

**EKSPERIMEN ALAT KONTROL BERBASIS ESP32 PADA
VACUUM EVAPORATOR UNTUK PENGOLAHAN 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:

BIMO SAPUTRO

NPM. 3331200024

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

2024

**EKSPERIMEN ALAT KONTROL BERBASIS ESP32 PADA
VACUUM EVAPORATOR UNTUK PENGOLAHAN 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:

BIMO SAPUTRO

NPM. 3331200024

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

2024

TUGAS AKHIR

EKSPERIMEN ALAT KONTROL BERBASIS ESP32 PADA VACUUM EVAPORATOR UNTUK PENGOLAHAN GULA AREN CAIR

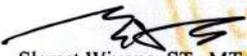
Dipersiapkan dan disusun Oleh :

Bimo Saputro
3331200024

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 26 Juni 2024

Pembimbing Utama

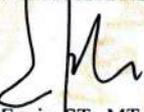

Dr. Erwin, ST., MT.
NIP.197310062009121001


Slamet Wiyono, ST., MT.
NIP.197312182005011001

Anggota Dewan Penguji


Dr. Hamdan Akbar Notonegoro, S.Si., M.Si.
NIP.197901292010121002


Hadi Wahyudi, MT., Ph.D.
NIP. 197101162002121001


Dr. Erwin, ST., MT.
NIP.197310062009121001


Slamet Wiyono, ST., MT.
NIP.197312182005011001

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



Tanggal, 03 Juli 2024
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng.
NIP. 198305102012121006

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi

EKSPERIMEN ALAT KONTROL BERBASIS ESP32 PADA VACUUM EVAPORATOR UNTUK PENGOLAHAN GULA AREN CAIR

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

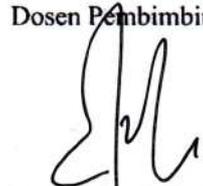
Bimo Saputro

3331200024

Telah disetujui oleh dosen pembimbing skripsi

Pada tanggal 05 Juli 2024

Dosen Pembimbing 1,



Dr. Erwin, S.T., M.T

NIP. 197310062009121001

Dosen Pembimbing 2,



Slamet Wiyono, S.T., M.T

NIP. 197312182005011001

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan

Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal 06 Juli 2024

Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng.

NIP. 198305102012121006

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Bimo Saputro

NPM : 3331200024

Judul : Eksperimen Alat Kontrol Berbasis ESP32 Pada Vacuum Evaporator Untuk
Pengolahan Gula Aren Cair

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,

MENYATAKAN

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

Cilegon 10 Juli 2024



Bimo Saputro
NPM. 3331200024

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, Karena telah melimpahkan rahmat dan karunianya sehingga saya dapat menyelesaikan untuk sidang tugas akhir ini dengan judul "Eksperimen Alat Kontrol ESP32 Pada *Vacuum evaporator* Untuk Pengolahan 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 Dhimas Satria, ST., M.Eng. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Bapak Dr. Erwin, S.T., MT., dan Bapak Slamet Wiyono S.T., M.T., Selaku Dosen Pembimbing yang sudah membantu dan memberikan arahnya.
3. Ibu Dr.Ir. Ni Ketut Caturwati, M.T. Selaku Dosen pembimbing akademik.
4. Bapak Dr. Mekro Permana Pinem S.T., M.T., Selaku koordinator tugas akhir periode saat ini di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
5. Seluruh Dosen jurusan teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
6. Orang tua penulis yaitu Pudiantoro dan Sri Rejeki serta keluarga yang senantiasa memberikan dukungan dan doa selama melakukan penelitian ini.
7. Seluruh teman-teman teknik mesin angkatan 2020 Univerisitas Sultan Ageng Tirtayasa.
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.
9. Seluruh Pihak yang membantu dalam hal praktik maupun teori dalam hal terkait penelitian. Penulis sangat menyadari bahwasanya proposal ini belum sempurna. Maka dari itu saya terbuka akan saran dan kritik agar dapat membangun pribadi saya yang lebih baik.

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

Cilegon, 10 Mei 2024

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Bimo Saputro', written in a cursive style.

Bimo Saputro

3331200024

ABSTRAK

Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai laju evaporasi pada *vacuum evaporator* untuk gula aren cair dengan sistem Kontrol ESP32 yang terpasang pada *vacuum evaporator* dan membuat optimalisasi pada gula aren cair. Penelitian dilakukan dengan memasang kontrol sistem ESP32 ke dalam perangkat alat *vacuum evaporator* yang ditujukan untuk mempermudah pemantauan dalam pengolahan gula aren cair, dengan pemasakan ditemperatur kurang dari 80°C atau lebih spesifiknya diangka 62-66°C dengan tekanan stabil diangka 0,75 - 0,7 bar. Menggunakan berat nira aren cair sebanyak 21,4 Kg dan untuk nilai *brix* awal sebesar 11 °*brix*. Dilakukan pemasakan hingga nilai *brix* mencapai 65 yang memakan waktu 17 jam pemasakan dengan pengecekan atau bentuk validasi dari nilai *brix* telah mencapai 65 °*brix* adalah dengan melakukan pemantauan kenaikan nilai *brix* menggunakan refractometer. Hasil penelitian menunjukkan bahwasanya nilai laju evaporasi yang diukur per 1 jam didapatkan nilai rata rata sebesar 0.973529 Kg/jam. Dalam kesimpulannya penambahan sistem Kontrol ESP32 ini dapat berjalan baik hingga *output* nilai *brix* aktual menyentuh 65 °*brix* tercapai, namun perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui efek dari penambahan temperatur yang lebih tinggi apakah dapat berpengaruh pada nilai laju evaposarinya selama pengolahannya.

Kata Kunci : *brix*, gula aren cair, laju evaporasi, sistem kontrol ESP32, *vacuum evaporator*

ABSTRACT

This study aims to determine the value of the evaporation rate in a vacuum evaporator for liquid palm sugar with an ESP32 control system attached to the vacuum evaporator and make optimisation of liquid palm sugar. The research was conducted by installing an ESP32 control system into a vacuum evaporator device intended to facilitate monitoring in the processing of liquid palm sugar, with cooking at temperatures less than 80 °C or more specifically at 62-66 °C with stable pressure at 0.75 - 0.7 bar. Using a weight of 21.4kg of liquid palm juice and an initial brix value of 11 obrix. Cooking was carried out until the brix value reached 65 which took 17 hours of cooking by checking or validating the brix value had reached 65 °brix by monitoring the increase in brix value using a refractometer. The results showed that the value of the evaporation rate measured per 1 hour obtained an average value of 0.973529 Kg / hour. In conclusion, the addition of the ESP32 Control system can run well until the actual brix value output touching 65 °brix is reached, but further research needs to be done to find out the effect of adding higher temperatures whether it can affect the value of the evaporation rate during processing.

Keywords: brix, liquid palm sugar, evaporation rate, ESP32 control system, vacuum evaporator

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	ixi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Staage of art</i>	4
2.2 Aren (<i>Arenga pinnata</i>).....	6
2.3 Nira Aren Cair.....	7
2.4 <i>Vacuum evaporator</i>	8
2.5 Evaporasi.....	10
2.6 <i>Brix</i>	11
2.7 Mikontroler ESP32.....	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	13

3.2	Prosedur Penelitian	15
3.3	Alat dan Bahan yang digunakan.....	16
3.3.1	Alat yang digunakan	16
3.3.2	Bahan yang digunakan	20
3.4	Metode Penelitian	20
3.5	<i>Setup Experiment</i>	21
3.6	Perencanaan Data Penelitian	22

BAB IV DATA DAN ANALISA

4.1	<i>Vacuum evaporator</i> dengan Sistem Kontrol ESP32.....	19
4.2	Hasil Pengujian Performa <i>Vacuum evaporator</i> dengan Sistem Kontrol ESP32.....	20
4.2.1	Perbandingan Nilai <i>Brix</i> Aktual dan <i>Brix</i> Kontrol ESP32 Terhadap Waktu.....	21
4.2.2	Perbandingan Nilai <i>Brix</i> Kontrol ESP32 dan Berat Terhadap Waktu.....	22
4.2.3	Perbandingan Nilai <i>Brix</i> Aktual dan Berat Terhadap Waktu.....	23
4.2.4	Perbandingan Nilai Laju Evaporasi Terhadap Waktu.....	25
4.2.5	Perbandingan Sensor Suhu Kontrol ESP32 dan <i>Thermocuople</i> Terhadap Waktu.....	26
4.3	Hasil dan Pembahasan Performa <i>Vacuum evaporator</i>	28

BAB V KESIMPULAN

5.1	Kesimpulan.....	30
5.2	Saran.....	31

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Lampiran Data Pengujian Aktual Menggunakan *Refractometer*
Lampiran Data Pengujian Sistem Kontrol ESP32
Lampiran Data Laju Evaporasi Perjam
Lampiran Pengambilan Data
Lampiran Pengambilan Nira Aren Cair

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Pohon Aren	7
Gambar 2.2 Nira Aren Cair.....	8
Gambar 2.3 <i>Vacuum evaporator</i>	9
Gambar 2.4 <i>Refractometer</i>	11
Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian.....	13
Gambar 3.2 Kompor.....	16
Gambar 3.3 Panci Vakum.....	17
Gambar 3.4 Timbangan Digital.....	17
Gambar 3.5 <i>Refractometer</i>	17
Gambar 3.6 Termometer.....	18
Gambar 3.7 <i>Pressure gauge</i>	19
Gambar 3.8 Venturi.....	20
Gambar 3.9 ESP8266.....	21
Gambar 3.10 Loadcell.....	21
Gambar 3.11 Nira Aren Cair.....	22
Gambar 3.12 <i>Setup Experiment</i>	23
Gambar 4.1 <i>Vacuum evaporator</i> dengan Sistem Kontrol ESP32.....	25
Gambar 4.2 Nira Aren Hasil Pengolahan.....	27
Gambar 4.3 Perbandingan Nilai <i>Brix</i> Aktual dan <i>Brix</i> Kontrol ESP32 Terhadap Waktu.....	27
Gambar 4.4 Perbandingan Nilai <i>Brix</i> Kontrol ESP32 dan Berat Terhadap Waktu.....	28
Gambar 4.5 Perbandingan Nilai <i>Brix</i> Aktual dan Berat Terhadap Waktu.....	30
Gambar 4.6 Perbandingan Nilai Laju Evaporasi Terhadap Waktu.....	32
Gambar 4.7 Perbandingan Sensor Suhu Kontrol ESP32 dan <i>Thermocuople</i> Terhadap Waktu.....	34

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 <i>Stage of Art</i>	5
Tabel 2.2 Spesifikasi Mikrokontroler ESP32.....	13
Tabel 3.1 Perencanaan Data Penelitian Manual.....	22
Tabel 3.2 Perencanaan Data Penelitian Sistem Kontrol ESP32... ..	22
Tabel 4.1 Laju Evaporasi Terhadap Waktu.....	29

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nira cair adalah bahan baku penting dalam pembuatan gula aren yang diperoleh dari pada pohon-pohon palma seperti kelapa atau aren. Nira cair mengandung sejumlah gula alami seperti sukrosa, glukosa, dan fruktosa, serta beberapa mineral dan nutrisi lainnya yang berasal dari tanaman. Proses pembuatan gula aren dari nira cair melibatkan serangkaian langkah termasuk pemanasan, pengentalan, dan pemurnian untuk menghasilkan gula aren. Proses pengolahan nira cair menjadi gula aren secara tradisional memerlukan waktu yang cukup lama dengan melalui beberapa tahapan proses yang memakan waktu berhari-hari. Namun proses tersebut dapat dipangkas melalui proses menggunakan *Vacuum evaporator* dengan memanfaatkan tekanan rendah, penguapan air dari nira cair dapat dilakukan pada suhu yang lebih rendah, yang membantu mencegah kerusakan atau karamelisasi gula aren yang dihasilkan. Pengolahan nira aren cair ini membutuhkan waktu yang cukup lama, semakin banyak nira aren cair yang dimasak maka semakin lama juga proses pengolahannya, karena dibutuhkan waktu untuk mendapatkan nira dengan kadar air kurang lebih 20 %.

Dalam penelitian sebelumnya, *vacuum evaporator* pada gula aren cair ini memerlukan waktu proses selama 9 jam dan dapat menurunkan kadar air nira cair sebanyak 80% (Slamet Wiyono, Erwin, Syarif, 2021). Kemudian berdasarkan jurnal ini, menggunakan nira cair seberat 23,4 kg, dengan melakukan *vacuum* pada tekanan 0,24 atm dan menjaga temperatur pemasakan pada temperatur 77⁰ C untuk menjaga kandungan yang ada pada nira tidak hilang karna pemanasan. Dengan melakukan pengujian tersebut selama kurang lebih 9 jam, index kemanisan gula aren yang dihasilkan sebesar lebih dari 30 index *Brix*. Dimana nilai *Brix* ini menunjukkan kadar kandungan gula yang ada pada gula aren cair dalam larutan air.

Dimana pengujian ini dilakukan sedikit inovasi dari pengujian sebelumnya yaitu dengan melihat *output* pemantauan pengujian dengan menggunakan sistem kontrol ESP32 dan juga secara manual, apakah hasilnya memiliki perbedaan yang jauh atau tidak, dengan *output* nilai *Brix* yang akan menjadi acuannya. Dimana sistem kontrol ESP32 ini dimaksudkan jika hasil perbandingan ini memiliki hasil yang berbeda sedikit atau menyamai dengan hasil pengujian manual, maka penguji atau pengrajin gula aren ini tidak perlu menunggu proses pengolahan nira cair ini, namun hanya perlu memperhatikan hasil pengambilan data melalui gadget pribadi.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut ini merupakan rumusan masalah yang ada pada penelitian ini adapun seperti dibawah ini.

1. Berapakah nilai laju evaporasi pengolahan nira aren menggunakan *vacuum evaporator* dalam setiap jamnya?
2. Berapa lamakah waktu yang dibutuhkan untuk membuat nilai *Brix* pada nira cair berada pada titik yang diinginkan yaitu pada nilai *Brix* 65 ?
3. Dapatkah menggunakan alat kontrol berbasis ESP32 pada *vacuum evaporator* untuk meningkatkan kontrol dan monitoring proses produksi gula aren cair?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini dapat dilihat seperti pada di bawah ini sebagai berikut.

1. Dapat menentukan nilai laju evaporasi pengolahan nira aren menggunakan alat *vacuum evaporator* dalam setiap jamnya.
2. Dapat menentukan waktu yang dibutuhkan untuk membuat nilai *Brix* pada nira cair berada pada titik yang diinginkan yaitu pada nilai 65 °*brix*.
3. Dapat menggunakan alat kontrol berbasis ESP32 pada *vacuum evaporator* untuk meningkatkan kontrol dan monitoring proses produksi gula aren cair

1.4 Batasan Masalah

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

1. Penggunaan alat kontrol berbasis ESP32 ini memiliki *output* yaitu pada tahap monitoring pada pengolahan gula aren cair.
2. *Output* pemantauan berupa nilai *Brix* yang sudah mencapai nilai 65 pada *refractometer*.
3. Jenis cairan uji yang digunakan adalah nira aren cair segar.
4. Temperatur pemasakan dikontrol oleh ESP32 agar tidak melebihi 80°C.
5. *Vacuum evaporator* yang digunakan adalah *Vacuum evaporator External Heater*.
6. Nilai brix awal nira aren cair berkisar 10-15 °brix.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini merupakan dapat diketahuinya laju evaporasi dari *vacuum evaporator* yang disertai dengan pemantauan dengan sistem kontrol ESP32 yang baik guna mempermudah dan membuat lebih efisien pengrajin nira aren cair. Juga dapat membuat kualitas gula aren cair yang lebih baik karena dengan sistem control ESP32 temperatur dapat diatur sesuai ketentuan yang diinginkan pengrajin untuk mendapatkan kualitas yang standar sukrosa cair NO. 8779.2019.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Stage of art*

Penelitian ini menggunakan referensi dari beberapa jurnal yang ditujukan sebagai acuan untuk melakukan pengujian pada *vacuum evaporator* pada nira aren cair. Bagian *stage of art* akan dipaparkan bentuk tabel agar dapat memudahkan pembacaan dan menjelaskan tentang penelitian terdahulu. Adapun tabel *stage of art* dibuat sebagai berikut ini.

Tabel 2.1 *Stage of art*

No	Deskripsi Jurnal (Jurnal, Peneliti, Tahun)	Objek Penelitian	Hasil dan Pembahasan
1	Unjuk Kerja <i>Vacuum evaporator</i> Untuk Menghasilkan Gula Cair Aren (Syarif Abdullah, 2021)	Pengujian kerja unit <i>Vacuum evaporator</i> untuk dapat menghasilkan gula aren cair sesuai standar yang ditetapkan oleh rancangan standar gula cair Indonesia	Perbaikan dari segi waktu yang lebih cepat yaitu 9 jam 40 menit dengan tekanan <i>vacuum</i> 0,25 atm, kadar air 21%. Dengan gula cair yang dihasilkan bernilai lebih dari 30 index <i>Brix</i>

2	<p>Pembuatan Gula Cair dari Nira Aren (<i>Arenga pinnata</i>) pada Kondisi Vakum (Bambang Soeswanto, 2023)</p>	<p>Pengujian pembuatan gula cair pada kondisi vakum menggunakan <i>evaporator vacuum</i> untuk mendapatkan tekanan yang optimum, waktu evaporasi dan juga kualitas gula sesuai dengan SNI 8779:2019</p>	<p>Didapatkan kondisi optimum dari evaporasi nira aren dengan menggunakan 2 Liter aren, 300 sukrosa, dan aquadest pada tekanan 0,5 bar absolut dengan waktu 120 menit dengan kadar sukrosa sebesar 78 index <i>Brix</i>, kadar air 11,41%, kadar abu 0,02%, viskositas 6483 mPa.S dan warna L= 58,16, a = 2,09, b = 21,88. Yield yang dihasilkan sebesar 71,72%.</p>
3	<p><i>Investigation Effect of Liquid Arenga Sugar's Evaporation Temperature under Vacuum Pressure (Hilmi Maulana, 2024)</i></p>	<p>Investigasi terhadap gula aren cair untuk dapat melihat pengaruh gula aren cair pada temperature dalam keadaan tekanan <i>vacuum</i></p>	<p>Meningkatkan suhu dan tekanan vakum dapat mempercepat penguapan. Pada tekanan -0,8 bar dan suhu 80°C, pengolahan 10 kg gula aren cair diperkirakan memakan waktu 2</p>

			<p>jam 17 menit, mengurangi waktu pengolahan 80% dan meningkatkan penguapan air 200%. Hasil ini dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas gula aren cair dan mengurangi waktu pemrosesan hampir 80% sebelumnya.</p>
--	--	--	---

2.2 Aren (*Arenga pinnata*)

Arenga pinnata atau aren adalah salah satu tumbuhan palma yang dapat memproduksi buah, nira maupun pati atau tepung pada batang. Tanaman ini juga umumnya dikenal sebagai tanaman multiguna karena memiliki berbagai manfaat dan nilai ekonomis yang tinggi. Aren juga masuk kedalam salah satu spesies dalam famili *Aracaceae* (Lempang, 2012). *Arenga pinnata* memiliki berbagai bagian yang dapat dimanfaatkan, seperti akar yang digunakan sebagai obat tradisional, batang yang digunakan untuk berbagai peralatan dan tepung, ijuk yang digunakan untuk keperluan bangunan bagian atap, daun yang digunakan sebagai pembungkus dan merokok, serta hasil produksinya seperti buah dan nira yang dapat digunakan sebagai bahan makanan dan minuman. Pada pelepah arennya sendiri mengandung banyak senyawan seperti selulosa, holoselulosa, serta lignin berturut turut sekitar 66,5%, 81,2 % dan 18,9% (Julham, Erwin, & Netti 2015). Getah tersebut juga mengandung kadar mineral yang signifikan dan menunjukkan aktivitas pengikatan ion logam, yang bermanfaat untuk kesehatan (Yunos, 2018).



Gambar 2.1 Pohon Aren

(Sumber : Humaira, 2024)

2.3 Nira Aren Cair

Nira aren merupakan salah satu jenis cairan yang berasal dari pohon aren dimana getah yang disadapkan dari bunga jantan pohon aren mengandung gula dengan konsentrasi yang cukup tinggi, terutama glukosa, fruktosa, dan sukrosa. Dimana nira ini merupakan hasil dari metabolisme dari pohon aren tersebut yang mengandung gula antara 10-15%. Pohon aren ini merupakan tanaman jenis palma yang dapat memproduksi nira sampai 3-5 bulan pertandan (Sjamsiwarni, Alim M., & all, 2021). Nira secara kasat mata merupakan sebuah cairan bening yang diperoleh daripada air tandan bunga yang dilakukan dengan cara penyadapan. Nira juga memiliki ciri khas yaitu rasanya manis dan juga harum.



Gambar 2.2 Nira Aren Cair

Pada nira aren segar mengandung berbagai nutrisi, termasuk 13,9-14,9% total gula, 0,4% kadar abu, 0,2% protein, dan 0,02% lemak. Tingkat pH nira sekitar 7, merupakan karakteristik nira yang baru diekstrak dari pohon aren. Selain itu, nira juga mengandung asam-asam organik seperti asam malat, asam askorbat, asam laktat, asam asetat, asam sitrat, asam piroglutamat, dan asam fumarat, yang berperan penting dalam pembentukan rasa khas gula merah. Didalam nira mengandung glukosa, dimana glukosa memainkan peran penting sebagai sumber energi yang cepat di dalam sel melalui proses katabolisme. Dalam tubuh manusia, glukosa bertanggung jawab untuk mengisi bahan bakar sel, mempertahankan tingkat energi, memastikan fungsi tubuh secara keseluruhan, dan menyediakan sumber energi utama untuk otak (Mody & Albert, 2012).

Pada keadaan segar umumnya nira memiliki cita rasa yang manis, nira juga mengandung beberapa zat gizi antara lain karbohidrat, protein, lemak dan juga mineral. Cita rasa manis yang ada pada nira disebabkan karena adanya kandungan karbohidrat sebesar 11,28%, bahkan nira yang baru menetes dari tandan bunganya memiliki nilai pH sekitar 7 (netral), namun keadaan sekitar sangat mempengaruhi nira aren yang mengakibatkan akan mudah terkontaminasi dan mengalami fermentasi sehingga cita rasa manis tersebut perlahan berkurang dan menjadi lebih asam atau mengalami penurunan nilai pH (Lempang, 2012).

2.4 Vacuum Evaporator

Vacuum evaporator merupakan alat yang menggunakan pemanasan langsung pada bahan yang dapat memungkinkan mengatur temperatur yang dapat disesuaikan. Penggunaan *vacuum* akan berdampak pada kondisi temperatur dalam ruangan *vacuum* menjadi rendah yaitu menjadi dibawah 1 atm, sehingga tujuan untuk membuat kandungan gizi ataupun fisik pada nira tidak rusak dapat tercapai (Adi, Indah & Ester, 2019). Dengan adanya tekanan *vacuum* pada *evaporator* maka diharapkan kondisi *vacuum* ini dapat menurunkan titik didih larutan yaitu nira. Faktor yang mempengaruhi proses evaporasi pada *Vacuum evaporator* merupakan laju evaporasi dan juga tekanan

vacuum pada panci. Dimana tekanan *vacuum* disebabkan oleh operasi pompa *vacuum* yang berada pada bagian *evaporator*. Menggarisbawahi pentingnya integrasi sensor resolusi tinggi dalam teknologi evaporasi vakum untuk meningkatkan kontrol proses dan efisiensi (Fazekas et al, 2019).

Penggunaan *evaporator* vakum dalam produksi gula cair dapat mengurangi konsumsi energi secara signifikan. Hal ini karena *evaporator* vakum yang digunakan dapat menghasilkan tekanan vakum, sehingga menurunkan titik didih selama proses penguapan. Hasilnya, produksi gula cair dapat dilakukan secara efisien dengan menggunakan *evaporator* vakum pada suhu 70 - 80°C, sehingga menghasilkan gula cair dengan nilai *Brix* yang dingin dan menghasilkan gula yang baik. Untuk dapat mengukur tekanan *vacuum* pada panci dapat dilakukan dengan menggunakan *pressure gauge* yang dipasang pada panci agar dapat terbaca (Siswanto & Nurul, 2017).



Gambar 2.3 *Vacuum evaporator*

Tekanan *vacuum* merupakan sebuah kondisi dimana tekanan udara pada suatu ruangan lebih rendah dibandingkan udara normal disekitarnya. Pada kondisi ini udara yang berada di dalam ruangan telah dikurangi atau dihilangkan, dimana akan menyebabkan tekanan udara yang lebih rendah. Dalam konteks evaporasi selama pengolahan semakin tinggi temperatur dan tekanan *vacuum*nya makin rendah memiliki kecenderungan pada laju evaporasi cairan semakin cepat (Jamaluddin, 2011).

2.5 Evaporasi

Evaporasi adalah proses perubahan wujud dari air menjadi gas. Dalam proses ini, air yang awalnya berbentuk cair menguap menjadi uap air yang naik ke atmosfer. 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. Evaporasi merupakan salah satu cara untuk dapat menurunkan kadar air pada nira maupun pada bahan pangan lain yang berbentuk cairan, dimana hasil dari evaporasi umumnya berupa padatan maupun larutan yang lebih berkonsentrasi (Adi , Indah & Ester, 2019). Laju evaporasi sendiri merupakan ukuran kuantitas cairan yang berhasil diuapkan atau dievaporasi menjadi uap dalam persatuan waktu tertentu. Besar kecilnya laju evaporasi dipengaruhi juga oleh temperatur larutan dan banyaknya larutan.

Semakin besar temperatur dan waktu yang dibutuhkan untuk evaporasi maka akan berdampak pada kadar air yang didapat semakin rendah. Kandungan air pada bahan makanan atau cairan berpengaruh pada kesegaran, dan daya tahan bahan makanan maupun cairan ini. Karena air memiliki komponen yang penting dalam makanan atau cairan, yang dapat mempengaruhi bentuk fisik, tekstur, maupun rasanya. Setiap makanan maupun cairan memiliki kadar air yang berbeda (Yunita F. Assah, 2018). Pengolahan termal gula tebu non-sentrifugal memberikan wawasan tentang bagaimana menjaga sifat anti-peradangan gula selama proses penguapan. Kadar air produk makanan adalah parameter penting yang secara signifikan memengaruhi tekstur, umur simpan, penerimaan konsumen, dan aspek lainnya (Rueda-Gensini, 2022). Kadar air yang lebih tinggi pada bahan makanan meningkatkan risiko pembusukan akibat perkembangbiakan mikroorganisme seperti bakteri, jamur, atau terjadinya reaksi kimia seperti oksidasi, yang dapat menyebabkan degradasi dan potensi kontaminasi (Shinta Rosalia Dewi & dkk, 2014). Semakin tinggi kadar air nira semakin encer maupun sebaliknya, dan juga tingkat kemanisannya yang kecil karena memiliki nilai *Brix* yang kecil.

2.6 Brix

Brix merupakan suatu satuan jumlah zat padan semu yang larut pada setiap 100 gram lauran atau cairan, yang dinyatakan jumlah padatan kotor bukan gula dan padatan gula. Maka nilai *Brix* pada nira atau cairan dapat dianggap sebagai nilai kadar gula pada nira atau yang menunjukkan tingkat kemanisan nira. Semakin tinggi nilai *Brix*nya maka semakin besar konsentrasi gulanya (Shinta Rosalia Dewi & dkk, 2014).

Umumnya ketika pengolahan nira cair ini ketika konsentrasi gula semakin tinggi dan kadar air yang semakin sedikit biasanya ditandai dengan perubahan warna, dimana yang awalnya nira berwarna bening, kemudian setelah di proses berubah menjadi warna yang lebih gelap.



Gambar 2.4 *Refractometer*

Nilai *Brix* pada nira dapat diketahui dengan menggunakan alat bernama *Refractometer*, dimana alat ini merupakan alat untuk mengukur kadar atau konsentrasi suatu cairan berdasarkan nilai indeks bias cahaya. Prinsip kerja dari *Refractometer* yaitu sesuai dengan namanya yaitu memanfaatkan refraksi cahaya atau pembelokan cahaya. Dimana *Refractometer* ini memanfaatkan bias cahaya, dimana indeks bias adalah salah satu dari beberapa sifat optis yang penting dari perantara bahan, dan salah satu yang memanfaatkan itu adalah *Refractometer* (Ahmad & dkk, 2021). Alat ini bekerja dengan cara mengukur indeks bias cahaya yang dipengaruhi oleh konsentrasi gula dalam larutan. Dengan demikian, nilai *Brix* yang diperoleh dapat digunakan untuk mengetahui kualitas gula dan mengawasi proses pengolahan gula. *Brix* digunakan untuk mengukur konsentrasi gula dalam nira tebu, yang biasanya dinyatakan dalam

persen. Nilai *Brix* yang lebih tinggi menunjukkan konsentrasi gula yang lebih tinggi dalam larutan. Satuan *Brix* yang digunakan adalah derajat *Brix*. 1 % nilai *Brix* setara sama dengan dengan 1 gram gula sukrosa didalam 100 gram air (MUHAMMAD ICHWAN, 2018).

2.7 Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler adalah suatu rangkaian elektronik yang dapat berfungsi sebagai pengatur yang mengendalikan jalannya proses kerja dari rangkaian elektronik. Mikrokontroler juga sebuah chip berbentuk IC (*Integrated Circuit*) yang dapat menerima sinyal masukan, mengolahnya, dan memberikan sinyal keluaran sesuai dengan program yang dimuat didalamnya. Mikrokontroler dirancang untuk melakukan tugas atau operasi tertentu, seperti menerima sinyal masukan, memprosesnya, dan kemudian memberikan sinyal keluaran sesuai dengan program yang dimuat ke dalam mikrokontroler (Ahmad Irvandi Yusuf, 2020).

ESP32 adalah modul mikrokontroler yang sangat serbaguna dan canggih. Modul ini dapat terhubung ke WiFi dan *Bluetooth*, termasuk *Bluetooth Low Energy* (BLE) sehingga dapat berkomunikasi dengan perangkat lain tanpa kabel. Dengan prosesor *dual-core* yang cepat, ESP32 dapat melakukan tugas dengan sangat efisien. Modul ini juga memiliki banyak fitur seperti ADC, DAC, SPI, I2C, UART dan sensor sentuh sehingga cocok untuk berbagai proyek *Internet of Things* (IoT). Dengan memori yang cukup dan banyak pin GPIO, ESP32 memungkinkan Anda membuat proyek yang inovatif dan kompleks dengan mudah. Singkatnya, ESP32 adalah pilihan tepat untuk menciptakan solusi Kontrol ESP32 yang canggih dan efisien (Muliadi, 2020).

Tabel 2.2 Spesifikasi ESP32

No	Atribut	Detail
1	Tegangan	3.3 Volt
2	Prosesor	Tensilica L108 32 bit
3	Kecepatan Prosesor	Dual 160MHZ
4	RAM	520K
5	GPIO	34

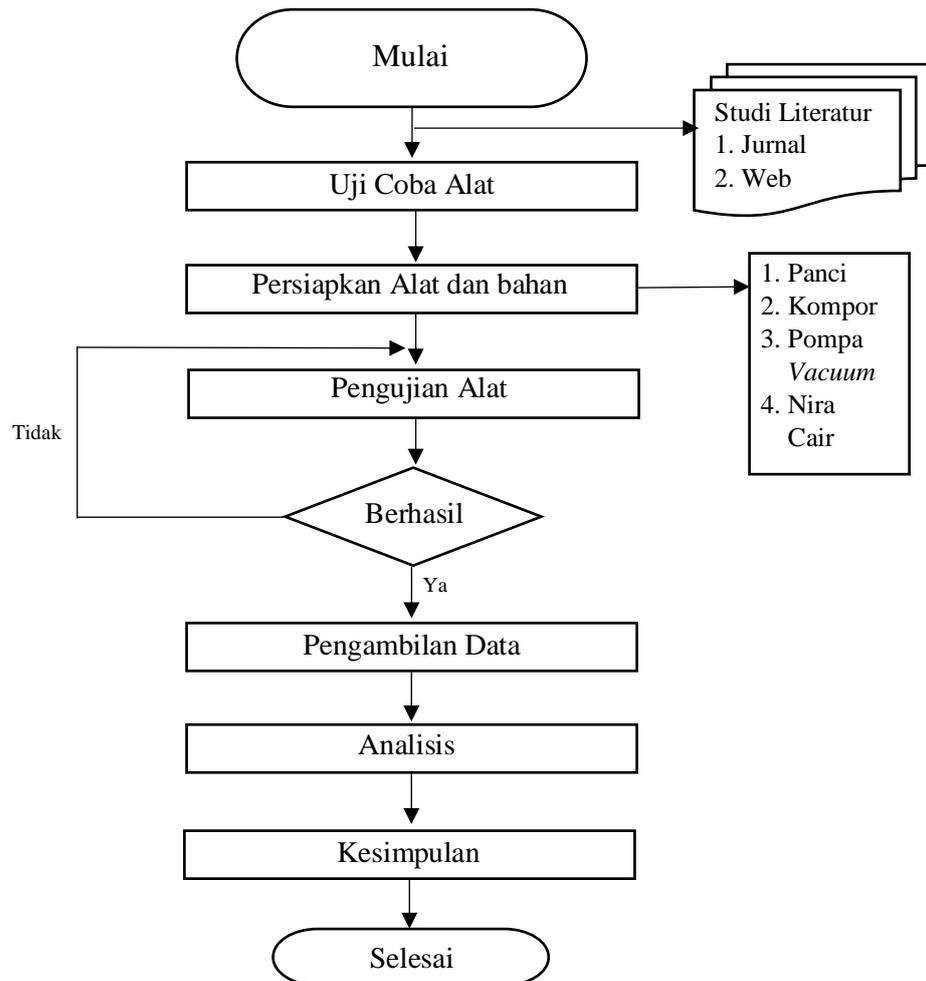
6	ADC	7
7	Dukungan 802.11	11b/g/n/e/i
8	Bluetooth	BLE (Bluetooth Low Energy)
9	SPI	3
10	I2C	2
11	UART	3

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir yang dibuat untuk menjelaskan alur daripada analisis hasil pengujian pada nira cair dapat dilihat dibawah sebagaimana berikut ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian

Berdasarkan diagram alir yang sudah ada pada gambar 3.1, maka dapat dijelaskan bagaimana proses pengujian ini sebagai berikut ini.

1. Uji Coba Alat

Pada tahap uji coba ini dilakukan pengujian atau pengecekan kerja alat bahwasannya alat ini sudah siap untuk dilakukan pengambilan data.

2. Persiapkan Alat dan Bahan

Setelah dilakukan uji coba alat maka perlu mempersiapkan alat hingga bahan yang akan digunakan, dan juga dipastikan bahwa semua alat dan bahan dapat bekerja dengan baik dan masih dalam keadaan baik.

3. Pengujian Alat

Kemudian tahapan ini merupakan tahap pengujian pada nira aren cair yang dilakukan *vacuum evaporator* pada tekanan, dan temperatur yang sudah disiapkan, dengan baik.

4. Pengambilan Data

Pada tahap ini ketika pengujian alat sedang berlangsung maka saat itu jugalah pengambilan data dilakukan, Dimana penguji akan mengambil sampel nira aren cair kemudian akan melihat nilai *Brix* nira tersebut dan juga memperhatikan perubahan beratnya.

5. Analisis dan Kesimpulan

Tahap ini merupakan tahap akhir setelah melakukan pengambilan data lalu dilakukan analisis dan membandingkan nilai *Brix* yang didapatkan melalui cara manual dengan sistem Kontrol ESP32 yang ada, Dimana nilai *Brix* dapat diperoleh menggunakan alat yaitu *Brixmater*, kemudian dibandingkan keakuratannya. Setelah semua hal tersebut selesai maka didapatkan kesimpulannya.

3.2 Prosedur Penelitian

Pada prosedur penelitian yang akan dilakukan ini dimulai dengan menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan nantinya ketika pengujian, salah satunya nira aren cair disiapkan sebanyak 22 Kg, kemudian dilakukan pengecekan nilai index *Brix* awal dari nira cair ini sebelum dilakukan pengolahan kemudian barulah dimasukan kedalam panci vakum yang akan ditutup rapat sehingga tidak ada udara yang keluar. Setelah itu alat pemantau penunjang pengujian disiapkan dan dipasangkan pada panci dan vakum *evaporator*, kemudian akan dihitung berat awal sebelum pengolahan dilakukan, itungan berat ini dalam satuan kg. Kemudian proses pengolahan dengan dimulai menyalakan pemanas atau kompor dengan menjaga temperatur

pemanasan pada $65^{\circ} - 80^{\circ} \text{ C}$ dan menyalakan vakum. Setelah itu berjalan sekaligus memperhatikan penurunan berat yang terjadi selama pengujian, kemudian pengambilan sampel nira cair untuk diketahui nilai *Brix*nya tiap 10 menit hingga nilai *Brix* yang diinginkan tercapai yaitu index *Brix* 65. Terakhir melakukan perbandingan pada setiap pengambilan sampel tiap 10 menit ini dengan menggunakan *refractometer* dengan pengambilan data menggunakan sistem Kontrol ESP32 untuk melihat keakuratan nilai *Brix*nya.

3.3 Alat dan Bahan yang digunakan

Berikut ini merupakan alat dan bahan yang akan digunakan untuk membantu jalannya pengujian kali ini seperti pada dibawah ini.

3.3.1 Alat yang digunakan

1. Kompor



Gambar 3.2 Kompor

Pada saat melakukan pengujian pengolahan nira aren memerlukan pemanas untuk dapat mendidihkan nira aren untuk dapat menguapkan, mengurangi kadar air pada nira dan membuat nilai index *Brix* yang lebih tinggi.

2. Panci Vakum



Gambar 3.3 Panci Vakum

Untuk dapat melakukan proses *vacuum evaporator* maka diperlukan wadah untuk membuat ruang tertutup yang akan dihisap dan akan menciptakan kondisi vakum didalam panci, untuk dapat menurunkan titik didih dari nira aren cair yang bertujuan agar kandungan yang ada pada nira tidak hancur karna panas berlebih.

3. Timbangan Digital



Gambar 3.4 Timbangan Digital

Timbangan digital dibutuhkan untuk melihat berubahnya berat yang terjadi karena hasil evaporasi dari pemanasan yang di vakum keluar, dan untuk dapat menghitung berapa banyak uap air yang terbang selama pengujian dan penurunan massanya dan akan dibaca oleh loadcell dan diteruskan ke ESP32 berupa sinyal dari resistansi loadcell dan diteruskan ke dalam spreadsheet dalam berupa massa dengan satuan Kg.

4. *Refractometer*



Gambar 3.5 *Refractometer*

Untuk dapat melihat dan mengetahui besarnya konsentrasi pada nira yang dilakukan pengolahan, maka dibutuhkan *Refractometer* untuk

pengecekan nilai *Brix* pada nira aren apakah sudah sesuai sengan yang diinginkan atau belum dimana nilai *Brix* yang diinginkan yaitu index *Brix* 65.

5. *Thermocouple* dan *Data logger*



Gambar 3.6 *Data logger* dan *Thermocouple*

Thermocouple digunakan untuk dapat mengetahui temperatur yang ada pada dalam panci apakah temperatur didalam panci pada control ESP32 sudah sesuai dengan yang diinginkan belum dimana temperatur yang diinginkan yaitu tidak lebih dari 80° C dan akan ditampilkan temperatur tersebut pada *data logger*.

6. *Pressure gauge*



Gambar 3.7 *Pressure gauge*

Pressure gauge digunakan untuk melihat seberapa besar tekanan *vacuum* yang terjadi didalam panci dalam keadaan vakum, dan untuk menjaga tekanan tetap pada tekanan yang diinginkan yaitu 0,25 atm. Untuk dapat menurunkan titik didih dari nira dan akan menyebabkan cepatnya pendidihan pada nira aren cair.

7. Venturi



Gambar 3.8 Venturi

Venturi berfungsi untuk saluran terhisap uap dari panci *vacuum* dan mengurangi tekanan hingga tekanan kurang dari 1 atm dalam panci *vacuum*, sehingga memungkinkan proses evaporasi yang lebih cepat dan efisien. Venturi juga berfungsi mengurangi kadar air dalam nira cair.

8. SP32



Gambar 3.9 ESP32

(Sumber : (Rifky, 2021))

ESP32 ini dapat digunakan untuk rangkaian pengganti pada arduino, kemampuannya adalah membantu tangkapan data yang telah didapatkan oleh sensor dengan terkoneksi ke WI-FI secara langsung akan diteruskan ke berbagai perangkat, untuk contoh kasus penelitian ini tangkapan data itu diteruskan atau disimpan di dalam bentuk *Spreadsheet*.

9. *Loadcell*



Gambar 3.10 *Loadcell*

Loadcell adalah sensor untuk mengetahui nilai berat yang terdiri dari elemen sensitif terhadap gaya. *Loadcell* mengubah gaya menjadi perubahan sifat fisik, seperti perubahan panjang yang kemudian diubah menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca oleh mikrokontroler seperti *ESP32*.

3.3.2 Bahan yang digunakan

1. Nira Aren Cair



Gambar 3.11 Nira Aren Cair

Nira aren cair adalah bahan atau objek yang akan dilakukan pengolahan dengan menggunakan *Vacuum evaporator* untuk dapat membuat gula cair yang efisien dan baik, untuk mencapai nilai kemanisan gula yang baik sesuai dengan SNI 8779:2019. Untuk massa jenis nira aren cair ini sendiri adalah sebesar 789 Kg/m^3 .

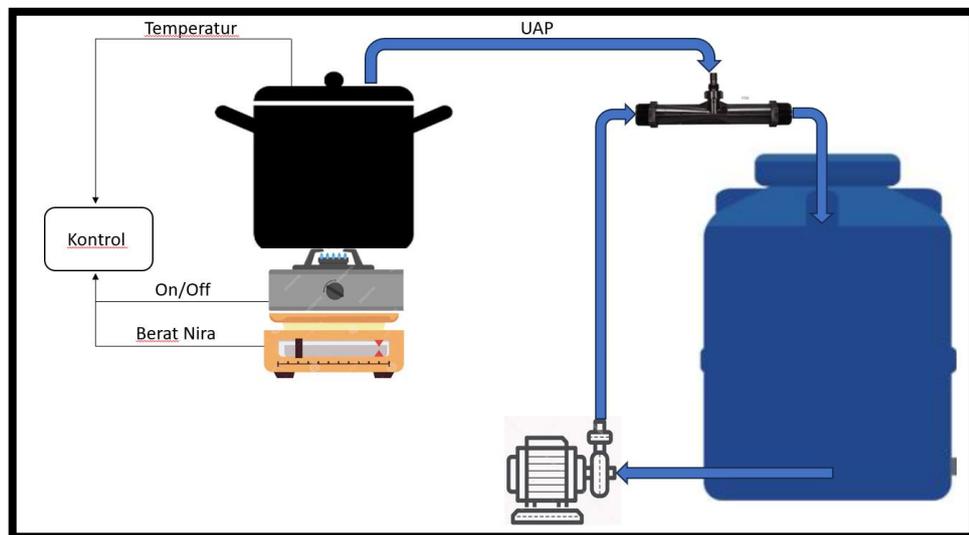
3.4 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan uji eksperimental untuk pengujian *vacuum evaporator* pada nira aren cair ini dengan ditambahkan kontrol sistem *ESP32* dengan memiliki beberapa

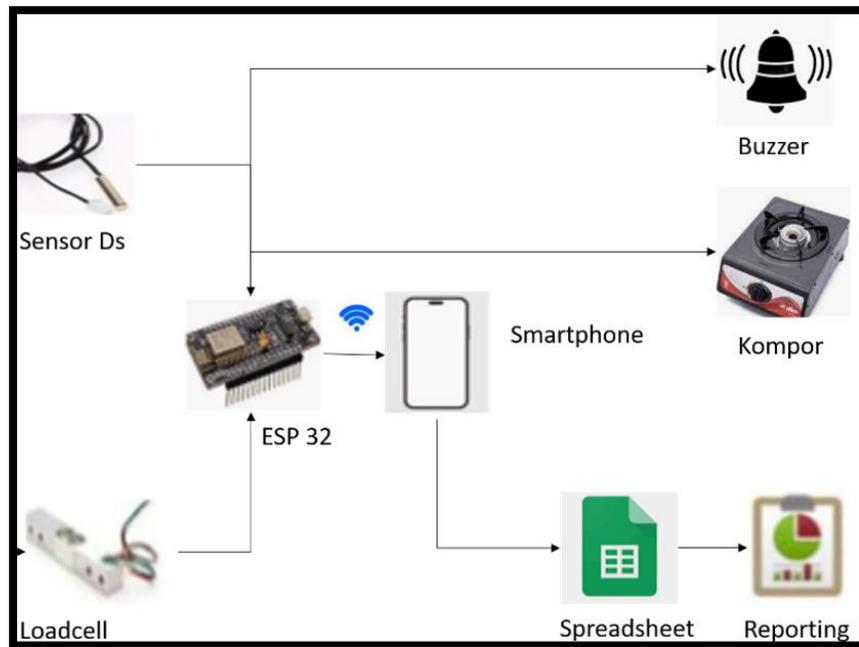
parameter seperti perubahan berat, perubahan nilai *Brix*, laju evaporasi, temperatur, dan juga waktu. Setelah dilakukannya pengujian maka penguji akan mendapatkan data sesuai parameter yang dibutuhkan dengan menggunakan *Vacuum evaporator* dengan alat kontrol ESP32. Untuk variabel terdapat dua yaitu variabel bebas dan terikat, untuk variabel bebasnya adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai *Brix* 65 dan juga penurunan beratnya, sedangkan untuk variabel terikatnya ada nilai *Brix* dan juga kadar air nira aren.

3.5 *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 pengolahan nira aren cair dengan *vacuum evaporation* dan *setum experiment* sistem kontrol ESP32.



Gambar 3.12 *Setup Experiment Vacuum evaporator*



Gambar 3.13 Setup Experiment Sistem Kontrol ESP32

Untuk mekanisme integrasi dari sensor dengan ESP32 ini seperti ketika loadcell terdapat komponen strain gauge yang akan mengubah resistansi ketika terjadi perubahan gaya dan tekanan pada loadcell. Perubahan resistansi ini yang kemudian diolah menjadi gelombang sinyal magnet atau listrik yang dapat diinterpretasikan sebagai pembacaan berat. Begitupun juga dengan sensor DS18B20 dapat membaca perubahan temperatur dikarenakan sensor ini dapat menghasilkan sinyal Listrik yang berbeda tergantung pada perubahan suhu, perubahan ini diteruskan dan diolah oleh mikrokontroler untuk mendapatkan nilai temperatur yang sesuai. Sinyal sinyal tersebut yang telah diterima dan diolah oleh ESP32 lalu ESP32 dihubungkan dengan koneksi WiFi. Data dari sensor dibaca dan dikirim ke spreadsheet dan sudah dalam bentuk data yang diinginkan.

3.6 Perencanaan Data Penelitian

Berikut ini merupakan gambaran data penelitian yang akan didapatkan setelah melakukan pengujian *Vacuum evaporator* seperti dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perencanaan Data Penelitian Manual

Data Uji Manual						
No	Waktu	<i>Brix</i>	Berat	Temp (i)	<i>Pressure</i>	Laju Evaporasi
1	<i>x minute</i>	x %	x Kg	$\leq 80^{\circ}\text{C}$	0.25	x
2	<i>x minute</i>	x %	x Kg	$\leq 80^{\circ}\text{C}$	0.25	x

Tabel 3.2 Perencanaan Data Penelitian Sistem Kontrol ESP32

Data Uji Sistem Kontrol ESP32 (<i>Spreadsheet</i>)						
No	Waktu	<i>Brix</i>	Berat	Temp (i)	<i>Pressure</i>	Laju Evaporasi
1	<i>x minute</i>	x %	x Kg	$\leq 80^{\circ}\text{C}$	0.25	x
2	<i>x minute</i>	x %	x Kg	$\leq 80^{\circ}\text{C}$	0.25	X

BAB IV

DATA DAN ANALISA

4.1 *Vacuum evaporator* dengan Sistem Kontrol ESP32

Vacuum evaporator yang digunakan dalam penelitian atau pengujian ini merupakan mesin *vacuum* yang telah sedikit mengalami pembaharuan yang terlihat pada gambar 4.1, dari yang sebelumnya. Dimana yang sebelumnya *vacuum evaporator* tidak menggunakan sistem Kontrol ESP32 sekarang alat ini menggunakan sistem Kontrol ESP32 yang dapat memudahkan kita dalam pemantauan ketika alat ini berjalan tanpa harus berada dekat dengan *vacuum evaporator*. Membuat alat ini lebih efisien dan juga memudahkan orang banyak dalam pemantauan kerja alat hingga nira aren cair jadi hingga mencapai nilai *brix* 65°.



Gambar 4.1 *Vacuum evaporator* dengan Kontrol ESP32

Prinsip kerja dari alat ini secara umum yaitu dengan melakukan *vacuum* pada sebuah ruangan yang menyebabkan ruangan tersebut terjadi *vacuum* atau tidak ada udara sama sekali karena telah dihisap menggunakan pompa *vacuum*. Nira aren cair segar dimasukan kedalam panci yang kemudian akan dilakukan *vacuum* hingga tekanan -0,7 sampai -0,75 bar, barulah setelah itu dilakukan pemasakan dengan temperatur pemasakan diatur melalui sistem Kontrol ESP32 ketika temperatur pemasakan sudah diatas 80 maka api pada kompor mati dan ketika temperatur sudah mencapai 77 maka kompor akan dinyalakan kembali, maka temperatur pemasakan akan stabil di 80 ° C. Hal tersebut ditujukan agar nutrisi pada nira aren cair tidak rusak dan masih dalam keadaan baik.

Program Kontrol ESP32 disini ditujukan untuk dapat memudahkan pemantauan dan pengambilan data ketika pengujian atau pemasakan, dimana data yang didapat dari sistem Kontrol ESP32 ini berupa temperatur panci pemasakan, perubahan berat ketika pemasakan dan juga nilai *brix* dari perhitungan konversi berat. Semua data itu didapatkan dari sensor yang ditempelkan pada alat seperti pada panci *loadcell* pada timbangan dan semua data yang terbaca pada sensor akan diteruskan dan ditampilkan pada spreadsheet tiap 10 menit sekali pembacaanya.

4.2 Hasil Pengujian Performa *Vacuum evaporator* dengan Sistem Kontrol ESP32

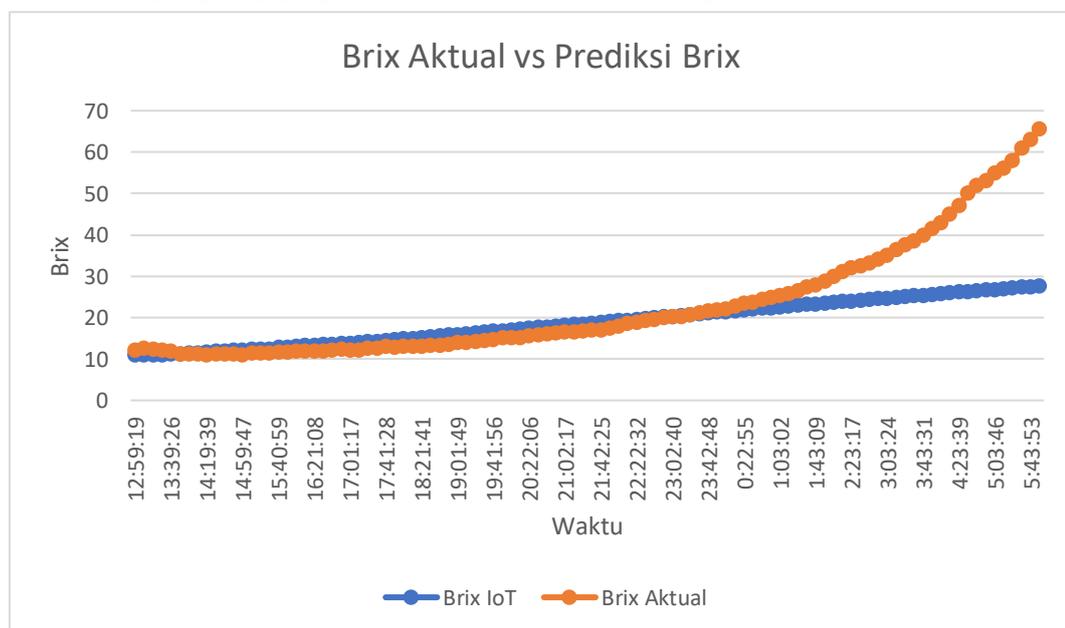
Adapun data uji performa alat *vacuum evaporator* dengan sistem Kontrol ESP32 dengan berbagai variabel data yang didapatkan seperti berat, temperatur, baik temperatur yang terbaca oleh sistem Kontrol ESP32 maupun yang menggunakan *thermocouple*, tekanan *vacuum* panci, waktu yang dibutuhkan dan juga nilai *brix* yang didapatkan sistem Kontrol ESP32 dengan nilai *brix* aktual dengan pengecekan menggunakan *refractometer* yang dapat membaca nilai konsentrasi gula dengan akurat. Adapun hasil pengolahan nira aren cair menggunakan *vacuum evaporator* dengan sistem Kontrol ESP32 dengan pemasakan selama kurang lebih 17 Jam dengan nilai index *brix* yaitu mencapai 65,5 sebagaimana pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.2 Nira Aren Hasil Pengolahan

4.2.1 Perbandingan nilai *brix* aktual dan *brix* Kontrol ESP32 terhadap waktu

Nilai *brix* aktual ini didapatkan melalui pengecekan menggunakan *refractometer* untuk melihat perkembangan nilai *brix* yang berubah, pengecekannya sendiri dilakukan setiap 10 menit sekali untuk mendapatkan data yang akurat setiap penurunan berat yang hilang. Berat awal nira aren sebelum pengolahan yaitu 21,4 Kg namun setelah dilakukan pengolahan selama kurang lebih 17 jam dengan temperatur yang terjaga pada 77-80 yaitu tersisa 4,8 Kg.



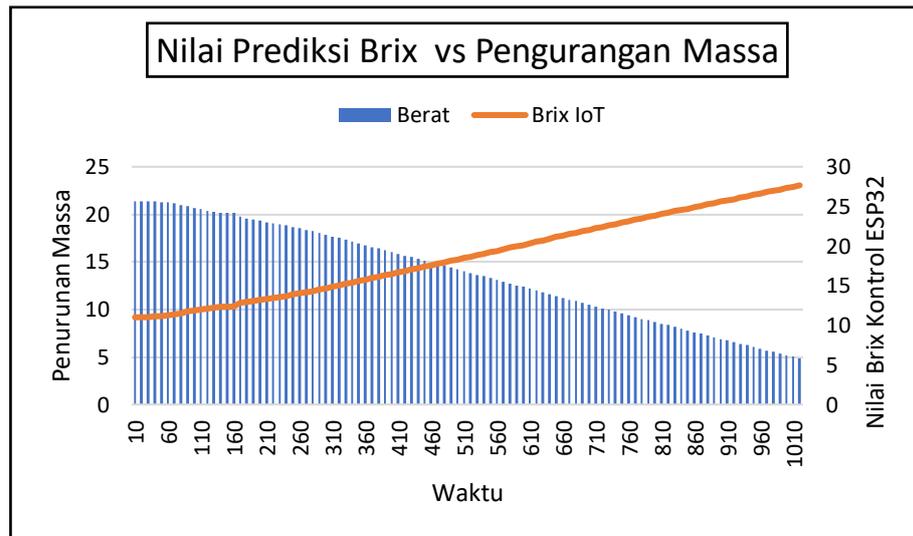
Gambar 4.3 Perbandingan nilai *brix* aktual dan *brix* Kontrol ESP32 terhadap waktu

Dari data yang ditampilkan pada gambar 4.3 ini menunjukkan grafik pemasakan nira aren cair dengan berat awal 21,4 Kg yang berisikan perbandingan *brix* kontrol ESP32 dan *brix* aktual menggunakan *refractometer* dengan waktu.

Berdasarkan data yang terdapat pada gambar 4.3, dapat diketahui bahwa terjadinya berkurangnya massa air ketika pengolahan setiap 10 menitnya dengan temperatur pemasakan yaitu stabil di 77-80°C dan juga tekanan *vacuum* hingga antara -7 bar - 0,75 bar. Nilai *brix* semakin besar berbanding dengan semakin lama pemasakannya, dimana uap nira aren cair yang dihisap oleh pompa *vacuum* dapat mengurangi berat dan juga meningkatkan konsentrasi nira cair yang menyebabkan kenaikan nilai *brix*nya. Dilihat dari garis grafiknya nilai antara *brix* aktual dengan *brix* Kontrol ESP32 memiliki nilai kemiripan dari awal hingga nilai *brix* mencapai 20,8 dengan 20,72. Setelah itu barulah nilai *brix* aktual mengalami kenaikan nilai *brix* yang signifikan sedangkan nilai *brix* Kontrol ESP32 cenderung stabil.

4.2.2 Perbandingan Nilai *Brix* Kontrol ESP32 dan Berat terhadap waktu

Nilai *brix* pada sistem Kontrol ESP32 ini didapatkan melalui konversi penurunan berat diakibatkan oleh laju evaporasinya, semakin besar nilai laju evaporasinya semakin besar penurunan berat yang terbaca oleh sensor berat maka nilai *brix* yang akan muncul juga akan semakin besar. Maka dari itu nilai *brix* dengan sistem Kontrol ESP32 ini berbanding dengan terbalik dengan nilai *brix*nya. Berikut ini grafik perbandingan nilai *brix* Kontrol ESP32 dan berat terhadap waktu.



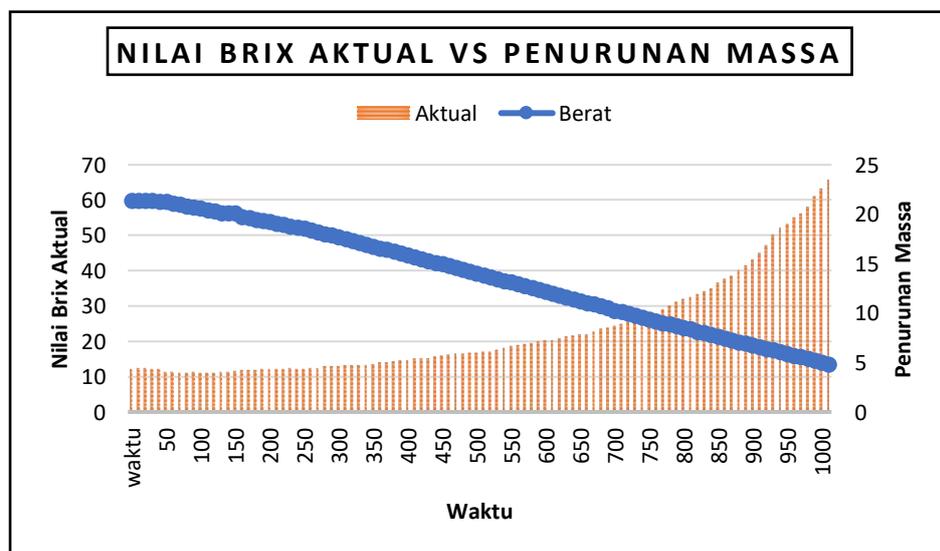
Gambar 4.4 Perbandingan Nilai *Brix* Kontrol ESP32 dan Berat terhadap waktu

Dari data yang ditampilkan pada gambar 4.4 ini menunjukkan grafik pemasakan nira aren cair dengan berat awal 21,4 Kg yang berisikan perbandingan *brix* kontrol ESP32 dan nilai penurunan berat, dimana untuk mendapatkan nilai *brix* pada sistem Kontrol ESP32 ini memerlukan penurunan berat untuk bisa mendapatkan nilai *brix*nya. Berdasarkan data yang ada pada gambar 4.4 dapat diketahui pengurangan massa nira aren cair ini terjadi ketika dilakukan pemasakan dengan temperatur 77-80, dengan titik *vacuum* 2,5 – 3 bar. Dimana penurunan berat ini mempengaruhi nilai *brix* pada sistem Kontrol ESP32. Jika dilihat grafik diatas titik *brix* awal nira sekitar 11 dan berat sekitar 21,4 Kg, yang mana berat semakin turun dan kenaikan nilai *brix* pada sistem Kontrol ESP32 yang juga bertambah dikarenakan menggunakan rumus ($Brix = Brix \text{ awal/terknini} - (Brix \text{ terkini} - \text{awal})$) untuk mendapatkan konversi nilai *brix*nya.

Dengan melihat grafik penurunan berat massa nira yang cenderung stabil naik, maka performa dari laju evaporasinya juga dapat dikatakan stabil tidak turun dan naik begitu jauh maka dapat menghasilkan nilai penurunan massa nira aren dan nilai *brix* pada sistem Kontrol ESP32 yang stabil.

4.2.3 Perbandingan Nilai *Brix* Aktual dan Berat terhadap waktu

Nilai *brix* aktual ini didapatkan melalui pengecekan menggunakan *refractometer* untuk melihat penambahan nilai *brix* yang berubah, pengecekannya sendiri dilakukan setiap 10 menit sekali untuk mendapatkan data yang akurat setiap penurunan berat yang hilang. Berat awal nira aren sebelum pengolahan yaitu 21,4 Kg namun setelah dilakukan pengolahan selama kurang lebih 17 jam dengan temperatur stabil pada temperatur 77-80°C berat yang tersisa hanya 4,85 Kg.



Gambar 4.5 Perbandingan Nilai *Brix* Aktual dan Berat terhadap waktu

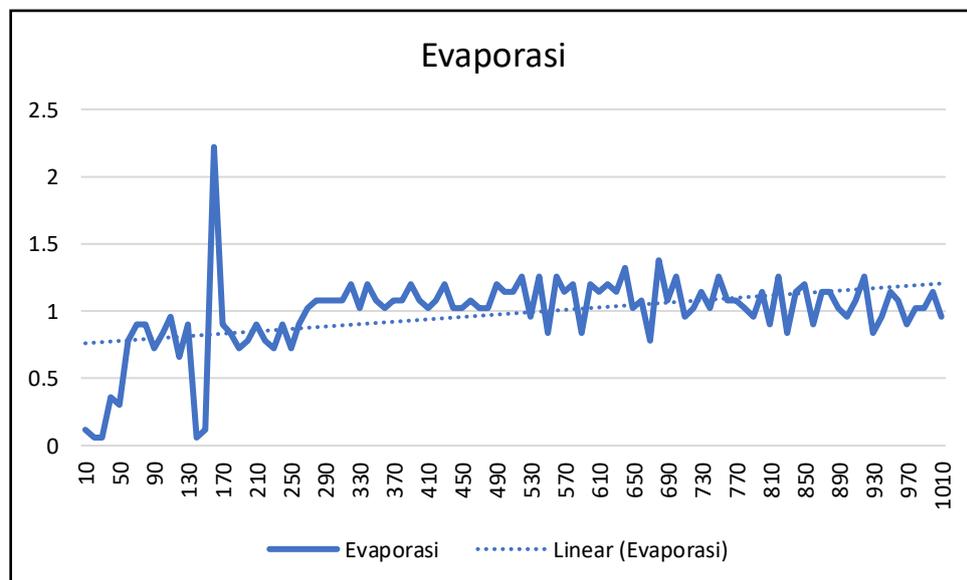
Dari data yang ditampilkan pada gambar 4.5 ini menunjukkan grafik pemasakan nira aren cair dengan berat awal 21,4 Kg yang berisikan perbandingan *brix* aktual dan nilai penurunan berat, dengan *brix* akhir 65 atau mencapai nilai yang diinginkan dengan berat akhir 4,85 kg. Untuk mendapatkan nilai *brix* tersebut umumnya digunakan alat yaitu *refractometer* yang dapat melihat konsentrasi gula melalui index pembiasan cahaya, semakin kecil nilai *brix*nya maka nilai konsentrasi gulanya semakin kecil dan semakin banyak nilai kandungan airnya, begitupun sebaliknya jika kandungan air pada nira semakin sedikit

maka nilai *brix*nya semakin besar, maka biasanya nira dengan *brix* yang tinggi ditandai dengan warna yang lebih pekat.

Melihat grafik perbandingan diatas maka dapat menunjukkan bahwa nilai grafik penurunan berat yang cenderung stabil tidak terlalu mempengaruhi nilai *brix* yang stabil pula, semakin sedikit berat nira aren yang akan mempengaruhi nilai *brix* aktual ini, dilihat dari grafik penurunan massa, semakin turun grafik penurunan massanya maka semakin besar juga kenaikan nilai *brix* aktualnya.

4.2.4 Perbandingan nilai evaporasi terhadap waktu

Nilai laju evaporasi merupakan ukuran banyaknya cairan yang berhasil diuapkan atau dievaporasi menjadi uap dalam persatuan waktu tertentu. Evaporasi atau penguapan umumnya terjadi ketika terjadinya kenaikan temperatur yang signifikan pada cairan yang hampir atau mencapai titik didih yang ditandai dengan munculnya uap atau asap putih. Banyaknya uap yang naik dari cairan maka semakin berkurang pula massa cairan tersebut termasuk juga pada nira aren cair. Adapun grafik perbandingan antara laju evaporasi dengan waktu.



Gambar 4.6 Perbandingan nilai evaporasi terhadap waktu

Dari data yang ditampilkan pada gambar 4.6, menunjukkan bahwa grafik memiliki nilai yang fluktuatif namun masih cenderung stabil dengan ditandai oleh *trendline* yang cenderung naik dengan stabil. Evaporasi ini ditandai dengan pengurangan massa yang berbanding selaras juga. Jika penurunan massa cairan nira aren cair banyak maka evaporasi atau pengurangan kadar airnya pun juga akan naik. Umumnya hal tersebut disebabkan oleh kenaikan temperatur pemasakan yang seketika naik drastis beberapa saat. Maka dari itu temperatur pemasakan nira aren cair ini diatur atau dijaga dalam sistem Kontrol ESP32 untuk tidak lebih dari 80°C agar performa laju evaporasinya tetap stabil. Adapun kadar cairan akhir yang ada pada nira aren cair dengan nilai *brix* 65 dapat dihitung menggunakan rumus seperti

Kadar Air dalam gula aren cair=

$$\frac{(\text{Berat awal}-\text{berat akhir})}{\text{berat awal}} \times 100\% = X\%$$

$$= 100\% - X\% = Y \%$$

$$\text{Kadar Air dalam gula aren cair} = \frac{(21,4-4,85)}{21,4} \times 100\% = 77\%$$

$$= 100\% - 77\% = 23\%$$

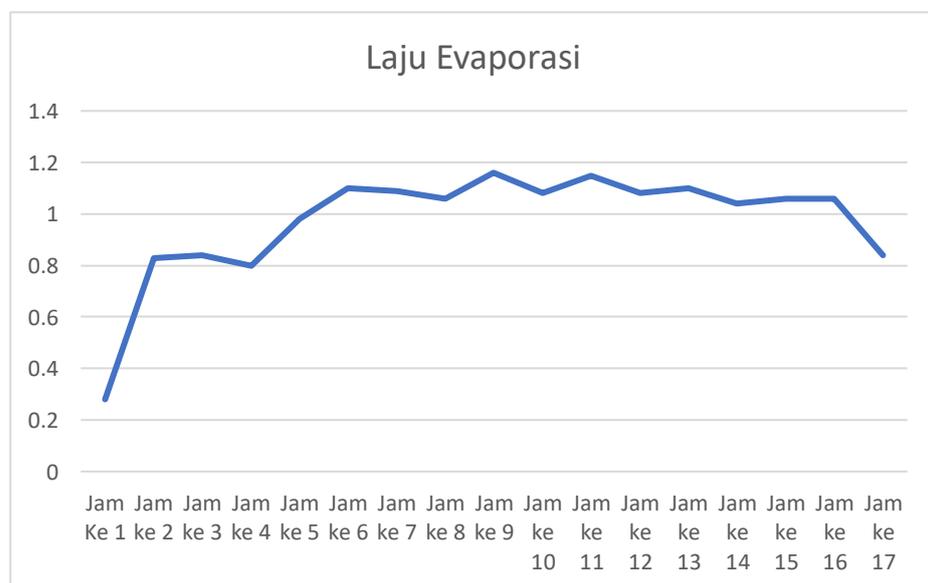
Setelah dilakukan perhitungan kadar air ini maka dapat disimpulkan bahwa pengujian kali ini dengan berat 21,4 Kg dengan dilakukan pemasakan selama kurang lebih 17 jam dengan tekanan *vacuum* (-0,7 bar) – (-0,75 bar) dan temperatur yang tidak melebihi 80°C dalam mengurangi kadar air sebanyak 77% dan dapat membuat nilai konsentrasi gula atau nilai *brix* mencapai 65.

Untuk laju evaporasinya sendiri didapat berdasarkan penjumlahan pengurangan berat yang dibaca oleh timbangan perjamnya. Besarnya laju evaporasi disebabkan oleh tingginya temperatur pemasakan pada panci yang menyebabkan penguapannya semakin banyak dan pengurangan beratnya semakin banyak. Adapun tabel dan juga grafik laju evaporasi terhadap waktu seperti dibawah ini.

Tabel 4.1 Laju Evaporasi Terhadap Waktu

Waktu	Laju Evaporasi
Jam Ke 1	0.28
Jam ke 2	0.83
Jam ke 3	0.84
Jam ke 4	0.8
Jam ke 5	0.98
Jam ke 6	1.1
Jam ke 7	1.09
Jam ke 8	1.06
Jam ke 9	1.16
Jam ke 10	1.08
Jam ke 11	1.15
Jam ke 12	1.08
Jam ke 13	1.1
Jam ke 14	1.04
Jam ke 15	1.06
Jam ke 16	1.06
Jam ke 17	0.84
Rata rata	0.973529

Berdasarkan data pada tabel diatas maka dibuatkanlah grafik dari laju evaporasi ini untuk dapat memudahkan pembacaan dan Analisa mengenai laju evaporasi seperti pada gambar dibawah ini.

**Gambar 4.7** Nilai Laju Evaporasi Terhadap Waktu

Berdasarkan data tabel dan juga gambar di atas maka dapat dijelaskan bahwasannya rata rata laju evaporasi yang berhasil

didapatkan oleh alat *vacuum evaporator* dengan sistem Kontrol ESP32 ini sebesar 0,9736 kg/jam. Artinya alat ini dapat melakukan evaporasi, mengurangi massa nira aren cair selama satu jam kurang lebih 1 kilogram, dan hasilnya adalah dalam waktu 17 jam didapati berat yang awalnya sebanyak 21,4 Kg menjadi 4,85 Kg dan telah hilang 16,55 Kg. Pengurangan berat yang terjadi karena adanya evaporasi ini disebabkan oleh adanya pemanasan pada nira aren cair, semakin panas temperatur pemasakannya maka penguapannya atau nilai evaporasinya semakin besar. Dimana kandungan cairan pada nira aren cair yang terevaporasi ini dihisap menggunakan pompa *vacuum* dengan laju evaporasi sebesar 0,9736 kg/jam. Besarnya laju evaporasi ini juga dapat disebabkan oleh tenaga hisap yang dihasilkan oleh *vacuum* itu sendiri, semakin besar daya hisap yang dihasilkan pompa *vacuum* maka laju evaporasinya juga akan bertambah.

4.3 Hasil dan Pembahasan *Vacuum evaporator* dengan Alat Kontrol Berbasis ESP32

Vacuum evaporator dengan Kontrol ESP32 ini digunakan untuk melakukan pengolahan nira aren cair dengan efisien untuk mendapatkan *output brix* 65 dengan kandungan nira aren yang baik dan tidak hancur dikarenakan pemanasan berlebih. Sistem Kontrol ESP32 yang ada pada alat ini ditujukan untuk berbagai macam tujuan seperti memudahkan pemantauan pengujian yang langsung tersedia melalui spreadsheet, mengatur temperatur agar terjaga pada temperatur 77-80. Dengan pengujian dilakukan selama kurang lebih 17 jam dengan berat awal nira aren cair sebanyak 21,4 Kg dan berat akhir 4,85 Kg, untuk nilai *brix* awal yaitu 11 dan nilai *brix* akhir mencapai 65.

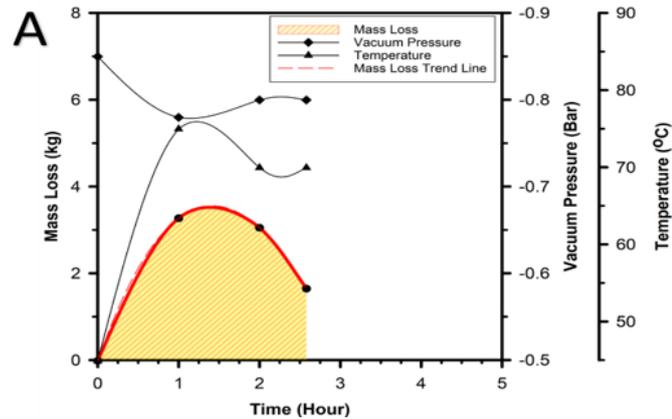
Temperatur pemasakan yang ditampilkan pada sensor temperatur maupun *thermocouple* tidak ada yang menunjukkan temperatur yang lebih tinggi dari 80, hal tersebut bukan hanya karena pemasannya yang diatur oleh sistem Kontrol ESP32 namun juga disebabkan oleh ruang *vacuum* bertekanan (-0,75 – -0,7 bar) yang dapat menurunkan titik didih suatu cairan. Maka dari itu temperatur pada *thermocouple* yang digunakan sebagai alat validasi sensor pada sistem

Kontrol ESP32 ini cenderung stabil diangka 65-70°C, hal tersebut diakibatkan oleh titik didih yang diturunkan oleh kondisi *vacuum* pada panci.

Juga kadar air yang dapat diturunkan hingga mencapai 23% dengan berat akhir 4,85 Kg dengan nilai *brix* 65 dan memiliki nilai evaporasi yang cukup ideal yaitu diangka rata rata 1,082 gr/jam. Dengan temperatur dalam panci yang dilakukan pengecekan menggunakan *thermocouple* yaitu diantara 65-75°C. Laju evaporasi yang baik, temperatur yang terjaga baik, dan juga tekanan yang terjaga baik akan menghasilkan nilai efisiensi yang baik dan akan menciptakan waktu pengolahan yang lebih baik dikarenakan nilai performa evaporasi yang semakin tinggi maka semakin banyak kadar air yang dievaporasi atau diuapkan, maka pengurangan massa cairan yang semakin banyak pula.

Setelah dilakukannya pengujian dengan alat *vacuum evaporator* untuk pengolahan nira aren cair dengan kontrol berbasis ESP32 dapat dilakukan dan benar juga dapat menampilkan data yang diteruskan oleh ESP32 melalui sinyal WI-FI dan akan diteruskan kedalam bentuk spreadsheet dan semua data yang dibutuhkan berupa temperatur, berat, waktu dan nilai *brix* ini dapat tertampil. Walaupun belum dapat dikatakan sempurna dikarenakan belum menemukan kesamaan dalam nilai *output brix*nya dan masih dalam tahap awal dari percobaan penggunaan kontrol ESP32 terhadap *vacuum evaporator* ini, dan juga masih dalam pencarian formula yang baik untuk menemukan formula untuk nilai *brix* pada spreadsheet ini setidaknya dapat menyamai dan dapat diterima dalam skala UMKM. Namun untuk saat ini penggunaan alat kontrol ESP32 ini hanyalah untuk monitoring pengolahan nira aren cair menggunakan *vacuum evaporator* untuk optimalisasi kualitas gula aren cair.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pengujian yang serupa dengan perbedaannya tanpa menggunakan kontrol sistem Kontrol ESP32, dengan berat awal yang digunakan sebanyak 10 kg nira aren cair dengan berbagai macam temperatur dan tekanan *vacuum*nya dengan . Pada penelitian ini salah satu sampel yang diambil yaitu dengan pengujian dengan temperature 60°C dengan tekanan *vacuum* sebesar -0,6 bar dapat dilihat seperti gambar grafik hasil pengujiannya.



Gambar 4.8 Grafik Pengujian Sebelumnya Dengan Berat 10 kg

Berdasarkan gambar yang disajikan diatas bahwasannya pada pengujian ini memiliki nilai laju evaporasi yang cukup besar dimana pengurangan massa terbesarnya yaitu 3,9 kg/jam yang mana hal tersebut menyebabkan waktu pemasakan pada pengujian ini hanya 2 jam 14 menit. Hal tersebut menandakan laju evaporasinya sangat baik dan dapat memangkas waktu pengolahan lebih cepat. Jika dibandingkan dengan gambar 4.7 dimana pengujian saat ini dengan berat 21,4 kg pada temperatur yang kurang lebih sama di 60°C dengan waktu pemasakan 17 jam seharusnya jika performanya sama dengan pengujian sebelumnya maka waktu pengolahannya selama 4 jam 20 menit.

Hal tersebut tentu dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti, karakteristik kandungan pada nira aren cair, dimana hal ini tentu dapat mempengaruhi laju evaporasi pada pemasakan nira aren cair ini menjadi lebih lama atau lebih cepat. Adapun juga kondisi tekanan *vacuum* pada panci yang akan mempengaruhi nilai temperatur pada panci semakin rendah tekanan *vacuum* maka semakin rendah temperatur yang dihasilkan dan akan membuat waktu pemasakan lebih lambat. Juga pengaruh panas pemasakan yang besar akan dapat mempengaruhi pengurangan berat dari pemasakan nira aren cair maka juga akan mempengaruhi nilai laju evaporasinya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukannya pengujian performa dari alat *vacuum evaporator* dengan sistem Kontrol ESP32 ini maka didapatkan data dan juga Kesimpulan yang didapatkan yang menjawab tujuan dari pada penelitian ini yang dapat dilihat sebagai berikut ini:

1. Dalam pengujian alat *vacuum evaporator* dengan sistem kontrol ESP32 untuk pengolahan nira aren cair ini telah melakukan pemasakan nira aren cair dengan berat awal 21,4 Kg dengan temperatur pemasakan tidak lebih dari 80°C dengan tekanan *vacuum* pada panci sebesar -7 bar - 0,75 bar dapat menurunkan kadar air sebanyak 77% hingga kadar air kurang lebih 23%, berat akhir nira aren sebanyak 4,85 Kg. Dengan laju evaporasi yang dapat dihasilkan oleh alat *vacuum evaporator* ini dengan rata rata sebesar 0,97 kg/jam dengan nilai laju evaporasi terbaik mencapai 1,16 kg/jam.
2. Waktu yang dibutuhkan pemasakan nira aren cair untuk mencapai nilai *brix* 65 kurang lebih sama dengan untuk mencapai kadar air kurang lebih 20% yaitu sekitar 17 jam dengan kondisi yang sama. Dengan memiliki 2 tahap nilai laju evaporasi dengan tahap pertama sebanyak 0,696 gr/jam dan tahap kedua sebanyak 1,082 gr/jam, hal tersebut tentu mengakibatkan lamanya pemasakan nira aren cair. Nira cair yang awalnya berwarna kuning terang setelah dilakukan pengolahan didapatkan warnanya mulai berwarna kuning gelap pekat yang menandakan konsentrasi gula yang lebih besar dibandingkan kadar air dan telah mencapai nilai *brix* 65.
3. ESP32 dapat digunakan untuk mengontrol sensor berbasis ESP32 dalam *vacuum evaporator* untuk meningkatkan kontrol dan monitoring proses produksi gula aren cair. Dengan hasil yang sudah didapatkan berupa data pada spreadsheet seperti temperatur, berat, waktu, dan juga *brix*.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan pada penelitian ini untuk memperbaiki performa dari alat *vacuum evaporator* dengan sistem Kontrol ESP32 ini untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut ini.

1. Melakukan kalibrasi pada temperatur pada sistem Kontrol ESP32 agar cenderung lebih dekat dengan *thermocouple* untuk menurunkan selisih temperatur ini agar tidak terlalu jauh.
2. Melakukan kalibrasi dan membuat perhitungan yang lebih baik terhadap konversi berat untuk mendapatkan nilai *brix* yang mendekati bahkan menyamai nilai *brix* yang dilakukan uji menggunakan *refractometer*.
3. Namun memang belum sempurna karena masih dalam awal percobaan integrasi alat kontrol berbasis ESP32 dalam *vacuum evaporator*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi Syakdani, I. P. (2019). PROTOTIPE ALAT *EVAPORATOR* VAKUM (EFEKTIVITAS TEMPERATUR DAN WAKTU EVAPORASI TERHADAP TEKANAN VAKUM DAN LAJU EVAPORASI PADA PEMBUATAN SIRUP BUAH MENGGUDU (*Morinda citrifolia* L.)). *Jurnal Kinetika*, 29-35.
- Ahmad Auhaz Author, A. F. (2021). PENENTUAN KONSENTRASI GLUKOSA PADA BEBERAPA MINUMAN SUPLEMEN BERENERGI MENGGUNAKAN REFRAKTOMETER-ABBE. *Eksperimen Fisika*, 1-8.
- Erwin, Slamet Wiyono. (2024). Investigation Effect of Liquid Arenga Sugar's Evaporation Temperature under *Vacuum Pressure*. *Research and Innovation in Food Science and Technology*.
- Fazekas, A. Z. (2019). Design and Integration of High-Resolution Sensors for Novel *Vacuum* Evaporation Technology. *Journal of Sensor Technology*, 58-64.
- Hariyati, P. (2020, Juli 28). Mengenal Alat *Evaporator*, prinsip kerja, dan tipe-tipenya. *Bisakimia*.
- Humaira, A. (2024, April 9). Pohon Aren. *Alam Alami*.
- J, F. (2017, March 14). 10 Best Refractometers. *Wonderful Engineering*.
- Jamaluddin. (2011). Pengaruh Suhu dan Tekanan Vakum Terhadap Penguapan Air dan Perubahan Warna (b) Keripik Buah Selama Proses Penggorengan Vakum. *TEKNOLOGI*, 193-200.
- Julham Prasetya Pane, E. J. (2015). PENGARUH KONSENTRASI PEREKAT TEPUNG TAPIOKA DAN PENAMBAHAN KAPUR DALAM PEMBUATAN BRIKET ARANG BERBAHAN BAKU PELEPAH AREN (*Arenga pinnata*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 32-38.
- Lempang, M. (2012). Pohon Aren dan Manfaat Produksinya. *Buletin Eboni*, 37-54.
- Lukmana, D. (2021, Oktober 18). Apa itu Air Nira? Si Segar yang Banyak Manfaat. *Healthy Foodie*.

- Mody Lempang, A. D. (2012). Efektifitas Nira Aren Sebagai Bahan Pengembang Adonan. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 26-35.
- MUHAMMAD ICHWAN, I. A. (2018). Klasifikasi Support Vector Machine (SVM) Untuk Menentukan Tingkat Kemanisan Mangga Berdasarkan Fitur Warna. *Mind Journal*, 16-24.
- Rueda-Gensini, L. J.-P. (2022). Impact of Thermal Processing on the Anti-inflammatory Activity of Non-Centrifugal Cane Sugar. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46 (1).
- Shinta Rosalia Dewi, N. I. (2014). PENGARUH SUHU PEMASAKAN NIRA DAN KECEPATAN PENGADUKAN TERHADAP KUALITAS GULA MERAH TEBU. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 149-158.
- Siswanto, N. W. (2017). PERANCANGAN VACUM EVAPORATOR METODE LIQUID RING VACUM PUMP. *Jurnal Teknik Kimia*, 24-27.
- Sjamsiwarni Reni Sjarif, A. M. (2021). PENGARUH PENAMBAHAN GLUKOSA DAN DERAJAT BRIX UNTUK MENGHAMBAT PROSES KRISTALISASI PADA PRODUK GULA CAIR NIRA AREN. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*, 27-35.
- Slamet Wiyono, E. E. (2021). Unjuk Kerja Vacuum evaporator Untuk Menghasilkan Gula Cair Aren. *Teknika : Jurnal Teknik*, 123-128.
- Yunita F. Assah, F. I. (2018). PENGARUH LAMA PENYIMPANAN TERHADAP MUTU GULA CAIR DARI NIRA AREN. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*, 1-10.
- Yunos, N. M. (2018). Quantification of Sugars, Minerals Composition, and Metal Ion Chelating Activity of *Arenga pinnata* Syrup Using Vacuum Evaporation. *Journal of Food Composition and Analysis*, 64-70.

LAMPIRAN

Lampiran Data Pengujian Aktual Menggunakan Refractometer

DATA AKTUAL					
Date	Hours	Initial <i>Brix</i>	Weight (Kg)	Latest <i>Brix</i>	Temp in the Pan (T3)
6/7/2024	12:59:19	11	21.40	12.1	40.5
6/7/2024	13:09:21	11	21.38	12.5	45.3
6/7/2024	13:19:23	11	21.37	12.4	49.7
6/7/2024	13:29:24	11	21.36	12.2	56.4
6/7/2024	13:39:26	11	21.30	12	60.1
6/7/2024	13:49:30	11	21.25	11.3	60.3
6/7/2024	13:59:31	11	21.12	11.2	61.1
6/7/2024	14:09:36	11	20.97	11.1	61.4
6/7/2024	14:19:39	11	20.82	11	60.6
6/7/2024	14:29:40	11	20.70	11.2	60.4
6/7/2024	14:39:42	11	20.56	11.1	60.9
6/7/2024	14:49:45	11	20.40	11.1	62.5
6/7/2024	14:59:47	11	20.29	11	61.6
6/7/2024	15:09:49	11	20.14	11.4	62.1
6/7/2024	15:19:47	11	20.13	11.4	62.1
6/7/2024	15:30:58	11	20.11	11.5	62
6/7/2024	15:40:59	11	19.74	11.7	62.9
6/7/2024	15:51:01	11	19.59	11.7	63.5
6/7/2024	16:01:04	11	19.45	11.9	63.6
6/7/2024	16:11:07	11	19.33	12	62.4
6/7/2024	16:21:08	11	19.20	12	62.6
6/7/2024	16:31:10	11	19.05	12	62.5
6/7/2024	16:41:13	11	18.92	12.2	62.6
6/7/2024	16:51:16	11	18.80	12.3	62.8
6/7/2024	17:01:17	11	18.65	12.2	64.3
6/7/2024	17:11:19	11	18.53	12.2	63.6
6/7/2024	17:21:21	11	18.38	12.5	63.2
6/7/2024	17:31:23	11	18.21	12.5	65.5
6/7/2024	17:41:28	11	18.03	13	65.7
6/7/2024	17:51:30	11	17.85	12.9	66.2
6/7/2024	18:01:46	11	17.67	13	65.4
6/7/2024	18:11:40	11	17.49	13.1	66
6/7/2024	18:21:41	11	17.29	13.1	64.9
6/7/2024	18:31:43	11	17.12	13.2	65.8
6/7/2024	18:41:46	11	16.92	13.2	64.8
6/7/2024	18:51:47	11	16.74	13.5	65.6
6/7/2024	19:01:49	11	16.57	13.9	65.7
6/7/2024	19:11:51	11	16.39	14	65.3
6/7/2024	19:21:53	11	16.21	14.2	65.9
6/7/2024	19:31:55	11	16.01	14.5	65
6/7/2024	19:41:56	11	15.83	14.6	65.8

6/7/2024	19:51:58	11	15.66	15.1	65.7
6/7/2024	20:02:01	11	15.48	15.2	67
6/7/2024	20:12:04	11	15.28	15.2	67.4
6/7/2024	20:22:06	11	15.11	15.6	66.8
6/7/2024	20:32:12	11	14.94	15.8	67.2
6/7/2024	20:42:25	11	14.76	16.1	67.4
6/7/2024	20:52:27	11	14.59	16.4	67.1
6/7/2024	21:02:17	11	14.42	16.5	67
6/7/2024	21:12:19	11	14.22	16.6	66.4
6/7/2024	21:22:21	11	14.03	16.8	65.7
6/7/2024	21:32:23	11	13.84	17	66.6
6/7/2024	21:42:25	11	13.63	17.1	67.4
6/7/2024	21:52:27	11	13.47	17.5	66
6/7/2024	22:02:29	11	13.26	18	67.8
6/7/2024	22:12:31	11	13.12	18.5	67.6
6/7/2024	22:22:32	11	12.91	18.9	67.1
6/7/2024	22:32:34	11	12.72	19.2	66.4
6/7/2024	22:42:36	11	12.52	19.5	67.4
6/7/2024	22:52:38	11	12.38	19.9	67.9
6/7/2024	23:02:40	11	12.18	20.2	67.4
6/7/2024	23:12:42	11	11.99	20.3	67.7
6/7/2024	23:22:44	11	11.79	20.8	66.6
6/7/2024	23:32:46	11	11.60	21.2	67.4
6/7/2024	23:42:48	11	11.38	21.6	68.3
6/7/2024	23:52:50	11	11.21	21.9	66.2
6/8/2024	0:02:52	11	11.03	22	66.3
6/8/2024	0:12:54	11	10.90	22.8	66.6
6/8/2024	0:22:55	11	10.67	23.5	66.4
6/8/2024	0:32:57	11	10.49	23.7	66.8
6/8/2024	0:42:59	11	10.28	24.4	67.8
6/8/2024	0:53:00	11	10.12	24.9	68.4
6/8/2024	1:03:02	11	9.95	25.3	68.6
6/8/2024	1:13:04	11	9.76	25.8	68
6/8/2024	1:23:06	11	9.59	26.5	66.4
6/8/2024	1:33:07	11	9.38	27.5	67.5
6/8/2024	1:43:09	11	9.20	27.8	67.8
6/8/2024	1:53:11	11	9.02	28.9	68.7
6/8/2024	2:03:13	11	8.85	30	67.1
6/8/2024	2:13:15	11	8.69	31	67.6
6/8/2024	2:23:17	11	8.50	32	67
6/8/2024	2:33:18	11	8.35	32.5	68.4
6/8/2024	2:43:20	11	8.14	33.2	66.4
6/8/2024	2:53:22	11	8.00	34	67.6
6/8/2024	3:03:24	11	7.81	35	68.2
6/8/2024	3:13:25	11	7.61	36.5	68

6/8/2024	3:23:27	11	7.46	37.5	67.9
6/8/2024	3:33:28	11	7.27	38.5	68
6/8/2024	3:43:31	11	7.08	40	68.2
6/8/2024	3:53:33	11	6.91	41.5	68.1
6/8/2024	4:03:35	11	6.75	43	68.1
6/8/2024	4:13:37	11	6.57	45	67.9
6/8/2024	4:23:39	11	6.36	47	67.2
6/8/2024	4:33:41	11	6.22	50	67.4
6/8/2024	4:43:43	11	6.06	52	70.2
6/8/2024	4:53:44	11	5.87	53	68.9
6/8/2024	5:03:46	11	5.69	55	67.4
6/8/2024	5:13:48	11	5.54	56	67.2
6/8/2024	5:23:50	11	5.37	58	67.8
6/8/2024	5:33:51	11	5.20	61	68
6/8/2024	5:43:53	11	5.01	63	67.4
6/8/2024	5:53:55	11	4.85	65.5	67.8

DATA AKTUAL				
Drum Temp(T2)	Pan Temp (T4)	Pressure (bar)	Laju Evaporasi	AVG Laju Evaporasi
33.7	43.4	0.25	0.12	0.696923077
34.1	45.1	0.25	0.06	
34.6	49.3	0.25	0.06	
34.9	53.9	0.25	0.36	
35.4	57.5	0.25	0.3	
36	57.3	0.25	0.78	
36.9	57.1	0.25	0.9	
37.6	57.2	0.25	0.9	
38.2	56.4	0.25	0.72	
39.1	55.6	0.25	0.84	
39.7	56	0.25	0.96	
40.1	57.4	0.25	0.66	
40.9	57.6	0.25	0.9	
41.5	56.1	0.25	0.06	
41.8	57.1	0.25	0.12	
42.6	56.3	0.25	2.22	
42.8	57.4	0.25	0.9	
43.4	58.4	0.25	0.84	
43.7	55.5	0.25	0.72	
44	56.3	0.25	0.78	
44.4	57.8	0.25	0.9	
44.9	57	0.25	0.78	
45.1	57.6	0.25	0.72	
45.6	57.6	0.25	0.9	

45.6	58.6	0.25	0.72	
46.2	57.7	0.25	0.9	
46.3	57.7	0.25	1.02	1.0824
47.1	59.1	0.25	1.08	
47.6	59.8	0.25	1.08	
47.7	58.4	0.25	1.08	
48.3	58.5	0.25	1.08	
48.5	58	0.25	1.2	
49.1	58	0.25	1.02	
49.2	59.3	0.25	1.2	
49.4	58.1	0.25	1.08	
49.3	57.3	0.25	1.02	
49.7	58	0.3	1.08	
50.1	57.5	0.3	1.08	
50.1	57.3	0.3	1.2	
50.7	57.6	0.3	1.08	
50.8	58.3	0.3	1.02	
50.9	56.9	0.3	1.08	
50.9	59.2	0.3	1.2	
51.1	59.1	0.3	1.02	
51.2	58.8	0.3	1.02	
51.6	57.5	0.3	1.08	
51.8	57.2	0.3	1.02	
51.9	57.7	0.3	1.02	
51.7	58.9	0.3	1.2	
51.9	58.3	0.3	1.14	
52.4	58.1	0.3	1.14	
52.5	57.5	0.3	1.26	
52.4	57.3	0.3	0.96	
52.7	56.1	0.3	1.26	
52.7	57.9	0.3	0.84	
52.9	55.8	0.3	1.26	
52.9	56.7	0.3	1.14	
53.5	58.1	0.3	1.2	
53.7	57.9	0.3	0.84	
53.7	57.9	0.3	1.2	
53.8	57.8	0.3	1.14	
53.8	56.7	0.3	1.2	
54.1	57.3	0.3	1.14	
54.1	57.5	0.3	1.32	
54,3	58.3	0.3	1.02	
54.4	58.1	0.3	1.08	
54.1	57.4	0.3	0.78	
54.5	57.9	0.3	1.38	
54.6	56.7	0.3	1.08	

54.7	57	0.3	1.26
54.6	58.1	0.3	0.96
54.3	56.6	0.3	1.02
54.7	57.7	0.3	1.14
54.5	57.2	0.3	1.02
54.6	57.5	0.3	1.26
54.9	56.8	0.3	1.08
54.7	57.6	0.3	1.08
54.5	57.8	0.3	1.02
54.9	57	0.3	0.96
54.9	57.3	0.3	1.14
54.8	57.2	0.3	0.9
54.6	55.8	0.3	1.26
54.9	56.2	0.3	0.84
54.7	56.6	0.3	1.14
54.7	57.9	0.3	1.2
54.9	56.7	0.3	0.9
54.6	57	0.3	1.14
54.9	56.4	0.3	1.14
54.9	56.3	0.3	1.02
54.7	56.2	0.3	0.96
54.8	58.1	0.3	1.08
54.7	57.4	0.3	1.26
54.8	56.8	0.3	0.84
54.7	56.7	0.3	0.96
54.7	58.4	0.3	1.14
54.8	57.3	0.3	1.08
54.4	56.7	0.3	0.9
54.8	57.2	0.3	1.02
54.7	57.6	0.3	1.02
54.7	58.2	0.3	1.14
54.8	59.8	0.3	0.96
54.7	58.8	0.3	

Lampiran Data Pengujian Sistem Kontrol ESP32

Data Kontrol ESP32							
Tanggal	Jam	Brix Awal	Massa Terkini	Brix Terkini	Suhu Tangki (T1)	Nilai Evaporasi	Average
6/7/2024	12:59:19	11	21.4	11	50	0	0
6/7/2024	13:09:21	11	21.38	11.05	55	0.12	0.696923
6/7/2024	13:19:23	11	21.37	11.07	61	0.06	
6/7/2024	13:29:24	11	21.36	11.08	66	0.06	
6/7/2024	13:39:26	11	21.3	11.11	73	0.36	

6/7/2024	13:49:30	11	21.25	11.26	75	0.3	
6/7/2024	13:59:31	11	21.12	11.4	76	0.78	
6/7/2024	14:09:36	11	20.97	11.54	79	0.9	
6/7/2024	14:19:39	11	20.82	11.69	78	0.9	
6/7/2024	14:29:40	11	20.7	11.81	77	0.72	
6/7/2024	14:39:42	11	20.56	11.95	78	0.84	
6/7/2024	14:49:45	11	20.4	12.11	77	0.96	
6/7/2024	14:59:47	11	20.29	12.22	78	0.66	
6/7/2024	15:09:49	11	20.14	12.37	79	0.9	
6/7/2024	15:19:47	11	20.13	12.38	77	0.06	
6/7/2024	15:30:58	11	20.11	12.4	79	0.12	
6/7/2024	15:40:59	11	19.74	12.77	79	2.22	
6/7/2024	15:51:01	11	19.59	12.92	79	0.9	
6/7/2024	16:01:04	11	19.45	13.06	78	0.84	
6/7/2024	16:11:07	11	19.33	13.18	79	0.72	
6/7/2024	16:21:08	11	19.2	13.31	77	0.78	
6/7/2024	16:31:10	11	19.05	13.46	78	0.9	
6/7/2024	16:41:13	11	18.92	13.59	76	0.78	
6/7/2024	16:51:16	11	18.8	13.71	76	0.72	
6/7/2024	17:01:17	11	18.65	13.86	77	0.9	
6/7/2024	17:11:19	11	18.53	13.98	76	0.72	
6/7/2024	17:21:21	11	18.38	14.13	79	0.9	
6/7/2024	17:31:23	11	18.21	14.3	76	1.02	1.0824
6/7/2024	17:41:28	11	18.03	14.48	77	1.08	
6/7/2024	17:51:30	11	17.85	14.66	76	1.08	
6/7/2024	18:01:46	11	17.67	14.84	79	1.08	
6/7/2024	18:11:40	11	17.49	15.02	77	1.08	
6/7/2024	18:21:41	11	17.29	15.22	77	1.2	
6/7/2024	18:31:43	11	17.12	15.39	79	1.02	
6/7/2024	18:41:46	11	16.92	15.59	76	1.2	
6/7/2024	18:51:47	11	16.74	15.77	76	1.08	
6/7/2024	19:01:49	11	16.57	15.94	78	1.02	
6/7/2024	19:11:51	11	16.39	16.12	79	1.08	
6/7/2024	19:21:53	11	16.21	16.31	76	1.08	
6/7/2024	19:31:55	11	16.01	16.5	76	1.2	
6/7/2024	19:41:56	11	15.83	16.68	78	1.08	
6/7/2024	19:51:58	11	15.66	16.85	78	1.02	
6/7/2024	20:02:01	11	15.48	17.04	76	1.08	
6/7/2024	20:12:04	11	15.28	17.23	76	1.2	
6/7/2024	20:22:06	11	15.11	17.4	76	1.02	
6/7/2024	20:32:12	11	14.94	17.58	79	1.02	
6/7/2024	20:42:14	11	14.76	17.76	79	1.08	
6/7/2024	20:52:16	11	14.59	17.92	77	1.02	
6/7/2024	21:02:17	11	14.42	18.1	78	1.02	
6/7/2024	21:12:19	11	14.22	18.29	79	1.2	

6/7/2024	21:22:21	11	14.03	18.49	78	1.14
6/7/2024	21:32:23	11	13.84	18.67	77	1.14
6/7/2024	21:42:25	11	13.63	18.88	78	1.26
6/7/2024	21:52:27	11	13.47	19.04	79	0.96
6/7/2024	22:02:29	11	13.26	19.25	77	1.26
6/7/2024	22:12:31	11	13.12	19.39	79	0.84
6/7/2024	22:22:32	11	12.91	19.6	76	1.26
6/7/2024	22:32:34	11	12.72	19.8	76	1.14
6/7/2024	22:42:36	11	12.52	19.99	78	1.2
6/7/2024	22:52:38	11	12.38	20.14	76	0.84
6/7/2024	23:02:40	11	12.18	20.33	77	1.2
6/7/2024	23:12:42	11	11.99	20.52	76	1.14
6/7/2024	23:22:44	11	11.79	20.72	78	1.2
6/7/2024	23:32:46	11	11.6	20.92	78	1.14
6/7/2024	23:42:48	11	11.38	21.13	76	1.32
6/7/2024	23:52:50	11	11.21	21.3	78	1.02
6/8/2024	0:02:52	11	11.03	21.48	76	1.08
6/8/2024	0:12:54	11	10.9	21.61	79	0.78
6/8/2024	0:22:55	11	10.67	21.84	78	1.38
6/8/2024	0:32:57	11	10.49	22.02	77	1.08
6/8/2024	0:42:59	11	10.28	22.23	76	1.26
6/8/2024	0:53:00	11	10.12	22.39	79	0.96
6/8/2024	1:03:02	11	9.95	22.56	76	1.02
6/8/2024	1:13:04	11	9.76	22.75	79	1.14
6/8/2024	1:23:06	11	9.59	22.92	79	1.02
6/8/2024	1:33:07	11	9.38	23.13	76	1.26
6/8/2024	1:43:09	11	9.2	23.31	76	1.08
6/8/2024	1:53:11	11	9.02	23.49	79	1.08
6/8/2024	2:03:13	11	8.85	23.66	76	1.02
6/8/2024	2:13:15	11	8.69	23.82	79	0.96
6/8/2024	2:23:17	11	8.5	24.01	76	1.14
6/8/2024	2:33:18	11	8.35	24.17	79	0.9
6/8/2024	2:43:20	11	8.14	24.37	79	1.26
6/8/2024	2:53:22	11	8	24.52	79	0.84
6/8/2024	3:03:24	11	7.81	24.7	79	1.14
6/8/2024	3:13:25	11	7.61	24.9	77	1.2
6/8/2024	3:23:27	11	7.46	25.05	77	0.9
6/8/2024	3:33:28	11	7.27	25.24	76	1.14
6/8/2024	3:43:31	11	7.08	25.43	79	1.14
6/8/2024	3:53:33	11	6.91	25.6	76	1.02
6/8/2024	4:03:35	11	6.75	25.76	76	0.96
6/8/2024	4:13:37	11	6.57	25.94	79	1.08
6/8/2024	4:23:39	11	6.36	26.15	76	1.26
6/8/2024	4:33:41	11	6.22	26.3	79	0.84
6/8/2024	4:43:43	11	6.06	26.45	78	0.96

6/8/2024	4:53:44	11	5.87	26.65	78	1.14	
6/8/2024	5:03:46	11	5.69	26.82	77	1.08	
6/8/2024	5:13:48	11	5.54	26.97	79	0.9	
6/8/2024	5:23:50	11	5.37	27.14	78	1.02	
6/8/2024	5:33:51	11	5.2	27.31	76	1.02	
6/8/2024	5:43:53	11	5.01	27.51	77	1.14	
6/8/2024	5:53:55	11	4.85	27.66	77	0.96	

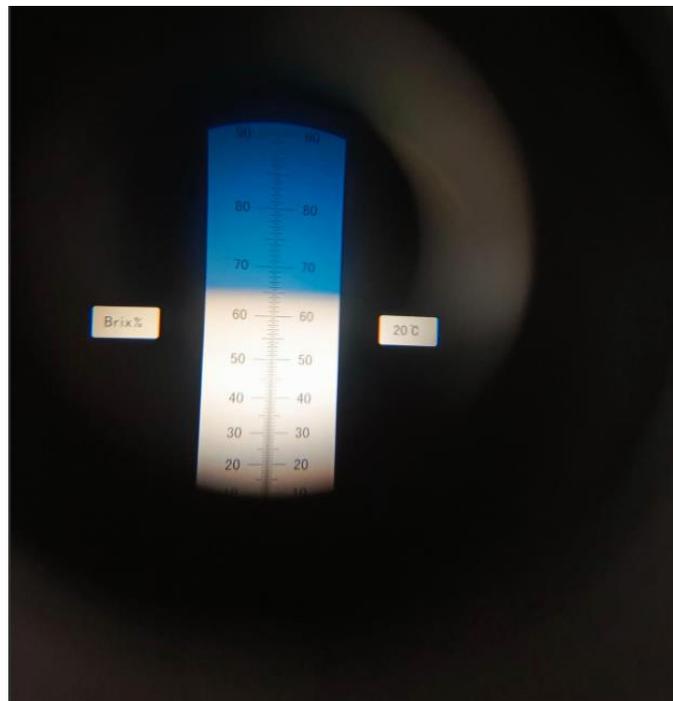
Lampiran Data Laju Evaporasi Perjam

Waktu	Laju Evaporasi (Kg/jam)
Jam Ke 1	0.28
Jam ke 2	0.83
Jam ke 3	0.84
Jam ke 4	0.8
Jam ke 5	0.98
Jam ke 6	1.1
Jam ke 7	1.09
Jam ke 8	1.06
Jam ke 9	1.16
Jam ke 10	1.08
Jam ke 11	1.15
Jam ke 12	1.08
Jam ke 13	1.1
Jam ke 14	1.04
Jam ke 15	1.06
Jam ke 16	1.06
Jam ke 17	0.84
Rata rata	0.973529

Lampiran Pengambilan Data







Lampiran Pengambilan Nira Aren Cair

