

# KOMPARASI KONSUMSI DAYA LISTRIK DAN EFISIENSI ENERGI PADA MODIFIKASI *FREEZER* KAPASITAS 100 L

## *Comparative Analysis of Electrical Power Consumption and Energy Efficiency in A Modified 100 L Freezer*

Mochamad Anwar\*, Danu Sudrajat, Belyamin, Berbudi Wibowo  
Politeknik Ahli Usaha Perikanan Jakarta  
Email: [anwarjenggolo@gmail.com](mailto:anwarjenggolo@gmail.com)

### ABSTRAK

Mesin *freezer* merupakan perangkat pendingin yang berperan penting dalam menjaga kualitas bahan pangan dan produk lainnya agar tetap awet serta layak konsumsi. Dalam distribusi dan penyimpanan, khususnya pada sektor perikanan, *freezer* berfungsi untuk menurunkan suhu produk hingga di bawah titik beku air tanpa menurunkan kualitasnya secara signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan konsumsi daya listrik dan efisiensi energi pada *freezer* kapasitas 100 L antara kondisi standar dan kondisi setelah dilakukan modifikasi dengan penambahan *subcooler*. Pengujian dilakukan selama 240 menit dengan pencatatan data suhu kabin, arus listrik, dan daya listrik setiap 20 menit. Kedua unit *freezer* menggunakan refrigeran R600a dengan spesifikasi pabrikan yang sama, dan pengujian dilakukan di ruangan dengan suhu sekitar 30 °C untuk meminimalkan pengaruh fluktuasi lingkungan. Tegangan yang digunakan selama pengujian sebesar 220 V, sehingga hasil daya listrik yang tercatat valid dan konsisten. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *subcooler* mampu meningkatkan kinerja *freezer* termal melalui percepatan penurunan suhu dan pencapaian suhu minimum yang lebih rendah, yaitu -24 °C, dibandingkan kondisi tanpa perlakuan yang mencapai -21 °C. Konsumsi daya rata-rata *freezer* dengan *subcooler* sebesar 60,68 W, lebih rendah dibandingkan *freezer* tanpa perlakuan sebesar 64,3 W. Analisis efisiensi menunjukkan bahwa *freezer* dengan *subcooler* memiliki efisiensi tertinggi sebesar 18,48%. Hasil uji *paired sample t-test* mengonfirmasi adanya perbedaan signifikan pada daya dan arus listrik antara kedua perlakuan ( $p < 0,05$ ). Secara keseluruhan, modifikasi *subcooler* terbukti efektif meningkatkan efisiensi energi serta memberikan penghematan biaya listrik bulanan, sehingga layak dipertimbangkan sebagai metode peningkatan performa *freezer* kapasitas 100 L.

**Kata kunci:** Daya Listrik; *Freezer*; Efisiensi Energi; *Subcooler*; Kinerja Termal

### ABSTRACT

*Freezer is a cooling device that plays a crucial role in preserving the quality of food products and other perishable materials to ensure they remain durable and suitable for consumption. In distribution and storage, particularly in the fisheries sector, a freezer functions to lower product temperatures below the freezing point of water without causing significant quality degradation. This study aims to compare the electrical power consumption and energy efficiency of a 100-L freezer under standard conditions and after modification with the addition of a subcooler. The experiment was conducted for 240 minutes with measurements of cabin temperature, electric current, and power recorded every 20 minutes. Both freezer units used R600a refrigerant with identical manufacturer specifications, and the tests were carried out in a room with an ambient temperature of approximately 30 °C to minimize environmental fluctuations. A constant voltage supply of 220 V was applied throughout the testing to ensure the validity and consistency of the recorded power data. The results indicate that the addition of a subcooler enhances the thermal performance of the freezer by accelerating the temperature reduction process and achieving a lower minimum temperature of -24 °C, compared to -21 °C in the unmodified condition. The average power consumption of the freezer equipped with a subcooler was 60.68 W, lower than the 64.3 W observed in the unit without treatment. Efficiency analysis further revealed that the freezer with a subcooler achieved the highest efficiency at 18.48%. A paired sample t-test confirmed a significant difference in power and current between the two conditions ( $p < 0.05$ ). Overall, the subcooler modification proved effective in improving energy efficiency and reducing monthly electricity costs, making it a feasible method for enhancing the performance of a 100-L freezer.*

**Keywords:** Electrical Power; Freezer; Energy Efficiency; Subcooler; Thermal Performance

### PENDAHULUAN

Mesin *freezer* merupakan perangkat pendingin yang berperan penting dalam menjaga kualitas bahan pangan dan

produk lainnya agar tetap awet serta layak konsumsi. Dalam distribusi dan penyimpanan, khususnya pada sektor perikanan, *freezer* berfungsi untuk menurunkan suhu produk hingga di bawah titik beku air tanpa menurunkan kualitasnya secara

signifikan. *Freezer* banyak digunakan untuk pembekuan produk olahan ikan (Agustina *et al.*, 2016), pembuatan es batu (Eko Setyo Prabowo & Wiyogo, 2022), serta penyimpanan vaksin (Sambara *et al.*, 2017). Kondisi tersebut menunjukkan kebutuhan untuk memastikan bahwa mesin *freezer* mampu bekerja dengan stabil tanpa meningkatkan beban energi secara berlebihan.

Pada kegiatan perikanan skala kecil, *freezer* menjadi solusi praktis untuk menyimpan hasil tangkapan sekaligus memproduksi es batu. Seiring perkembangan teknologi, berbagai inovasi dilakukan untuk meningkatkan efisiensi energi sistem refrigerasi, antara lain penggunaan *freezer* inverter yang hemat listrik (Chang *et al.*, 2008), penerapan refrigeran ramah lingkungan seperti R600a yang memiliki efisiensi tinggi (Putri Maulani *et al.*, 2024), dan penambahan *subcooler* pada sistem refrigerasi (Nugroho, 2018).

Kondisi iklim tropis di Indonesia menjadi tantangan tersendiri dalam pengoperasian *freezer*. Suhu lingkungan yang tinggi meningkatkan beban panas pada sistem (Irawan & Setyawan, 2023), yang berakibat pada melambatnya proses penurunan suhu dan meningkatnya konsumsi daya listrik (Belman-Flores *et al.*, 2019). Selain itu kurangnya proses *subcooling* dapat menambah beban kompresor (Keshtkar, 2016).

Penerapan *subcooler* pada sistem refrigerasi berpotensi meningkatkan efek refrigerasi tanpa penambahan konsumsi energi yang signifikan, sehingga kinerja termodinamika sistem dapat ditingkatkan (Arora, 2010). *Subcooling* juga memengaruhi distribusi energi pada komponen utama seperti evaporator, kondensor, dan kompresor (Cengel & Boles, 2015). Dengan demikian, modifikasi ini tidak hanya relevan secara teknis, tetapi juga penting untuk dianalisis dari sisi ekonomi, karena setiap peningkatan efisiensi berimplikasi pada biaya modifikasi (Valero & Cuadra, 2006). Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan konsumsi daya listrik dan efisiensi energi *freezer* kapasitas 100 L antara kondisi standar dan kondisi setelah dilakukan modifikasi penambahan *subcooler*, sehingga dapat diperoleh gambaran kelayakan teknis dan ekonominya.

## METODE PENELITIAN

### Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di *Workshop* Kapal Pengawas Kelautan dan Perikanan Pangkalan PSDKP Bitung Sulawesi Utara pada bulan Desember 2024 hingga Maret 2025. Pemilihan lokasi tersebut didasarkan pada ketersediaan fasilitas kerja, peralatan pendukung, serta lingkungan yang sesuai untuk melakukan pengujian dan modifikasi sistem pendingin. Pengujian pada penelitian ini dilakukan di ruangan terbuka yang berada di area *workshop*. Ruangan terbuka ini memungkinkan pemasangan sistem pendingin, pipa, dan instrumen pengukuran dengan lebih leluasa, serta memberikan kondisi lingkungan yang sesuai dengan karakteristik kerja sistem pendingin yang juga beroperasi pada kondisi udara terbuka.

### Metode Eksperimen dan Kondisi Pengujian

Desain eksperimen penelitian ini membandingkan biaya modifikasi dan *output* daya listrik terhadap efisiensi kinerja dua unit mesin *freezer* kapasitas 100 L, adapun skema perlakuan disajikan pada Gambar 1 dan 2.

1. *Freezer* 1 (kontrol/tanpa perlakuan) digunakan tanpa modifikasi untuk merepresentasikan kondisi standar pabrik.
2. *Freezer* 2 (Penambahan *Subcooler*) dilengkapi dengan *subcooler* yang dipasang di antara keluaran kondensor dan

pipa kapiler. *Subcooler* ini memanfaatkan pertukaran panas antara pipa cair (*liquid line*) dan pipa balik (*suction line*) untuk menurunkan temperatur refrigeran sebelum masuk pipa kapiler, sehingga meningkatkan efisiensi pendinginan.

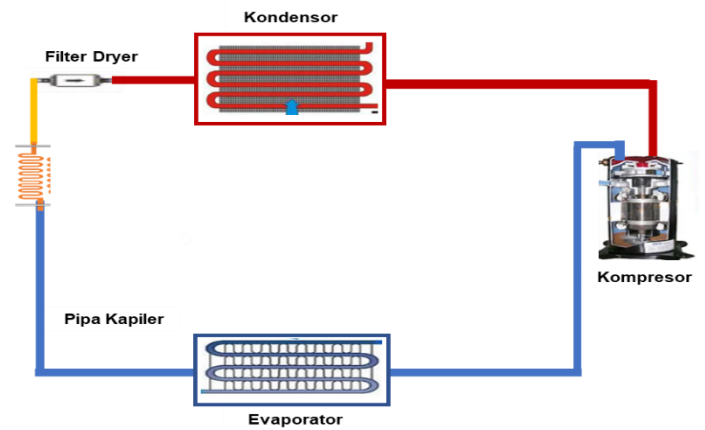


Figure 1. Schematic Diagram of the Freezer Without Treatment  
Gambar 1. Skema Freezer Tanpa Perlakuan

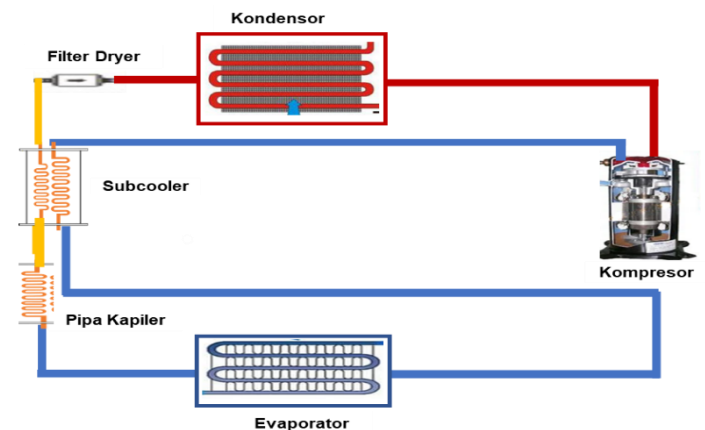


Figure 2. Schematic Diagram of the Freezer With Subcooler Addition  
Gambar 2. Skema Freezer Dengan Penambahan Subcooler

Pengujian dilakukan selama 4 jam (240 menit) dengan pencatatan data setiap 20 menit, menggunakan dua unit *freezer* berkapasitas 100 L yang memiliki spesifikasi pabrik dan jenis refrigeran R600a yang sama. Selama pengujian, kompresor tidak dipaksa bekerja terus-menerus, tetapi dibiarkan beroperasi mengikuti siklus *ON-OFF* alami sesuai pengaturan termostat. Siklus *ON-OFF* ini merupakan mekanisme normal sistem pendingin rumah tangga, ketika kompresor menyala (*ON*) perlu menurunkan suhu dan berhenti sementara (*OFF*) ketika suhu telah tercapai set point. Kondisi ini mencerminkan operasional sebenarnya dari *freezer*, sehingga data suhu dan performa yang diperoleh lebih representatif terhadap penggunaan normal tanpa intervensi yang dapat memengaruhi karakteristik termal sistem.

Pengujian dilakukan di ruangan atau lingkungan sekitar dengan bersuhu 30°C untuk meminimalkan pengaruh fluktuasi suhu lingkungan terhadap hasil pengukuran. Parameter yang diamati meliputi daya listrik (W), arus listrik (A), dan suhu kabin *freezer* (°C). Seluruh data konsumsi daya kemudian dikonversikan ke dalam satuan energi listrik (kWh) untuk menganalisis efisiensi penggunaan energi pada masing-masing unit *freezer*. Beban pendinginan yang digunakan berupa air dalam botol plastik sebanyak 0,6 kg, ditempatkan di tengah ruang *freezer*. Air dipilih karena memiliki kapasitas kalor jenis

yang tinggi dan dapat merepresentasikan kondisi beban pendinginan nyata. Suhu internal dipantau menggunakan termometer digital yang diletakkan di ruang kabin *freezer*.

### Pengumpulan dan Analisa Data

Serangkaian pengukuran terhadap parameter kinerja sistem pendingin *freezer* dilakukan untuk memastikan akurasi data yang diperlukan dalam analisis penelitian ini. Setiap parameter diukur menggunakan alat yang sesuai dengan fungsi dan tingkat ketelitiannya masing-masing. Adapun parameter yang diamati beserta alat ukur, satuan, dan metode pengukurannya disajikan pada Tabel 2.

Setelah sistem dimodifikasi, *freezer* diuji kembali dengan metode dan durasi pengukuran yang sama seperti saat *baseline*. Perbandingan data sebelum dan sesudah modifikasi akan menjadi dasar evaluasi performa dan efisiensi sistem. Data dianalisis menggunakan metode komparatif dan evaluasi efisiensi. Konsumsi listrik dibandingkan (dalam kWh), dan penghematan biaya dihitung berdasarkan tarif listrik. Konsumsi

energi listrik (dalam kWh) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$E_i = \left( \frac{P_i + P_{i-1}}{1000} \right) \times \left( \frac{\Delta t}{60} \right) \dots\dots\dots (1)$$

$$E_{total} = \sum E_i \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:  $E_i$  = Energi listrik Tiap waktu (kwh);  $P_i$  = Daya listrik (watt);  $\Delta t$  = Interval waktu (menit)

Nilai efisiensi daya listrik Dapat dilihat pada rumus persamaan sebagai berikut :

$$Efisiensi = \left( \frac{\text{Daya Maksimum} - \text{Daya Stabil}}{\text{Daya Maksimum}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

**Table 2.** Measurement Parameters

**Tabel 2.** Parameter Pengukuran

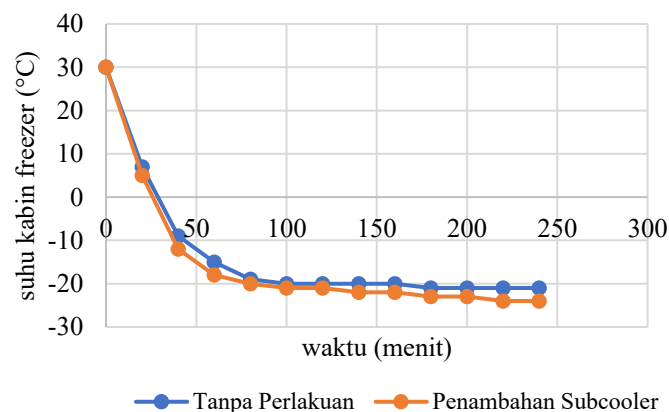
Parameter	Alat Ukur	Satuan	Keterangan
Konsumsi daya listrik	<i>Watt meter digital</i>	W, kWh	Mengukur daya sesaat dan energi total
Suhu dalam ruang <i>freezer</i>	Termometer digital	°C	Sensor ditempatkan di tengah ruang <i>freezer</i>
Tekanan kerja refrigeran	<i>Manifold gauge set</i>	psi / bar	Mengukur tekanan sisi hisap ( <i>low pressure/evaporator</i> ) dan tekanan sisi buang ( <i>high pressure/kondensor</i> )
Waktu pencapaian suhu -24 °C	Timer digital	Menit	Diukur sejak unit dinyalakan hingga suhu mencapai -24 °C
Biaya listrik	Perhitungan kWh × tarif	Rupiah	Mengacu pada tarif listrik rumah tangga yang berlaku
Biaya modifikasi	Pencatatan manual	Rupiah	Total biaya komponen dan pekerjaan modifikasi

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perbandingan Suhu Kabin *Freezer*

Pengujian suhu kabin *freezer* dilakukan selama pengoperasian untuk membandingkan kinerja sistem tanpa perlakuan dan sistem dengan penambahan *subcooler*. Hasil pengujian dianalisis untuk menentukan perbedaan laju penurunan suhu kabin sebagai indikator peningkatan kinerja sistem pendingin. Parameter utama yang diamati adalah perubahan suhu dari kondisi awal hingga mencapai titik stabil selama periode pengamatan. Grafik suhu kabin *freezer* disajikan pada Gambar 3.

Berdasarkan hasil pengujian suhu kabin *freezer* terdapat perbedaan laju penurunan suhu pada setiap perlakuan. Perubahan suhu kabin *freezer* terhadap waktu dapat diamati pada kondisi tanpa perlakuan maupun dengan penambahan *subcooler*, terjadi penurunan suhu yang signifikan sejak awal pengujian hingga menit ke-80. Pada menit ke-0, suhu awal *freezer* berada pada 30°C untuk kedua kondisi. Setelah 20 menit, suhu turun drastis menjadi 7°C tanpa perlakuan dan suhu 5°C dengan penambahan *subcooler*. Penurunan suhu terus berlanjut hingga mencapai titik stabil pada kisaran menit ke-100, dengan suhu sekitar -20°C untuk kondisi tanpa perlakuan dan -21°C untuk kondisi dengan *subcooler*.



**Figure 3.** Freezer Cabin Temperature Graph  
**Gambar 3.** Grafik Suhu Kabin *Freezer*

Pada fase stabil (setelah menit ke-100 hingga 240), terlihat bahwa penambahan *subcooler* memberikan pengaruh nyata terhadap kemampuan pendinginan sistem *freezer*. Suhu kabin *freezer* dengan penambahan *subcooler* cenderung lebih rendah, berkisar antara -21°C hingga -24°C, dibandingkan dengan kondisi tanpa perlakuan yang hanya mencapai -20°C hingga -21°C. Perlakuan *freezer* dengan penambahan *subcooler* meningkatkan efisiensi perpindahan panas pada sistem pendingin, sehingga suhu akhir yang dicapai lebih rendah. Dengan demikian, penggunaan *subcooler* terbukti mampu

mempercepat penurunan suhu dan mempertahankan kondisi suhu yang lebih dingin secara stabil dibandingkan sistem tanpa perlakuan. Hasil ini juga mendukung dari penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa sistem pendingin dengan *subcooler* dapat meningkatkan performa dan mempercepat pencapaian suhu kerja yang optimal (Ruhyat & Wahyudi, 2015).

### Perbandingan Arus Listrik

Pengukuran arus listrik yang digunakan oleh sistem pendingin *freezer* pada dua kondisi, yaitu tanpa perlakuan (standar pabrik) dan dengan penambahan *subcooler*. Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh modifikasi sistem terhadap konsumsi daya listrik selama proses pendinginan berlangsung. Arus listrik menjadi parameter penting dalam menilai efisiensi kinerja sistem, karena perubahan nilai arus dapat mencerminkan beban kerja kompresor serta tingkat efisiensi energi yang dihasilkan. Dengan membandingkan kedua kondisi tersebut, dapat diketahui apakah penambahan *subcooler* mampu menurunkan kebutuhan arus listrik tanpa mengurangi kemampuan. Penerapan *subcooling* pada sistem refrigerasi secara langsung menurunkan konsumsi energi kompresor, karena refrigeran yang lebih dingin setelah kondensor membuat kompresor bekerja pada beban tekanan yang lebih rendah (Agarwal *et al.*, 2019), adapun grafik arus listrik disajikan pada Gambar 4.

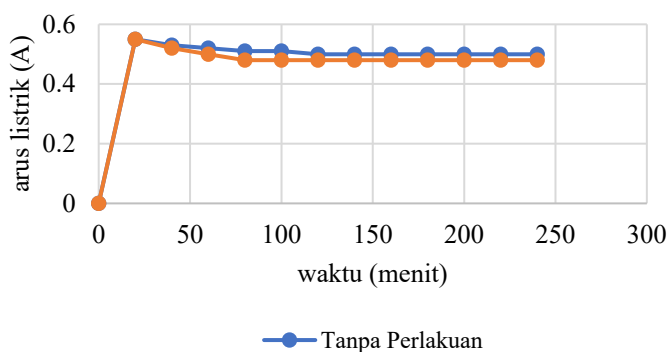


Figure 4. Electric Current Graph  
 Gambar 4. Grafik Arus Listrik

Berdasarkan hubungan antara arus listrik terhadap waktu menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa perlakuan maupun dengan penambahan *subcooler*, terlihat bahwa arus listrik mengalami peningkatan tajam pada awal pengujian (menit ke-20) dari 0 A menjadi 0,55 A. Setelah itu, nilai arus listrik mengalami sedikit penurunan dan cenderung stabil hingga akhir pengamatan pada menit ke-240. Pada kondisi tanpa perlakuan, arus listrik berkisar antara 0,55 A hingga 0,50 A, sedangkan pada kondisi dengan penambahan *subcooler*, arus listrik sedikit lebih rendah, yaitu antara 0,55 A hingga 0,48 A. Setelah sistem pendingin mencapai kondisi operasi stabil, kebutuhan arus listrik relatif tetap, dengan sedikit perbedaan antara kedua perlakuan.

Penurunan arus listrik lebih signifikan pada sistem dengan penambahan *subcooler* secara termodinamika yang berkaitan langsung dengan peningkatan *coefficient of performance* (COP), yang menunjukkan peningkatan efisiensi sistem pendingin. *Subcooler* menurunkan temperatur refrigeran sebelum masuk pipa kapiler, sehingga proses kondensasi menjadi lebih efektif dan beban kompresor berkurang. Kondisi ini meningkatkan COP, sehingga mampu memindahkan jumlah

panas yang sama dengan kebutuhan daya kompresor yang lebih rendah. Tercermin dari arus stabil pada kisaran 0,48 A setelah menit ke-80 pada sistem dengan *subcooler*, dibandingkan dengan sekitar 0,50 A pada sistem *freezer* tanpa perlakuan. Penambahan *subcooler* menunjukkan peningkatan COP, tetapi juga berpotensi menurunkan secara langsung konsumsi arus listrik kompresor.

### Perbandingan Daya Listrik

Hasil pengukuran daya listrik yang digunakan pada kondisi *freezer* tanpa perlakuan dan *freezer* dengan penambahan *subcooler* untuk mengetahui seberapa besar pengaruh modifikasi terhadap kebutuhan daya listrik selama proses pendinginan. Daya listrik dihitung sebagai hasil perkalian tegangan dan arus, tegangan yang digunakan selama pengujian sebesar 220 V, sehingga menjadi indikator penting dalam menilai efisiensi energi sistem. Rata-rata daya listrik selama 240 menit pengujian menunjukkan bahwa sistem tanpa perlakuan memerlukan daya sekitar 64,3 W, sedangkan sistem dengan *subcooler* lebih hemat, yaitu sekitar 60,68 W. Penurunan daya ini menandakan bahwa penambahan *subcooler* dapat mengurangi konsumsi energi kompresor, sekaligus meningkatkan efisiensi kerja sistem pendingin. Melalui perbandingan ini, dapat diketahui bahwa penambahan *subcooler* berkontribusi terhadap penghematan konsumsi daya listrik yang disajikan pada Tabel 3.

Table 3. Electrical Power Between Treatments

Tabel 3. Daya Listrik Antar Perlakuan

Waktu (menit)	Tanpa Perlakuan	Penambahan Subcooler
0	0	0
20	73.43	71.52
40	68.22	64.27
60	64.89	61.68
80	64.78	59.37
100	62.87	59.25
120	62.49	59.34
140	62.73	59.43
160	62.43	59.53
180	62.52	58.47
200	62.46	58.43
220	62.26	58.51
240	62.48	58.31

Penurunan daya listrik yang lebih signifikan pada sistem dengan penambahan *subcooler* mengindikasikan adanya peningkatan efisiensi energi. Penambahan *subcooler* meningkatkan efektivitas proses kondensasi refrigeran, sehingga kerja kompresor yang dibutuhkan untuk mencapai suhu operasi yang sama menjadi lebih rendah dibandingkan sistem tanpa perlakuan. Sebagai akibat dari kondisi tersebut, kebutuhan daya listrik mengalami penurunan sebesar sekitar 4–5 W pada kondisi *steady state*. Hal ini menunjukkan bahwa *subcooler* berperan penting dalam mengurangi konsumsi energi listrik tanpa mengurangi performa pendinginan. Dengan demikian, penerapan *subcooler* dapat dianggap sebagai upaya efisiensi energi yang efektif dalam sistem refrigerasi.



Peningkatan performa pendinginan membuktikan bahwa penggunaan *subcooler* juga memberikan manfaat tambahan berupa efisiensi konsumsi daya listrik. Hal ini sejalan dengan efisiensi siklus pendingin, di mana sistem yang mampu menyerap panas lebih besar dengan konsumsi energi listrik yang lebih rendah dianggap memiliki kinerja yang lebih efisien (Saputra *et al.*, 2019).

### Efisiensi Daya Listrik

Efisiensi daya listrik menunjukkan kemampuan sistem pendingin dalam memanfaatkan energi listrik yang dikonsumsi untuk mencapai dan mempertahankan kondisi suhu kabin *freezer* yang diinginkan. Nilai efisiensi daya listrik ditentukan berdasarkan besarnya penurunan daya listrik dari nilai maksimum hingga mencapai kondisi stabil, yang kemudian dinyatakan dalam bentuk persentase. Nilai maksimum diambil pada titik waktu saat parameter mencapai puncaknya umumnya pada menit ke-20, sedangkan nilai stabil diambil pada menit ke-240. Hasil evaluasi efisiensi sistem menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa penambahan *subcooler*, efisiensi sistem mencapai sekitar 15,0%, sedangkan dengan penambahan *subcooler*, efisiensi meningkat menjadi 18,5%. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa *subcooler* mampu menurunkan beban kerja kompresor setelah sistem mencapai kondisi stabil, sehingga arus listrik dan daya kompresor pada fase operasi stabil menjadi lebih rendah. Perubahan arus listrik dan daya dari nilai maksimum menuju kondisi stabil mendukung penerapan *subcooler* meningkatkan efisiensi sistem pendingin. Peningkatan efisiensi tersebut terjadi melalui optimalisasi proses perpindahan panas dalam siklus refrigerasi.

Evaluasi efisiensi dilakukan dengan menilai perubahan parameter dari kondisi puncak menuju kondisi stabil, di mana semakin besar penurunan arus atau daya dari puncak ke stabil, semakin tinggi efisiensi sistem. Temuan ini sejalan dengan hasil yang dilaporkan oleh (Cakraditya *et al.*, 2020), yang menunjukkan bahwa penerapan *subcooler* pada sistem pendingin secara signifikan meningkatkan COP sekaligus menurunkan konsumsi energi kompresor.

### Biaya Konsumsi Listrik dan Modifikasi

Perbandingan biaya konsumsi listrik antara *freezer* tanpa perlakuan dan dengan penambahan *subcooler* disajikan pada Tabel 4. Analisis dilakukan untuk menilai efisiensi penggunaan energi dari sisi ekonomi. Hasil penghitungan menunjukkan bahwa modifikasi sistem pendingin dengan *subcooler* dapat memengaruhi besarnya biaya listrik yang dibutuhkan selama pengoperasian *freezer*.

**Table 4.** Electricity Consumption Cost Values

**Tabel 4.** Nilai Biaya konsumsi Listrik

Daya Rata - rata (W)	kwh (W)	kwh /bulan (W)	Biaya/bulan (Rp)
64.3	1,543	46,296	66,851
60.68	1,456	43,690	63,088

Berdasarkan Tabel 4. hasil perhitungan konsumsi energi selama 24 jam dan proyeksi biaya bulanan, terlihat bahwa kondisi tanpa perlakuan memiliki rata-rata daya sebesar 64,3 W,

yang menghasilkan konsumsi energi harian sebesar 1,543 kWh. Dengan tarif listrik sebesar Rp. 1.444 per kWh, estimasi biaya listrik selama 30 hari mencapai sekitar Rp. 66.851.

Kondisi dengan penambahan *subcooler* menunjukkan efisiensi yang lebih baik, dengan rata-rata daya hanya 60,68 W, setara dengan konsumsi energi harian 1,456 kWh. Biaya listrik bulanan untuk skenario ini adalah yang paling rendah, yaitu sekitar Rp. 63.088. Penggunaan *subcooler* pada sistem *freezer* lebih efisien secara energi dan ekonomis dibandingkan perlakuan lainnya. Penambahan *subcooler* menunjukkan kinerja terbaik dalam hal efisiensi energi dan penghematan biaya, sedangkan *freezer* tanpa perlakuan memerlukan biaya listrik bulanan tertinggi. Peningkatan efisiensi ini menunjukkan bahwa *subcooling* mampu mengoptimalkan perpindahan panas dan mempercepat pencapaian kondisi operasi stabil. Peningkatan efisiensi ini berdampak pada performa keseluruhan sistem pendingin. Penambahan *subcooler* menunjukkan kinerja termal *freezer* yang lebih baik dibandingkan sistem tanpa perlakuan. Hal ini sejalan dengan Dama *et al.* (2023) yang menjelaskan bahwa berkurangnya perbedaan suhu antara udara di dalam ruang kabin *freezer* dan suhu kerja permukaan evaporator meningkatkan efektivitas perpindahan panas dan kinerja sistem pendingin. Rincian komponen biaya modifikasi disajikan pada Tabel 5.

**Table 5.** Freezer Modification Costs

**Tabel 5.** Biaya Modifikasi *Freezer*

Komponen Biaya	Tanpa Perlakuan	Penambahan <i>Subcooler</i>
Biaya unit <i>freezer</i> (standar)	Rp 2.000.000	Rp 2.000.000
Biaya komponen tambahan	Rp 0	Rp 100.000
Biaya modifikasi	Rp 0	Rp 100.000
Total Biaya Investasi	Rp 2.000.000	Rp 2.200.000

Berdasarkan Tabel 5. rincian komponen biaya modifikasi dapat dianalisis bahwa penambahan *subcooler* memberikan solusi modifikasi dengan investasi yang lebih ekonomis dibandingkan dengan penambahan kondensor. Meskipun unit *freezer* standar tidak memerlukan biaya tambahan, performa termal yang dihasilkan tidak mengalami peningkatan. Penambahan *subcooler* dari sisi biaya lebih efisien karena mampu meningkatkan kinerja sistem pendingin dengan beban investasi yang lebih rendah dibandingkan penambahan kondensor. Jika dilihat dari aspek rasio antara biaya dan potensi peningkatan kinerja, *subcooler* menjadi alternatif modifikasi yang lebih layak secara ekonomis.

### Uji Paired T Test

Uji *paired t test* digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara kondisi tanpa perlakuan dan kondisi dengan penambahan *subcooler*, untuk dilakukan analisis statistik menggunakan uji t berpasangan (*paired sample t-test*). Hasil uji *paired t-test* disajikan pada Tabel 6.

**Table 6.** Paired T-Test of Electrical Power and Electric Current

**Tabel 6.** Uji Paired T Test Daya Listrik dan Kuat Arus Listrik

Paired Samples Test										
		Paired Differences								
		Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)	
					Lower	Upper				
Pair 1	Daya Listrik (Freezer Tanpa Perlakuan dengan Freezer Penambahan Subcooler)	3.34231	1.29168	0.35825	2.56175	4.12286	9.330	12	0.000	
Pair 2	Kuat Arus Listrik (Freezer Tanpa Perlakuan dengan Freezer Penambahan Subcooler)	0.01769	0.00927	0.00257	0.01209	0.02329	6.883	12	0.000	

Perbandingan daya listrik pada freezer tanpa perlakuan dengan freezer dengan penambahan subcooler memiliki nilai Sig. (2-tailed) sebesar 0,000 lebih kecil dari 0,05 ( $0,000 < 0,05$ ) maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perubahan atau terdapat perbedaan yang signifikan antara daya listrik freezer tanpa perlakuan dengan freezer dengan penambahan subcooler dalam artian dengan adanya penambahan subcooler maka ada perbedaan hasil yang signifikan terhadap daya listrik. Perbandingan kuat arus listrik freezer tanpa perlakuan dengan freezer dengan penambahan subcooler memiliki nilai Sig. (2-tailed) sebesar 0,000 lebih kecil dari 0,05 ( $0,000 < 0,05$ ) maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perubahan atau terdapat perbedaan yang signifikan antara kuat arus listrik freezer tanpa perlakuan dengan freezer dengan penambahan subcooler, dalam artian dengan adanya penambahan subcooler maka ada perbedaan hasil yang signifikan terhadap kuat arus listrik. Penggunaan subcooler memberikan dampak positif terhadap kinerja pendinginan freezer 100 L yang diuji. Penurunan suhu yang lebih stabil dan lebih rendah pada sistem dengan subcooler menunjukkan bahwa komponen tambahan tersebut mampu meningkatkan perubahan daya dan kuat arus listrik.

## KESIMPULAN

Penambahan subcooler pada freezer terbukti meningkatkan performa sistem pendingin, ditandai dengan penurunan suhu yang lebih cepat dan pencapaian suhu minimum hingga  $-24^{\circ}\text{C}$ , lebih rendah dibandingkan kondisi tanpa perlakuan yang hanya mencapai  $-21^{\circ}\text{C}$ . Selain itu, freezer dengan subcooler menunjukkan konsumsi energi yang lebih hemat, dengan daya rata-rata lebih rendah dan energi total selama pengujian yang lebih kecil dibandingkan freezer tanpa perlakuan. Peningkatan efisiensi energi juga terlihat, dengan nilai efisiensi mencapai 18,48%, dan hasil uji paired sample t-test menunjukkan perbedaan signifikan pada daya dan arus listrik ( $p < 0,05$ ). Dengan demikian, penerapan subcooler pada freezer tidak hanya meningkatkan kinerja pendinginan tetapi juga efisiensi energi, sehingga modifikasi ini layak diterapkan baik dari sisi teknis maupun ekonomis.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pusat Pendidikan Kelautan dan Perikanan (Pusdik KP) Kementerian Kelautan dan Perikanan yang telah memberikan beasiswa

pendidikan tugas belajar program Magister Terapan Perikanan Pascasarjana Politeknik Ahli Usaha Perikanan Jakarta tahun 2023-2025.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, S., Arora, A., & Arora, B. B. (2019). *Thermodynamic Performance Analysis Of Dedicated Mechanically Subcooled Vapour Compression Refrigeration System*. 5(4), 222–236.
- Agustina, E., Sani, A. A., & Aminullah, S. (2016). *Perencanaan Mesin Mini Freezer Pengawetan Ikan Giling 20 Kg*. 2(1), 37–43.
- Arora, C. P. (2010). Refrigeration and Air Conditioning, Second Edition. In *McGraw Hill, Singapore* (Vol. 90, Issue 4). Asoke K. Ghosh.
- Belman-Flores, J. M., Pardo-Cely, D., Gómez-Martínez, M. A., Hernández-Pérez, I., Rodríguez-Valderrama, D. A., & Heredia-Aricapa, Y. (2019). Thermal and energy evaluation of a domestic refrigerator under the influence of the thermal load. *Energies*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/en12030400>
- Cakraditya, G., Yudhi, F., & Yatim, A. (2020). Effects of sub-cooler on cooling performance of air conditioning system with natural refrigerant R290. *AIP Conference Proceedings*, 2296(December). <https://doi.org/10.1063/5.0030376>
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Thermodynamics: An Engineering Approach* (L. K. B. Bill Stenquist (ed.); 8th ed.).
- Chang, W., Shaut, T., Lin, C., & Lin, K. (2008). Implementation of Inverter-Driven Household Refrigerator / Freezer Using Hydrocarbon Isobutane for Refrigeration. *Refrigeration And Air Conditioning, 1992*, 1–8.
- Dama, F. L., Adoe, D. G. H., & Dwinanto, M. M. (2023). Studi Eksperimen dan Simulasi Termodinamika Mini Refrigerator. *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana*, 10(02), 23–28. <https://doi.org/10.35508/ljtmu.v10i02.13648>
- Eko Setyo Prabowo, & Wiyogo. (2022). Ice Maker Tool Design. *PARENTAS: Jurnal Mahasiswa Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan*, 8(2), 49–56. <https://doi.org/10.37304/parentas.v8i2.5209>
- Irawan, M. R., & Setyawan, A. (2023). Pengaruh Variasi Temperatur Lingkungan terhadap Performansi Unit Chest Freezer. *Prosiding Industrial Research Workshop*

- and National Seminar, 14(1), 270–274. <https://doi.org/10.35313/irwns.v14i1.5398>
- Keshtkar, M. M. (2016). Effect of *subcooling* and superheating on performance of a cascade refrigeration system with considering thermo- economic analysis and multi-objective optimization. *Journal of Advanced Computer Science & Technology*, 5(2), 42–47. <https://doi.org/10.14419/jacst.v5i2.6217>
- Nugroho, A. S. (2018). *Analisa Pengaruh Panjang Pipa Dan Diameter Pipa*. 1(1).
- Putri Maulani, Y., Pangripto Pramudantoro, T., & Premiera Rosulindo, P. (2024). Pengaruh Pergantian Refrigeran R134a Menjadi R600a Terhadap Nilai Tekanan, COP dan Arus Listrik pada Sistem Boks Pendingin. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 15(1), 19–23. <https://doi.org/10.35313/irwns.v15i1.6225>
- Ruhyat, N., & Wahyudi, R. (2015). Pengaruh Variasi Diameter Pipa Evaporator dengan Circular Fins terhadap Pressure Drop Aliran. *Sinergi*, 19(1), 51–56.
- Sambara, J., Yuliani, N. N., Lenggu, M., & Ceme, Y. (2017). Vaccine Storage Profile At Puskesmas In Kupang City. *Seminar Nasional Poltekkes Kupang*, 15(2), 375–384. <https://www.poltekkeskupang.ac.id/informasi/download/category/60-seminar-nasional-agustus-2017.html?download=318:vaksin>
- Saputra, A. R., Widiyatmoko, & Azharudin. (2019). Coefficient of Performance (COP) Mini Freezer Daging Ayam Kapasitas 4 KG. *Teknologi Pendingin Dan Tata Udara Politeknik Sekayu (Petra)*, 1(1), 44–54.
- Valero, A., & Cuadra, C. T. (2006). *Thermoeconomic Analysis*. January 2006.