

**PENGARUH DESAIN *HEATER* TERHADAP PERFORMA
PROSES PRODUKSI GULA AREN CAIR**

Skripsi



Disusun Oleh:

ANDRI RIAN TO

3331210025

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

**PENGARUH DESAIN *HEATER* TERHADAP PERFORMA
PROSES PRODUKSI GULA AREN CAIR**

Skripsi

**Untuk memenuhi persyaratan mencapai derajat Sarjana S1
pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



Disusun Oleh:

ANDRI RIAN TO

3331210025

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

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Andri Rianto

NPM : 3331210025

Judul : Pengaruh Desain *Heater* Terhadap Performa Proses Produksi Gula Aren Cair

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, 10 Juli 2025



Andri Rianto

NPM.333121025

TUGAS AKHIR

PENGARUH DESAIN HEATER TERHADAP PERFORMA PROSES PRODUKSI GULA AREN CAIR

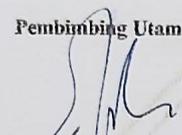
Dipersiapkan dan disusun Oleh :

ANDRI RIAN TO

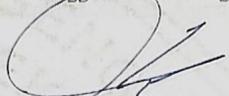
3331210025

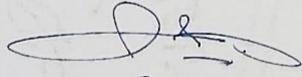
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 17 Juni 2025

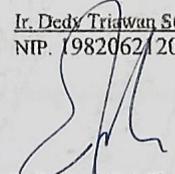
Pembimbing Utama


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

Anggota Dewan Penguji


Sidik Susilo S.T., M.Sc.
NIP. 198806052019031006


Ir. Dedy Triawan Supravogi, M.Eng, Ph.D
NIP. 198206212022031001


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

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

Tanggal, 09 Juli 2025
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA



ABSTRAK

PENGARUH DESAIN *HEATER* TERHADAP PERFORMA PROSES PRODUKSI GULA AREN CAIR

Disusun oleh:

Andri Rianto

3331210025

Proses produksi gula aren cair memerlukan waktu produksi yang sangat lama. Waktu produksi yang lama tersebut dapat menghambat produktivitas petani. Salah satu inovasi yang dikembangkan adalah penggunaan *heater* elektrik pada sistem *vacuum evaporator* untuk mempercepat proses evaporasi pada suhu rendah sehingga kualitas nira aren dapat terjaga. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi bentuk *heater* terhadap efisiensi thermal dan laju evaporasi dalam produksi nira aren cair. Pengujian dilakukan menggunakan tiga jenis *heater*, yaitu *heater* tubular (U), *heater* spiral, dan *heater* tubular (U), masing-masing dengan daya 500 watt dan tekanan vakum -0,7 bar untuk memanaskan 20 kg nira aren cair selama 120 menit. Hasil pengujian menunjukkan *heater* tubular *fin* memiliki efisiensi termal tertinggi sebesar 78,9% karena luas permukaan kontak yang besar (1.112 cm^2). Namun, *heater* spiral menunjukkan efisiensi evaporasi tertinggi sebesar 8,56% dan laju penguapan tertinggi sebesar $1,67 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$, berkat distribusi panas yang merata dan kestabilan suhu selama proses berlangsung

Kata Kunci: *Efisiensi Thermal, Heater, Nira Aren Cair, Vacuum Evaporator*

ABSTRACT

THE EFFECT OF HEATER DESIGN ON THE PERFORMANCE OF LIQUID PALM SUGAR PRODUCTION PROCESS

Prepared by:

Andri Rianto

3331210025

The production process of liquid palm sugar requires a significantly long processing time, which can hinder farmers' productivity. One innovation developed to address this issue is the use of an electric heater in a vacuum evaporator system to accelerate the evaporation process at low temperatures, thereby preserving the quality of the palm sap. This study aims to determine the effect of heater design variations on thermal efficiency and evaporation rate in the production of liquid palm sap. The tests were conducted using three types of heaters: tubular (U), spiral, and finned tubular (U), each with a power of 500 watts and a vacuum pressure of 0.7 bar, used to heat 20 kg of liquid palm sap for 120 minutes. The results showed that the finned tubular heater had the highest thermal efficiency at 78.9%, due to its large contact surface area (1,112 cm²). However, the spiral heater demonstrated the highest evaporation efficiency of 8.56% and the highest evaporation rate of 1.67×10^{-5} kg/s, thanks to its even heat distribution and stable temperature throughout the process.

Keywords: *Thermal Efficiency, Heater, Liquid Palm Sap, Vacuum Evaporator*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Pengaruh Desain *Heater* terhadap Performa Proses Produksi Gula Aren Cair.” Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 (S1) pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat dan informasi yang berguna bagi para pembaca. Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu segala bentuk kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, serta bantuan selama proses penyusunan laporan ini, di antaranya:

1. Bapak Dhimas Satria, ST., M.Eng. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Bapak Dr. Erwin, S.T., MT., Selaku Dosen Pembimbing yang sudah membantu serta memberikan arahan dan ide selama proses pengembangan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Kurnia Nugraha, S.T., M.T., Selaku Dosen pembimbing akademik.
4. Bapak Yusvardi Yusuf, S.T., M.T., Selaku koordinator tugas akhir periode saat ini di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
5. Seluruh Dosen dan Staf Akademik di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, atas kontribusi ilmiah, bantuan, dan arahan yang diberikan sepanjang masa perkuliahan
6. Orang tua penulis yaitu Namih dan Johan Risdiyanto serta keluarga yang senantiasa memberikan dukungan dan doa selama melakukan penelitian ini.
7. Ucapan terima kasih juga kepada rekan mahasiswa angkatan 2021 (Angkatan Rocket) Jurusan Teknik Mesin, yang memberikan semangat dan motivasi selama perkuliahan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan baik.

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, 25 Februari 2025

Andri Rianto
3331210025

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masaalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Heater</i>	5
2.1.1 Jenis-Jenis Elemen Pemanas (<i>Heater Element</i>)	5
2.1.2 Jenis-Jenis Bentuk Elemen Pemanas (<i>Heater Element</i>)	7
2.2 Perpindahan Panas	10
2.3 Evaporasi	14
2.4 <i>Vacuum Evaporator</i>	15
2.5 Hubungan antara Tekanan dan Suhu	16
2.6 <i>State of Art</i>	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	20
3.2 Metode Penelitian	21
3.3 Alat dan Bahan yang digunakan	21

3.3.1 Alat yang digunakan	21
3.3.2 Bahan yang digunakan	25
3.4 Prosedur Penelitian	26
3.5 Rancangan Percobaan.....	26
3.6 Desain Geometri <i>Heater</i>	28

BAB IV DATA DAN ANALISA

4.1 <i>Vacuum evaporator</i> dengan Sistem Pemanas Elektrik	32
4.2 Hasil Pengujian Performa pada masing masing <i>heater</i>	33
4.2.1 Hasil Pengujian <i>Heater</i> Tubular (U)	33
4.2.2 Hasil Pengujian <i>Heater</i> Spiral.....	34
4.2.3 Hasil Pengujian <i>Heater</i> Tubular <i>Fin</i> (U <i>Fin</i>).....	35
4.3 Analisa Perbandingan Stabilitas Tekanan.....	35
4.4 Analisa Kinerja Pemanasan	37
4.5 Analisis Efisiensi <i>Heater</i>	39
4.6 Analisa Laju Penguapan	41

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran	46

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Lampiran A. Perhitungan

Lampiran B. Dokumentasi Pengambilan Data

Lampiran C. Data Hasil Pengujian

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Element Pemanas Logam (Khantal)	6
Gambar 2.2 Element Pemanas Keramik.....	7
Gambar 2.3 <i>Straight Heater</i>	8
Gambar 2.4 <i>Coiled Heater</i>	9
Gambar 2.5 <i>Heater U-Shaped</i>	9
Gambar 2.3 Perpindahan Panas	10
Gambar 2.4 Perpindahan panas Konduksi.....	11
Gambar 2.5 Perpindahan panas Konveksi	12
Gambar 2.6 Perpindahan panas Konveksi	13
Gambar 2.7 <i>Vacuum Evaporator</i>	15
Gambar 2.8 Titik didih Nira pada vakum	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 3.2 <i>Heater</i>	22
Gambar 3.3 Panci Vacuum	22
Gambar 3.4 Pompa	23
Gambar 3.5 Venturi.....	23
Gambar 3.6 <i>Pressure Gauge</i>	24
Gambar 3.7 Thermostat STC-1000.....	24
Gambar 3.8 <i>Pressure sensor dan Wishner ch102</i>	25
Gambar 3.9 <i>Wattmeter</i>	25
Gambar 3.10 Nira Aren Cair.....	25
Gambar 3.11 <i>Setup Experiment Alat Uji</i>	27
Gambar 3.12 <i>Setup Experiment Sistem Kontrol</i>	27
Gambar 3.13 Dimensi <i>Heater U</i>	28
Gambar 3.14 <i>Heater U</i> pada Panci Evaporator	29
Gambar 3.15 Dimensi <i>Heater Spiral</i>	29
Gambar 3.14 <i>Heater U Fin</i> pada Panci Evaporator.....	30
Gambar 3.15 Dimensi <i>Heater U Fin</i>	30

Gambar 3.14 <i>Heater U Fin</i> pada Panci Evaporator.....	31
Gambar 4.1 Setup Pengujian	32
Gambar 4.2 Grafik Kenaikan suhu	38
Gambar 4.2 Grafik Laju dan efisiensi evaporasi masing masing <i>Heater</i>	42

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 <i>State of Art</i>	18
Tabel 3.1 Spesifikasi <i>Heater</i>	22
Tabel 4.1 Hasil Pengujian <i>Heater</i> U	34
Tabel 4.2 Hasil Pengujian <i>Heater</i> spiral	34
Tabel 4.3 Hasil Pengujian <i>Heater</i> U <i>fin</i>	35
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Efisiensi <i>Heater</i>	39
Tabel 4.4 Hasil perhitungan laju evaporasi rata-rata	42
Tabel 4.5 Hasil perhitungan efisiensi evaporasi	42

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanaman Aren (*Arenga pinata*) adalah tanaman yang tumbuh secara alami dinegara kepulauan di asia tenggara. Tanaman ini memiliki potensi yang sangat besar untuk dikembangkan menjadi salah satu komoditas agro-industri diindonesia [1]. Hal ini dikarenakan penyebarannya yang hampir diseluruh wilayah Indonesia. Dengan adanya potensi tersebut, pengembangan tanaman aren dapat memberikan dampak yang signifikan bagi perkeekonomian, khususnya pada sektor agro-industri, sekaligus mendukung pelestarian sumber daya alam lokal.

Nira aren adalah salah satu produk berupa cairan manis yang dihasilkan dari pohon aren (*Arenga pinnata*), cairan ini merupakan hasil metabolisme dari pohon tersebut. Cairan nira aren biasanya mengandung gula 10%-15%. Sehingga nira aren cair ini dapat diolah menjadi minuman ringan ataupun menjadi gula aren [2]. Pada proses pembuatan gula aren menggunakan nira cair biasanya memerlukan beberapa proses salah satunya adalah pemanasan untuk mengurai kadar air dan meningkatkan konsentrasi larutan gula pada nira cair.

Provinsi Banten memiliki beberapa wilayah sentra produksi gula aren salah satunya adalah Kampung Ciluluk RT.007 RW 004 Desa Pasangrahan Kecamatan Munjul Kabupaten Pandeglang. Berdasarkan data statistik dari dinas pertanian di kabupaten pandeglang, produksi gula aren di Desa Munjul menunjukkan tren kenaikan pada tahun 2023 produksi gula aren mencapai 1.772 kuintal. Jumlah tersebut juga meningkat jika dibandingkan dengan data tahun 2022 yang mencapai 1.644,5 kuintal [3]. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kenaikan salah satunya adalah upaya memoderenisasi beberapa aspek produksi, meskipun masih banyak kendala yang dihadapi.

Kendala utama yang sering dihadapi adalah proses produksi nira aren cair yang membutuhkan energi yang besar dan waktu yang sangat lama. Umumnya petani menggunakan metode tradisional yang menggunakan tungku kayu bakar

yang memiliki suhu yang tidak stabil, sehingga dapat mempengaruhi kualitas dari nira aren cair yang dihasilkan [4]. Selain itu penggunaan energi yang tidak efisien membuat tingginya biaya produksi serta emisi gas rumah kaca. Waktu produksi yang sangat lama juga menghambat produktivitas para petani, yang akhirnya berdampak pada pendapatan mereka. Dengan adanya modernisasi dalam bentuk alat pemanas atau *heater* memberikan Solusi yang potensial untuk mengatasi permasalahan tersebut. *Heater* dapat digunakan untuk memangkas waktu produksi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh jenis dan bentuk *heater* terhadap efisiensi serta waktu proses pemanasan dalam produksi gula aren cair. Pengujian dilakukan menggunakan vacuum evaporator yang bekerja pada tekanan vakum sebesar -0,7 bar. Pengujian dilakukan langsung menggunakan nira aren cair segar sebagai bahan uji utama. Nira aren merupakan bahan alami yang mudah mengalami fermentasi dan penurunan kualitas, sehingga proses pemanasan yang cepat dan efisien sangat diperlukan untuk menjaga mutu produk akhir. Penggunaan bahan asli ini memungkinkan evaluasi performa alat secara lebih akurat dan relevan terhadap kondisi nyata di lapangan. Dari pengujian ini, diharapkan akan memberikan dasar penting dalam pengembangan teknologi pemrosesan gula aren cair yang lebih efisien dan berkualitas.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang ada hingga saat ini adalah pengembangan potensi gula cair di Indonesia yang masih sangat minim. Hal ini ditunjukkan dengan minimnya teknologi pengolahan gula aren cair, sehingga menyebabkan gula aren cair yang dihasilkan masih berwarna keruh dan cenderung gelap. Berikut ini merupakan rumusan masalah yang ada pada penelitian ini adapun seperti dibawah ini.

1. Bagaimana pengaruh bentuk *heater* terhadap waktu pemanasan dan laju evaporasi pada proses produksi nira aren cair ?
2. Bagaimana efisiensi thermal dan efisiensi laju evaporasi masing-masing *heater* dalam menurunkan kadar air pada proses produksi nira aren cair ?

3. Bentuk *heater* apa yang paling optimal untuk meningkatkan efisiensi energi dan waktu dalam proses produksi nira aren cair ?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis Pengaruh bentuk *Heater* terhadap Waktu Pemanasan dan laju evaporasi pada proses produksi nira aren cair.
2. Menganalisa efisiensi thermal dan laju evaporasi masing masing *heater* untuk menentukan bentuk yang paling efektif dalam mengurangi kadar air pada proses produksi nira aren cair.
3. Memberikan rekomendasi bentuk *heater* yang optimal untuk meningkatkan efisiensi waktu dan energi dalam proses produksi nira aren cair

1.4 Batasan Masaalah

Ada beberapa batasan masalah yang terdapat pada penelitian ini agar fokus penelitian tidak keluar dari variable yang ingin dicari. Adapun batasan masalah yang ada pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Jenis cairan yang digunakan adalah nira aren cair dengan brix 28-29%
2. Bentuk *heater* yang digunakan untuk menganalisa performa adalah *heater* tubular, *heater* spiral, dan tubular *fin*
3. Pengujian dilakukan pada kondisi vacuum dengan tekanan -0,7bar
4. Daya pengujian *heater* dibatasi di 500W untuk mensimulasikan penggunaan di desa-desa.
5. Pengaruh tekanan vakum diabaikan diperhitungan

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini antara lain adalah untuk meningkatkan efisiensi konsumsi energi pada proses produksi nira aren cair, sehingga penggunaan energi menjadi lebih hemat dan ramah lingkungan. Selain itu, penelitian ini bertujuan mengoptimalkan waktu pemasakan agar proses

produksi menjadi lebih efektif dan tidak memakan waktu yang terlalu lama, sehingga kapasitas produksi dapat meningkat tanpa mengurangi kualitas. Dengan pengaturan temperatur *heater* yang lebih presisi sesuai dengan ketentuan yang diinginkan oleh para pengrajin, diharapkan kualitas gula aren cair yang dihasilkan dapat lebih konsisten dan memenuhi standar mutu yang telah ditetapkan, khususnya standar sukrosa cair sesuai dengan NO. 8779.2019. Hal ini akan berdampak positif pada cita rasa gula aren cair yang lebih manis dan stabil, serta meningkatkan daya saing produk di pasar. Selain itu, peningkatan kualitas produk juga dapat membantu menjaga kepercayaan konsumen dan memperluas pangsa pasar gula aren cair.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Heater

Electrical Heating Element adalah penghasil panas yang sering digunakan disegala bidang. Elemen pemanas berfungsi untuk meningkatkan suhu dari suhu rendah suatu zat sampai ke suhu tinggi [5]. Sumber panas yang dihasilkan oleh *element heater* ini berasal dari lilitan kawat bertahanan Listrik tinggi (*Resistance Wire*) biasanya bahan yang digunakan adalah lilitan kawat nikelin yang dimasukkan kedalam selubung sebagai pelindung kemudian dialiri arus listrik dikedua ujungnya dan dilapisi oleh isolator listrik yang mampu meneruskan panas dengan baik hingga aman jika digunakan [6]. Jenis dan bentuk dari heter element sangat beragam sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan seperti tempat pemasangan dan media yang dipanaskan [7]. Adapun berikut adalah jenis dari *heater element* adalah sebagai berikut

2.1.1 Jenis-Jenis Elemen Pemanas (*Heater Element*)

Elemen pemanas adalah inti dari sistem pemanas berbasis listrik. Fungsinya adalah mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui resistansi listrik. Ketika arus listrik mengalir melalui elemen dengan resistansi tinggi, energi panas dilepaskan akibat gesekan antara elektron dan atom material penyusun.

a. Elemen Pemanas Logam (*Metal Heating Elements*)

Elemen pemanas logam merupakan jenis yang paling umum digunakan dalam berbagai aplikasi rumah tangga maupun industri karena kinerjanya yang stabil dan efisien dalam menghasilkan panas. Di antara logam-logam yang digunakan, nikrom dan Kantal adalah dua bahan yang paling banyak diaplikasikan.

Nikrom, atau nickel-chromium, merupakan paduan logam yang terdiri dari sekitar 80% nikel dan 20% krom. Kombinasi ini menghasilkan bahan yang memiliki resistansi listrik tinggi serta ketahanan luar biasa terhadap oksidasi dan korosi pada suhu tinggi.

Nikrom mampu bekerja dengan stabil hingga suhu 1100°C , menjadikannya pilihan utama dalam perangkat pemanas seperti kompor listrik, oven rumah tangga, pemanas air, dan blower. Kestabilan termalnya membuat elemen ini dapat digunakan secara terus-menerus tanpa mengalami degradasi signifikan, bahkan dalam siklus pemanasan dan pendinginan yang berulang.



Gambar 2.1 Element Pemanas Logam (Khantal)

Sementara itu, Kantal adalah paduan logam yang terdiri dari besi (Fe), kromium (Cr), dan aluminium (Al). Material ini memiliki kemampuan kerja pada suhu yang lebih tinggi dibandingkan nikrom, bahkan mencapai 1300°C . Keunggulan utama Kantal terletak pada pembentukan lapisan oksida aluminium yang melindungi permukaan logam dari oksidasi dan korosi selama proses pemanasan, sehingga memperpanjang umur pakai elemen tersebut. Selain itu, Kantal dikenal tahan terhadap kejutan termal, menjadikannya sangat sesuai untuk penggunaan di lingkungan industri berat seperti pada tungku, kiln, dan *heater* industri. Kelebihan ini menjadikan elemen pemanas logam berbahan Kantal lebih ekonomis dalam jangka panjang karena mengurangi kebutuhan penggantian dan perawatan.

b. Elemen Pemanas Keramik (*Ceramic Heating Elements*)

Elemen pemanas keramik merupakan jenis pemanas yang menggunakan bahan keramik sebagai media utama penghantar panas. Pemanas ini sering kali berbasis material PTC (*Positive Temperature Coefficient*), yaitu bahan yang resistansinya meningkat ketika suhu naik, seperti barium titanate. Sifat ini menjadikan

elemen pemanas keramik lebih aman, karena ketika suhu mencapai ambang tertentu, arus listrik yang mengalir akan berkurang secara alami, sehingga suhu tidak terus meningkat secara tak terkendali.



Gambar 2.2 Element Pemanas Keramik

Elemen keramik umumnya digunakan dalam perangkat yang memerlukan keamanan tinggi dan pengendalian suhu otomatis seperti pemanas ruangan, *hair dryer*, pemanas udara, dan perangkat elektronik yang sensitif. Keunggulan utama dari elemen ini adalah daya tahannya terhadap suhu tinggi serta ketahanan terhadap degradasi kimia atau korosi. Selain itu, karena keramik bersifat isolator listrik, elemen pemanas ini cenderung lebih aman untuk digunakan dalam lingkungan lembap atau dalam sistem tertutup. Penggunaan elemen keramik juga memungkinkan pemanasan yang cepat dan efisien dalam area kecil, menjadikannya ideal untuk aplikasi portabel dan perangkat miniatur.

2.1.2 Jenis-Jenis Bentuk Elemen Pemanas (*Heater Element*)

Elemen pemanas adalah komponen utama dalam sistem pemanas listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui prinsip resistansi (hambatan listrik). Berikut adalah beberapa jenis elemen pemanas yang umum digunakan:

a. *Heater* Lurus (*Straight Heater*)

Heater lurus merupakan bentuk paling dasar dari elemen pemanas listrik dan menjadi tipe yang paling awal dikembangkan. Desainnya sederhana berupa batang logam lurus yang mengandung kawat resistansi di bagian dalamnya, dilapisi dengan bahan isolator serta pelindung luar dari logam. Karena bentuknya yang langsung

dan tanpa lengkungan, *heater* ini sangat cocok untuk aplikasi perendaman langsung (*immersion heater*), di mana elemen pemanas dicelupkan langsung ke dalam cairan seperti air, minyak, atau larutan kimia lainnya. *Heater* lurus banyak digunakan dalam pemanas air rumah tangga, pemanas tangki industri, dan sistem pengolahan fluida. Keunggulan utama bentuk ini adalah efisiensi dalam transfer panas secara langsung ke media cair, serta konstruksinya yang kokoh dan mudah dirawat. Namun, karena distribusi panas terjadi secara linear dari batang tersebut, maka diperlukan strategi tambahan (seperti pengadukan) agar suhu cairan tetap homogen pada seluruh volume.



Gambar 2.3 *Straight Heater*

b. *Heater Spiral / Koil (Coiled Heater)*

Heater spiral atau koil memiliki bentuk kawat pemanas yang digulung menyerupai pegas, sehingga menghasilkan area permukaan yang lebih luas dibandingkan *heater* lurus. Bentuk spiral ini secara signifikan meningkatkan efisiensi pemanasan karena memperluas kontak antara elemen dan media yang dipanaskan, baik udara maupun cairan. Pemanas tipe ini banyak digunakan dalam oven, pemanas ruangan, alat pengering industri, serta sistem konveksi. Selain efisiensi panasnya, bentuk spiral juga menciptakan sirkulasi udara atau cairan yang lebih turbulen di sekitarnya, sehingga mempercepat distribusi panas secara merata. Struktur spiral juga meminimalkan tekanan termal pada logam pemanas saat terjadi ekspansi akibat kenaikan suhu. Karena alasan ini, *heater* spiral sangat disukai dalam sistem pemanas suhu tinggi yang

membutuhkan kestabilan termal dan performa jangka panjang. Namun, bentuk ini kurang cocok untuk perendaman dalam ruang terbatas karena ukurannya bisa menjadi besar tergantung panjang elemen.



Gambar 2.4 *Coiled Heater*

c. *Heater U-Shaped*

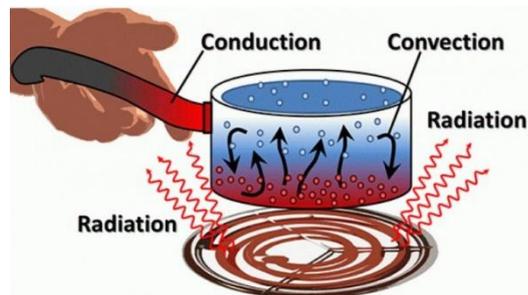
Heater berbentuk U merupakan hasil pengembangan dari *heater* lurus yang dibengkokkan sehingga membentuk lengkungan menyerupai huruf “U”. Dua terminal listrik berada di sisi yang sama, menjadikan desain ini lebih praktis dari segi pemasangan dan perawatan karena hanya memerlukan satu sisi akses untuk kelistrikan. Bentuk U memungkinkan jalur pemanasan ganda dari dua sisi batang pemanas, sehingga meningkatkan efisiensi panas dalam ruang sempit seperti dasar panci, tangki, atau boiler. Umumnya, *heater* tipe ini dipasang pada dinding atau dasar wadah dan digunakan untuk memanaskan cairan dalam bejana logam tertutup. Dalam aplikasi skala industri kecil seperti pemanasan nira, bentuk U memberikan keseimbangan antara luas area panas dan kesederhanaan desain, meskipun distribusi panasnya bisa tidak merata apabila bejana tidak memiliki sistem pengadukan atau permukaan pemanasnya terbatas pada satu sisi dasar



Gambar 2.5 *Heater U-Shaped*

2.2 Perpindahan Panas

Kalor atau panas adalah energi yang ditransfer atau diteruskan dari suatu benda ke benda yang lain karena perbedaan temperatur. [8]. Ini dapat terjadi ketika partikel-partikel didalam suatu benda bergerak dengan energi kinetik yang tinggi dan energi tersebut ditransfer kepada partikel-partikel yang memiliki energi kinetik yang lebih rendah. [6]. Jumlah energi panas Q yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur suatu zat sebanding dengan massa zat, kalor jenis dan perubahan temperatur pada zat tersebut [8].



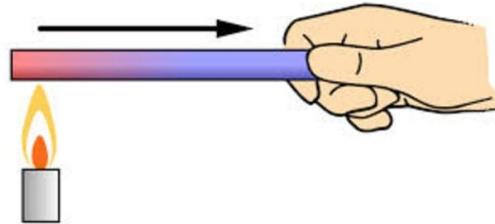
Gambar 2.6 Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan berpindahnya energi dari suatu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari perbedaan temperatur antara daerah-daerah tersebut. Hal ini terjadi ketika energi panas berpindah dari partikel dengan energi kinetik yang lebih tinggi ke partikel dengan energi kinetik yang lebih rendah, sehingga meningkatkan suhu partikel yang lebih dingin. Proses ini terjadi sebagai akibat dari perbedaan suhu antara dua benda, panas adalah bentuk energi yang akan mengalir dari benda yang memiliki suhu lebih tinggi ke benda yang memiliki suhu lebih rendah sampai suhu kedua benda seimbang. Karena tersebut maka dapat disimpulkan bahwa perbedaan temperatur (Δt) adalah penyebab terjadinya proses perpindahan panas. Dalam proses perpindahan panas, dikenal 3 macam metode perpindahan panas, yaitu

1. Perpindahan panas Konduksi

Perpindahan panas Konduksi adalah proses perpindahan panas yang mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ketempat yang suhunya lebih rendah, dengan media penghantar panas tetap. Proses ini terjadi melalui material tanpa ada perpindahan substansi fisik karena partikel dalam benda

tersebut bergetar, Ketika partikel ini bergetar mereka memindahkan energi kinetik mereka satu sama lain yang mengakibatkan perpindahan energi panas. Mekanisme konduksi ini merupakan perpindahan yang paling umum terjadi dalam bahan padat[9].



Gambar 2.7 Perpindahan panas Konduksi

Secara matematis untuk perpindahan panas konduksi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} \dots\dots\dots (2.1)$$

Di mana:

Q = tingkat perpindahan panas (W).

k = koefisien konduktivitas termal bahan (W/m·K).

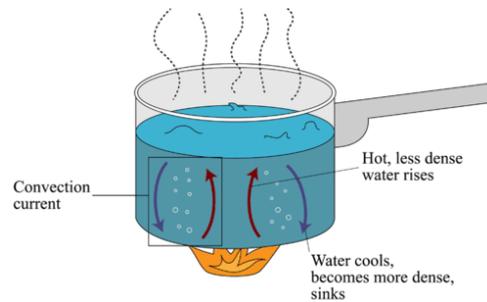
A = luas permukaan yang panasnya sedang berpindah (m²).

ΔT = perbedaan suhu antara dua ujung bahan (K).

d = ketebalan bahan (m).

2. Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi Ketika panas dipindahkan menggunakan media penghantar berupa fluida yang mengalir disekitar sumber panas [7]. Ketika fluida di dekat sumber panas menjadi lebih hangat sehingga fluida tersebut menjadi kurang padat dan naik ke atas, sedangkan bagian dari fluida yang lebih dingin dan lebih padat turun ke bawah. Hal ini menciptakan sirkulasi aliran yang mengangkut panas dari satu tempat ke tempat lain



Gambar 2.8 Perpindahan panas Konveksi

Konveksi adalah proses perpindahan energi gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi, dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas [8]. Proses konveksi dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu; konveksi paksa (*forced convection*) dan konveksi alami (*natural convection*)

a) Konveksi Paksa (*Forced Convection*)

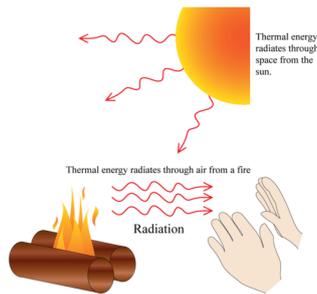
Konveksi ini terjadi ketika fluida yang mengalir dipaksa oleh menggunakan gaya eksternal, seperti kipas atau pompa. Contoh umum dari konveksi paksa adalah aliran udara di dalam radiator atau aliran air dalam pipa pemanas. Ketika fluida dipaksa mengalir, itu membantu dalam memindahkan panas dengan cepat dari sumber panas ke area yang lebih dingin[9]

b) Konveksi Alami (*Natural Convection*)

Konveksi ini terjadi ketika panas yang ditransfer ke suatu fluida menyebabkan perbedaan suhu dalam fluida dan mengurangi kepadatan fluida tersebut. Perbedaan kepadatan tersebut menimbulkan gaya apung yang mengangkat fluida serta panas yang diserap ke Lokasi lain sehingga menciptakan pergerakan alami dalam fluida. Misalnya, ketika Anda memanaskan cairan dalam panci, cairan yang lebih dekat ke dasar panci akan menjadi lebih panas dan kurang padat daripada cairan di atasnya. Ini akan menyebabkan cairan panas bergerak ke atas dan cairan dingin turun ke bawah, membentuk sirkulasi aliran konvektif[9].

3. Perpindahan panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi tanpa melalui perantara fisik atau medium. Hal ini adalah proses di mana energi panas dipindahkan melalui gelombang elektromagnetik, seperti cahaya tampak atau sinar inframerah. Perpindahan panas radiasi terjadi bahkan di ruang hampa udara atau vakum, karena tidak memerlukan medium fisik untuk menyebarkan panas.



Gambar 2.9 Perpindahan panas Konveksi

Hukum perpindahan panas radiasi dijelaskan oleh Hukum *Stefan-Boltzmann* dan Hukum *Planck*. Hukum *Stefan-Boltzmann* menyatakan bahwa daya pancar radiasi berbanding lurus dengan keempat dari suhu benda (Çengel & Ghajar, 2015). Ini diungkapkan dalam rumus berikut:

$$Q = \sigma \cdot A \cdot \epsilon \cdot T^4 \dots\dots\dots (2.2)$$

Di mana:

Q = daya pancar radiasi (W),

σ = konstanta *Stefan-Boltzmann* ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$),

A = luas permukaan benda (m^2),

ϵ = emisivitas benda (dalam rentang 0 hingga 1, 1 untuk benda sempurna yang menyebarkan semua radiasi, dan kurang dari 1 untuk benda non-sempurna),

T = suhu benda (K).

2.3 Evaporasi

Evaporasi adalah suatu proses perubahan fasa dimana sebagian fluida berubah dari fasa cairan menjadi fasa uap [10]. Penguapan atau evaporasi biasanya terjadi karena adanya sumberpanas seperti *heater* atau matahari yang digunakan untuk menurunkan kandungan air dari bahan pangan yang berbentuk cairan [11]. Hasil dari evaporasi biasanya dapat berupa padatan atau larutan berkonsentrasi. Larutan yang sudah dievaporasi bisa saja terdiri dari beberapa komponen yang mudah menguap. Evaporator biasanya digunakan dalam industri kimia dan industri makanan [12].

Proses evaporasi merupakan proses yang melibatkan pindah panas dan pindah masa yang berarto dalam proses ini sebagian air atau pelarut akan diuapkan sehingga akan diperoleh suatu produk yang kental (konestrat). Proses perpindahan panas dan masa yang efektif akan meningkatkan kecepatan proses penguapan. Evaporasi akan terjadi apabila suhu suatu bahan sama atau lebih tinggi dari titik didih cairan [10]. Teknik evaporasi sudah banyak diimplentasikan diindustri pangan. Salah satu penggunaannya adalah dalam pengolahan buah menjadi jus buah pekat untuk memperoleh produk yang lebih padat seperti jelly atau jam selain itu evaporasi juga berfungsi untuk memperkecil volume penyimpanan dan pengangkutan. Evaporasi juga sering digunakan dalam pengolahan produk sayuran untuk memperoleh tekstur yang lebih baik seperti pure dan pasta [13].

Contoh proses evaporasi yang paling sederhana adalah evaporasi pada tekanan atmosfer. Dimana pada evaporasi ini cairan di dalam suatu wadah terbuka dipanaskan dan uap air dikeluarkan ke udara atmosfer. Tetapi prosesnya sangat lambat dan tidak efisien dalam penggunaan energi. Sehingga untuk melakukan evaporasi makanan yang memerlukan titik didih yang tinggi sangat lambat, oleh karena itu perlu adanya penurunan titik didih. Untuk menurunkan titik didih suatu cairan maka diperlukan menurunkan tekanan dibawah atmosfer atau biasa disebut *vacum* [10].

2.4 *Vacuum Evaporator*

Evaporator vakum adalah evaporator yang menggunakan pemanasan langsung pada larutan, dengan suhu yang diinginkan. Penggunaan vakum menyebabkan kondisi suhu dalam ruangan vakum menjadi rendah (dibawah 1 atm), sehingga bahan dalam ruang vakum secara gizi ataupun fisik tidak rusak [11]. Tekanan vakum yang digunakan pada alat evaporator tergantung pada kemampuan pompa serta kondisi dari ruang evaporator. Turunnya tekanan di bawah 1 atm akan mengakibatkan turunnya titik didih air larutan yang sedang dievaporasi. Dengan demikian air akan menguap di bawah titik didih pada kondisi tekanan atmosfer [14].



Gambar 2.10 *Vacuum Evaporator*

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses evaporasi pada evaporator vakum yaitu tekanan vakum dan laju evaporasi. Tekanan vakum pada *vacuum evaporator* adalah kondisi vakum yang terjadi pada ruang evaporasi yang dihasilkan oleh pompa. Tekanan diamati dengan *pressure gauge* yang dipasang di dirang evaporasi. Sedangkan Laju evaporasi (*evaporation rate*) adalah kuantitas air yang berhasil dievaporasi menjadi uap persatuan per satuan waktu. Besarnya laju evaporasi sangat dipengaruhi oleh temperature pemanasan dan luas permukaan evaporasi [11].

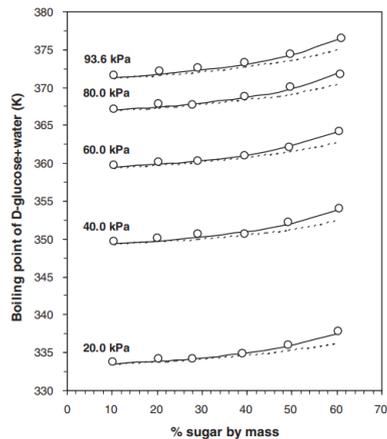
Penggunaan *Vacuum Evaporator* pada proses pembuatan nira aren cair dapat menghemat energi karena tekanan vacuum yang dihasilkan dapat menurunkan suhu penguapan pada proses evaporasinya. Untuk menghasilkan gula aren cair dengan kadar terbaik suhu pemanasan yang paling ideal adalah 65-80 °C [15].

2.5 Hubungan antara Tekanan dan Suhu

Dalam proses pembuatan nira aren cair menggunakan *vacuum evaporator* suhu dan tekanan sangat penting untuk diperhatikan agar menghasilkan nira aren dengan kadar dan kandungan gizi terbaik, selain itu suhu dan tekanan yang optimal juga dapat memberikan efisiensi waktu dan energi dalam proses pembuatan nira aren cair [16]. Proses pembuatan nira aren secara tradisional biasanya dilakukan dengan wajan terbuka pada tekanan atmosfer normal, nira aren akan mendidih pada suhu sekitar 100°C. Namun, proses pemanasan pada suhu tinggi dapat menyebabkan kerusakan nutrisi dan perubahan warna yang tidak diinginkan pada produk akhir. Selain itu suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan reaksi karamelisasi berlebihan, mengubah warna dan rasa produk akhir. Dengan menurunkan tekanan menggunakan *vacuum evaporator*, titik didih dapat diturunkan, sehingga memungkinkan proses pemanasan pada suhu lebih rendah tanpa mengurangi efisiensi evaporasi [17].

Dengan *vacuum evaporator* proses produksi nira pada suhu yang lebih rendah dapat dilakukan dengan menurunkan tekanan di dalam sistem. Dalam penelitian oleh Slamet Wiyono. pada tekanan 0,24 atm, nira dimasak pada suhu 72°C, menggunakan *vacuum evaporator* yang menghasilkan gula aren cair dengan kualitas baik dan kadar air sekitar 21% sehingga sesuai standar sukrosa cair NO. 8779.2019 [18].

Dalam penelitian yang dilakukan oleh E. Widiastuti, ditemukan bahwa nira aren cair mulai mendidih pada suhu sekitar 80°C saat berada dalam tekanan vakum sebesar -30 cmHg. Hal ini menunjukkan bahwa dengan menurunkan tekanan menggunakan sistem vakum, titik didih nira juga ikut turun dari suhu normalnya. Penurunan titik didih ini sangat bermanfaat karena memungkinkan proses pemanasan nira berlangsung pada suhu yang lebih rendah, sehingga dapat mempercepat evaporasi, mengurangi risiko kerusakan nutrisi, serta menjaga aroma dan warna alami gula semut. Dengan demikian, penggunaan sistem vakum terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi gula aren [19].



Gambar 2.11 Titik didih Nira pada vakum

menunjukkan bahwa terdapat hubungan langsung antara tekanan, suhu, dan kadar brix (konsentrasi glukosa) dalam larutan air-glukosa. Ketika tekanan meningkat, titik didih larutan juga meningkat. Begitu pula, semakin tinggi kadar brix atau konsentrasi glukosa dalam larutan, semakin tinggi pula suhu yang dibutuhkan untuk mencapai titik didih. Dengan kata lain, baik peningkatan tekanan maupun peningkatan kadar gula menyebabkan kenaikan titik didih. Namun, pada tekanan rendah (misalnya dalam kondisi vakum), larutan dapat mendidih pada suhu yang lebih rendah meskipun kadar brix-nya tinggi. Hubungan ini penting dalam proses evaporasi karena memungkinkan pengendalian suhu pemanasan berdasarkan tekanan dan komposisi larutan [20] [23].

2.6 State of Art

Pengolahan gula aren cair secara modern terus dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi energi dan menjaga mutu produk. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah sistem vacuum evaporator, yang memungkinkan proses pemanasan pada suhu lebih rendah dengan tekanan vakum, sehingga dapat mempertahankan kandungan nutrisi dan warna alami nira. Berbagai penelitian sebelumnya telah membahas pengaruh suhu dan tekanan terhadap kualitas hasil, namun masih sedikit studi yang secara khusus mengevaluasi pengaruh bentuk dan desain *heater* terhadap efisiensi termal dan laju evaporasi. Oleh karena itu, bagian ini mengkaji beberapa penelitian

terdahulu yang relevan sebagai landasan untuk menunjukkan posisi dan keunikan penelitian ini dalam menjawab kekosongan studi terkait desain *heater* pada sistem pemrosesan nira aren cair.

Tabel 2.1 *State of Art*

No.	Deskripsi Jurnal (Judul, Peneliti, Tahun)	Objek Penelitian	Hasil dan Pembahasan
1	<i>Pembuatan Gula Cair dari Nira Aren pada Kondisi Vakum – (Soeswanto, 2023)</i>	Nira aren pada tekanan 0,24 atm dan suhu $\pm 72^{\circ}\text{C}$ menggunakan vacuum evaporator	Proses vakum menurunkan titik didih dan menjaga kualitas nira. Cocok untuk produksi skala kecil dengan suhu rendah, namun belum membahas efisiensi energi atau desain <i>heater</i> .
2	<i>Perbaikan Proses Evaporasi Produksi Gula Aren – (Widiastuti, 2023)</i>	Proses evaporasi gula semut di bawah tekanan -30 cmHg	Titik didih turun hingga 80°C , menghasilkan kualitas lebih baik. Namun tidak mengevaluasi desain alat pemanas (<i>heater</i>).
3	<i>Pengolahan Air Nira dengan Vacuum Evaporasi Menjadi Gula Aren Cair – (Wiyono, 2021)</i>	<i>Vacuum evaporator</i> untuk gula aren	Menjelaskan hubungan suhu dan tekanan terhadap mutu, namun belum mengukur efisiensi termal atau laju evaporasi secara kuantitatif.
4	<i>Prototype of Vacuum evaporator pada Nira Mengkudu – (Syakdani, 2019)</i>	Evaporator vakum untuk sari buah mengkudu	Fokus pada pengaruh waktu dan suhu terhadap evaporasi. Belum membahas desain <i>heater</i> . Cocok dijadikan dasar sistem vakum.

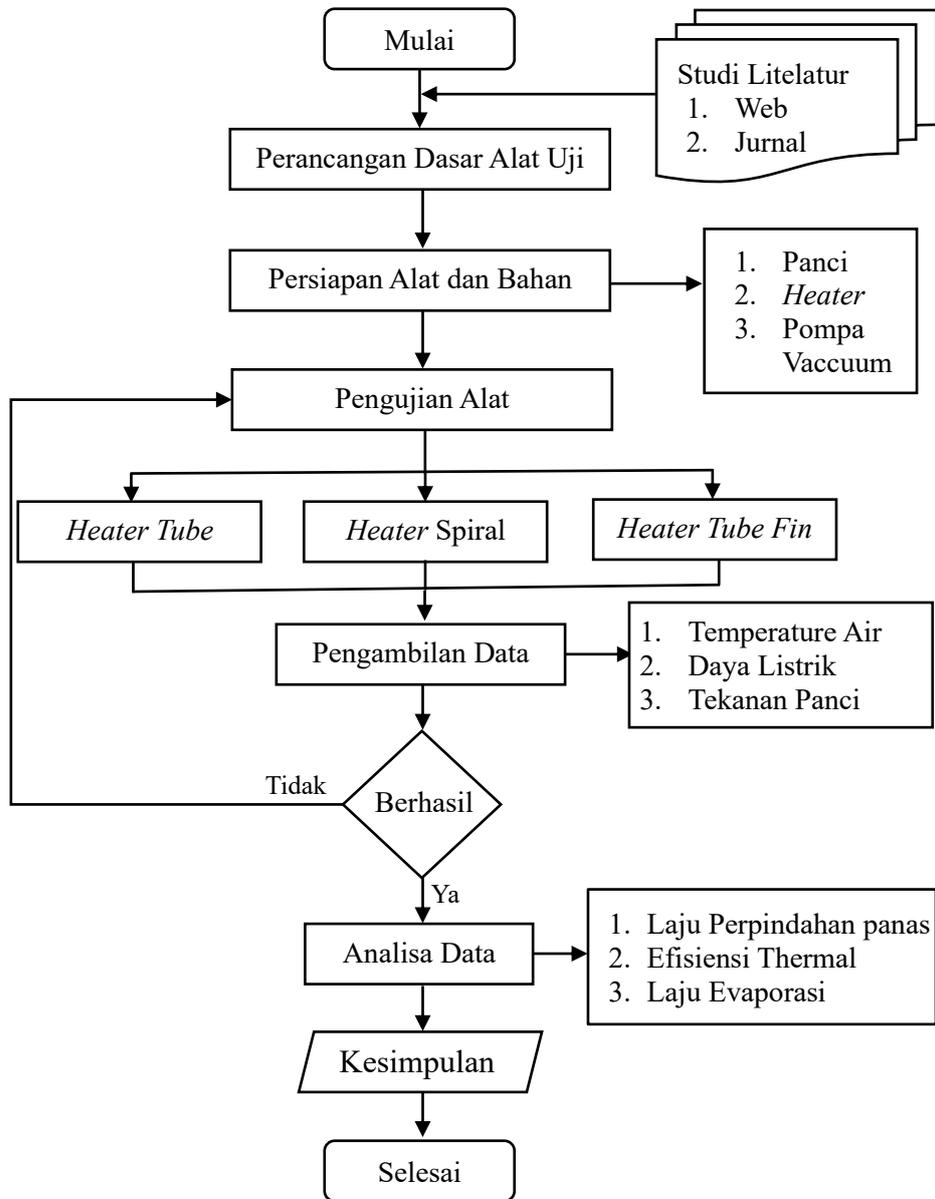
5	<i>Perubahan Sifat Fisik Nira Selama Pemasakan Udara Terbuka</i> – (Fuadi, 2023)	Pemasakan nira menggunakan kompor LPG	Efisiensi termal metode LPG hanya 59%. Banyak panas terbuang ke lingkungan, menjadi pembanding untuk efisiensi <i>heater</i> elektrik.
6	<i>Pengaruh Bentuk Elemen Pemanas terhadap Jumlah Kalor yang Dhasilkan</i> – (Hersandi, 2014)	Bentuk kawat pemanas terhadap keluaran panas	Bentuk kawat pemanas memengaruhi efisiensi panas. Semakin besar kontak permukaan, semakin tinggi kalor yang dihantarkan. Relevan untuk mendukung studi desain <i>heater</i> .

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

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



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen untuk menganalisa serta mengevaluasi pengaruh bentuk dan luas permukaan kontak terhadap performa pemanasan dalam proses produksi nira aren cair. Eksperimen dilakukan secara langsung terhadap system pemanasan berbasis *heater* elektrik yang dipasang pada panci bertekanan. Selama proses pemanasan data yang diambil meliputi tekanan dalam panci pemanas, suhu nira aren saat proses pemanasan dan daya yang dikonsumsi *heater* semua data yang diambil diukur secara terus menerus menggunakan sensor tekanan digital, *watt meter*, dan termokopel type k yang terintegrasi dengan pencatatan data berbasis mikrokontroler yaitu data logger.

Adapun variabel pada penelitian ini yaitu variabel bebas berupa bentuk dan jenis *heater* yang digunakan sedangkan variabel terikat pada pengujian ini mencakup suhu pemanasan yang dihasilkan *heater* dan tekanan vakum pada panci pemanasan yang dapat mengindikasikan performa kinerja sistem. Selain itu ada juga variabel terkontrol yang meliputi berat awal nira aren cair, tekanan vakum pada panci, suhu target maksimal 65°C, dan daya pada *heater* (500 watt).

3.3 Alat dan Bahan yang digunakan

Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk membantu dan mendukung kelancaran selama proses pengujian yaitu sebagai berikut.

3.3.1 Alat yang digunakan

Beberapa alat yang digunakan dalam proses pengujian yang berfungsi untuk mendukung kelancaran pada proses pengujian yaitu sebagai berikut.

1. *Heater*

Alat ini berfungsi untuk memanaskan dan mengurangi kadar air pada nira aren cair yang mana pada pengujian ini di simulasikan menggunakan air. Pada pengujian ini daya pada masing-masing *heater* dibatasi sebesar 500 watt dengan menggunakan dimmer. Adapun

spesifikasi *heater* yang digunakan pada pengujian ini dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 3.1 Spesifikasi *Heater*

	<i>Heater Tubular</i>	<i>Heater Spiral</i>	<i>Heater Tubular fin</i>
Jenis Bahan	Stainless Steel	Stainless Steel	Stainless Steel
Dimensi <i>Heater</i> Diameter*Panjang	1,3*60 cm	0,8*230cm	1,3*60cm
Luas Permukaan Kontak	245cm ²	578cm ²	1112cm ²
<i>Fin</i>	-	-	2,8*0,5mm
Banyak <i>fin</i>	-	-	100



a). *Heater*



b).*Heater Spiral*



c).*Heater Tube Fin*

Gambar 3.2 *Heater*

2. Panci Vacuum

Alat ini berfungsi sebagai wadah nira aren cair yang pada pengujian ini diganti menggunakan air dan sebagai wadah tertutup yang dihisap menggunakan pompa sehingga membentuk kondisi vacuum yang bertujuan untuk menurunkan titik didih dari air. Panci terbuat dari alumunium dengan Kapasitas maksimal panci adalah 50 Liter.



Gambar 3.3 Panci Vacuum

3. Pompa

Alat ini berfungsi untuk menghisap dan mengeluarkan uap yang dihasilkan dari proses pemanasan air di dalam panci, sehingga menciptakan kondisi vakum di dalam panci tersebut. Pompa yang digunakan adalah Waterplus BR-371CPA dengan daya 200 watt. Pompa ini memiliki debit maksimal 92 liter/menit dan head maksimal 23 meter, sehingga cukup untuk menciptakan kondisi vakum yang diperlukan dalam proses evaporasi.



Gambar 3.4 Pompa

4. Venturi

Venturi dirancang untuk menciptakan penurunan tekanan yang saat fluida mengalir melaluinya. Ketika fluida memasuki bagian sempit dari venturi, kecepatan aliran meningkat, sementara tekanan turun. Proses ini menghasilkan efek vacuum, yang membantu menghisap uap dari dalam panci dan menciptakan kondisi tekanan rendah. Kondisi vacuum ini mempercepat proses evaporasi karena titik didih cairan akan lebih rendah pada tekanan yang lebih rendah.



Gambar 3.5 Venturi

5. *Pressure Gauge*

Pressure Gauge adalah alat yang berfungsi untuk mengukur tekanan di dalam panci, sekaligus digunakan untuk memvalidasi tekanan yang terdeteksi oleh sensor tekanan. Alat ini memastikan bahwa kondisi vakum dalam panci sesuai dengan yang dibutuhkan untuk proses evaporasi. *Pressure gauge* yang digunakan mampu mengukur tekanan vakum hingga -1 bar dengan tingkat ketelitian sebesar $\pm 0,05$ bar.



Gambar 3.6 *Pressure Gauge*

6. Thermostat

Thermostat berfungsi untuk mengukur temperature air didalam panci, selain itu thermostat ini juga terhubung ke PID STC-1000 yang berfungsi mengatur temperatur pemanasan agar stabil pada suhu 65°C .



Gambar 3.7 Thermostat STC-1000

7. *Pressure sensor dan Wishner ch102*

Pressure sensor berfungsi untuk mengukur tekanan didalam sistem didalam panci vakum, sensor ini terhubung ke wishner ch102 yang berfungsi membantu dalam monitoring dan pengendalian sistem vakum agar stabil berada di -0,7 Bar untuk menjaga kestabilan proses pemanasan.



Gambar 3.8 *Pressure sensor dan Vishner ch102*

8. *WattMeter*

Alat ini berfungsi untuk mengukur konsumsi daya Listrik yang digunakan *heater* selama proses pengujian, sehingga memudahkan dalam melakukan analisis efisiensi daya serta perbandingan konsumsi energi antara masing masing jenis *heater*,



Gambar 3.9 *Wattmeter*

3.3.2 **Bahan yang digunakan**

Bahan yang digunakan selama proses pengujian adalah nira aren cair. Nira aren cair didapatkan dari kelompok tani Kampung Ciluluk RT.007 RW 004 Desa Pasangrahan Kecamatan Munjul Kabupaten Pandeglang Banten. Daerah ini adalah salah satu sentra produksi gula aren cair di provinsi banten.



Gambar 3.10 *Nira Aren Cair*

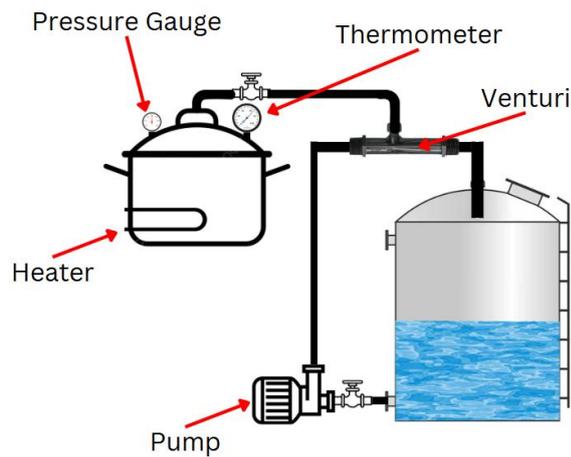
3.4 Prosedur Penelitian

Pengujian dilakukan untuk menganalisis performa *heater* tubular, *heater* tubular *fin*, dan spiral dalam proses produksi gula aren cair. Tahapan pengujian mencakup pengisian air, pemanasan dalam kondisi vakum, pencatatan data, dan analisis hasil. Parameter yang diukur meliputi suhu, tekanan, dan konsumsi daya listrik untuk menilai efisiensi masing-masing jenis *heater*. Berikut adalah prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut.

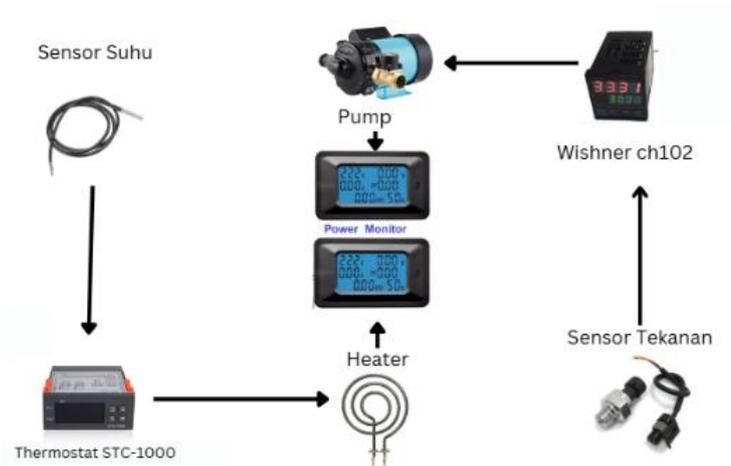
1. Memastikan seluruh alat dalam kondisi siap digunakan.
2. Memastikan seluruh sambungan pada sistem tidak mengalami kebocoran.
3. Menuangkan 20 liter air ke dalam panci.
4. Menyalakan *heater* yang akan diuji, dengan daya disetel sekitar 500 watt menggunakan dimmer kemudian Menyalakan pompa vakum lalu setel tekanan dalam system sebesar -0,7 bar.
5. Memantau suhu menggunakan thermostat dan mencatat suhu setiap 1 menit selama durasi 120 menit.

3.5 Rancangan Percobaan

Eksperimen ini menggunakan beberapa komponen utama untuk mensimulasikan proses produksi gula aren cair dengan metode *vacuum evaporator*. Komponen yang digunakan meliputi *heater* sebagai elemen pemanas untuk meningkatkan suhu cairan dalam wadah pemasakan, sensor suhu untuk memantau suhu cairan, serta thermostat STC-1000 yang mengontrol suhu pemanasan dengan membaca data dari sensor suhu dan mengatur daya ke *heater*. Selain itu, sensor tekanan digunakan untuk mengukur tekanan dalam sistem *vacuum evaporator*, dan Wisner CH102 bertugas sebagai pengontrol tekanan yang menerima data dari sensor tekanan dan mengatur pompa vacuum. Pompa digunakan untuk mensirkulasikan cairan antara tangki utama dan wadah pemasakan, sementara power monitor mencatat konsumsi daya *heater* dan pompa. Sistem juga dilengkapi dengan venturi untuk menciptakan efek vacuum, serta thermometer dan *pressure gauge* untuk pemantauan manual suhu dan tekanan.



Gambar 3.11 *Setup Experiment Alat Uji*



Gambar 3.12 *Setup Experiment Sistem Kontrol*

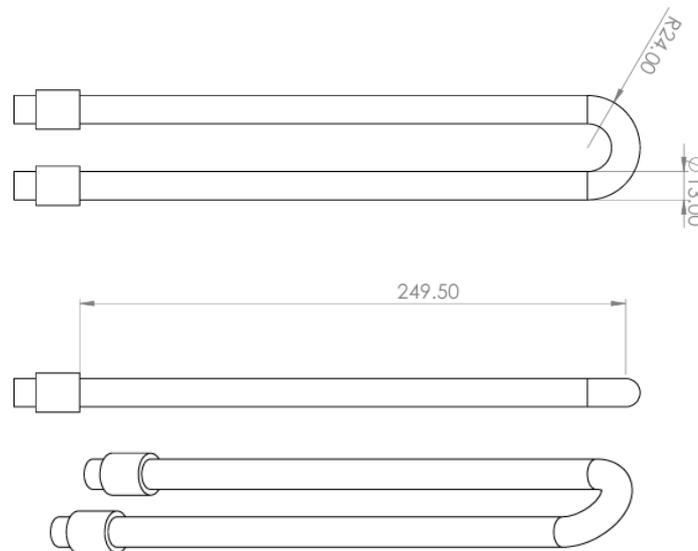
Sistem eksperimen terdiri dari dua bagian utama, yaitu sistem pemanasan dan sistem sirkulasi cairan. Dalam sistem pemanasan, sensor suhu mendeteksi suhu cairan dan mengirimkan data ke thermostat STC-1000, yang kemudian mengontrol daya ke *heater* agar suhu cairan tetap dalam batas yang diinginkan. Sementara itu, dalam sistem sirkulasi dan vacuum, cairan dipompa dari tangki utama menuju wadah pemasakan melalui sistem venturi, dengan sensor tekanan yang mengukur tekanan dalam wadah dan mengirimkan data ke Wishner CH102 untuk mengontrol kerja pompa.

3.6 Desain Geometri *Heater*

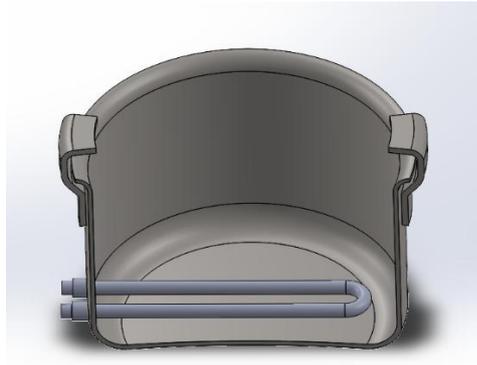
Pada subbab ini ditampilkan visualisasi tiga dimensi dari masing-masing jenis *heater* yang digunakan dalam penelitian. Visualisasi ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih Jelas mengenai bentuk fisik serta konfigurasi *heater* dalam sistem pemanas yang dirancang. Dengan adanya ilustrasi ini, diharapkan dapat memahami hubungan antara bentuk geometri *heater* dan proses perpindahan panas yang terjadi selama pemanasan cairan.

Terdapat tiga jenis elemen pemanas yang digunakan dalam pengujian, yaitu *heater* tubular berbentuk U (*Heater U*), *heater* spiral berbentuk O (*Heater Spiral*), serta *heater* tubular berbentuk U yang dilengkapi dengan sirip atau *fin* (*Heater U Fin*). Ketiganya dirancang untuk menguji pengaruh bentuk dan luas permukaan terhadap efisiensi pemanasan. Bahan yang digunakan adalah stainless steel, yang dipilih karena tahan terhadap suhu tinggi, tidak mudah korosi, serta memiliki kemampuan menghantarkan panas yang baik.

Heater pertama, yaitu *heater U*, merupakan tabung logam berbentuk melengkung menyerupai huruf U. *Heater* ini dirancang sederhana dengan dua kaki sejajar yang ditekuk pada bagian bawah untuk membentuk lengkungan. Bentuk ini dipilih karena mudah dipasang dan memiliki kontak permukaan yang cukup baik dengan cairan di dalam panci. Adapun ukuran secara detail dari *heater* ini dapat dilihat pada gambar berikut.

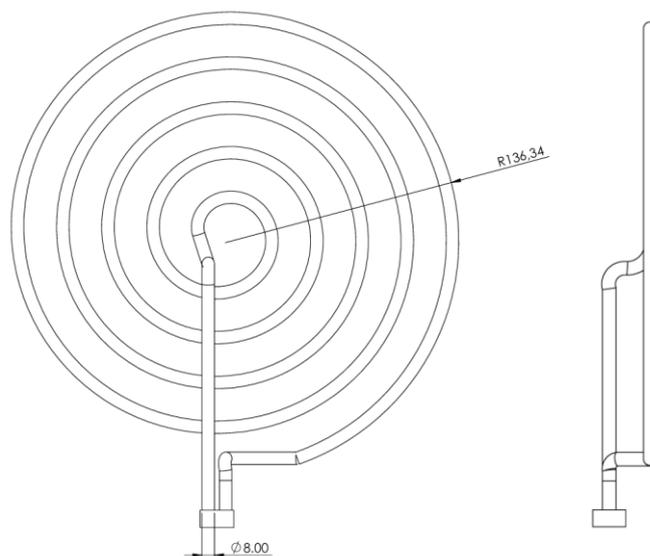


Gambar 3.13 Dimensi *Heater U*

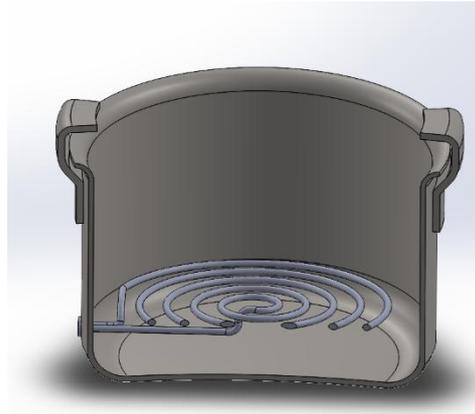


Gambar 3.14 *Heater U* pada Panci Evaporator

Heater kedua adalah *heater* spiral bentuk O, yaitu elemen pemanas yang dibentuk secara melingkar seperti koil datar. *Heater* ini terdiri dari tabung logam yang dililit sebanyak lima putaran dengan diameter rata-rata sekitar 0.8 cm, membentuk struktur spiral horizontal yang kompak. Spiral *heater* ini dipasang mendatar di bagian dasar panci, sehingga memungkinkan distribusi panas yang lebih merata ke seluruh permukaan dasar cairan. Karena bentuknya yang mendatar dan melingkar, *heater* jenis ini memiliki panjang tabung lebih besar dibanding *heater* bentuk U biasa, sehingga memberikan luas permukaan kontak yang lebih besar. Adapun dimensi dari *heater* dapat dilihat pada Gambar berikut.

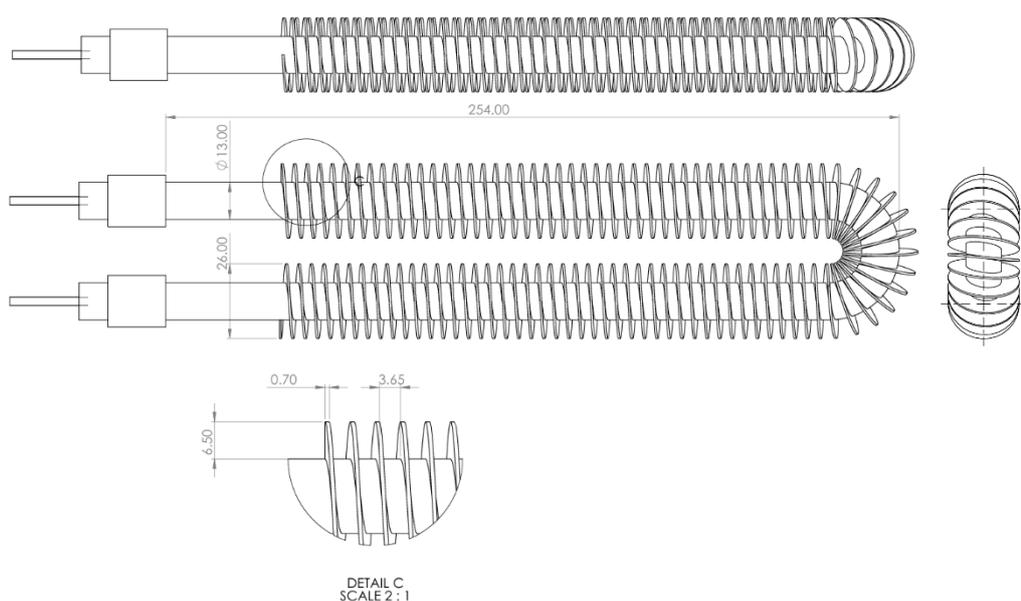


Gambar 3.15 Dimensi *Heater* Spiral

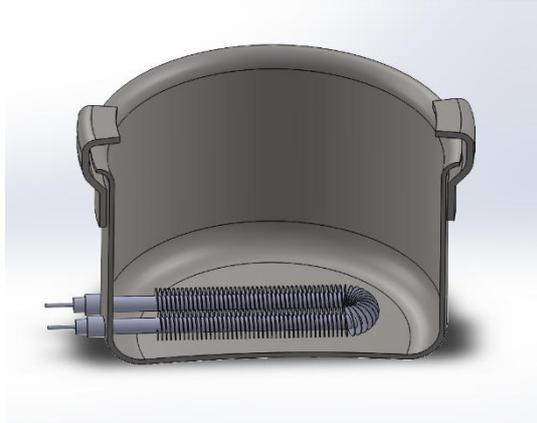


Gambar 3.16 *Heater U Fin* pada Panci Evaporator

Heater ketiga merupakan varian dari *heater U*, namun ditambahkan sirip-sirip kecil (*fin*) di sepanjang tabungnya untuk memperbesar area permukaan pemanasan. Sirip ini berbentuk pelat logam tipis yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu tabung dengan jarak teratur. Tujuan utama penambahan *fin* adalah untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas dengan memperbesar luas area yang bersentuhan langsung dengan cairan. Jumlah *fin* yang digunakan sebanyak 100 buah dengan ukuran masing-masing $28 \times 0.5 \text{ mm}$. *Heater* ini diposisikan di dasar panci seperti *heater U* biasa, namun karena adanya *fin*, area permukaan pemanas menjadi lebih besar dan berpotensi menghasilkan laju evaporasi yang lebih tinggi. Adapun dimensi dari *heater* ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.17 Dimensi *Heater U Fin*



Gambar 3.18 *Heater U Fin* pada Panci Evaporator

Dalam proses perpindahan panas secara konduksi dan konveksi, luas permukaan alat pemanas yang bersentuhan langsung dengan fluida memainkan peranan penting. Semakin besar area permukaan kontak, semakin besar pula potensi perpindahan energi panas yang dapat terjadi. Oleh karena itu, untuk setiap jenis *heater* yang digunakan dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan terhadap luas permukaan aktif yang bersentuhan dengan cairan. Ketiga jenis *heater*, yaitu *heater U*, *heater spiral*, dan *heater U fin*, memiliki karakteristik geometri yang berbeda. Masing-masing dibuat dari material stainless steel, dengan dimensi dan desain yang dirancang agar sesuai untuk pemanasan dalam sistem uji berskala laboratorium. Perhitungan luas permukaan difokuskan pada bagian selimut luar dari tabung *heater* yang bersentuhan langsung dengan cairan, serta ditambah dengan kontribusi luas dari sirip (*fin*) jika terdapat.

Berdasarkan spesifikasi, *heater U* memiliki diameter luar sebesar 1,3 cm dan panjang 60 cm, menghasilkan luas selimut tabung sebesar 0,0245 m². *Heater spiral* memiliki diameter lebih kecil, yaitu 0,8 cm, namun panjangnya mencapai 230 cm akibat bentuk spiralnya, sehingga luas permukaannya lebih besar, yaitu sekitar 0,0578 m². Adapun *heater U* dengan *fin* memiliki dimensi dasar yang sama dengan *heater U* biasa, namun dilengkapi dengan 100 buah sirip logam berukuran 2,8 mm × 0,5 mm. Kontribusi luas dari *fin* tersebut mencapai sekitar 0,0867 m², sehingga total luas permukaan aktif menjadi 0,1112 m².

BAB IV

DATA DAN ANALISA

4.1 *Vacuum evaporator* dengan Sistem Pemanas Elektrik

Vacuum evaporator yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil pengembangan dari alat sebelumnya. Salah satu pengembangan yang dilakukan adalah penggunaan sistem pemanas elektrik yang dilengkapi dengan sistem kontrol otomatis. Inovasi ini memungkinkan pemantauan proses secara jarak jauh, sehingga pengguna tidak perlu berada dekat dengan alat selama beroperasi. Dengan perbaikan ini, *vacuum evaporator* menjadi lebih efisien dan mudah digunakan oleh lebih banyak orang.



Gambar 4.1 Setup Pengujian

Secara umum, prinsip kerja *vacuum evaporator* ini adalah menciptakan kondisi vakum di dalam ruang pemasakan, yaitu dengan mengeluarkan udara di dalam panci menggunakan kombinasi pompa vacuum dan venturi. Yang mana pompa vacuum akan mengalirkan air bertekanan menuju vaenturi, yang kemudian aliran fluida berkecepatan tinggi akan menghasilkan efek hisap untuk menghisap udara dari panci. Penurunan tekanan yang dihasilkan oleh sistem mencapai -0,7 sampai -0,75 bar. Dengan bantuan sistem ini, udara di dalam ruang pemasakan dapat dikeluarkan secara efektif, menciptakan kondisi tekanan rendah yang optimal untuk proses penguapan.

Pada pengujian ini nira aren cair segar dimasukkan ke dalam panci evaporator. Kemudian pompa dinyalakan agar terjadi efek vakum didalam panci pemanasan. Pemanasan dilakukan menggunakan *heater* hingga suhu nira mencapai 65°C. Untuk menjaga kualitas nutrisi dalam nira, sistem kontrol otomatis akan mematikan *heater* saat suhu mencapai batas yang ditentukan, sehingga mencegah kenaikan suhu yang berlebihan. Sistem ini dilengkapi dengan sensor suhu dan sensor tekanan yang berfungsi untuk memantau kondisi di dalam panci secara real-time. Data dari sensor digunakan oleh sistem kontrol untuk mengatur kerja *heater* dan pompa secara otomatis. Dengan adanya sistem kontrol otomatis ini, tekanan dan suhu di dalam ruang vakum dapat dijaga tetap stabil, sehingga proses pemanasan berlangsung lebih cepat, lebih hemat energi, dan mampu mempertahankan kualitas produk secara optimal.

4.2 Hasil Pengujian Performa pada masing masing *heater*

Adapun data hasil uji performa *heater* pada alat *vacuum evaporator* diperoleh melalui berbagai variabel pengukuran. Parameter yang diamati meliputi berat cairan sebelum dan sesudah proses, suhu di dalam panci selama pemanasan, tekanan vakum yang terjadi, serta nilai *Brix* aktual dari nira hasil pemrosesan. Selama pengujian, setiap jenis *heater* yaitu tubular (U), spiral, dan tubular *fin* (U *fin*) dipasang secara bergantian pada alat yang sama untuk memastikan konsistensi kondisi pengujian. Dengan pendekatan ini, performa dari tiap desain *heater* dapat dibandingkan secara objektif dalam kondisi vakum yang dikontrol, sehingga dapat disimpulkan jenis *heater* mana yang paling optimal digunakan dalam proses pengolahan nira menggunakan sistem *vacuum evaporator*.

4.2.1 Hasil Pengujian *Heater* Tubular (U)

Pengujian terhadap *Heater* Tubular dilakukan untuk mengevaluasi performanya dalam sistem *vacuum evaporator* dalam hal kecepatan pemanasan, stabilitas tekanan vakum, serta efektivitas penguapan nira. Data pengujian direkam menggunakan data logger dengan interval satu menit. Berikut adalah hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Heater U*

Parameter	Nilai	Satuan
Waktu hingga 65°C	90	menit
Suhu Awal	33,2	°C
Suhu Akhir	65	°C
Konsumsi Daya <i>Heater</i>	570,7	Watt
Total Konsumsi Energi	0,87	kWh
Berat Nira Awal	20,56	Kg
Berat Nira Akhir	20,48	Kg
Nilai Brix Awal	29	% Brix
Nilai Brix Akhir	30	% Brix

4.2.2 Hasil Pengujian *Heater Spiral*

Pengujian *Heater Spiral* bertujuan untuk membandingkan performa pemanas berbentuk spiral terhadap jenis *heater* lainnya dalam sistem *vacuum evaporator*. Data hasil pengujian direkam menggunakan data logger dengan pembacaan tiap satu menit untuk memperoleh informasi suhu, tekanan, konsumsi daya, serta hasil akhir pemanasan. Ringkasan data pengujian ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian *Heater spiral*

Parameter	Nilai	Satuan
Waktu hingga 65°C	85	menit
Suhu Awal	33,1	°C
Suhu Akhir	65	°C
Konsumsi Daya <i>Heater</i>	565,8	Watt
Total Konsumsi Energi	0,88	kWh
Berat Nira Awal	20,48	Kg
Berat Nira Akhir	20,36	Kg
Nilai Brix Awal	28,5	% Brix
Nilai Brix Akhir	30	% Brix

4.2.3 Hasil Pengujian *Heater Tubular Fin (U Fin)*

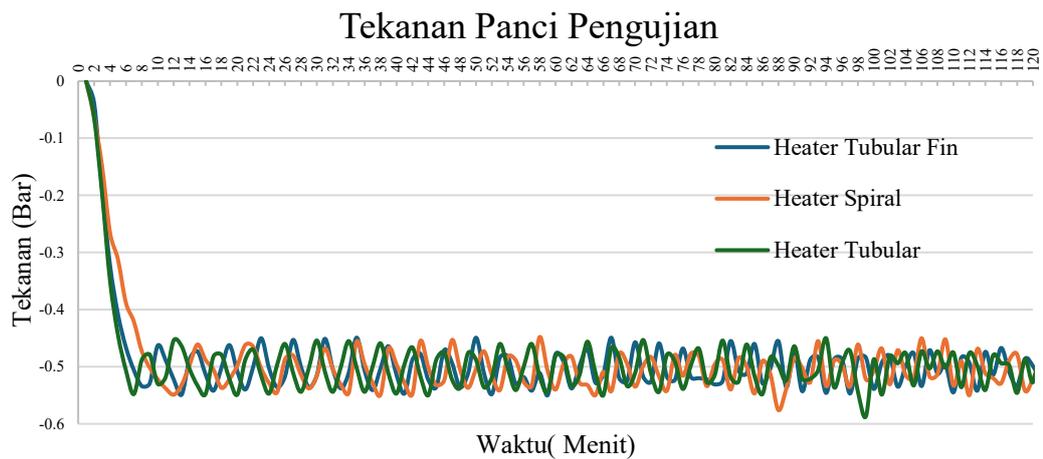
Pengujian *Heater U Fin* dilakukan untuk mengamati kinerja *heater* dengan sirip (*fin*) yang bertujuan memperluas permukaan kontak pemanasan. Adapun data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.3, yang meliputi data suhu, tekanan, daya, serta hasil akhir berupa nilai Brix.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian *Heater U fin*

Parameter	Nilai	Satuan
Waktu hingga 65°C	76	menit
Suhu Awal	33,2	°C
Suhu Akhir	65	°C
Konsumsi Daya <i>Heater</i>	571,4	Watt
Total Konsumsi Energi	0,91	kWh
Berat Nira Awal	20,46	Kg
Berat Nira Akhir	20,35	Kg
Nilai Brix Awal	28	% Brix
Nilai Brix Akhir	30	% Brix

4.3 Analisa Perbandingan Stabilitas Tekanan

Perbandingan stabilitas tekanan pada sistem *vacuum evaporator* pada pengujian dengan masing-masing *heater* yaitu *heater* tipe U, *heater* U dengan sirip (*U-fin*), dan *heater* spiral dilakukan untuk mengevaluasi apakah masing-masing sistem vakum dapat mempertahankan siklus kerja nyala-mati secara konsisten selama 120 menit tanpa mengalami penurunan performa. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk mengetahui apakah pada setiap pengujian pompa dapat mampu menjaga kestabilan tekanan vakum dalam sistem selama proses berlangsung. Stabilitas tekanan sangat krusial dalam operasi *vacuum evaporator*, terutama karena alat ini digunakan untuk memanaskan cairan nira, yang sangat memengaruhi efisiensi proses dan mutu produk akhir. Dengan menjaga tekanan yang stabil, proses evaporasi diharapkan dapat berjalan secara optimal dan menghasilkan produk dengan kualitas yang baik.



Gambar 4.2 Grafik Tekanan Panci

Setelah dilakukan pengujian selama 120 menit, diperoleh hasil grafik yang memperlihatkan perbandingan kestabilan tekanan panci pada vacuum evaporator dengan tiga jenis elemen pemanas, yaitu *heater tubular fin*, *heater spiral*, dan *heater tubular biasa*. Grafik menunjukkan bahwa ketiga jenis *heater* mampu mempertahankan tekanan vakum dalam rentang yang relatif stabil, yaitu antara -0,45 hingga -0,55 bar. Pola fluktuasi tekanan menunjukkan siklus nyala-mati pompa yang konsisten sepanjang durasi pengujian.

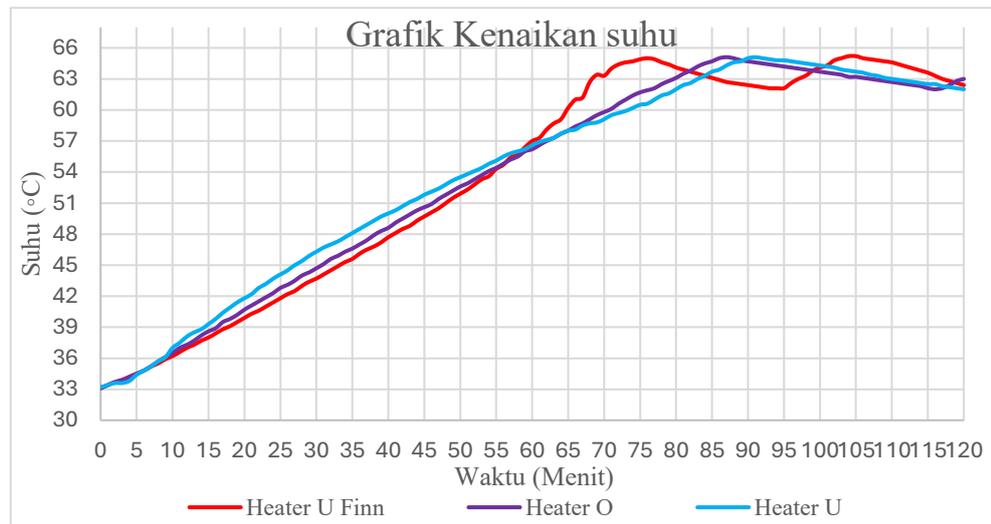
Heater U fin (biru) menunjukkan kestabilan tekanan yang cukup baik dengan pola fluktuasi yang relatif halus dan teratur. Pompa vakum pada sistem ini menyala rata-rata selama 1 menit 49 detik saat tekanan turun dari -0,45 menuju -0,55 bar, dan kemudian mati selama 1 menit 41 detik saat tekanan kembali naik ke -0,45 bar. *Heater spiral* (oranye) menunjukkan pola yang sedikit lebih fluktuatif di awal pengujian, namun secara keseluruhan masih dalam rentang tekanan yang stabil. Siklus nyala pompa berkisar antara 1 menit 45 detik hingga 1 menit 50 detik, sedangkan siklus mati rata-rata berlangsung sekitar 1 menit 35 detik hingga 1 menit 40 detik. *Heater tubular biasa* (hijau) juga menunjukkan performa yang baik dalam menjaga kestabilan tekanan, dengan pola fluktuasi mirip *heater tubular fin*. Pompa menyala selama sekitar 1 menit 50 detik dan mati selama kurang lebih 1 menit 40 detik dalam setiap siklusnya.

Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa pada masing masing pengujian pompa mampu menjaga kestabilan tekanan sistem vacuum evaporator dengan baik selama 120 menit tanpa terjadi penurunan performa. Tidak terlihat adanya tren tekanan yang terus menurun. Keberhasilan mempertahankan tekanan dalam kisaran -0,45 hingga -0,55 bar secara konsisten menandakan bahwa sistem kontrol tekanan bekerja secara dengan optimal pada masing masing pengujian untuk menjaga proses evaporasi tetap optimal dan efisien. Oleh karena itu, ketiga *heater* layak dipertimbangkan untuk aplikasi pengolahan nira dalam sistem vacuum evaporator.

4.4 Analisa Kinerja Pemanasan

Berdasarkan data pada tabel diatas, terlihat bahwa jenis *heater* memberikan pengaruh yang berbeda terhadap waktu pemanasan, penguapan, konsumsi daya, dan daya rata-rata. *Heater U Fim* menunjukkan performa terbaik dalam hal kecepatan pemanasan, dengan waktu tercepat yaitu 76 menit untuk mencapai suhu 65°C. hal ini dikarenakan Luas permukaan kontaknya yang paling besar, memungkinkan transfer panas berlangsung lebih cepat. Namun, meskipun waktu pemanasannya paling singkat, konsumsi dayanya tertinggi di antara ketiga jenis *heater*, yaitu sebesar 0,91 kWh. Sementara itu, *heater* Spiral menghasilkan penguapan terbesar, yakni 0,125 kg, walaupun waktu pemanasannya tidak secepat *U Fim*. *Heater* spiral yang memiliki bentuk melingkar menyerupai cincin sehingga distribusi panas yang merata efektif dalam menguapkan cairan. Di sisi lain, *heater* U dengan luas permukaan terkecil, memiliki performa paling rendah dalam hal kecepatan pemanasan dan penguapan, serta konsumsi daya paling rendah sebesar 0,87 kWh. Meskipun ketiga jenis *heater* memiliki daya rata-rata yang hampir sama, sekitar 570 Watt, Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa luas dan bentuk permukaan kontak *heater* sangat memengaruhi efisiensi pemanasan, di mana *heater* dengan desain permukaan yang luas atau bentuk melingkar mampu meningkatkan kecepatan pemanasan dan efisiensi penguapan.

Untuk memahami perilaku termal dari masing-masing jenis *heater* yang diuji, maka dibuatkan Grafik kenaikan suhu ini yang berfungsi untuk menunjukkan seberapa cepat dan stabil masing-masing *heater* dalam mentransfer energi panas ke media cair hingga mencapai suhu target, yang dapat dilihat pada grafik dibawah.



Gambar 4.3 Grafik Kenaikan suhu

Berdasarkan grafik kenaikan suhu, dapat dilakukan perbandingan performa pemanasan dari tiga jenis *heater*, yaitu *Heater U Finn*, *Heater Spiral*, dan *Heater U*. Ketiga *heater* menunjukkan pola kenaikan suhu yang relatif serupa pada fase awal, yaitu dari waktu 0 hingga sekitar 60 menit, di mana suhu naik secara linear. Namun, perbedaan performa mulai terlihat pada fase pertengahan hingga akhir.

Heater U menunjukkan laju pemanasan yang paling lambat di awal. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya sirip yang memperluas area permukaan pemanas, sehingga sebagian energi awal digunakan untuk memanaskan struktur sirip terlebih dahulu. Namun, setelah sirip mencapai suhu tertentu, *finn* dapat mempercepat perpindahan panas. Hal ini sesuai dengan litelatur Efisiensi sirip berkurang seiring dengan peningkatan diameter sirip dan koefisien perpindahan panas. Hal ini menunjukkan bahwa pada awal pemanasan, bagian ujung sirip memiliki suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan pangkalnya, sehingga laju perpindahan panas di area tersebut lebih rendah. Setelah sirip mencapai suhu tertentu, efisiensi perpindahan panas meningkat[9]. *Heater U* memperlihatkan

peningkatan suhu yang lebih tajam pada pertengahan waktu, bahkan melampaui dua *heater* lainnya, meskipun pada fase akhir suhunya sedikit berfluktuasi.

Sementara itu, *Heater U* tanpa memperlihatkan pemanasan tercepat di awal. Ini terjadi karena panas dari elemen langsung ditransfer ke fluida dengan area kontak yang kecil dan efisien pada suhu rendah. Namun, seiring meningkatnya suhu, efektivitas perpindahan panas menurun karena keterbatasan area permukaan. Akibatnya, laju kenaikan suhu menjadi lebih lambat di fase akhir, dan suhu maksimumnya tidak setinggi *Heater U Finn*.

Heater spiral menunjukkan performa yang paling stabil di antara ketiganya. Kenaikan suhunya konsisten dari awal hingga mencapai suhu operasional tanpa fluktuasi yang berarti. Meskipun tidak secepat *Heater U Finn* dalam mencapai suhu puncak, *Heater* spiral menunjukkan kestabilan dan efisiensi yang baik sepanjang proses pemanasan.

4.5 Analisis Efisiensi *Heater*

Efisiensi termal merupakan parameter penting yang menunjukkan seberapa besar energi listrik yang dikonversi menjadi panas dan diserap oleh cairan selama proses pemanasan. Dalam analisis ini, kalor jenis nira diasumsikan sebagai gabungan dari nilai *brix* air dan glukosa, yaitu sebesar 3,44 kJ/kg°C. Hasil pengujian efisiensi termal untuk tiga jenis *heater* yang digunakan ditunjukkan dalam tabel berikut.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Efisiensi *Heater*

Jenis <i>Heater</i>	Massa Nira (kg)	ΔT (°C)	Konsumsi Energi Listrik (kWh)	Efisiensi Termal (%)
<i>Heater U</i>	20,56	31,8	0,86	70,7%
<i>Heater</i> Spiral	20,48	31,9	0,84	72,5%
<i>Heater U Finn</i>	20,46	31,8	0,77	78,9%

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa seluruh jenis *heater* yang diuji dalam penelitian ini memiliki efisiensi termal di atas 70%, menandakan bahwa sistem pemanas listrik mampu mengonversi sebagian besar energi listrik yang dikonsumsi menjadi energi panas yang berguna untuk proses pemanasan nira. Di

antara ketiga jenis *heater* yang diuji, *Heater U Fin* menunjukkan efisiensi termal tertinggi, yaitu sebesar 78,9%, diikuti oleh *Heater Spiral* dengan efisiensi sebesar 72,5%, dan *Heater U* dengan efisiensi sebesar 70,7%. Nilai-nilai efisiensi ini mencerminkan sejauh mana energi listrik yang digunakan oleh masing-masing elemen pemanas dapat dikonversi secara efektif menjadi panas yang diserap oleh cairan nira, yang dalam pengujian mengalami kenaikan suhu dari suhu awal sekitar 33°C hingga mencapai suhu target sebesar 65°C.

Efisiensi yang lebih tinggi pada sistem pemanas listrik ini juga memperlihatkan keunggulannya dibandingkan metode pemanasan tradisional, seperti penggunaan kompor LPG. Dalam penelitian sebelumnya, sistem pemanasan nira menggunakan kompor LPG hanya mampu mencapai efisiensi termal sebesar 59% selama proses pendidihan dari suhu awal 28°C hingga titik didih pada 99°C, dengan sekitar 41% energi yang terbuang ke lingkungan. Rendahnya efisiensi ini umumnya disebabkan oleh berbagai faktor kehilangan panas, seperti konveksi bebas ke udara sekitar, radiasi dari permukaan wadah, serta tidak langsungnya kontak nyala api dengan media pemanas yang mengurangi efektivitas transfer panas. Sebaliknya, sistem pemanas berbasis *heater* listrik mampu memberikan pengendalian suhu yang lebih presisi dan distribusi panas yang lebih merata, terutama ketika digunakan dalam sistem tertutup atau semi-terisolasi, sehingga meminimalkan kehilangan energi ke lingkungan dan meningkatkan efisiensi keseluruhan proses pemanasan [21].

Perbedaan efisiensi antar jenis *heater* yang diuji juga erat kaitannya dengan perbedaan desain fisik, geometri elemen pemanas, dan luas permukaan kontak dengan cairan. *Heater U* memiliki luas permukaan kontak sebesar 245 cm², *Heater Spiral* sebesar 578 cm², sedangkan *Heater U Fin* memiliki luas permukaan kontak paling besar, yaitu mencapai 1.112 cm². Semakin besar luas permukaan kontak antara elemen pemanas dan cairan, semakin luas pula area perpindahan panas yang tersedia, sehingga panas dapat ditransfer lebih cepat dan merata ke seluruh volume cairan. *Heater U Fin*, dengan tambahan sirip-sirip konduktif pada permukaannya, secara signifikan meningkatkan luas permukaan tersebut, sehingga mampu mentransfer energi panas lebih cepat ke nira. Sirip-

sirip ini bertindak sebagai penambah area efektif perpindahan panas, yang menyebabkan distribusi panas dalam cairan menjadi lebih efisien dan merata.

Sementara itu, *Heater Spiral*, meskipun tidak dilengkapi dengan sirip, tetap menunjukkan efisiensi yang cukup baik berkat desain melingkarnya yang memungkinkan penyebaran panas secara seragam di dalam wadah pemanasan. Desain spiral juga memungkinkan panas menjangkau berbagai titik dalam volume cairan tanpa menciptakan zona dingin (*cold spot*), yang sering kali terjadi pada pemanas dengan desain yang lebih sederhana. Sebaliknya, *Heater U*, yang memiliki desain paling sederhana dan permukaan kontak paling kecil di antara ketiganya, cenderung memiliki efisiensi paling rendah. Meskipun panas tetap dapat ditransfer langsung melalui kontak dengan cairan, luas permukaan yang terbatas membatasi laju dan cakupan transfer panas tersebut, sehingga proses pemanasan menjadi lebih lambat dan konsumsi energi menjadi relatif lebih besar untuk mencapai suhu yang sama.

4.6 Analisa Laju Penguapan

Untuk menganalisis kinerja sistem *vacuum evaporator* dibutuhkan dua parameter utama, yaitu laju evaporasi dan efisiensi pemanfaatan energi panas (efisiensi evaporasi). Kedua parameter ini sangat penting untuk menentukan seberapa efektif proses pemanasan dalam mengubah cairan nira menjadi uap, khususnya dalam sistem tertutup dengan tekanan vakum yang dijaga konstan pada -0,7 bar dan suhu ditahan pada 65°C. Proses pengujian berlangsung selama 2 jam untuk seluruh jenis *heater* yang diuji, yaitu *Heater U*, *Heater Spiral*, dan *Heater U Fin*.

Laju evaporasi merupakan besarnya massa cairan yang berubah menjadi uap per satuan waktu. Dalam penelitian ini, laju evaporasi dihitung berdasarkan selisih berat nira sebelum dan sesudah pemanasan selama 2 jam dalam sistem *vacuum evaporator*. Berdasarkan data pengujian, berikut adalah hasil perhitungan laju evaporasi rata-rata untuk masing-masing jenis *heater*

Tabel 4.4 Hasil perhitungan laju evaporasi rata-rata

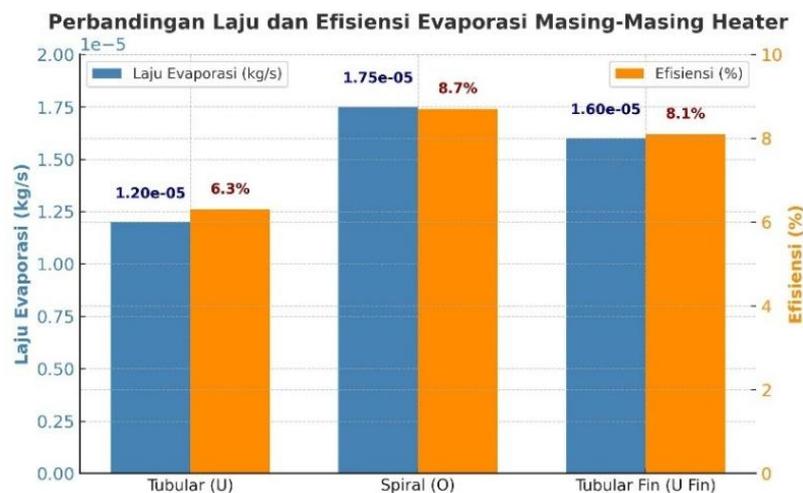
Jenis Heater	Berat Awal (kg)	Berat Akhir (kg)	Δ Massa (kg)	Waktu (s)	Laju Evaporasi (kg/s)
Heater U	20,56	20,48	0,08	7200	$1,11 \times 10^{-5}$
Heater Spiral	20,48	20,36	0,12	7200	$1,67 \times 10^{-5}$
Heater U Fin	20,46	20,35	0,11	7200	$1,53 \times 10^{-5}$

Sementara itu, efisiensi evaporasi dihitung dengan membandingkan energi yang digunakan secara efektif untuk menguapkan cairan terhadap total energi listrik yang dikonsumsi heater selama pengujian. Asumsi kalor laten penguapan nira mendekati air yaitu sebesar $L_v = 2,26 \times 10^6 \text{ J/kg}$. Berdasarkan data pengujian, berikut adalah hasil efisiensi evaporasi untuk masing-masing jenis heater

Tabel 4.5 Hasil perhitungan efisiensi evaporasi

Jenis Heater	Energi Input (J)	Energi Evaporasi (J)	Efisiensi Evaporasi (%)
Heater U	3.132.000	180.800	5,77%
Heater Spiral	3.168.000	271.200	8,56%
Heater U Fin	3.276.000	248.600	7,59%

Berdasarkan hasil dari tabel diatas Berikut ini adalah grafik yang membandingkan laju evaporasi dan efisiensi energi dari masing-masing heater:



Gambar 4.4 Grafik Laju dan efisiensi Evaporasi masing masing Heater

Berdasarkan hasil grafik perbandingan laju dan efisiensi evaporasi, dapat dianalisis bahwa masing-masing jenis *heater* menunjukkan karakteristik performa yang berbeda dalam proses penguapan cairan nira di bawah kondisi vakum. Dari ketiga jenis *heater* yang diuji, *Heater Spiral* menampilkan kinerja paling optimal dalam hal efisiensi evaporasi, dengan nilai tertinggi sebesar 8,56%. Posisi berikutnya ditempati oleh *Heater U Fin* yang mencatat efisiensi evaporasi sebesar 7,59%, sementara efisiensi terendah diperoleh oleh *Heater U*, yaitu sebesar 5,77%. Perbedaan ini cukup signifikan, mengingat seluruh *heater* yang digunakan dalam penelitian memiliki daya listrik yang relatif setara, yakni sekitar 570 watt. Hal ini menegaskan bahwa bukan hanya besar daya yang menentukan efisiensi pemanasan dan evaporasi, tetapi juga desain fisik *heater*, geometri permukaan pemanas, serta luas permukaan kontak dengan cairan memainkan peran yang sangat penting dalam menentukan seberapa efektif energi panas dapat dimanfaatkan untuk proses penguapan.

Dari sisi laju evaporasi, hasil pengujian juga menunjukkan bahwa *Heater Spiral* kembali unggul dengan laju tertinggi sebesar $1,67 \times 10^{-5}$ kg/s. Ini menunjukkan bahwa dalam setiap detik, *heater* ini mampu menguapkan massa cairan yang lebih besar dibandingkan dua *heater* lainnya, sehingga proses pengurangan kadar air dalam nira dapat berlangsung lebih cepat dan efisien. *Heater U Fin* menyusul di posisi kedua dengan laju evaporasi sebesar $1,53 \times 10^{-5}$ kg/s, sedangkan *Heater U* menunjukkan performa paling rendah dengan laju evaporasi sebesar $1,11 \times 10^{-5}$ kg/s. Grafik perbandingan yang ditampilkan memperkuat hasil ini, dengan kurva *Heater Spiral* yang secara konsisten berada di atas dua *heater* lainnya baik dalam aspek efisiensi maupun laju evaporasi sepanjang durasi pengujian.

Keunggulan *Heater Spiral* ini dapat dikaitkan erat dengan desain geometri spiralnya yang memungkinkan distribusi panas lebih merata di seluruh bagian bawah dan sisi wadah cairan. Bentuk spiral menciptakan jalur panas yang melingkar dan menyelimuti cairan dari berbagai arah, sehingga panas tidak hanya terfokus di satu titik, melainkan tersebar secara homogen. Kondisi ini memperbesar peluang terjadinya perpindahan panas secara konduksi dan konveksi di dalam cairan, yang secara langsung mempercepat proses pemanasan

dan evaporasi. Selain itu, desain spiral juga membantu menjaga kestabilan suhu operasional di dalam sistem, terutama saat berada dalam kondisi tekanan rendah (vakum), di mana efisiensi penguapan sangat dipengaruhi oleh kestabilan termal. Suhu yang lebih stabil memungkinkan cairan untuk menguap dengan lebih konsisten tanpa fluktuasi besar, yang dalam jangka panjang akan berdampak positif terhadap efisiensi energi dan waktu proses.

Sementara itu, meskipun *Heater U Fin* memiliki tambahan sirip untuk memperluas permukaan kontak, bentuk dan distribusi sirip yang statis tidak memberikan pola distribusi panas seefektif bentuk spiral. Namun demikian, performa *Heater U Fin* masih jauh lebih baik dibandingkan *Heater U* biasa, karena kehadiran sirip tersebut tetap meningkatkan luas permukaan kontak secara signifikan. Adapun *Heater U*, dengan desain paling sederhana dan permukaan kontak yang paling kecil, menunjukkan keterbatasan dalam efisiensi dan laju penguapan karena penyebaran panas yang cenderung tidak merata serta lambat dalam menstabilkan suhu cairan selama proses pemanasan berlangsung.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian performa dari masing-masing *heater* menggunakan *vacuum evaporator* maka didapatkan Kesimpulan yang menjawab tujuan dari pengujian ini. Adapun Kesimpulan dari pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis performa pemanasan dan laju evaporasi, bentuk *heater* berpengaruh signifikan terhadap efisiensi proses produksi gula aren cair. *Heater* dengan desain permukaan kontak yang lebih luas dan bentuk distribusi panas yang lebih merata mampu meningkatkan efisiensi termal dan laju penguapan nira secara efektif.
2. *Heater Tubular Fin* menunjukkan efisiensi termal tertinggi sebesar 78,9% karena luas permukaan kontak yang besar, memungkinkan transfer panas lebih cepat ke media cair. Namun, dari segi laju evaporasi dan kestabilan suhu, *Heater Spiral* terbukti lebih unggul dengan efisiensi evaporasi tertinggi (8,56%) dan laju evaporasi tertinggi ($1,67 \times 10^{-5}$ kg/s), serta kestabilan pemanasan yang lebih baik selama proses berlangsung. Hal ini menunjukkan bahwa *Heater Spiral* merupakan bentuk yang paling efisien dalam mencapai suhu kerja optimal sekaligus efektif dalam mengurangi kadar air pada nira aren cair.
3. Berdasarkan data efisiensi energi, waktu pencapaian suhu, dan performa laju penguapan, dapat direkomendasikan bahwa *Heater Spiral* adalah pilihan optimal untuk proses produksi gula aren cair menggunakan *vacuum evaporator*. Desain spiral memberikan kombinasi terbaik antara efisiensi waktu, kestabilan suhu, dan efisiensi penggunaan energi, sehingga cocok untuk diterapkan dalam skala produksi guna meningkatkan kualitas dan produktivitas gula aren cair.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat disampaikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut

1. Pengujian lanjutan dengan menggunakan *heater* spiral dengan tambahan sirip (*fin*) agar menghasilkan peningkatan pada kecepatan pemanasan dan laju evaporasi.
2. Simulasi CFD (Computational Fluid Dynamics) disarankan untuk digunakan sebagai metode tambahan guna mengkonfirmasi dan memvisualisasikan distribusi suhu serta aliran panas pada berbagai bentuk *heater*. Hal ini dapat memberikan gambaran lebih detail mengenai fenomena perpindahan panas dan efisiensi termal di dalam sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Lempang, “Pohon Aren Dan Manfaat Produksinya,” *Info Teknis Eboni*, Vol. 1, Pp. 37–54, Oct. 2012.
- [2] R. Widarawati, P. Yudono, D. Indradewa, And S. N. Hidayah Utami, “Profil Budidaya Aren (Arenga Pinnata (Wurmb.) Merr) Pada Berbagai Ketinggian Tempat Di Wilayah Samigaluh Kabupaten Kulonprogo,” *Prosiding Seminar Nasional Pertanian Unsoed “Pengembangan Potensi Sumberdaya Lokal Berwawasan Lingkungan Untuk Penguatan Produk Pertanian Nasional Berdaya Saing Global*, No. 1, P. 55, 2017.
- [3] Badan Pusat Statistik, “Badan Pusat Statistik Kab. Pandeglang,” 2023.
- [4] R. Barlina, S. Liwu, And E. Manaroinsong, “Potensi Dan Teknologi Pengolahan Komoditas Aren Sebagai Produk Pangan Dan Nonpangan / Potential And Technology Processing Of Palm Sugar Commodity As Food And Non-Food Products,” *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, Vol. 39, No. 1, P. 35, Jun. 2020, Doi: 10.21082/Jp3.V39n1.2020.P35-47.
- [5] V. V. Vingtsabta, A. Syakur, And A. Warsito, “Analisis Dan Perbandingan Jenis Kawat Kanthal A-1 Dan Nichrome 80 Sebagai Elemen Pemanas Pada Oven Listrik Hemat Energi,” *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, Vol. 7, No. 4, Pp. 846–852, May 2019.
- [6] S. E. Perangin-Angin, A. Hamsi, Mahadi, Tugiman, D. Sitompul, And Indra, “Komponen-Komponen Dan Peralatan Bantu Mixer Kapasitas 6,9 Liter Putaran 280 Rpm,” *Jurnal Dinamis*, Vol. 3, No. 4, Pp. 1–14, 2015.
- [7] S. Dwi Ariffudin And D. Wulandari, “Perancangan Sistem Pemanas Pada Rancang Bangun Mesin Pengaduk Bahan Baku Sabun Mandi Cair,” *Dwi*, Vol. 1, No. 2, Pp. 52–57, Jan. 2014.

- [8] M. Hersandi, B. Supriyadi, And Yushardi, “Pengaruh Bentuk Elemen Pemanas Terhadap Jumlah Kalor Yang Dihasilkan,” *Jurnal Pendidikan Fisika*, Vol. 3, No. 1, Pp. 23–7, Jun. 2014.
- [9] Y. A. Cengel And G. Afshin J., *Heat And Mass Transfer: Fundamentals And Applications*, 6th Ed. New York: Mcgraw-Hill Education, 2015.
- [10] Ismiyati And F. Sari, “Identifikasi Kenaikan Titik Didih Pada Proses Evaporasi, Terhadap Konsentrasi Larutan Sari Jahe,” *Konversi*, Vol. 9, No. 2, Pp. 33–9, Oct. 2020.
- [11] A. Syakdani, I. Purnamasari, And E. Necessary, “Prototype Of Vacuum Evaporator (The Effectiveness Of Temperature And Evaporating Time On The Evaporation Rate And Vacuum Pressure In Mengkudu (*Morinda Citrifolia L.*) Fruits Syrup),” *Jurnal Kinetika*, Vol. 10, No. 2, Pp. 29–35, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
- [12] A. Jupandri, F. Pangkerego, And F. Wenur, “Uji Teknis Modifikasi Evaporator Pada Pembuatan Gula Aren,” Vol. 10, No. 3, Feb. 2018.
- [13] D. R. Heldman, *Handbook Of Food Engineering*. New York: Marcel Dekker, Inc., 2005.
- [14] A. Ulmi Hafidza, M. Meiliana, M. Febrian Nugroho, A. Manggala, R. Daniar, And Zurohaina, “Analisis Efisiensi Termal Evaporator Vakum Pada Proses Pemekatan Nira Tebu,” *Jurnal Pendidikan Tambusai*, Vol. 7, No. 3, Pp. 31665–31670, 2023.
- [15] Siswanto And N. T. Widji, “Perancangan Vacum Evaporator Metode Liquid Ring Vacum Pump Vacum Evaporator Design Liquid Ring Vacum Pump Method,” *Jurnal Teknik Kimia*, Vol. 12, No. 1, Pp. 24–27, Sep. 2017, [Online]. Available: <http://sholar.google.com/sholar?hl=en&btn>
- [16] A. M. Rizky, Y. Bow, And I. Silviyati, “Pengaruh Temperatur Dan Waktu Pada Evaporasi Nira Aren Menggunakan Falling Film Evaporator,” *Jurnal Pendidikan Tambusai*, Vol. 7, No. 3, Pp. 21082–21086, 2023.

- [17] B. Soeswanto, R. Sri Maulida, And Y. Tiosari Br Simanjuntak, "Pembuatan Gula Cair Dari Nira Aren (Arenca Pinnata) Pada Kondisi Vakum," *Chemica Isola*, Vol. 3, No. 2, Pp. 182–187, Nov. 2023, [Online]. Available: <https://ejournal.upi.edu/index.php/ci/index>
- [18] S. Wiyono, E. Erwin, And S. Abdullah, "Pengolahan Air Nira Dengan Vacuum Evaporasi Menjadi Gula Aren Cair," *Teknika: Jurnal Teknik*, Vol. 8, No. 2, P. 122, Dec. 2021, Doi: 10.35449/Teknika.V8i2.196.
- [19] E. Widiastuti, "Perbaikan Proses Evaporasi Produksi Gula Aren (Semut) Di Kelompok Tani Hutan Bunikasih Jaya Cupunagara Subang," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Teknik*, Vol. 5, No. 2, P. 87, Aug. 2023, Doi: 10.24853/Jpmt.5.2.87-92.
- [20] G. J. Maximo, A. J. A. Meirelles, And E. A. C. Batista, "Boiling Point Of Aqueous D-Glucose And D-Fructose Solutions: Experimental Determination And Modeling With Group-Contribution Method," *Fluid Phase Equilib*, Vol. 299, No. 1, Pp. 32–41, Dec. 2010, Doi: 10.1016/J.Fluid.2010.08.018.
- [21] M. Fuadi, Y. M. R. S. Sinaga, K. Yuniarto, And S. Widyastuti, "Perubahan Sifat Fisik Dan Hubungan Antar Parameter Nira Aren Selama Pemasakan Udara Terbuka," *Jurnal Teknotan*, Vol. 17, No. 3, P. 189, Dec. 2023, Doi: 10.24198/Jt.Vol17n3.5.
- [22] A. Ulmi Hafidza, M. Meiliana, M. Febrian Nugroho, A. Manggala, And R. Daniar, "Analisis Efisiensi Termal Evaporator Vakum Pada Proses Pemekatan Nira Tebu," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, Vol. 7, No. 3, Pp. 31665–31670, 2023.
- [23] S. Rosalia Dewi *Et Al.*, "The Effect Of Temperature Cooking Of Sugar Juice And Stirring Speed On The Quality Of Brown Sugar Cane," *Jurnal Teknologi Pertanian*, Vol. 15, No. 3, Pp. 149–158, Dec. 2014.

LAMPIRAN

A. Perhitungan

1. Kalor jenis larutan gula (c_p)

a. Perhitungan dengan metode Interpolasi nilai brix

$$c_{p_{air}} = 4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$c_{p_{glukosa}} = 1,55 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$brix = 28$$

$$\begin{aligned} c_{p_{campuran}} &= (0,72 \times 4,18) + (0,28 \times 1,55) \\ &= 3,44155 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

b. Perhitungan menggunakan rumus kalor

$$Q = m \times c_p \times \Delta T$$

Dimana

$$Q = \text{energi panas yang diberikan} = \text{daya} \times \text{waktu}$$

$$Q = 550 \text{ W} \times (75 \times 60 \text{ detik})$$

$$Q = 2475000 \text{ J}$$

$$c_p = \frac{Q}{m \times \Delta T}$$

$$c_p = \frac{2475000 \text{ J}}{20 \times 35}$$

$$c_p = 3535,71 \approx 3,53571 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

2. Luas Permukaan Kontak Heater

- Heater Tubular

Diketahui:

- Panjang total pipa $L = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$

- Diameter luar pipa $d = 1,3 \text{ cm} = 0,013 \text{ m}$

$$A_{tabung} = \pi \cdot d \cdot L$$

$$A_{tabung} = \pi \cdot 0,013 \cdot 0,6$$

$$= 0,0245 \text{ m}^2$$

- *Heater Spiral*

Diketahui:

- Panjang total pipa spiral: $L = 230 \text{ cm} = 2,3 \text{ m}$
- Diameter luar pipa: $d = 0,8 \text{ cm} = 0,008 \text{ m}$

$$A_{tabung} = \pi \cdot d \cdot L$$

$$\begin{aligned} A_{tabung} &= \pi \cdot 0,008 \cdot 2,3 \\ &= 0,0578 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- *Heater Tubular Fin*

Diketahui:

- Panjang total pipa: $L = 60 \text{ cm}$
- Diameter luar pipa: $d_1 = 1,3 \text{ cm}$
- Jumlah *fin*: $n = 100$ buah
- Ukuran tiap *fin*: $d_2 = 2,8; t = 0,5 \text{ mm}$

$$A_{tabung} = (n(2\pi(r_2^2 - r_1^2) + 2\pi \times r_2 \times t) + (\pi \times d_1 \times L))$$

$$\begin{aligned} A_{tabung} &= (100(2\pi(1,4^2 - 0,65^2) + 2\pi \times 1,4 \times 0,05) \\ &\quad + (\pi \times 1,3 \times 230)) \end{aligned}$$

$$A_{tabung} = 1112 \text{ cm}^2 = 0,1112 \text{ m}^2$$

3. Efisiensi Termal

$$\eta = \frac{Q_{digunakan}}{Q_{nput}} \times 100$$

$$\eta = \frac{m \times c \times \Delta T}{Q_{nput}} \times 100$$

- *Heater Tubular*[24]

$$\eta = \frac{20,56 \times 3,44 \times 31,8}{0,86 \times 3600} \times 100 = 72,6\%$$

- *Heater Spiral*

$$\eta = \frac{20,48 \times 3,44 \times 31,9}{0,84 \times 3600} \times 100 = 74,3\%$$

- *Heater Tubular Fin*

$$\eta = \frac{20,46 \times 3,44 \times 31,8}{0,77 \times 3600} \times 100 = 78,9\%$$

4. Laju Evaporasi

$$\dot{m} = \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

- *Heater Tubular*

$$\dot{m} = \frac{0,08}{2 \times 3600} = 1,1 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

- *Heater Spiral*

$$\dot{m} = \frac{0,12}{2 \times 3600} = 1,67 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

- *Heater Tubular Fin*

$$\dot{m} = \frac{0,11}{2 \times 3600} = 1,53 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

5. Efisiensi Evaporasi

$$\eta = \frac{Q_{evap}}{Q_{input}} \times 100$$

$$\eta = \frac{\Delta m \times L_v}{Q_{input}} \times 100$$

asumsi

$L_v = 2,26 \times 10^6 \text{ J/kg}$, yaitu kalor laten penguapan nira (diasumsikan setara dengan air)

- *Heater Tubular*

$$\eta = \frac{0,08 \times 2,26 \times 10^6}{3.132.000} \times 100 = 5,77\%$$

- *Heater Spiral*

$$\eta = \frac{0,12 \times 2,26 \times 10^6}{3.168.000} \times 100 = 8,56\%$$

- *Heater Tubular Fin*

$$\eta = \frac{0,11 \times 2,26 \times 10^6}{3.276.000} \times 100 = 7,59\%$$

B. Dokumentasi Pengambilan Data



Setup experiment

- Pengujian *Heater Tubular*



Hasil pengujian dimenit ke 120



Foto Thermal di suhu 40°C

- Pengujian *Heater Tubular*



Hasil pengujian dimenit ke 120

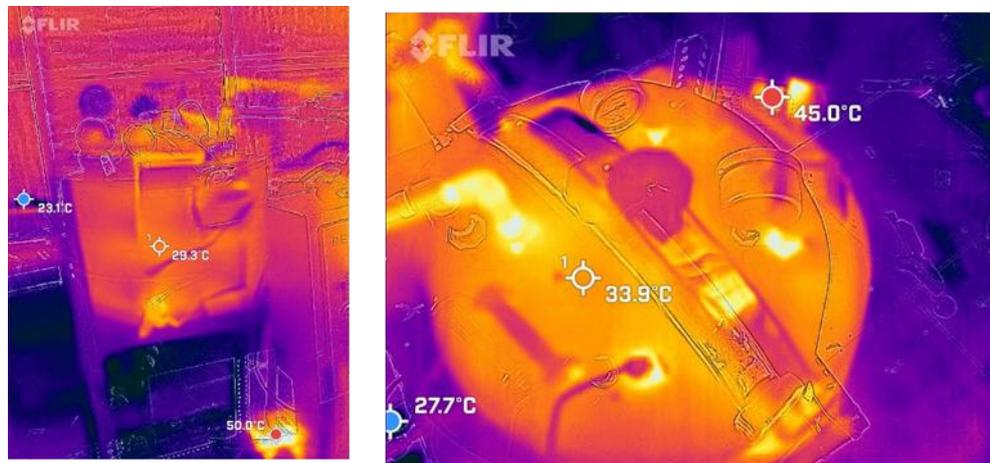


Foto Thermal di suhu 40°C

- Pengujian *Heater Tubular Fin*



Hasil pengujian dimenit ke 120



Foto Thermal di suhu 40°C

C. Data Hasil Pengujian

a. Hasil Pengujian *Heater U Finn*

Waktu (Menit)	Suhu Produksi		Konsumsi daya <i>Heater</i>		Tekanan Panci	
	Suhu Dalam Panci (°C)	Suhu Luar Panci (°C)	Watt	Kwh	Pressure Digital (Bar)	Pressure Analog (Bar)
0	33.1	32.4	574.3	0	0	0.1
1	33.4	32.8	573.8	0.01	-0.038	0.3
2	33.7	33	573	0.02	-0.188	0.5
3	33.9	33.3	573	0.03	-0.322	0.55
4	34.2	33.6	574	0.04	-0.408	0.65
5	34.5	34	573.8	0.05	-0.466	0.675
6	34.8	34.3	573.5	0.06	-0.506	0.7
7	35.2	34.6	573.3	0.07	-0.534	0.7
8	35.5	34.9	588.1	0.08	-0.529	0.7
9	35.9	35.3	588.4	0.09	-0.463	0.7
10	36.2	35.7	572.8	0.1	-0.489	0.7
11	36.6	36.1	572.5	0.11	-0.522	0.7
12	37	36.4	572.5	0.12	-0.549	0.7
13	37.3	36.7	588.4	0.13	-0.487	0.7
14	37.7	37.1	567.4	0.14	-0.473	0.7
15	38	37.5	563.8	0.15	-0.513	0.7
16	38.4	37.9	566.7	0.16	-0.542	0.7
17	38.8	38.2	581.2	0.18	-0.502	0.7
18	39.1	38.5	563.1	0.2	-0.462	0.7
19	39.5	38.9	563.6	0.21	-0.508	0.7
20	39.9	39.2	563.1	0.22	-0.54	0.7
21	40.3	39.5	581.2	0.23	-0.5	0.7
22	40.6	39.8	563.3	0.24	-0.45	0.7
23	41	40.2	563.8	0.25	-0.503	0.7
24	41.4	40.5	564.1	0.26	-0.536	0.7
25	41.8	40.9	582	0.27	-0.517	0.7
26	42.2	41.1	581.7	0.28	-0.453	0.7
27	42.5	41.4	566.7	0.29	-0.5	0.7
28	43	41.7	563.8	0.3	-0.536	0.7
29	43.4	42	581.7	0.31	-0.515	0.7
30	43.7	42.2	582	0.32	-0.451	0.7
31	44.1	42.5	567.2	0.33	-0.504	0.7
32	44.5	42.9	566.9	0.34	-0.538	0.7
33	44.9	43.2	582.5	0.35	-0.511	0.7
34	45.3	43.6	566.9	0.36	-0.449	0.7
35	45.6	44	567.2	0.37	-0.507	0.7
36	46.1	44.3	567.2	0.38	-0.541	0.7
37	46.5	44.6	585	0.39	-0.503	0.7
38	46.8	45	567.7	0.4	-0.464	0.7
39	47.2	45.3	567.9	0.41	-0.514	0.7
40	47.7	45.7	566.7	0.42	-0.547	0.7
41	48.1	46	581	0.43	-0.488	0.7
42	48.5	46.3	566.7	0.44	-0.477	0.7
43	48.8	46.7	566.9	0.45	-0.523	0.7
44	49.3	47	581.7	0.46	-0.536	0.7
45	49.7	47.5	581.5	0.47	-0.471	0.7
46	50.1	47.8	563.6	0.48	-0.494	0.7
47	50.5	48.2	563.3	0.49	-0.536	0.7

48	51	48.6	580.7	0.5	-0.512	0.7
49	51.5	48.8	563.6	0.51	-0.449	0.7
50	51.9	49.2	563.1	0.52	-0.511	0.7
51	52.3	49.6	562.6	0.53	-0.548	0.7
52	52.8	50	580.7	0.54	-0.484	0.7
53	53.3	50.3	562.6	0.55	-0.482	0.7
54	53.6	50.7	561.8	0.56	-0.53	0.7
55	54.3	51	577.6	0.57	-0.518	0.7
56	54.7	51.4	577.6	0.58	-0.542	0.7
57	55.4	51.8	562.3	0.59	-0.511	0.7
58	55.7	52	562.8	0.6	-0.55	0.7
59	56.4	52.3	577.6	0.61	-0.478	0.7
60	57	52.6	563.6	0.62	-0.491	0.7
61	57.3	52.9	563.3	0.63	-0.538	0.7
62	58.1	53.3	581.7	0.64	-0.499	0.7
63	58.7	53.7	563.6	0.65	-0.469	0.7
64	59.1	54	563.8	0.66	-0.528	0.7
65	60.2	54.4	581.5	0.67	-0.513	0.7
66	61	54.7	566.8	0.68	-0.449	0.7
67	61.2	55.1	563.6	0.69	-0.52	0.7
68	62.7	55.5	576.5	0.7	-0.525	0.7
69	63.4	55.8	581.2	0.71	-0.457	0.7
70	63.3	56.1	562.3	0.72	-0.517	0.7
71	64	56.5	580.7	0.73	-0.526	0.7
72	64.4	56.9	581.7	0.74	-0.459	0.7
73	64.6	57.2	563.3	0.75	-0.518	0.7
74	64.7	57.7	581	0.76	-0.523	0.7
75	64.9	58	577.4	0.77	-0.468	0.7
76	65	58.3	0	0.77	-0.518	0.7
77	64.9	58.7	0	0.77	-0.52	0.7
78	64.6	59.3	0	0.77	-0.522	0.7
79	64.4	59.4	0	0.77	-0.531	0.7
80	64.1	59.6	0	0.77	-0.525	0.7
81	63.9	59.5	0	0.77	-0.455	0.7
82	63.7	59.5	0	0.77	-0.507	0.7
83	63.5	59.4	0	0.77	-0.512	0.7
84	63.3	59.4	0	0.77	-0.46	0.7
85	63.1	59.3	0	0.77	-0.529	0.7
86	62.9	59.2	0	0.77	-0.503	0.7
87	62.7	59.2	0	0.77	-0.455	0.7
88	62.6	59.1	0	0.77	-0.536	0.7
89	62.5	59.1	0	0.77	-0.472	0.7
90	62.4	59	0	0.77	-0.543	0.7
91	62.3	58.9	0	0.77	-0.488	0.7
92	62.2	58.8	0	0.77	-0.484	0.7
93	62.1	58.8	0	0.77	-0.546	0.7
94	62.1	58.7	0	0.77	-0.487	0.7
95	62.1	58.7	559.3	0.78	-0.487	0.7
96	62.6	58.6	576.9	0.79	-0.547	0.7
97	63	58.6	563.8	0.8	-0.486	0.7
98	63.3	58.5	567.2	0.82	-0.484	0.7
99	63.8	58.6	564.8	0.83	-0.539	0.7
100	64.1	58.9	582.2	0.84	-0.493	0.7
101	64.3	59.2	562.8	0.85	-0.481	0.7
102	64.8	59.5	564.1	0.86	-0.535	0.7

103	65	59.8	582.2	0.87	-0.499	0.7
104	65.2	60	566.9	0.88	-0.476	0.7
105	65.2	60.4	563.8	0.9	-0.534	0.7
106	65	61.1	563.8	0.91	-0.471	0.7
107	64.9	61.3	0	0.91	-0.512	0.7
108	64.8	61.4	0	0.91	-0.497	0.7
109	64.7	61.3	0	0.91	-0.545	0.7
110	64.6	61.3	0	0.91	-0.484	0.7
111	64.4	61.2	0	0.91	-0.493	0.7
112	64.2	61.1	0	0.91	-0.542	0.7
113	64	61	0	0.91	-0.474	0.7
114	63.8	60.9	0	0.91	-0.514	0.7
115	63.6	60.6	0	0.91	-0.467	0.7
116	63.3	60.5	0	0.91	-0.509	0.7
117	63	60.3	0	0.91	-0.533	0.7
118	62.8	60.2	0	0.91	-0.486	0.7
119	62.6	60	0	0.91	-0.499	0.7
120	62.4	59.9	0	0.91	-0.526	0.7

b. Hasil Pengujian *Heater* Spiral

Waktu (Menit)	Suhu Produksi		Konsumsi daya <i>Heater</i>		Tekanan Panci	
	Suhu Dalam Panci (°C)	Suhu Luar Panci (°C)	Watt	Kwh	Pressure Digital (Bar)	Pressure Analog (Bar)
0	33.1	31.3	562.6	0	0	0.1
1	33.4	31.4	564.3	0.01	-0.063	0.3
2	33.7	31.5	564.5	0.02	-0.148	0.5
3	33.9	31.5	564.3	0.03	-0.265	0.5
4	34.2	31.6	564.5	0.04	-0.312	0.55
5	34.5	31.7	564.5	0.05	-0.388	0.6
6	34.8	31.9	563.3	0.06	-0.421	0.6
7	35.2	32.2	563.3	0.07	-0.473	0.675
8	35.7	32.6	563.1	0.08	-0.502	0.7
9	36.1	32.9	563.1	0.09	-0.522	0.7
10	36.5	33.3	559.8	0.1	-0.538	0.7
11	37	33.8	562.1	0.11	-0.549	0.7
12	37.3	34.1	580.3	0.12	-0.532	0.7
13	37.7	34.5	581.1	0.13	-0.497	0.7
14	38.2	35	582.5	0.14	-0.461	0.7
15	38.6	35.3	582.3	0.15	-0.488	0.7
16	38.9	35.9	562.6	0.16	-0.505	0.7
17	39.5	36.2	561.1	0.17	-0.537	0.7
18	39.8	36.5	583.1	0.18	-0.522	0.7
19	40.2	36.9	579.2	0.19	-0.498	0.7
20	40.7	37.3	572.9	0.2	-0.462	0.7
21	41.1	37.7	562.4	0.21	-0.465	0.7
22	41.5	38	562.4	0.22	-0.503	0.7
23	41.9	38.4	559.1	0.23	-0.529	0.7
24	42.3	38.8	562.4	0.24	-0.545	0.7
25	42.8	39.1	577.2	0.25	-0.487	0.7
26	43.1	39.5	562.4	0.26	-0.48	0.7
27	43.5	39.9	559.1	0.27	-0.514	0.7
28	44	40.2	558.8	0.28	-0.538	0.7
29	44.3	40.5	581.5	0.29	-0.516	0.7

30	44.7	41	563.1	0.3	-0.468	0.7
31	45.1	41.2	562.6	0.31	-0.504	0.7
32	45.6	41.7	558.8	0.32	-0.531	0.7
33	45.9	42.1	571.2	0.33	-0.546	0.7
34	46.3	42.4	577	0.34	-0.456	0.7
35	46.6	42.3	561.9	0.35	-0.496	0.7
36	47	43.1	562.1	0.36	-0.528	0.7
37	47.4	43.5	558.8	0.37	-0.549	0.7
38	47.9	43.9	572.4	0.38	-0.468	0.7
39	48.3	44.2	559.1	0.39	-0.496	0.7
40	48.6	44.6	561.6	0.4	-0.528	0.7
41	49.1	45	576.7	0.41	-0.548	0.7
42	49.5	45.3	571.4	0.42	-0.455	0.7
43	49.9	45.7	563.3	0.43	-0.501	0.7
44	50.3	46	563.3	0.44	-0.532	0.7
45	50.6	46.4	582.3	0.44	-0.524	0.7
46	50.9	46.7	564.1	0.45	-0.453	0.7
47	51.4	47.1	562.6	0.46	-0.505	0.7
48	51.8	47.5	563.3	0.47	-0.537	0.7
49	52.2	47.9	581.3	0.48	-0.504	0.7
50	52.6	48.2	557.1	0.49	-0.473	0.7
51	52.9	48.5	561.4	0.5	-0.515	0.7
52	53.3	48.8	558.8	0.51	-0.541	0.7
53	53.7	49.2	576.5	0.52	-0.483	0.7
54	54.1	49.6	562.4	0.53	-0.489	0.7
55	54.4	49.9	561.9	0.54	-0.527	0.7
56	54.8	40.2	577.4	0.55	-0.534	0.7
57	55.2	50.6	562.4	0.56	-0.448	0.7
58	55.5	50.9	557.4	0.57	-0.507	0.7
59	56	51.2	562.9	0.58	-0.54	0.7
60	56.2	51.6	572.9	0.59	-0.495	0.7
61	56.6	52	559.1	0.6	-0.482	0.7
62	57	52.3	563.6	0.61	-0.528	0.7
63	57.3	52.7	577.7	0.62	-0.532	0.7
64	57.7	53	567	0.63	-0.55	0.7
65	58	53.4	453.6	0.64	-0.509	0.7
66	58.4	53.6	560.4	0.65	-0.543	0.7
67	58.7	54	577.9	0.66	-0.477	0.7
68	59.1	54.4	561.9	0.67	-0.495	0.7
69	59.5	54.7	562.9	0.68	-0.535	0.7
70	59.8	55.1	572.4	0.69	-0.499	0.7
71	60.1	55.5	576.6	0.7	-0.483	0.7
72	60.6	55.7	558.6	0.71	-0.517	0.7
73	61	56.4	562.9	0.72	-0.542	0.7
74	61.4	55.8	562.1	0.73	-0.479	0.7
75	61.7	57.1	580.8	0.74	-0.516	0.7
76	61.9	57.2	580.5	0.75	-0.477	0.7
77	62.1	57.5	562.9	0.76	-0.481	0.7
78	62.5	57.8	563.6	0.77	-0.534	0.7
79	62.8	58.1	580.8	0.78	-0.496	0.7
80	63.1	58.5	563.8	0.79	-0.488	0.7
81	63.5	58.7	562.4	0.8	-0.54	0.7
82	63.8	59.1	580.8	0.81	-0.485	0.7
83	64.2	59.5	563.3	0.82	-0.499	0.7
84	64.5	59.8	562.9	0.83	-0.547	0.7

85	64.7	60.2	577.2	0.84	-0.49	0.7
86	65	60.6	0	0.84	-0.513	0.7
87	65.1	60.9	0	0.84	-0.576	0.7
88	65	61.3	0	0.84	-0.538	0.7
89	64.8	61.3	0	0.84	-0.485	0.7
90	64.7	61.3	0	0.84	-0.502	0.7
91	64.6	61.3	0	0.84	-0.527	0.7
92	64.5	61.3	0	0.84	-0.455	0.7
93	64.4	61.2	0	0.84	-0.534	0.7
94	64.3	61.1	0	0.84	-0.489	0.7
95	64.2	61	0	0.84	-0.496	0.7
96	64.1	61	0	0.84	-0.535	0.7
97	64	60.9	0	0.84	-0.461	0.7
98	63.9	60.8	0	0.84	-0.522	0.7
99	63.8	60.7	0	0.84	-0.507	0.7
100	63.7	60.6	0	0.84	-0.468	0.7
101	63.6	60.5	0	0.84	-0.531	0.7
102	63.5	60.4	0	0.84	-0.471	0.7
103	63.4	60.3	0	0.84	-0.515	0.7
104	63.2	60.3	0	0.84	-0.52	0.7
105	63.2	60.3	0	0.84	-0.45	0.7
106	63.1	60.2	0	0.84	-0.517	0.7
107	63	60.1	0	0.84	-0.513	0.7
108	62.9	60	0	0.84	-0.452	0.7
109	62.8	60	0	0.84	-0.533	0.7
110	62.7	60	0	0.84	-0.49	0.7
111	62.6	59.8	0	0.84	-0.55	0.7
112	62.5	59.7	0	0.84	-0.469	0.7
113	62.4	59.6	0	0.84	-0.511	0.7
114	62.3	59.5	0	0.84	-0.52	0.7
115	62.1	59.4	0	0.84	-0.529	0.7
116	62	59.3	0	0.84	-0.489	0.7
117	62.1	59.2	549.5	0.85	-0.478	0.7
118	62.4	59.1	563.6	0.86	-0.542	0.7
119	62.8	59.2	558.4	0.87	-0.521	0.7
120	63	59.2	576.7	0.88	-0.488	0.7

c. Hasil Pengujian *Heater U*

Waktu (Menit)	Suhu Produksi		Konsumsi daya <i>Heater</i>		Tekanan Panci	
	Suhu Dalam Panci (°C)	Suhu Luar Panci (°C)	Watt	Kwh	Pressure Digital (Bar)	Pressure Analog (Bar)
0	33.2	32.8	568.3	0	0	0.1
1	33.4	32.8	565.2	0.01	-0.064	0.3
2	33.6	32.9	560.1	0.02	-0.196	0.5
3	33.6	32.9	565	0.03	-0.349	0.5
4	33.8	32.9	564.5	0.03	-0.444	0.6
5	34.4	33	563.6	0.04	-0.506	0.7
6	34.8	33	563.6	0.05	-0.548	0.7
7	35.2	32.9	573	0.06	-0.488	0.7
8	35.7	32.9	560.1	0.07	-0.479	0.7
9	36.1	32.9	564.1	0.08	-0.53	0.7
10	37	33	581.6	0.09	-0.518	0.7
11	37.5	33	579.2	0.1	-0.454	0.7

12	38.1	33.1	559.5	0.11	-0.464	0.7
13	38.5	33.1	563.8	0.12	-0.504	0.7
14	38.8	33.2	569.5	0.13	-0.533	0.7
15	39.3	33.3	587.4	0.14	-0.548	0.7
16	39.8	33.4	587.4	0.15	-0.482	0.7
17	40.4	33.5	573.5	0.16	-0.479	0.7
18	40.9	33.6	567.3	0.17	-0.521	0.7
19	41.4	33.8	582.6	0.18	-0.549	0.7
20	41.8	33.9	577.1	0.19	-0.488	0.7
21	42.2	34.1	560.3	0.2	-0.47	0.7
22	42.8	34.3	563.6	0.21	-0.516	0.7
23	43.2	34.5	559.7	0.22	-0.547	0.7
24	43.7	34.6	576.8	0.23	-0.497	0.7
25	44.1	34.8	565	0.24	-0.46	0.7
26	44.5	35	567.1	0.25	-0.51	0.7
27	45	35.3	567.3	0.26	-0.544	0.7
28	45.4	35.5	577.8	0.27	-0.502	0.7
29	45.9	35.7	567.8	0.28	-0.454	0.7
30	46.3	36	565.2	0.29	-0.508	0.7
31	46.7	36.3	562.9	0.29	-0.544	0.7
32	47	36.5	574	0.3	-0.501	0.7
33	47.3	36.8	564.5	0.31	-0.455	0.7
34	47.7	37.1	568.8	0.32	-0.502	0.7
35	48.1	37.3	567.3	0.33	-0.544	0.7
36	48.5	37.6	582.8	0.34	-0.5	0.7
37	48.9	38	562.9	0.35	-0.459	0.7
38	49.3	38.2	564.5	0.36	-0.512	0.7
39	49.7	38.5	564.5	0.37	-0.547	0.7
40	50	38.8	579.5	0.38	-0.496	0.7
41	50.3	39.2	565	0.39	-0.466	0.7
42	50.7	39.5	559	0.4	-0.516	0.7
43	51.1	39.8	574.1	0.41	-0.55	0.7
44	51.4	40.2	582.8	0.42	-0.488	0.7
45	51.8	40.5	565	0.43	-0.475	0.7
46	52.1	40.9	564.8	0.44	-0.523	0.7
47	52.4	41.2	577.1	0.45	-0.537	0.7
48	52.8	41.6	578.5	0.46	-0.476	0.7
49	53.2	41.9	569.5	0.47	-0.488	0.7
50	53.5	42.3	568.8	0.48	-0.536	0.7
51	53.8	42.6	581.6	0.49	-0.519	0.7
52	54.1	43.1	591.4	0.5	-0.46	0.7
53	54.4	43.5	574.5	0.51	-0.503	0.7
54	54.8	43.9	573.5	0.52	-0.541	0.7
55	55.1	44.3	586.9	0.53	-0.5	0.7
56	55.5	44.6	573.8	0.54	-0.46	0.7
57	55.8	45.1	573	0.55	-0.517	0.7
58	56	45.5	587.6	0.56	-0.544	0.7
59	56.2	45.9	577.3	0.57	-0.481	0.7
60	56.6	46.3	555.2	0.58	-0.483	0.7
61	56.9	46.8	558.3	0.59	-0.533	0.7
62	57.1	47.2	577.3	0.6	-0.515	0.7
63	57.3	47.8	577.8	0.61	-0.456	0.7
64	57.7	48.3	559.9	0.62	-0.51	0.7
65	58	48.9	569	0.62	-0.55	0.7
66	58.1	49.6	579	0.63	-0.468	0.7

67	58.5	50.3	564.1	0.64	-0.484	0.7
68	58.7	51	563.6	0.65	-0.534	0.7
69	58.8	51.8	578.3	0.66	-0.511	0.7
70	59.1	52.7	579.2	0.67	-0.453	0.7
71	59.5	53.5	564.3	0.68	-0.512	0.7
72	59.7	54.4	577.8	0.69	-0.544	0.7
73	59.9	55.2	582.3	0.7	-0.479	0.7
74	60.2	55.9	565.2	0.71	-0.491	0.7
75	60.5	56.4	560.3	0.72	-0.539	0.7
76	60.6	57	578.3	0.73	-0.498	0.7
77	61	57.4	564.1	0.74	-0.468	0.7
78	61.4	57.7	559.9	0.75	-0.527	0.7
79	61.6	58.2	581.6	0.76	-0.515	0.7
80	62	58.5	579.2	0.77	-0.454	0.7
81	62.4	58.8	565	0.78	-0.518	0.7
82	62.6	59.3	577.3	0.79	-0.526	0.7
83	63	59.7	578.5	0.8	-0.461	0.7
84	63.3	60	564.8	0.81	-0.516	0.7
85	63.7	60.3	568.1	0.82	-0.548	0.7
86	63.9	60.8	583	0.83	-0.484	0.7
87	64.3	61	565.2	0.84	-0.498	0.7
88	64.6	61.1	568.9	0.85	-0.524	0.7
89	64.7	61.2	579.1	0.86	-0.464	0.7
90	65	61.2	559.3	0.86	-0.521	0.7
91	65.1	61.2	0	0.86	-0.521	0.7
92	65	61.1	0	0.86	-0.506	0.7
93	64.9	61.1	0	0.86	-0.45	0.7
94	64.8	61	0	0.86	-0.536	0.7
95	64.8	60.8	0	0.86	-0.494	0.7
96	64.7	60.7	0	0.86	-0.472	0.7
97	64.6	60.5	0	0.86	-0.544	0.7
98	64.5	60.5	0	0.86	-0.587	0.7
99	64.4	60.4	0	0.86	-0.487	0.7
100	64.3	60.3	0	0.86	-0.549	0.7
101	64.2	60.2	0	0.86	-0.482	0.7
102	64.1	60.1	0	0.86	-0.494	0.7
103	63.9	60	0	0.86	-0.476	0.7
104	63.8	59.8	0	0.86	-0.533	0.7
105	63.7	59.7	0	0.86	-0.473	0.7
106	63.6	59.7	0	0.86	-0.503	0.7
107	63.4	59.5	0	0.86	-0.473	0.7
108	63.3	59.4	0	0.86	-0.502	0.7
109	63.1	59.2	0	0.86	-0.475	0.7
110	63	59.1	0	0.86	-0.536	0.7
111	62.9	59	0	0.86	-0.476	0.7
112	62.8	59	0	0.86	-0.498	0.7
113	62.7	58.8	0	0.86	-0.541	0.7
114	62.6	58.8	0	0.86	-0.48	0.7
115	62.5	58.8	0	0.86	-0.494	0.7
116	62.5	58.8	0	0.86	-0.497	0.7
117	62.3	58.6	0	0.86	-0.546	0.7
118	62.2	58.5	0	0.86	-0.487	0.7
119	62.1	58.5	0	0.86	-0.527	0.7
120	62	58.4	559.3	0.87	-0.451	0.7