

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 venturi, 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 *finn*) 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)*

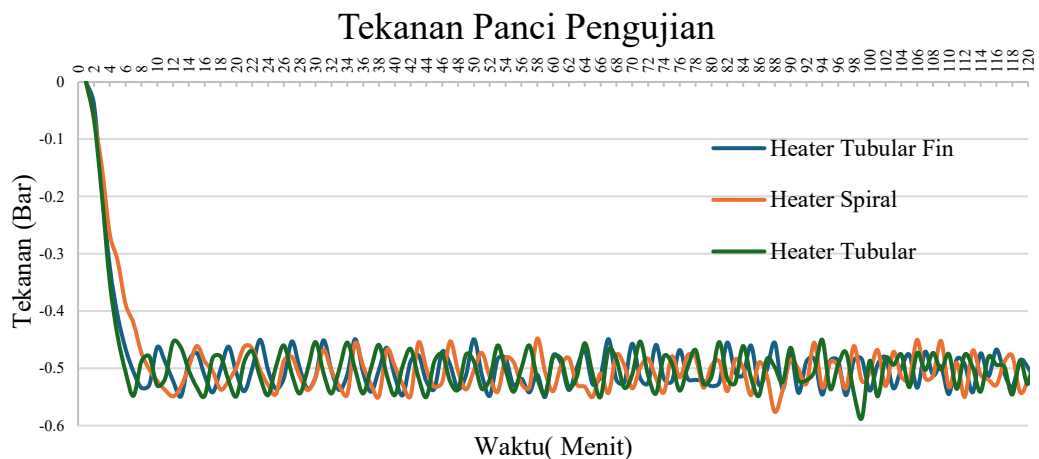
Pengujian *Heater U Fin* dilakukan untuk mengamati kinerja *heater* dengan sirip (*fin*) yang bertujuan memperluas permukaan kontak pemanasan. Adapun data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.3, yang meliputi data suhu, tekanan, daya, serta hasil akhir berupa nilai Brix.

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.

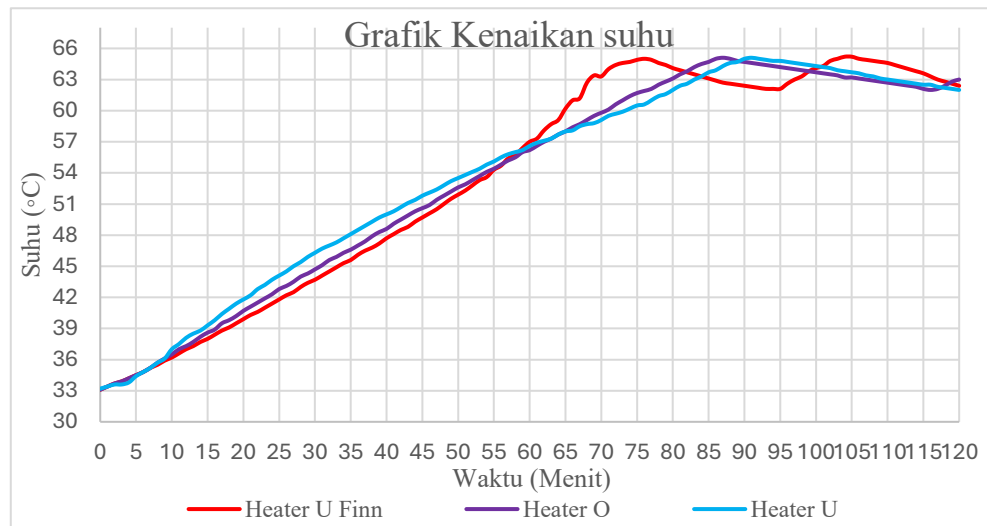
Heater U fin (biru) menunjukkan kestabilan tekanan yang cukup baik dengan pola fluktuasi yang relatif halus dan teratur. Pompa vakum pada sistem ini menyala rata-rata selama 1 menit 49 detik saat tekanan turun dari -0,45 menuju -0,55 bar, dan kemudian mati selama 1 menit 41 detik saat tekanan kembali 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 kontakannya 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 Spiral</i>	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

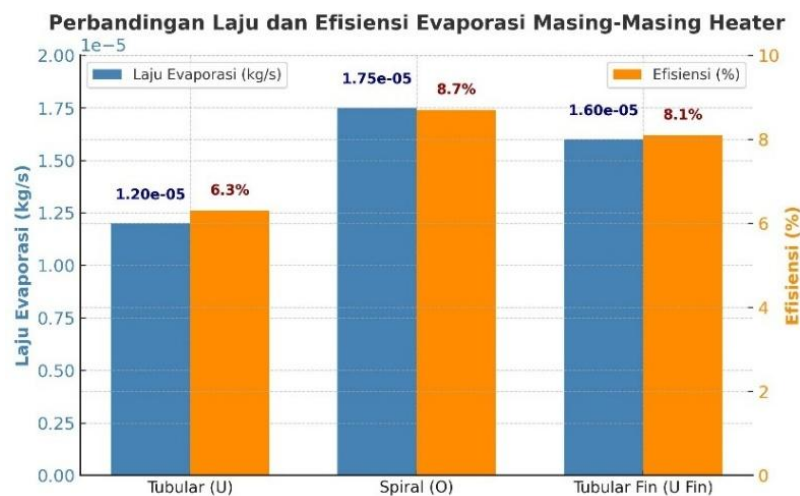
Jenis Heater	Berat Awal (kg)	Berat Akhir (kg)	Δ Massa (kg)	Waktu (s)	Laju Evaporasi (kg/s)
Heater U	20,56	20,48	0,08	7200	$1,11 \times 10^{-5}$
Heater Spiral	20,48	20,36	0,12	7200	$1,67 \times 10^{-5}$
Heater U Fin	20,46	20,35	0,11	7200	$1,53 \times 10^{-5}$

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.