{Konsumsi listrik Tanpa Kontrol} - \text{Konsumsi Energi Dengan Kontrol}}{\text{Konsumsi Energi Tanpa Kontrol}} \text{ x } 100$$

$$\eta = \frac{1{,}17 - 0{,}63}{1{,}17} = 46{,}15\%$$

Menghemat energi listrik pada pompa sebesar 46,15%. Hasil ini mengindikasikan bahwa penggunaan *pressure controller* dapat mengurangi konsumsi energi listrik secara signifikan, memberikan efisiensi biaya, dan meningkatkan umur operasional pompa



Gambar 4.5 Perbandingan kWh *Heater* Antara Kedua Sistem

Selanjutnya, pada konsumsi listrik *heater*, kedua sistem, baik yang menggunakan kontrol tekanan maupun yang tanpa kontrol tekanan, memiliki perbedaan konsumsi energi listrik yang sangat tipis, yaitu 1,08 kWh pada sistem dengan kontrol tekanan dan 1,09 kWh pada sistem tanpa kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan antara kedua sistem tidak berpengaruh terhadap konsumsi daya listrik pada heater selama dua jam proses evaporasi. Perlu dicatat bahwa pada menit ke-108, pada kedua percobaan, heater mati karena suhu sudah mencapai 65°C. Heater akan menyala kembali ketika suhu turun hingga 62°C. Oleh karena itu, pada menit ke-108 hingga menit ke-120, heater dalam keadaan mati, yang dapat meningkatkan efisiensi konsumsi listrik

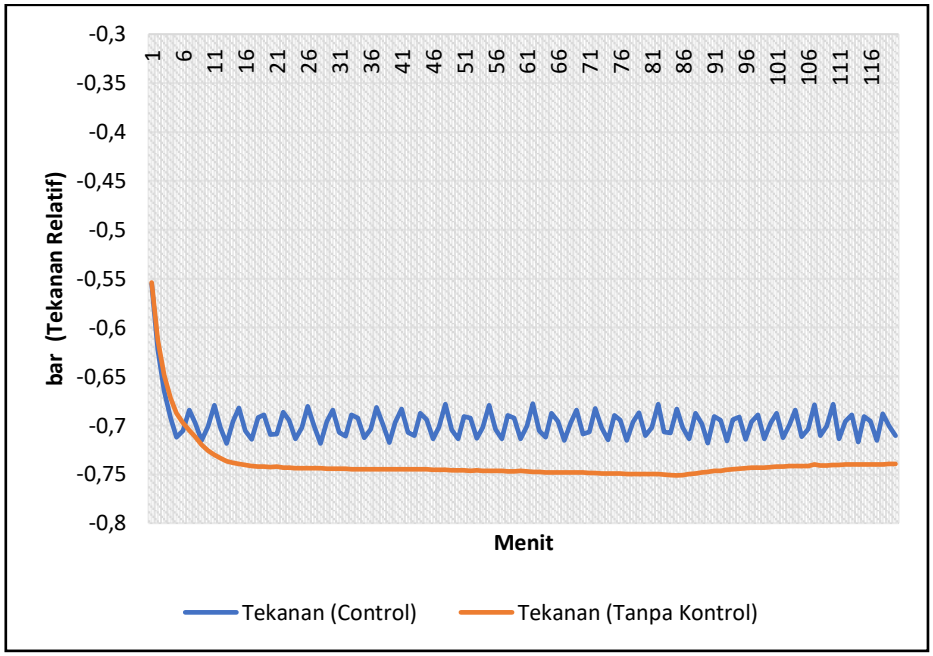
Tabel 4.3 Perbandingan Konsumsi Listrik *Heater* Antara Kedua Sistem

Menit	Kontrol (kWh)	Tanpa Kontrol (kWh)
30	0,31	0,31
60	0,61	0,61
90	0,91	0,91
120	1,08	1,09

.

4.2.3 Perbandingan Stabilitas Tekanan Antara Kedua Sistem

Perbandingan stabilitas tekanan pada *vacuum evaporator* antara sistem dengan kontrol tekanan dan sistem tanpa kontrol tekanan dilakukan untuk mengetahui apakah siklus nyala mati ini bisa bertahan selama 120 menit secara konsisten tanpa adanya penurunan peforma. Selain itu, perbandingan ini juga bertujuan untuk mengetahui apakah pompa pada sistem tanpa kontrol tekanan mampu mempertahankan konsistensi tekanan vakumnya selama periode pengujian tanpa adanya penurunan peforma. Stabilitas tekanan pompa merupakan faktor penting dalam operasional *vacuum evaporator*, khususnya karena alat ini digunakan untuk memanaskan air nira, yang sangat berpengaruh pada proses operasional dan kualitas produk akhir. Dengan mempertahankan stabilitas tekanan yang konsisten, diharapkan proses evaporasi dapat berlangsung dengan optimal dan menghasilkan produk yang berkualitas.



Gambar 4.6 Perbandingan Tekanan Antara Kedua Sistem

Setelah melakukan pengujian selama 120 menit, diperoleh data yang disajikan pada grafik 4.6. Grafik tersebut menunjukan data tekanan relatif, dari data tersebut menunjukkan bahwa sistem pompa dengan kontrol tekanan mampu mempertahankan siklus nyala-mati pompa serta kestabilan tekanannya selama 120 menit tanpa mengalami penurunan performa. Pompa aktif selama 1 menit 49 detik saat tekanan berubah dari -0,68 menuju -0,72 bar, kemudian pompa mati selama 1 menit 41 detik ketika tekanan kembali dari -0,72 menuju -0,68 bar.

Sebaliknya, pada sistem tanpa kontrol tekanan, tekanan tidak dikontrol secara otomatis sehingga cenderung berfluktuasi bebas. Pada awal pengujian, tekanan vakum perlahan menurun hingga mencapai titik terendah sebesar -0,75 bar pada menit ke-86. Hingga kemudian tekanan secara bertahap naik kembali hingga mencapai -0,74 bar pada menit ke-120. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tanpa kontrol mampu memertahankan tekanan *vacuum* selama 120 menit dan tidak ada fluktuasi tekanan *vacuum* signifikan selama pengujian

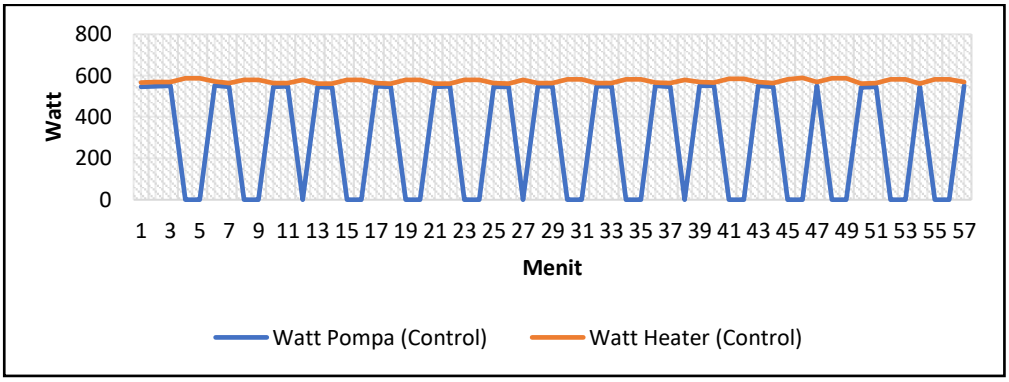
4.3 Hasil dan Pembahasan *Vacuum Evaporator* dengan Pompa menggunakan *Pressure Controller* dan Tanpa *Pressure Controller*

Vacuum evaporator dengan penambahan *pressure controller* digunakan untuk mengontrol tekanan agar sesuai dengan nilai yang diinginkan. *Pressure controller* memiliki beberapa manfaat, seperti menghemat konsumsi listrik pada pompa, mencegah *overheating* yang dapat menyebabkan penurunan performa *vacuum evaporator*, serta menjaga kestabilan tekanan pada rentang tertentu. Pada pengujian ini, penggunaan *pressure controller* terbukti berhasil menghemat konsumsi listrik pada pompa. Pada sistem tanpa *pressure controller*, konsumsi listrik pompa selama 120 menit tercatat sebesar 1,17 kWh, sedangkan pada sistem dengan *pressure controller* konsumsi listrik pompa hanya sebesar 0,63 kWh, yang menunjukkan penghematan energi sebesar 46,15 % pada pompa.

Tabel 4.4 Perbandingan Konsumsi Listrik Antara Kedua Sistem

Konsumsi Listrik	Kontrol (kWh)	Tanpa Kontrol (kWh)	Penghematan Energi (%)
kWh Pompa	0,63	1,17	46,15%
kWh Heater	1,08	1,09	0,92%
Total kWh	1,71	2,26	24,34%

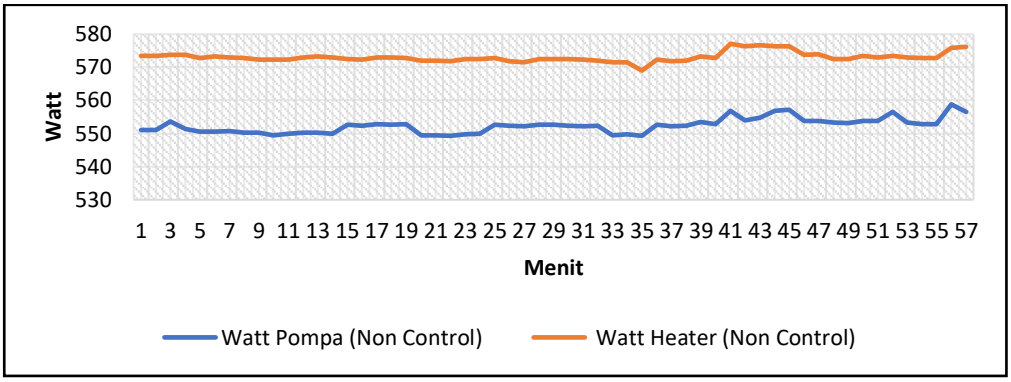
Umumnya, penghematan konsumsi listrik berdampak pada penurunan performa pemanasan air. Namun dalam pengujian ini, kenaikan suhu air pada sistem dengan *pressure controller* justru lebih cepat, lebih konsisten, serta mampu mencapai suhu maksimum 65°C pada waktu yang sama dengan sistem tanpa *pressure controller*. Pada pengujian tanpa *pressure controller*, suhu naik lebih lambat pada awalnya, tetapi pada menit ke-94 suhu mengalami lonjakan tajam, sehingga kedua sistem mencapai suhu 65°C pada menit yang sama, yaitu menit ke-108. Selain itu, konsumsi listrik heater pada kedua sistem juga tercatat sama, sehingga penggunaan pressure controller tidak berpengaruh signifikan terhadap konsumsi listrik pada heater. Adapun faktor-faktor yang menyebabkan kedua pengujian ini mencapai suhu 65°C pada waktu yang sama antara lain sebagai berikut:



Gambar 4.7 Korelasi Antara Watt Pompa & Watt *Heater* (Kontrol)

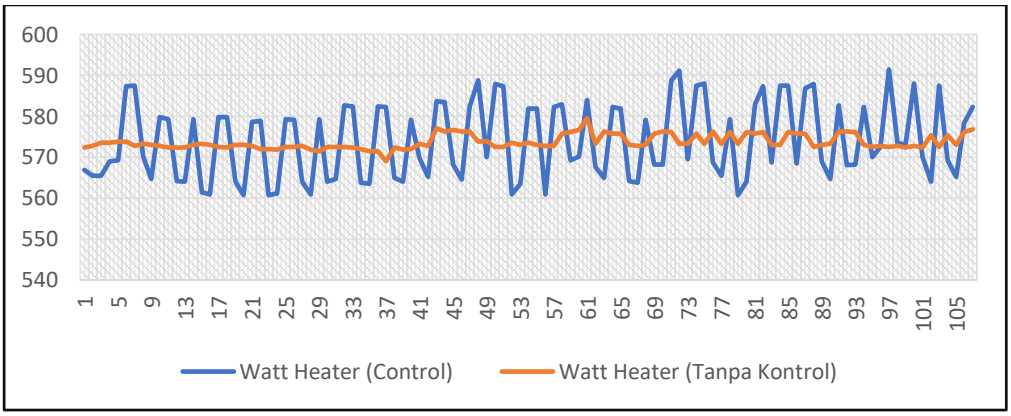
Pada pengujian kedua sistem kontrol pompa, pompa dan *heater* menggunakan satu sumber listrik yang sama di hubungkan melalui satu terminal dengan memakai 2 steker/*plug* untuk masing-masing menghidupkan pompa dan *heater.* Dari pengamatan selama pengujian, ditemukan bahwa saat pompa dalam kondisi mati, konsumsi daya listrik heater justru mengalami peningkatan sekitar 15 watt dibandingkan saat pompa menyala. Konsumsi daya *heater* saat pompa aktif berkisar antara 560-569 watt, sedangkan saat pompa mati meningkat menjadi sekitar 570-591 watt. Fenomena ini terjadi karena adanya peningkatan volt sebesar 5-6V ketika pompa itu mati yang menyebabkan fluktuasi tegangan pada sumber listrik akibat beban pompa yang berpindah dari aktif ke mati.

Ketika tegangan listrik naik, ini membuat daya listrik yang diserap *heater* ikut naik, dikarenakan daya yang diserap oleh *heater*, peningkatan volt ini walaupun yang kecil pun bisa membuat peningkatan suhu temperatur (Brownson, 2024). Beban listrik *heater* meningkat secara intermiten akibat keterkaitan kedua perangkat yang menggunakan satu sumber listrik yang sama, *Voltage spike* ini terjadi karena ketika beban besar seperti pompa dimatikan menyebabkan tegangan disaluran listrik dapat meningkat (Akpoyibo et, al. 2020). Oleh karena itu, disarankan agar sumber energi untuk pompa dan *heater* dipisahkan. Pemisahan ini bertujuan untuk mencegah terjadinya saling pengaruh tegangan antara dua steker/*plug* dalam satu sumber listrik, sehingga kedua perangkat dapat berfungsi secara optimal dan efisien tanpa fluktuasi tegangan jika menggunakan dua sumber listrik yang terpisah.



Gambar 4.8 Korelasi Watt Pompa dan Watt *Heater* (Tanpa Kontrol)

Pada grafik diatas yakni korelasi, berdasarkan data konsumsi listrik *heater* pada sistem tanpa kontrol tekanan yang ditampilkan pada grafik 4.8, terlihat bahwa penggunaan daya *heater* cenderung stabil di kisaran 572-575 watt, dikarenakan tegangan stabil karena pompa dan *heater* menyala terus menerus selama 120 menit. Meskipun terjadi fluktuasi pada konsumsi daya *heater* pada sistem tekanan kontrol, secara keseluruhan total konsumsi energi listrik heater selama pengujian 120 menit hanya berbeda 0,01 kWh lebih hemat jika dibandingkan dengan sistem tanpa tekanan kontrol, yakni pada sistem kontrol tekanan 1,18 kWh dan tanpa kontrol tekanan 1,19 kWh.



Gambar 4.9 Perbandingan Watt *Heater* (Control) dengan Watt *Heater* (Tanpa Kontol)

Meskipun sistem kontrol tekanan ini terbukti mampu menghemat energi, terdapat potensi kelemahan dalam jangka panjang. Pompa yang bekerja berdasarkan sistem *on-off* otomatis berisiko mengalami kerusakan lebih cepat akibat siklus nyala-mati yang terlalu sering. Komponen mekanik dan

kelistrikan pada pompa, seperti motor dan relay, dapat mengalami keausan atau kelelahan material apabila tidak dirancang untuk *duty cycle* yang tinggi. Oleh karena itu, dalam penerapannya perlu dipertimbangkan penggunaan pompa dengan spesifikasi yang sesuai atau menambahkan proteksi tambahan untuk memperpanjang umur pompa

BAB V
KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan terhadap *vacuum evaporator* dengan sistem kontrol tekanan dan tanpa kontrol tekanan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yang menjawab tujuan dari pada penelitian ini yang dapat dilihat sebagai berikut ini :

1. Performa evaporasi pada kedua sistem berhasil mencapai suhu 65°C pada waktu yang sama. Namun, pada sistem tanpa kontrol, suhu mengalami lonjakan tajam pada menit ke-94. Didapatkan konsumsi listrik pada pompa sebesar 0,63 kWh pada sistem tekanan kontrol, sedangkan pada pengujian dengan tekanan tanpa kontrol, konsumsi listrik pompa tercatat 1,17 kWh. Pada pengujian *vacuum evaporator* dengan menggunakan *pressure controller*, di mana tekanan dikontrol dalam rentang -0,68 bar hingga -0,72 bar dengan siklus nyala-mati pompa otomatis. Pada sistem tanpa kontrol tekanan peforma *vacuum* konsisten pada tekanan -0,74 hingga -0,75.
2. Terjadi penghematan konsumsi listrik pada pompa sebesar 46,15% antara sistem dengan tekanan kontrol dan sistem tanpa tekanan kontrol. Meskipun terjadi penghematan energi yang signifikan, sistem dengan tekanan kontrol menunjukan performa yang lebih baik, dengan suhu yang lebih stabil dan kenaikan suhu yang konsisten tanpa adanya fluktuasi. Siklus nyala-mati pompa dapat bertahan selama 120 menit tanpa penurunan performa. Pada sistem tanpa kontrol tekanan, meskipun terjadi lonjakan tajam pada suhu pada menit ke-94, kedua sistem akhirnya mencapai suhu 65°C pada menit yang sama, yaitu menit ke-108. Faktor yang mempengaruhi hasil data pada kedua sistem ini adalah pada sistem dengan tekanan kontrol, saat pompa mati, voltase pada pompa dan *heater* meningkat, yang menyebabkan *heater* mengonsumsi listrik lebih banyak. Meskipun demikian, konsumsi listrik kedua sistem hanya berbeda 0,01

kWh, yakni pada sistem control tekanan 1,18 kWh dan tanpa kontrol tekanan 1,19 kWh.

3. Setelah melakukan kedua pengujian dan analisa, disarankan untuk menggunakan *vacuum evaporator* dengan *pressure controller*, karena memberikan berbagai keuntungan, seperti penghematan konsumsi listrik pada pompa yang besar (yaitu 46,15%) dibandingkan dengan sistem tanpa kontrol tekanan. Selain itu pada pengujian ini, kenaikan suhu air pada sistem dengan *pressure controller* justru lebih cepat, lebih konsisten, serta mampu mencapai suhu maksimum 65°C pada waktu yang sama dengan sistem tanpa *pressure controller*. Pada pengujian tanpa *pressure controller*, suhu naik lebih lambat pada awalnya, tetapi pada menit ke-94 suhu mengalami lonjakan tajam, sehingga kedua sistem mencapai suhu 65°C pada menit yang sama, yaitu menit ke-108

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan sistem dengan *pressure controller* memberikan berbagai keuntungan. Namun, masih ada beberapa aspek yang dapat ditingkatkan. Berikut ini adalah beberapa saran untuk pengembangan sistem lebih lanjut

1. Pemisahan sumber energi antara pompa dan heater akan meningkatkan kedua fungsi alat tersebut, dikarenakan konsumsi listrik *heater* dan pompa tidak optimal jika kedua sumber listrik digabung
2. Mempertimbangkan penelitian menggunakan air nira untuk memperlengkap referensi data
3. Mempertimbangkan penggunaan *variabel frequency drive* atau *dimmer* untuk mengontrol motor listrik dengan mengubah frekuensi tegangan dan berfungsi untuk menghindari lonjakan *starting* awal

DAFTAR PUSTAKA

Akpoyibo, F. E., & Ezechukwu, A. O. (2020). A review of transient in electrical systems. *Iconic Research and Engineering Journals*, *3*(11), 221–228.

Assah, Y. F., & Indriaty, F. (2018). Pengaruh lama penyimpanan terhadap mutu gula cair dari nira aren. Jurnal Penelitian Teknologi Industri, 10(1), 1–10.

Birri, A. (2023). Perbandingan Energi Listrik Antara Mesin Pompa Air Berbasis Timer dan Sensor Kelembaban Tanah (Skripsi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh).

Brownson, M. (2024). Voltage spikes: Their impacts and how to mitigate them. *Backer Marathon*.

Bunganaen, W. (2018). Analisis efisiensi dan kehilangan air pada jaringan utama daerah irigasi Air Sagu. Jurnal Informasi Teknik, 8(2), 80–93.

Dandy, M., Muchtar, M., & Muchtar, T. (2022). Rancang bangun sistem kendali pompa otomatis kapal nelayan menggunakan panel surya berbasis Arduino. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri IX, 1, 54–58.

Darmawan, A. I., & Nazaruddin. (2015). Kaji pembuatan sistem kontrol mesin vacuum evaporator penurun kadar air madu kapasitas 50 liter. JOM FTEKNIK, 2(2), 1–6.

Fitriyah, Q., Setyawan, A. A. D., & Widodo, M. E. (2020). Aplikasi hukum Bernoulli pada alat peraga flow meter untuk praktikum mekanika fluida. Prosiding Seminar Nasional NCIET, 1, B277–B285.

Helmizar, H., Setiawan, E., & Nuramal, A. (2019). Karakteristik aliran pada susunan pompa yang berbeda head secara seri dan paralel. Jurnal Rekayasa Mekanik, 3(1), 31–35.

Huda, S. (2008). Evaporasi Vakum pada Pengolahan Madu dan Karakteristik Produk Akhirnya. Jurnal Teknologi Pertanian, 9(2), 89–95.

Huebsch, W. W., Munson, B. R., Okiishi, T. H., & Rothmayer, A. P. (2013). Fundamentals of fluid mechanics (7th ed.). Wiley.

Imansyah, N., & Widiastuti, S. H. (2022). Sistem kontrol dan monitoring penggunaan air berbasis IoT menggunakan modul ESP8266. Jurnal Informasi dan Teknologi, 4(3), 108–113. https://doi.org/10.37034/jidt.v4i3.207

Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2007). Fundamentals of heat and mass transfer (6th ed.). Wiley.

Ismiyati, & Sari, F. (2020). Identifikasi kenaikan titik didih pada proses evaporasi terhadap konsentrasi larutan sari jahe. Konversi: Jurnal Teknologi Konversi Energi, 9(2), 33–39.

Khoirun Nisa', Q. A. (2018). Analisis optimasi kadar vitamin C dari filtrat buah nanas (Ananas comosus L Merr) menggunakan sistem evaporator vacuum. Inovasi Teknik Kimia, 3(2), 41–47.

Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. (1994). Fundamentals of fluid mechanics (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Nuradi, & Hadimanto. (n.d.). Perancangan evaporator dan unit penunjang pada sistem rangkaian mesin produksi gula aren. Jurnal Teknik Mesin.

Primanto, I. A. (2015). Analisis Penghematan Energi Listrik pada Sistem Pompa Air Menggunakan Altivar-312 (Skripsi, Universitas Brawijaya).

Puspawan, A., & Leonanda, B. D. (2022). Analisa head losses dan efisiensi pompa sentrifugal Vogel dari instalasi menara pendingin ke penampung utama. Jurnal Inersia, 14(2), 117–125. https://doi.org/10.33369/ijts.14.2.117-125

Putro, E. P., Widodo, E., Fahruddin, A., & Iswanto. (2020). Analisis head pompa sentrifugal pada rangkaian seri dan paralel. Media Mesin: Majalah Teknik Mesin, 21(2), 46–56.

Șcheaua, F. D. (2016). Theoretical approaches regarding the Venturi effect. Hidraulica: Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensorics, Mechatronics, 3, 69–72.

Siswanto, & Nurul Widji T. (2017). Perancangan vacuum evaporator metode liquid ring vacuum pump. Jurnal Teknik Kimia, 12(1), 24–26.

Soeswanto, B., Maulida, R. S., & Simanjuntak, Y. T. B. (2023). Pembuatan gula cair dari nira aren (Arenga pinnata) pada kondisi vakum. Chemica Isola, 3(2), 182–187. https://doi.org/10.24853/jpmt.5.2.87-92

Syakdani, A., Purnamasari, I., & Necessary, E. (2019). Prototipe alat evaporator vakum (efektivitas temperatur dan waktu evaporasi terhadap tekanan vakum dan laju evaporasi pada pembuatan sirup buah mengkudu). Jurnal Kinetika, 10(2), 29–35.

Widiastuti, E., Lintang, N., Lydia, B., Marlina, A., Soeswanto, B., & Santoso, B. (2023). Perbaikan proses evaporasi produksi gula aren (semut) di kelompok tani hutan Bunikasih Jaya Cupunagara Subang. Jurnal Pengabdian Masyarakat Teknik, 5(2), 87–92. https://jurnal.umj.ac.id/index.php/jpmt

Wiyono, S., Erwin, E., & Abdullah, S. (2020). Unjuk kerja vacuum evaporator untuk menghasilkan gula cair aren. Teknika: Jurnal Teknik, 8(2), 123–128.

LAMPIRAN

DATA PENGUJIAN DENGAN KONTROL TEKANAN

No	Pressure	Temp	Heater				Pompa			
	Bar	C	V	A	W	kWh	V	A	W	kWh
1	-0,556	28,7	231,3	2,37	543,3	0,02	231,7	2,45	566,9	0,03
2	-0,623	28,8	230,7	2,38	546,2	0,03	231,3	2,45	565,4	0,04
3	-0,665	29	230,9	2,38	546,7	0,04	231,3	2,45	565,4	0,05
4	-0,693	29,3	231	2,39	549,2	0,05	231,8	2,46	569	0,06
5	-0,712	30	231,1	2,39	549,5	0,06	231,9	2,46	569,2	0,07
6	-0,706	30,5	237,2	0,01	0,21	0,07	235,4	2,5	587,3	0,08
7	-0,684	30,7	237,2	0,01	0,21	0,07	235,5	2,5	587,5	0,09
8	-0,697	31,3	232,4	2,39	552	0,07	232,3	2,46	570,2	0,1
9	-0,715	31,5	230,9	2,38	546,7	0,08	231	2,45	564,7	0,11
10	-0,701	32	236,1	0,01	0,21	0,08	234,3	2,48	579,8	0,12
11	-0,679	32,5	235,9	0,01	0,21	0,08	234,1	2,48	579,3	0,13
12	-0,702	32,7	230,9	2,38	546,7	0,09	230,8	2,45	564,2	0,14
13	-0,718	33,2	230,8	2,38	547,1	0,1	230,7	2,45	564	0,15
14	-0,696	33,7	235,8	0,01	0,21	0,1	234,1	2,48	579,3	0,16
15	-0,682	33,9	230,3	2,38	545,9	0,11	230,6	2,44	561,4	0,17
16	-0,705	34,3	229,6	2,37	541,9	0,11	230,4	2,44	560,9	0,18
17	-0,714	34,8	236	0,01	0,21	0,12	234,3	2,48	579,8	0,19
18	-0,692	35,2	236	0,01	0,21	0,12	234,3	2,48	579,8	0,2
19	-0,689	35,5	230,9	2,38	547,3	0,13	230,7	2,45	564	0,21
20	-0,709	35,9	230,6	2,38	546,6	0,14	230,3	2,44	560,7	0,22
21	-0,709	36,3	235,5	0,01	0,21	0,14	233,8	2,48	578,6	0,23
22	-0,686	36,6	235,6	0,01	0,21	0,14	233,9	2,48	578,8	0,24
23	-0,695	37,1	230,7	2,38	546,8	0,15	230,3	2,44	560,7	0,25
24	-0,714	37,4	230,9	2,38	547,3	0,16	230,5	2,44	561,2	0,26
25	-0,703	37,8	235,8	0,01	0,21	0,16	234,1	2,48	579,3	0,27
26	-0,68	38,1	235,7	0,01	0,21	0,16	234	2,48	579,1	0,28
27	-0,701	38,5	230,9	2,38	546,7	0,17	230,7	2,45	564	0,29
28	-0,718	38,8	230,5	2,38	545,7	0,18	230,4	2,44	560,9	0,3
29	-0,696	39,3	235,9	0,01	0,21	0,18	234,1	2,48	579,3	0,31
30	-0,684	39,6	231	2,38	546,9	0,18	230,7	2,45	564	0,32
31	-0,707	39,9	231,1	2,38	547,2	0,19	231	2,45	564,7	0,33
32	-0,711	40,3	236,3	0,01	0,21	0,2	234,5	2,49	582,7	0,34
33	-0,689	40,7	236,1	0,01	0,21	0,2	234,4	2,49	582,4	0,35
34	-0,692	41,1	231	2,38	547,5	0,2	230,6	2,45	563,7	0,36
35	-0,713	41,4	230,8	2,38	547,1	0,21	230,5	2,45	563,5	0,37
36	-0,704	41,8	236,2	0,01	0,21	0,22	234,4	2,49	582,4	0,38
37	-0,682	42,1	236,1	0,01	0,21	0,22	234,3	2,49	582,2	0,39
38	-0,699	42,5	231,4	2,39	550,2	0,22	231,1	2,45	564,9	0,4
39	-0,718	42,9	230,9	2,38	546,7	0,23	230,7	2,45	564	0,41

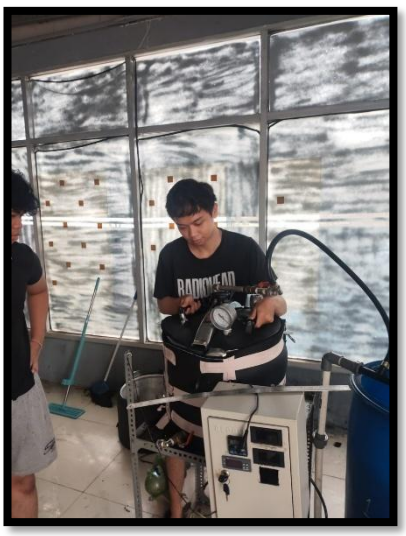
40	-0,697	43,2	235,8	0,01	0,21	0,23	234	2,48	579,1	0,42
41	-0,683	43,6	231,8	2,39	551,2	0,24	231,2	2,45	569,8	0,43
42	-0,707	44	231,8	2,39	551,2	0,25	231,2	2,45	565,2	0,44
43	-0,711	44,3	236,4	0,01	0,21	0,25	234,9	2,49	583,7	0,45
44	-0,688	44,7	236,6	0,01	0,21	0,25	234,8	2,49	583,4	0,46
45	-0,694	45,1	231,9	2,39	551,4	0,26	231,5	2,46	568,2	0,46
46	-0,714	45,4	230,8	2,38	546,5	0,27	230,9	2,45	564,5	0,47
47	-0,702	45,7	236,1	0,01	0,21	0,27	234,4	2,49	582,4	0,48
48	-0,678	46,1	237,7	0,01	0,21	0,27	236	2,5	588,8	0,49
49	-0,705	46,5	232	2,39	551	0,28	232,2	2,46	570	0,5
50	-0,714	46,7	237,4	0,01	0,21	0,29	235,6	2,5	587,8	0,51
51	-0,691	47,2	237,1	0,01	0,21	0,29	235,4	2,5	587,3	0,52
52	-0,692	47,5	230,1	237	543,1	0,29	230,4	2,44	560,9	0,53
53	-0,713	47,8	230,1	2,38	545,9	0,3	230,5	2,45	563,5	0,54
54	-0,703	48,3	235,9	0,01	0,21	0,3	234,2	2,49	581,9	0,55
55	-0,679	48,6	235,9	0,01	0,21	0,3	234,2	2,49	581,9	0,56
56	-0,704	48,8	230,1	2,38	545,4	0,31	230,4	2,44	560,9	0,57
57	-0,714	49,3	236	0,01	0,21	0,32	234,3	2,49	582,2	0,58
58	-0,69	49,6	236,3	0,01	0,21	0,32	234,6	2,49	582,9	0,59
59	-0,693	49,9	232,1	2,39	551,3	0,33	231,9	2,46	569,2	0,6
60	-0,714	50,3	232,5	2,39	552,2	0,34	232,3	2,46	570,2	0,61
61	-0,701	50,6	236,7	0,01	0,21	0,34	235	2,49	583,9	0,62
62	-0,678	51	227,5	2,39	540,4	0,34	231,2	2,46	567,5	0,63
63	-0,706	51,2	231,1	2,38	547,2	0,35	231,1	2,45	564,9	0,64
64	-0,712	51,7	235,9	0,01	0,21	0,36	234,3	2,49	582,2	0,65
65	-0,687	52	235,9	0,01	0,21	0,36	234,2	2,49	581,9	0,66
66	-0,696	52,3	231	2,38	548,9	0,36	230,8	2,45	564,2	0,67
67	-0,716	52,7	230,6	2,38	546,6	0,37	230,6	2,45	563,7	0,68
68	-0,698	53,1	235,8	0,01	0,21	0,37	234	2,48	579,1	0,69
69	-0,684	53,4	231,6	2,39	550,1	0,37	231,5	2,46	568,2	0,7
70	-0,709	53,6	231,4	2,39	549,6	0,38	231,5	2,46	568,2	0,71
71	-0,707	54	237,7	0,01	0,21	0,39	236	2,5	588,8	0,72
72	-0,683	54,3	237,7	0,01	0,21	0,39	236	2,51	591,1	0,73
73	-0,702	54,6	232	2,39	551,6	0,4	232	2,46	569,5	0,74
74	-0,715	55,1	237,3	0,01	0,21	0,41	235,5	2,5	587,5	0,75
75	-0,69	55,3	237,5	0,01	0,21	0,41	235,7	2,5	588	0,76
76	-0,695	55,7	231,6	2,38	548,4	0,41	231,7	2,46	568,7	0,77
77	-0,716	56	231,1	2,38	547,8	0,42	231,3	2,45	565,4	0,78
78	-0,696	56,3	235,8	0,01	0,21	0,42	234,1	2,48	579,3	0,79
79	-0,687	56,7	230,6	2,41	553,4	0,43	230,3	2,44	560,7	0,8
80	-0,711	56,9	230,9	2,39	549	0,43	230,7	2,45	564	0,81
81	-0,703	57,3	236,4	0,01	0,21	0,44	234,6	2,49	582,9	0,82
82	-0,678	57,5	237,1	0,01	0,21	0,44	235,4	2,5	587,3	0,83

83	-0,707	57,9	232,2	2,39	552,1	0,45	231,7	2,46	568,7	0,84
84	-0,708	58,2	237,2	0,01	0,21	0,46	235,5	2,5	587,5	0,85
85	-0,683	58,5	237,2	0,01	0,21	0,46	235,5	2,5	587,5	0,86
86	-0,703	58,8	231,8	2,39	551,2	0,46	231,6	2,46	568,5	0,87
87	-0,714	59,2	237	0,01	0,21	0,47	235,2	2,5	586,8	0,88
88	-0,687	59,5	237,4	0,01	0,21	0,47	235,6	2,5	587,8	0,89
89	-0,698	59,8	231,7	2,38	548	0,48	231,8	2,46	569	0,9
90	-0,718	60,1	231	2,38	546,9	0,49	231	2,45	564,7	0,91
91	-0,691	60,5	236,2	0,01	0,21	0,49	234,5	2,49	582,7	0,92
92	-0,695	60,7	230,9	2,38	547,3	0,49	231,4	2,46	568	0,93
93	-0,716	61,1	231,3	2,39	550,5	0,5	231,5	2,46	568,2	0,94
94	-0,694	61,4	236,1	0,01	0,21	0,5	234,3	2,49	582,2	0,95
95	-0,692	61,6	232,3	2,39	552,3	0,51	232,2	2,46	570	0,96
96	-0,714	61,9	232,3	2,39	552,3	0,52	232,3	2,47	572,5	0,97
97	-0,696	62,2	237,9	0,01	0,21	0,52	236,1	2,51	591,4	0,98
98	-0,689	62,5	232,6	2,39	552,5	0,52	232,7	2,47	573,5	0,99
99	-0,714	62,8	232,1	2,39	551,3	0,53	232,5	2,47	573	1
100	-0,698	63	237,4	0,01	0,21	0,54	235,7	2,5	588	1,01
101	-0,688	63,3	232,3	2,39	551,7	0,54	232,2	2,46	570	1,02
102	-0,713	63,7	230,6	2,38	546,6	0,55	230,7	2,45	564	1,03
103	-0,7	63,9	237,2	0,01	0,21	0,55	235,5	2,5	587,5	1,04
104	-0,684	64,2	232	2,38	549,3	0,55	231,9	2,46	569,2	1,05
105	-0,712	64,5	230,6	2,38	546,6	0,56	231,2	2,45	565,2	1,06
106	-0,704	64,6	235,4	0,01	0,21	0,57	233,7	2,48	578,3	1,07
107	-0,679	64,7	236	0,01	0,21	0,57	234,3	2,49	582,2	1,08
108	-0,71	65	234,6	2,4	558,4	0,58	236,3	0	0	1,08
109	-0,7	64,8	240,3	0,01	0,22	0,58	240,2	0	0	1,08
110	-0,68	64,7	240,2	0,01	0,22	0,58	240,2	0	0	1,08
111	-0,714	64,6	234,8	2,4	558,4	0,59	236,4	0	0	1,08
112	-0,696	64,4	239,9	0,01	0,21	0,59	239,8	0	0	1,08
113	-0,689	64,3	234,7	2,4	558,6	0,6	236,2	0	0	1,08
114	-0,717	64,2	234,5	2,4	558,2	0,61	236,4	0	0	1,08
115	-0,691	64	240	0,01	0,22	0,61	239,9	0	0	1,08
116	-0,696	63,9	234	2,4	557,6	0,61	236,2	0	0	1,08
117	-0,716	63,8	239,4	0,01	0,21	0,62	239,3	0	0	1,08
118	-0,688	63,7	239,4	0,01	0,21	0,62	239,4	0	0	1,08
119	-0,701	63,6	234,8	2,4	558,9	0,63	236,1	0	0	1,08
120	-0,71	63,5	239,9	0,01	0,21	0,63	239,8	0	0	1,08

DATA PENGUJIAN TANPA KONTROL TEKANAN

No	Pressure	Temp	Heater				Pompa			
	Bar	C	V	A	W	kWh	V	A	W	kWh
1	-0,554	29,1	232,4	2,37	547,3	0,02	232,2	2,47	572,3	0,02
2	-0,613	29,1	232,7	2,38	550,4	0,03	232,4	2,47	572,8	0,03
3	-0,649	29,1	233	2,38	551,1	0,04	232,7	2,47	573,5	0,04
4	-0,672	29,1	233	2,38	551,1	0,05	232,7	2,47	573,5	0,05
5	-0,687	29,3	233,1	2,39	553,7	0,06	232,8	2,47	573,8	0,06
6	-0,698	29,5	233,1	2,38	551,3	0,07	232,8	2,47	573,8	0,07
7	-0,705	29,8	232,5	2,38	550,5	0,08	232,4	2,47	572,8	0,08
8	-0,712	30,1	232,5	2,38	550,5	0,09	232,6	2,47	573,3	0,09
9	-0,72	30,4	232,6	2,38	550,7	0,1	232,5	2,47	573	0,1
10	-0,726	30,7	232,4	2,38	550,3	0,11	232,4	2,47	572,8	0,11
11	-0,73	31	232,4	2,38	550,3	0,12	232,2	2,47	572,3	0,12
12	-0,734	31,2	232,1	2,38	549,5	0,13	232,2	2,47	572,3	0,13
13	-0,736	31,6	232,3	2,38	550	0,14	232,2	2,47	572,3	0,14
14	-0,738	31,9	232,4	2,38	550,3	0,15	232,5	2,47	573	0,15
15	-0,739	32,2	232,4	2,38	550,3	0,16	232,6	2,47	573,3	0,16
16	-0,741	32,5	232,3	2,38	550	0,17	232,5	2,47	573	0,17
17	-0,741	32,8	232,4	2,39	552,6	0,18	232,3	2,47	572,5	0,18
18	-0,742	33,2	232,3	2,39	552,3	0,19	232,2	2,47	572,3	0,19
19	-0,742	33,5	232,5	2,39	552,8	0,2	232,5	2,47	573	0,2
20	-0,743	33,8	232,4	2,39	552,6	0,21	232,5	2,47	573	0,21
21	-0,742	34,1	232,5	2,39	552,8	0,22	232,4	2,47	572,8	0,22
22	-0,743	34,5	232,1	2,38	549,5	0,22	232,1	2,47	572	0,23
23	-0,743	34,7	232,1	2,38	549,5	0,23	232,1	2,47	572	0,24
24	-0,744	35,1	232	2,38	549,3	0,24	232	2,47	571,8	0,25
25	-0,744	35,4	232,2	2,38	549,8	0,25	232,3	2,47	572,5	0,26
26	-0,744	35,8	232,3	2,38	550	0,26	232,3	2,47	572,5	0,27
27	-0,744	36,1	232,4	2,39	552,6	0,27	232,4	2,47	572,8	0,28
28	-0,744	36,4	232,1	2,39	552,4	0,28	232	2,47	571,8	0,29
29	-0,744	36,7	232	2,39	552,1	0,29	231,9	2,47	571,5	0,3
30	-0,744	37,1	232,4	2,39	552,6	0,3	232,3	2,47	572,5	0,31
31	-0,744	37,4	232,4	2,39	552,6	0,31	232,3	2,47	572,5	0,32
32	-0,744	37,7	232,3	2,39	552,3	0,32	232,3	2,47	572,5	0,33
33	-0,745	38,1	232,2	2,39	552,1	0,33	232,2	2,47	572,3	0,34
34	-0,745	38,4	232,1	2,39	552,4	0,34	232,1	2,47	572	0,35
35	-0,745	38,7	232,1	2,38	549,5	0,35	231,9	2,47	571,5	0,36
36	-0,745	39	232,2	2,38	549,8	0,36	231,9	2,47	571,5	0,37
37	-0,745	39,3	232	2,38	549,3	0,37	231,8	2,46	569	0,38
38	-0,745	39,8	232,4	2,39	552,6	0,38	232,2	2,47	572,3	0,39
39	-0,745	40,3	232,2	2,39	552,1	0,39	232	2,47	571,8	0,4

40	-0,745	40,6	232,3	2,39	552,3	0,4	232,1	2,47	572	0,41
41	-0,745	40,9	232,8	2,39	553,5	0,41	232,6	2,47	573,3	0,42
42	-0,745	41,3	232,5	2,39	552,8	0,41	232,4	2,47	572,8	0,43
43	-0,745	41,5	233,2	2,4	556,8	0,42	233,2	2,48	577,1	0,44
44	-0,745	41,8	233	2,39	554	0,43	232,9	2,48	576,3	0,45
45	-0,745	42,2	233,3	2,39	554,7	0,44	233	2,48	576,6	0,46
46	-0,745	42,5	233,2	2,4	556,8	0,45	232,9	2,48	576,3	0,47
47	-0,745	42,8	233,3	2,4	557,1	0,46	232,9	2,48	576,3	0,48
48	-0,745	43,1	232,9	2,39	553,8	0,47	232,5	2,47	573,8	0,49
49	-0,746	43,4	232,9	2,39	553,8	0,48	232,6	2,47	573,9	0,5
50	-0,746	43,8	232,7	2,39	553,3	0,49	232,3	2,47	572,5	0,51
51	-0,746	44,2	232,6	2,39	553,1	0,5	232,3	2,47	572,5	0,52
52	-0,746	44,5	232,9	2,39	553,8	0,51	232,7	2,47	573,5	0,53
53	-0,746	44,8	232,9	2,39	553,8	0,52	232,5	2,47	573	0,54
54	-0,746	45,2	233,1	2,4	556,6	0,53	232,7	2,47	573,5	0,55
55	-0,746	45,4	232,7	2,39	553,3	0,54	232,5	2,47	573	0,56
56	-0,747	45,8	232,5	2,39	552,8	0,55	232,4	2,47	572,8	0,57
57	-0,747	46,2	232,5	2,39	552,8	0,56	232,4	2,47	572,8	0,58
58	-0,747	46,5	233	2,39	558,8	0,57	232,7	2,48	575,8	0,59
59	-0,747	46,8	233,1	2,4	556,6	0,58	232,8	2,48	576,1	0,6
60	-0,747	47,1	233,1	2,4	556,6	0,59	232,8	2,48	576,7	0,61
61	-0,747	47,5	232,9	2,39	553,8	0,6	232,7	2,47	579,5	0,62
62	-0,747	47,8	232,7	2,39	553,3	0,61	232,6	2,47	573,3	0,63
63	-0,747	48,1	233	2,39	554	0,62	232,9	2,48	576,3	0,64
64	-0,748	48,5	232,8	2,39	553,3	0,63	232,7	2,48	575,8	0,65
65	-0,748	48,8	232,8	2,39	553,5	0,63	232,7	2,48	575,8	0,66
66	-0,748	49,1	232,7	2,39	553,3	0,64	232,5	2,47	573	0,67
67	-0,748	49,5	232,5	2,4	555,2	0,65	232,4	2,47	572,8	0,68
68	-0,748	49,8	232,6	2,39	553,1	0,66	232,5	2,47	573	0,69
69	-0,748	50,1	232,8	2,4	555,9	0,67	232,7	2,48	575,8	0,7
70	-0,748	50,5	233,1	2,4	556,6	0,68	232,9	2,48	576,3	0,71
71	-0,749	50,8	232,8	2,4	555,9	0,69	232,8	2,48	576,1	0,72
72	-0,749	51,1	232,6	2,4	555,9	0,7	232,6	2,47	573,3	0,73
73	-0,749	51,5	232,7	2,4	556,1	0,71	232,6	2,47	573,3	0,74
74	-0,749	51,8	233	2,4	556,4	0,72	232,7	2,48	575,8	0,75
75	-0,749	52,1	233	2,4	556,4	0,73	232,6	2,47	573,3	0,76
76	-0,749	52,4	233	2,4	556,4	0,74	232,9	2,48	576,3	0,77
77	-0,749	52,8	232,7	2,4	555,6	0,75	232,6	2,47	573,3	0,78
78	-0,749	53,1	233	2,4	556,4	0,76	232,8	2,48	576,1	0,79
79	-0,749	53,5	232,8	2,4	555,9	0,77	232,6	2,47	573,3	0,8
80	-0,749	53,8	233	2,4	556,4	0,78	232,8	2,48	576,1	0,81
81	-0,75	54,1	233,1	2,4	556,6	0,79	232,7	2,48	575,8	0,82
82	-0,75	54,5	233	2,4	556,4	0,8	232,8	2,48	576,1	0,83

83	-0,75	54,7	232,8	2,4	555,9	0,81	232,5	2,47	573	0,84
84	-0,751	55,1	232,9	2,4	556,1	0,82	232,5	2,47	573	0,85
85	-0,751	55,5	233	2,4	556,4	0,83	232,8	2,48	576,1	0,86
86	-0,751	55,9	232,9	2,4	556,1	0,84	232,7	2,48	575,8	0,87
87	-0,749	56,2	232,9	2,4	556,1	0,85	232,7	2,48	575,8	0,88
88	-0,749	56,6	232,4	2,39	552,6	0,86	232,3	2,47	572,5	0,89
89	-0,748	57	232,7	2,39	553,3	0,86	232,5	2,47	573	0,9
90	-0,747	57,3	232,9	2,4	556,1	0,87	232,6	2,47	573,3	0,91
91	-0,747	57,7	233,1	2,4	556,6	0,88	232,9	2,48	576,3	0,92
92	-0,746	58,2	233,1	2,4	556,6	0,89	232,9	2,48	576,3	0,93
93	-0,745	58,6	233,2	2,4	556,8	0,9	232,8	2,48	576,1	0,94
94	-0,745	59	232,8	2,4	555,9	0,91	232,5	2,47	573	0,95
95	-0,744	59,4	232,6	2,39	553,1	0,92	232,3	2,47	572,5	0,96
96	-0,744	59,9	232,6	2,4	555,4	0,93	232,4	2,47	572,8	0,97
97	-0,743	60,4	232,4	2,39	552,6	0,94	232,3	2,47	572,5	0,98
98	-0,743	60,9	232,5	2,39	552,8	0,95	232,4	2,47	572,8	0,99
99	-0,743	61,5	232,6	2,4	555,4	0,96	232,2	2,47	572,3	1
100	-0,743	62,1	232,4	2,4	554,9	0,97	232,4	2,47	572,8	1,01
101	-0,742	62,6	232,4	2,39	553,1	0,98	232,2	2,47	572,3	1,02
102	-0,742	63,2	233	2,4	556,4	0,99	232,5	2,48	575,4	1,03
103	-0,742	63,6	232,5	2,39	552,8	1	232,3	2,47	572,5	1,04
104	-0,742	64,1	232,9	2,39	553,8	1,01	232,5	2,48	575,4	1,05
105	-0,742	64,6	232,8	2,39	559,5	1,02	232,5	2,47	573	1,06
106	-0,741	64,7	233,1	2,4	556,6	1,03	232,8	2,48	576,1	1,07
107	-0,74	64,8	233,5	2,4	557,5	1,04	233,1	2,48	576,8	1,08
108	-0,741	65	236,7	2,43	570,4	1,05	237,9	0	0	1,09
109	-0,741	64,9	236,8	2,43	570,7	1,06	238	0	0	1,09
110	-0,741	64,7	236,6	2,43	570,3	1,07	237,7	0	0	1,09
111	-0,741	64,4	236,1	2,42	566,7	1,08	237,2	0	0	1,09
112	-0,74	64,1	236,3	2,42	567,2	1,09	237,3	0	0	1,09
113	-0,74	63,9	236,1	2,42	566,7	1,1	237,4	0	0	1,09
114	-0,74	63,7	236,7	2,43	569,9	1,11	237,8	0	0	1,09
115	-0,74	63,5	236,5	2,43	569,4	1,12	237,6	0	0	1,09
116	-0,74	63,3	236,6	2,43	570,3	1,13	237,6	0	0	1,09
117	-0,74	63,2	236,5	2,43	570	1,14	237,7	0	0	1,09
118	-0,74	63	237	2,43	570,7	1,15	238,1	0	0	1,09
119	-0,739	62,8	236,7	2,43	569,9	1,16	237,9	0	0	1,09
120	-0,739	62,7	236,8	2,43	570,2	1,17	238	0	0	1,09

LAMPIRAN PENGAMBILAN DATA