

AUDIT ENERGI LISTRIK DAN ANALISIS PELUANG PENGHEMATAN PADA INDUSTRI ES KRISTAL BODAS

Nur Achya Afifudin^{1*}, Ida Widiastuti²

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri,
Universitas Islam Sultan Agung Semarang

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri,
Universitas Islam Sultan Agung Semarang

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsumsi energi listrik dan mengidentifikasi peluang penghematan energi pada Industri Es Kristal Bodas melalui audit energi. Permasalahan utama yang dihadapi adalah tingginya konsumsi energi listrik yang belum diimbangi dengan efisiensi penggunaan energi. Metode yang digunakan adalah audit energi dengan pendekatan deskriptif kuantitatif, meliputi pengumpulan data konsumsi energi, pengukuran beban listrik, serta analisis Specific Energy Consumption (SEC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi energi listrik rata-rata mencapai 6.253 kWh per bulan dengan dominasi pada sistem produksi dan refrigerasi lebih dari 95%. Nilai SEC awal sebesar 386 kWh/ton menunjukkan tingkat efisiensi yang rendah dibandingkan standar industri. Penerapan strategi efisiensi energi melalui pendekatan Low Cost dan High Cost mampu menurunkan konsumsi energi hingga 4.852 kWh per bulan dengan penghematan sebesar 22,4% dan nilai SEC menjadi 299,5 kWh/ton. Meskipun terjadi peningkatan efisiensi, sistem masih belum optimal sehingga diperlukan upaya lanjutan untuk mencapai standar efisiensi industri. Penelitian ini menunjukkan bahwa audit energi efektif dalam mengidentifikasi potensi penghematan energi pada industri skala menengah.

Kata Kunci: Audit Energi, Konsumsi Energi Spesifik, Industri Es Kristal, Sistem Refrigerasi, Penghematan Energi

ABSTRACT

This study aims to analyze electrical energy consumption and identify energy-saving opportunities in Bodas Crystal Ice Industry through an energy audit. The method applied is a quantitative descriptive energy audit involving historical consumption data, load measurements, and Specific Energy Consumption (SEC) analysis. The average electricity consumption was 6,253 kWh per month, of which ice production and refrigeration accounted for more than 95%. The initial SEC was 386 kWh/ton. After correcting the combined scenario to avoid double-counting freezer savings, the estimated consumption decreased to 4,852 kWh per month, equivalent to a 22.4% saving, while SEC decreased to 299.5 kWh/ton. These values represent technical-economic estimates that require verification after implementation.

Keywords: *Energy Audit, Specific Energy Consumption, Ice Production Industry, Refrigeration System, Energy Saving*

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan komponen fundamental dalam aktivitas industri modern karena hampir seluruh proses produksi bergantung pada sistem kelistrikan yang andal dan berkelanjutan. Kebutuhan energi listrik yang tinggi tidak hanya berkaitan dengan pengoperasian mesin utama, tetapi juga mencakup sistem pendukung seperti pencahayaan, kontrol otomatis, serta utilitas lainnya. Konsumsi energi listrik yang besar berdampak langsung terhadap biaya operasional, sehingga efisiensi energi menjadi aspek strategis dalam meningkatkan produktivitas dan daya saing industri. Menurut International Energy Agency sektor industri menyumbang lebih dari 30% konsumsi energi global, sehingga upaya efisiensi energi menjadi prioritas dalam pengelolaan industri berkelanjutan [1]. Namun demikian, dalam praktiknya masih banyak industri yang belum mengelola energi secara optimal, yang ditandai dengan tingginya intensitas konsumsi energi serta rendahnya efisiensi penggunaan peralatan.

Audit energi menjadi salah satu komponen utama dalam manajemen energi yang berfungsi sebagai alat evaluasi untuk mengidentifikasi pola penggunaan energi, tingkat efisiensi, serta potensi pemborosan dalam suatu sistem. Menurut Khairul, D. Suseno, and Widodo (2025), audit energi adalah proses sistematis yang bertujuan untuk menganalisis penggunaan energi serta merumuskan rekomendasi peningkatan efisiensi [2]. Audit energi dilakukan melalui beberapa tahapan, mulai dari audit awal berbasis data historis, audit rinci melalui pengukuran langsung, hingga tahap implementasi dan evaluasi. Dalam konteks industri, khususnya sistem refrigerasi, audit energi menjadi penting karena sistem ini memiliki konsumsi energi yang tinggi dan rentan terhadap inefisiensi akibat faktor operasional maupun teknis.

Salah satu indikator yang digunakan dalam mengevaluasi efisiensi energi pada sektor industri adalah *Specific Energy Consumption* (SEC), yaitu rasio antara total energi yang digunakan dengan jumlah output produksi yang dihasilkan. Konsep ini termasuk dalam pendekatan intensitas energi yang dinilai lebih representatif dalam mengukur kinerja energi dibandingkan sekadar total konsumsi energi [3]. Nilai SEC yang lebih rendah menunjukkan tingkat efisiensi yang lebih tinggi karena energi yang digunakan lebih optimal terhadap output yang dihasilkan. Namun, akurasi analisis SEC sangat bergantung

pada pemilihan parameter produksi yang tepat sebagai pembanding, sebagaimana dijelaskan oleh Dunlop [4]. Oleh karena itu, penggunaan SEC dalam penelitian ini menjadi penting untuk mengevaluasi hubungan antara konsumsi energi listrik dan kinerja produksi secara kuantitatif.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sistem refrigerasi merupakan salah satu penyumbang konsumsi energi terbesar dalam industri berbasis pendinginan. Penelitian oleh Fatoni & Setiawan menunjukkan bahwa sistem pendinginan dapat menyumbang lebih dari 50% total konsumsi energi pada industri tertentu [5]. Selanjutnya, Suseno menemukan bahwa audit energi mampu mengidentifikasi peluang penghematan energi hingga 10–30% melalui optimasi operasi dan peningkatan efisiensi peralatan [2]. Penelitian oleh Nuryasa mengungkapkan bahwa inefisiensi pada sistem refrigerasi sering disebabkan oleh degradasi performa kompresor, kebocoran refrigeran, serta pengaturan beban yang tidak optimal [6]. Selain itu, Biantoro dan Permana (2017) menegaskan bahwa implementasi audit energi di industri Indonesia, khususnya skala kecil dan menengah, masih terbatas dan belum terstruktur dengan baik [7]. Penelitian terbaru oleh Suriana et al. juga menekankan pentingnya integrasi audit energi dengan manajemen energi berbasis data untuk meningkatkan efisiensi secara berkelanjutan [8].

Meskipun audit energi telah banyak diterapkan, sebagian penelitian di Indonesia masih berfokus pada gedung, kantor, atau evaluasi energi industri secara umum [2], [7], [8]. Penelitian sistem refrigerasi lebih sering mengevaluasi performa chiller, freezer, refrigeran, atau cold storage secara terpisah [5], [10], [13], [16], sedangkan kajian teknologi pembuatan es lebih banyak menyajikan benchmark dan perkembangan teknologi [12]. Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat tiga kesenjangan penelitian. Pertama, data audit lapangan pada industri es kristal skala menengah dengan pola produksi dan penyimpanan kontinu masih terbatas. Kedua, belum banyak penelitian yang memisahkan kontribusi energi mesin produksi es dan freezer/cold storage, kemudian menghubungkannya dengan SEC dan rendahnya utilisasi kapasitas produksi. Ketiga, integrasi antara audit konsumsi listrik, diagnosis teknis refrigerasi, strategi penghematan bertahap low cost dan high cost, serta evaluasi ekonomi sederhana dalam satu kerangka keputusan masih jarang dilaporkan untuk industri es kristal.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, kebaruan penelitian ini bersifat integratif dan kontekstual, bukan berupa pengembangan rumus audit energi baru. Kontribusi penelitian meliputi: (1) penyajian data konsumsi listrik enam bulan dan pemetaan kontribusi setiap

beban pada fasilitas es kristal; (2) penghitungan SEC berdasarkan konsumsi aktual dan volume produksi serta analisis teknis penyebab dominasi beban refrigerasi; (3) penyusunan skenario penghematan low cost dan high cost yang menghubungkan potensi pengurangan energi, biaya listrik, dan Simple Payback Period; serta (4) perbandingan kuantitatif hasil audit dengan penelitian refrigerasi dan pembuatan es terdahulu. Kontribusi praktisnya adalah kerangka prioritas tindakan bagi pengelola industri, mulai dari optimasi operasi hingga penggantian peralatan. Karena tindakan efisiensi belum diterapkan dan diukur setelah implementasi, nilai penghematan dan payback dalam penelitian ini diposisikan sebagai estimasi teknis-ekonomi yang masih memerlukan verifikasi lapangan.

Permasalahan dalam penelitian ini adalah belum diketahui secara terukur tingkat efisiensi penggunaan energi listrik pada Industri Es Kristal Bodas, serta belum teridentifikasinya sumber pemborosan energi dan peluang penghematan yang dapat diterapkan. Operasi sistem refrigerasi yang berlangsung secara kontinu berpotensi menyebabkan inefisiensi apabila tidak dilakukan evaluasi secara berkala, baik dari sisi kinerja peralatan maupun pola penggunaan energi. Oleh karena itu, diperlukan analisis yang sistematis untuk mengetahui kondisi aktual penggunaan energi listrik serta potensi perbaikannya.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pola konsumsi energi listrik pada Industri Es Kristal Bodas, menghitung dan mengevaluasi nilai Specific Energy Consumption, mengidentifikasi penyebab teknis dominasi konsumsi pada sistem refrigerasi, serta menyusun prioritas peluang penghematan energi low cost dan high cost beserta estimasi dampak energi, biaya, dan waktu pengembalian investasinya.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan metode audit energi untuk menganalisis tingkat konsumsi dan efisiensi penggunaan energi listrik pada sistem produksi di Industri Es Kristal Bodas. Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan gambaran kuantitatif mengenai pola penggunaan energi serta mengidentifikasi peluang penghematan secara terukur [2]. Objek penelitian adalah Industri Es Kristal Bodas yang berlokasi di Karangawen, Demak, Jawa Tengah, dengan fokus pada sistem produksi berbasis refrigerasi. Sistem ini melibatkan peralatan utama seperti kompresor, kondensor, evaporator, serta peralatan pendukung seperti pompa dan sistem pencahayaan. Pemilihan

objek didasarkan pada karakteristik konsumsi energi yang tinggi dan pola operasi kontinu yang berpotensi menimbulkan inefisiensi energi.[10].

Parameter penelitian meliputi daya listrik (Watt), waktu operasi (jam), dan konsumsi energi listrik (kWh) sebagai variabel utama dalam analisis penggunaan energi. Selain itu, jumlah produksi (kg atau ton) digunakan untuk menghitung tingkat efisiensi energi menggunakan metode *Specific Energy Consumption* (SEC), sedangkan tingkat pencahayaan (lux) digunakan sebagai parameter tambahan dalam evaluasi sistem penerangan. Parameter-parameter ini dipilih karena secara umum digunakan dalam audit energi industri untuk mengevaluasi performa sistem dan efisiensi penggunaan energi [11].

Pengumpulan data dilakukan melalui kombinasi metode observasi, wawancara, dokumentasi, dan pengukuran langsung. Observasi dilakukan untuk memahami kondisi operasional dan pola penggunaan energi pada peralatan utama. Wawancara dilakukan dengan operator dan pengelola untuk memperoleh informasi terkait kebijakan operasional dan penggunaan energi. Dokumentasi digunakan untuk mengumpulkan data historis seperti konsumsi listrik dan laporan produksi. Sementara itu, pengukuran energi dilakukan menggunakan alat ukur seperti energy meter dan data logger untuk memperoleh data konsumsi energi listrik secara aktual. Pendekatan ini sejalan dengan metode pengumpulan data dalam audit energi yang menekankan kombinasi data primer dan sekunder. Analisis data dilakukan secara kuantitatif dengan beberapa tahapan utama yaitu:

a. Perhitungan Konsumsi Energi Listrik

Menghitung total energi listrik yang digunakan berdasarkan daya peralatan dan waktu operasional menggunakan rumus persamaan 2.1:

$$\text{Energi (kWh)} = \frac{\text{Daya(Watt)} \times \text{JamOperasi}}{1000}$$

b. Analisis Efisiensi Energi (SEC)

Menghitung tingkat efisiensi energi menggunakan metode *Specific Energy Consumption* (SEC), yaitu perbandingan antara total konsumsi energi dengan jumlah produksi seperti pada persamaan 2.6:

$$\text{SEC} = \frac{\text{Total energi yang digunakan}}{\text{Total jumlah produk/output}}$$

Nilai SEC digunakan sebagai indikator efisiensi, dimana semakin kecil nilai SEC menunjukkan penggunaan energi yang semakin efisien. Pada industri es, standar SEC (diukur berdasarkan jumlah energi listrik (kWh) yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu

ton es (kWh/ton). Berdasarkan benchmark industri dan studi teknis mengenai efisiensi mesin es, berikut adalah gambaran klasifikasi standarisasinya [12]:

Tabel 1. Klasifikasi *Specific Energy Consumption* Industri Es

Kategori	Nilai SEC kWh/Ton
Sangat Efisien	< 60 – 75
Efisien	90-130
Cukup	130-180
Tinggi/Boros	> 200

c. Analisis Sistem Pencahayaan

Menghitung tingkat pencahayaan (lux) untuk mengevaluasi efisiensi sistem penerangan menggunakan rumus:

$$Lux = \frac{\text{Total Lumen}}{\text{Luas Area}}$$

d. Identifikasi Pemborosan Energi

Mengidentifikasi peralatan atau sistem yang memiliki konsumsi energi tinggi serta pola penggunaan energi yang tidak efisien berdasarkan hasil analisis data.

e. Analisis Peluang Penghematan Energi

Menentukan langkah-langkah perbaikan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi energi, serta menghitung potensi penghematan energi listrik dan biaya operasional yang dapat diperoleh.

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis, dimulai dari studi literatur untuk memperoleh dasar teoritis terkait audit energi dan efisiensi energi, dilanjutkan dengan identifikasi sistem dan pengumpulan data lapangan. Data yang diperoleh kemudian diolah untuk menghitung konsumsi energi dan nilai SEC, serta dianalisis untuk mengidentifikasi sumber inefisiensi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Luas Bangunan

Objek penelitian ini merupakan usaha produksi dan penjualan es kristal yang melayani kebutuhan konsumen harian, seperti pedagang minuman dan masyarakat sekitar. Proses produksi dilakukan secara mandiri menggunakan mesin berbasis sistem refrigerasi listrik.

Tabel 2. Data Luas Bangunan

No	Ruangan	P (m)	L (m)	Luas (m ²)
1.	Luas bangunan	18	6	108
2.	Ruang Produksi	13	6	78
3.	Ruang Tunggu	3	2	6
4.	Parkir	2	6	12
5.	Ruang Penyimpan Es	4	3	12

B. Data Konsumsi Energi Listrik

Rincian konsumsi energi listrik pada masing-masing peralatan ditunjukkan pada Tabel berikut:

Tabel 3. Konsumsi Energi Listrik Bodas Es Kristal

Beban Listrik	Jumlah Unit	Daya (Watt)	Durasi Menyala (Jam/hari)
Mesin produksi es kristal	1	9.000	6-7 jam
Freezer/cold storage es	1	6000	24 jam
Siler Paking Es	1	300	4 jam
Lampu ruang produksi (LED)	1	30	13 jam
Lampu ruang penyimpanan es (LED)	1	30	13 jam
Lampu luar/parkiran (LED)	1	20	13 jam
Kipas angin	1	80	15 jam
Stop kontak umum (charger, dll)	1	20	5 jam
Wifi	1	12 volt	24 jam

Berdasarkan Tabel tersebut, konsumsi energi listrik didominasi oleh peralatan produksi, khususnya mesin produksi es kristal dan freezer/cold storage yang beroperasi secara intensif. Sementara itu, beban non-produksi seperti pencahayaan, kipas angin, dan perangkat pendukung lainnya memiliki kontribusi yang relatif kecil.

C. Audit Energi Awal

Hasil audit awal ini menjadi dasar dalam mengevaluasi efisiensi energi serta menentukan kebutuhan analisis lanjutan melalui audit energi yang lebih rinci.

Tabel 4. Catatan Konsumsi Energi 6 Bulan Terakhir

Bulan	Pemakaian Daya (kWh)	Biaya Energi Listrik
Agustus 2025	6136	Rp 7.391.386
September 2025	5772	Rp 6.977.169
Oktober 2025	6551	Rp 7.856.155
Novemver 2025	6473	Rp 7.743.093
Desember 2025	6439	Rp 7.783.959
Januari 2026	6150	Rp 7.354.821
Rata-rata	6253	Rp 7.517.764

Berdasarkan data operasional, rata-rata produksi harian berada pada kisaran 498-581 kg per hari, atau sekitar 0,54 ton per hari. Asumsi 30 hari kerja per bulan, maka total produksi bulanan sebesar $\pm 16,2$ ton. Maka, berikut rumus SEC yang digunakan sebagaimana pada persamaan 2.6:

$$SEC = \frac{6253}{16,2 \text{ ton}} = 386 \text{ kWh/ton}$$

Secara teoritis, energi minimum untuk membekukan 1 ton air adalah sekitar 93 kWh/ton berdasarkan nilai kalor laten pembekuan air (334 kJ/kg). Dalam praktik industri, dengan mempertimbangkan efisiensi sistem refrigerasi dan kehilangan panas, konsumsi energi spesifik umumnya berada pada kisaran 90-130 kWh/ton. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai *Specific Energy Consumption* pada usaha produksi es kristal ini mencapai sekitar 386 kWh per ton. Nilai ini tergolong tinggi/boros. Tingginya nilai SEC mengindikasikan bahwa energi listrik yang digunakan untuk menghasilkan setiap ton es masih belum optimal.

Analisis Teknis Sistem Refrigerasi dan Penyebab SEC Tinggi

Dominasi konsumsi energi dapat dijelaskan dari karakteristik operasi sistem refrigerasi. Freezer/cold storage menggunakan 4.320 kWh per bulan atau 69,1% dari konsumsi historis rata-rata 6.253 kWh per bulan. Mesin produksi es menggunakan 1.755 kWh per bulan atau 28,1%. Dengan demikian, kedua beban refrigerasi tersebut secara bersama-sama menyerap sekitar 97,2% konsumsi listrik. Freezer menjadi beban terbesar karena beroperasi selama 24 jam untuk mempertahankan suhu penyimpanan, sedangkan mesin produksi bekerja rata-rata 6,5 jam per hari. Operasi kontinu menyebabkan kompresor tetap melakukan siklus kerja untuk mengimbangi panas yang masuk melalui dinding, pintu, produk, infiltrasi udara, dan proses bongkar-muat es.

Nilai SEC diperoleh dari perbandingan konsumsi listrik bulanan dengan produksi, yaitu 6.253 kWh dibagi 16,2 ton sehingga menghasilkan 386 kWh/ton. Energi laten pembekuan air secara teoritis sekitar 92,8 kWh termal per ton. Oleh karena itu, masukan energi listrik penelitian ini setara sekitar 4,16 kali energi laten pembekuan. Perbandingan tersebut tidak dapat langsung disebut sebagai nilai COP karena konsumsi 6.253 kWh juga mencakup penyimpanan es dan beban pendukung, sedangkan proses aktual masih memerlukan pelepasan panas sensibel air, panas dari kemasan dan lingkungan, serta mengatasi rugi-rugi kompresor, motor, perpindahan panas, dan sistem kontrol.

SEC yang tinggi terutama dipengaruhi oleh besarnya energi freezer yang tetap dikonsumsi ketika volume produksi hanya sekitar 16,2 ton per bulan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pembagi produksi relatif kecil terhadap beban energi tetap sistem penyimpanan. Secara teknis, konsumsi juga berpotensi meningkat akibat ketidaksesuaian kapasitas mesin dengan beban produksi, set point suhu yang terlalu rendah, bukaan pintu

yang sering atau lama, insulasi yang kurang baik, kondensor kotor atau memiliki ventilasi terbatas, evaporator mengalami frosting, serta penurunan performa kompresor atau ketidaktepatan pengisian refrigeran. Faktor-faktor ini merupakan indikasi teknis yang perlu diverifikasi karena penelitian belum mengukur suhu evaporasi dan kondensasi, tekanan refrigeran, duty cycle kompresor, serta laju aliran massa refrigeran.

Dari perspektif Teknik Elektro, evaluasi lanjutan perlu merekam tegangan, arus, daya aktif, faktor daya, daya puncak, dan profil beban kompresor menggunakan power analyzer atau data logger. Dari sisi refrigerasi, pengukuran suhu dan tekanan pada sisi hisap dan tekan diperlukan untuk memperkirakan COP aktual. COP dinyatakan sebagai perbandingan kapasitas pendinginan terhadap daya listrik kompresor. Semakin rendah COP, semakin besar energi listrik yang diperlukan untuk menghasilkan efek pendinginan yang sama. Penggabungan data COP, duty cycle, produksi harian, dan temperatur ruang penyimpanan akan memastikan apakah SEC tinggi terutama disebabkan oleh performa peralatan, kehilangan panas, pola operasi, atau rendahnya utilisasi kapasitas produksi.

D. Sistem Pencahayaan

Berikut perhitungan energi listrik harian:

$$\text{Ruang Produksi (kWh)} = \frac{30 \text{ Watt} \times 13 \text{ jam}}{1000} = \frac{390}{1000} = 0,39$$

$$\text{Ruang Penyimpanan (kWh)} = \frac{30 \text{ Watt} \times 13 \text{ jam}}{1000} = \frac{390}{1000} = 0,39$$

$$\text{Ruang Parkiran (kWh)} = \frac{20 \text{ Watt} \times 13 \text{ jam}}{1000} = \frac{260}{1000} = 0,26$$

Kemudian dihitung intensitas cahaya (LUX) yang tidak bisa dihitung hanya dari daya (Watt). Lux itu satuan iluminasi (lumen/m²), bukan daya listrik. Pada lampu LED estimasi iluminansi teoritis memiliki 100 lumen/watt. Berikut perhitungan rumus dari LUX:

$$\text{Lux Ruang Produksi} = \frac{3.000}{78} = 38,46$$

$$\text{Lux Ruang Penyimpanan} = \frac{3.000}{12} = 250$$

$$\text{Lux Ruang Parkiran} = \frac{2.000}{12} = 166,67$$

Tabel 5. Analisis Sistem Pencahayaan

Beban Listrik	Jumlah Unit	Daya (Watt)	Energi (kWh)/hari	Intensitas Cahaya (LUX)	Energi (kWh)/bulan
Lampu ruang produksi (LED)	1	30	0,39	38,46	11,7
Lampu ruang penyimpanan es (LED)	1	30	0,39	250	11,7
Lampu luar/parkiran (LED)	1	20	0,26	166,67	7,8
Total	3	80	1,04	455,13	31,2

Berdasarkan hasil perhitungan, konsumsi energi pada sistem pencahayaan tergolong sangat kecil, yaitu sekitar 31,2 kWh per bulan atau hanya sekitar 0,5% dari total konsumsi listrik yang mencapai ± 6.000 kWh. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pencahayaan bukan merupakan sumber konsumsi energi dominan, sehingga upaya efisiensi energi lebih tepat difokuskan pada sistem produksi dan pendinginan.

E. Peluang Penghematan Energi

Identifikasi peluang penghematan energi yang difokuskan pada sistem dengan kontribusi konsumsi terbesar.

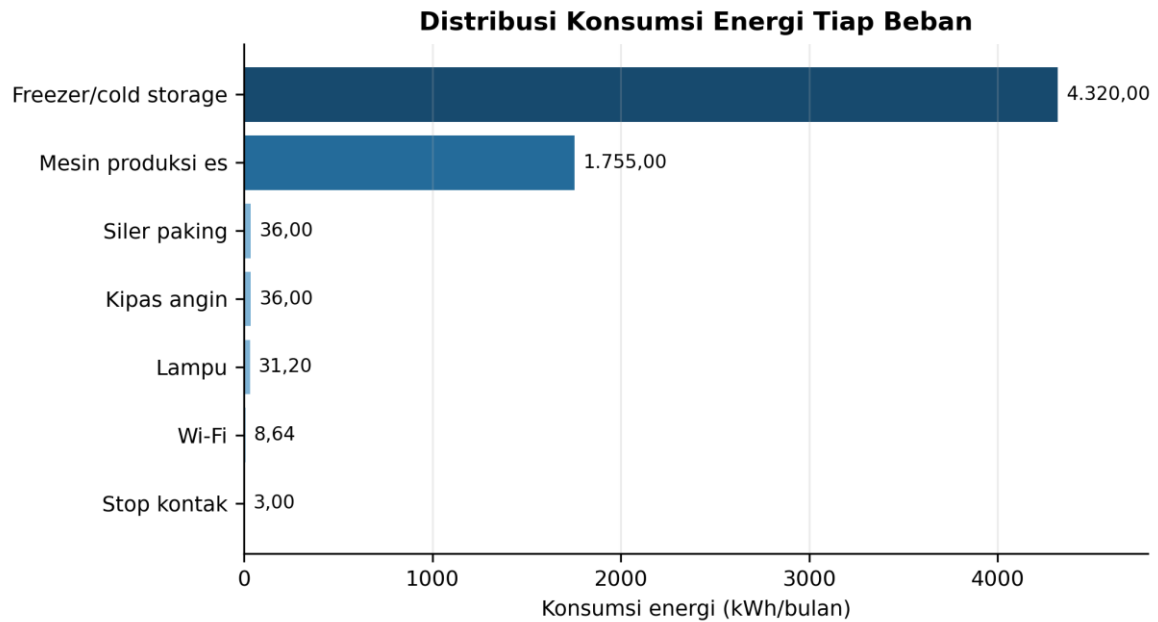
Tabel 6. Perhitungan Konsumsi Energi Tiap Beban

No	Beban Listrik	Daya (kW)	Jam/Hari	Energi (kWh/bulan)	Persentase (%)
1	Mesin produksi es	9	6,5	1.755	28,3%
2	Freezer/Cold Storage	6	24	4.320	69,7%
3	Siler paking es	0,3	4	36	0,6%
4	Lampu (3 unit total 80W)	0,08	13	31,2	0,5%
5	Kipas angin	0,08	15	36	0,6%
6	Stop kontak umum	0,02	5	3	0,05%
7	Wifi	0,012	24	8,64	0,1%

Rekonsiliasi Data Konsumsi Energi

Penjumlahan konsumsi berdasarkan daya dan jam operasi setiap beban menghasilkan 6.189,84 kWh per bulan. Nilai ini lebih rendah 63,16 kWh atau 1,01% dibandingkan konsumsi historis rata-rata 6.253 kWh per bulan. Dengan demikian, perhitungan bottom-up menjelaskan 98,99% energi pada tagihan. Selisih tersebut masih wajar untuk audit awal dan dapat berasal dari pembulatan jam operasi, siklus defrost dan start-stop kompresor, beban kontrol atau standby yang belum dicatat, serta perubahan produksi harian. Data historis 6.253 kWh per bulan tetap digunakan sebagai baseline SEC dan analisis penghematan karena mewakili energi aktual pada meter pelanggan.

Berikut gambaran grafik dari hasil perhitungan konsumsi energi tiap beban:



Gambar 1. Grafik Konsumsi Energi Tiap Beban Sumber: Data diolah, 2026

Low Cost Energy Saving difokuskan pada pengendalian beban listrik skala kecil serta optimalisasi operasional sistem tanpa penggantian peralatan utama:

Tabel 7. *Low Cost Energy Saving*

No	Tindakan	Beban Terkait	Konsumsi Awal (kWh/bln)	Estimasi Penghematan	Energi Hemat (kWh/bln)
1	Optimasi jam operasi siler	Siler	36	10%	3,6
2	Pengaturan suhu freezer optimal	Freezer	4.320	5%	216
3	Penggantian LED lebih efisien	Lampu	31,2	20%	6,24
4	Pengaturan penggunaan kipas	Kipas	36	10%	3,6
Total Potensi Hemat					229

Persentase penghematan diperoleh dari perbandingan antara energi yang dihemat terhadap konsumsi energi awal. Secara matematis dapat dihitung menggunakan persamaan:

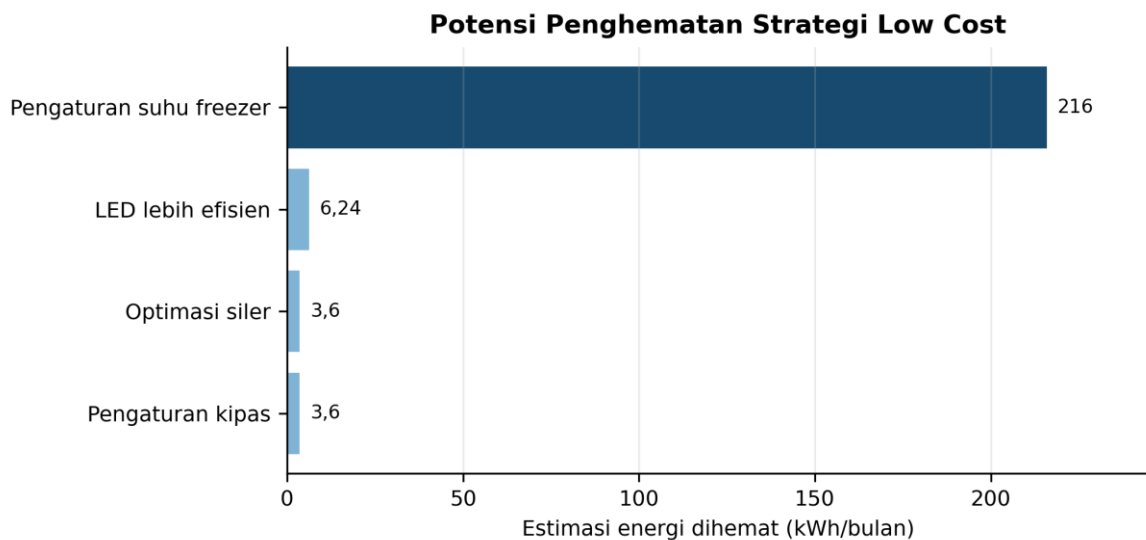
$$\text{Persentase Penghematan} = \frac{\text{Energi Hemat}}{\text{Konsumsi Awal}} \times 100\%$$

Pada freezer, konsumsi energi awal sebesar 4.320 kWh/bulan dan energi yang dapat dihemat sebesar 216 kWh/bulan, sehingga:

$$\text{Persentase Penghematan} = \frac{216}{4320} \times 100\% = 5\%$$

Persentase penghematan pada Tabel 7 ditentukan berdasarkan tindakan efisiensi yang dapat diterapkan tanpa penggantian peralatan utama. Nilai penghematan sebesar 10% pada siler paking es diperoleh dari optimalisasi waktu operasi sehingga penggunaan alat menjadi lebih efektif. Persentase 5% pada freezer berasal dari pengaturan suhu operasi yang lebih optimal serta pengendalian prosedur penyimpanan untuk mengurangi beban kerja sistem pendingin. Pada sistem pencahayaan digunakan nilai 20% karena penerapan lampu LED dengan efikasi yang lebih tinggi dapat menurunkan konsumsi energi secara signifikan. Sementara itu, penghematan sebesar 10% pada kipas angin diperoleh dari pengaturan waktu penggunaan sesuai kebutuhan operasional.

Berikut gambaran grafik pada beban listrik skala kecil serta optimalisasi operasional sistem tanpa penggantian peralatan utama:



Gambar 2. Grafik *Low Cost Energy Saving* Sumber: Data diolah, 2026

High Cost Energy Saving berfokus pada sistem dengan konsumsi energi dominan, yaitu mesin produksi es kristal dan freezer/cold storage yang menyumbang lebih dari 95% total energi listrik. Strategi ini mencakup penggantian mesin dengan COP lebih tinggi, pemasangan inverter, atau peningkatan kualitas insulasi:

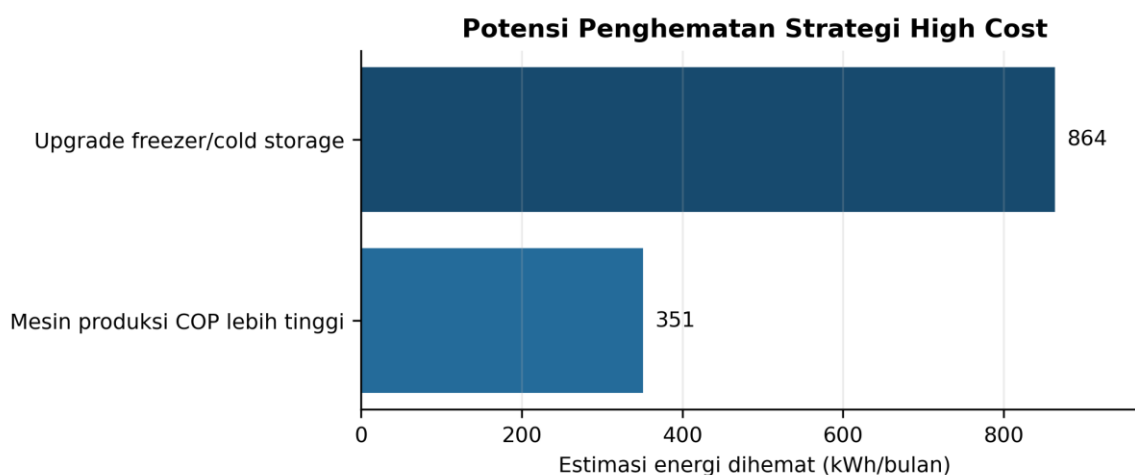
Tabel 8. *High Cost Energy Saving*

No	Tindakan	Beban Terkait	Konsumsi Awal (kWh/bln)	Estimasi Penghematan	Energi Hemat (kWh/bln)
1	Penggantian mesin produksi COP lebih tinggi	Mesin produksi	1.755	20%	351
2	Upgrade freezer/cold storage efisiensi tinggi	Freezer	4.320	20%	864
Total Potensi Hemat					1215

Persentase penghematan pada kolom kelima dihitung dari perbandingan antara energi yang dihemat dengan konsumsi energi awal masing-masing peralatan. Contoh perhitungan pada mesin produksi es kristal:

$$\text{Persentase Penghematan} = \frac{351}{1755} \times 100\% = 20\%$$

Berikut gambaran grafik pada konsumsi energi dominan yang menyumbang lebih dari 95% total energi listrik:

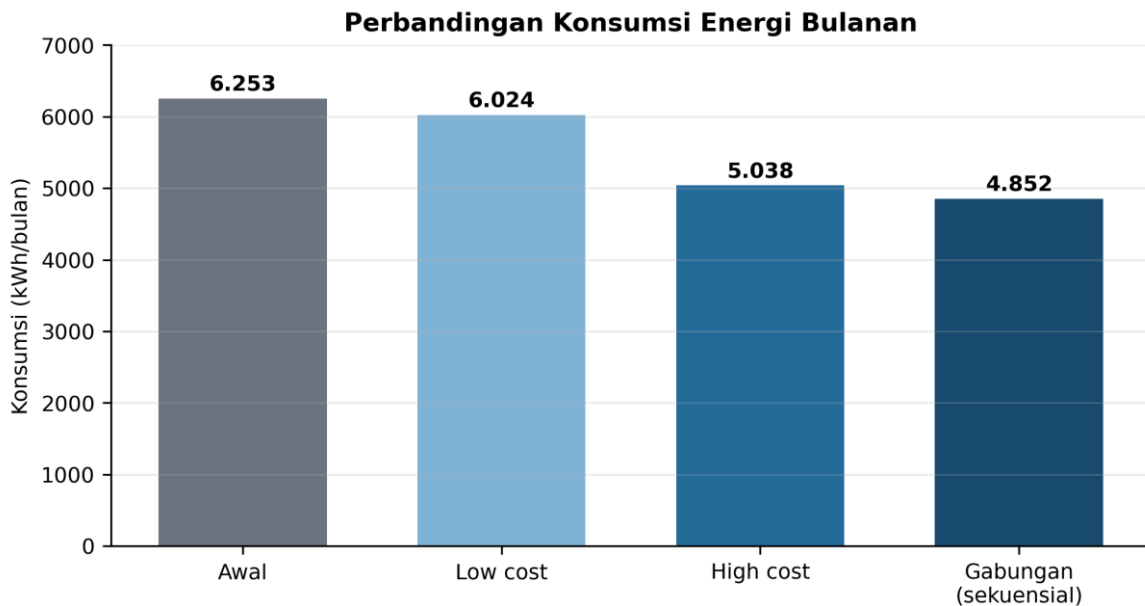
**Gambar 3.** Grafik *High Cost Energy Saving* Sumber: Data diolah, 2026

Berdasarkan hasil perhitungan *low cost* dan *high cost* yang telah dijabarkan, hasil biaya penghematan berdasarkan biaya awal dan biaya akhir:

Tabel 9. Perbandingan Biaya Listrik Bulanan

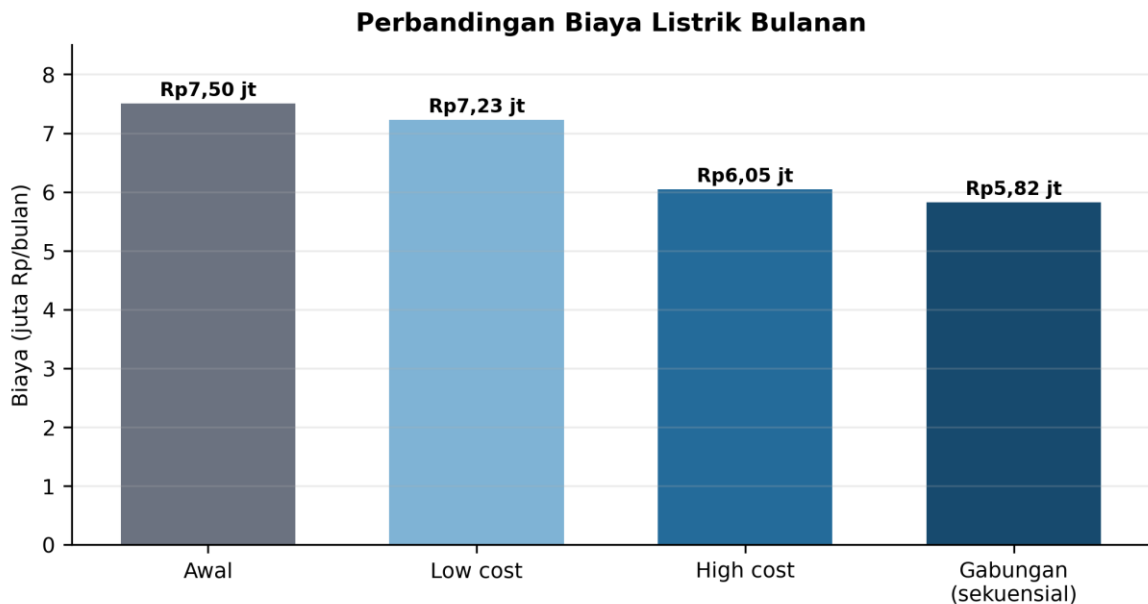
Kondisi	Energi Hemat (kWh/bln)	Konsumsi Energi (kWh/bln)	Biaya Listrik (Rp/bln)	Penghematan (Rp/bln)
Kondisi Awal	-	6.253	7.503.600	-
Setelah <i>Low Cost</i>	229	6.024	7.228.800	274.800
Setelah <i>High Cost</i>	1.215	5.038	6.045.600	1.458.000
Low + High Cost (sekuensial)	1.401,24	4.851,76	5.822.112	1.681.488

Berikut hasil gambaran grafik perbandingan dari konsumsi energi secara keseluruhan:



Gambar 4. Grafik Perbandingan Konsumsi Listrik Bulanan Sumber: Data diolah, 2026

Kemudian, berikut perbandingan dari biaya listrik setelah dilakukan penghematan:



Gambar 5. Grafik Perbandingan Biaya Listrik Bulanan Sumber: Data diolah, 2026

Penerapan strategi Low Cost Energy Saving menurunkan konsumsi energi menjadi 6.024 kWh per bulan dengan penghematan sekitar 3,6%, sehingga cocok sebagai langkah awal karena tidak memerlukan investasi besar. Sementara itu, strategi High Cost Energy

Saving mampu menurunkan konsumsi hingga 5.038 kWh per bulan dengan penghematan sekitar 19,4%, namun membutuhkan investasi yang signifikan. Kombinasi kedua strategi memberikan hasil paling optimal dengan konsumsi energi turun menjadi sekitar 4.852 kWh per bulan dan penghematan mencapai 22,4%.

Konsumsi energi gabungan setelah koreksi penerapan sekuensial adalah 4.851,76 kWh per bulan, maka, berikut perhitungan SEC setelah penghematan:

$$SEC = \frac{4.809}{16,2 \text{ ton}} = 299,5 \text{ kWh/ton}$$

Maka, penurunan SEC dari 386 kWh/ton menjadi 299,5 kWh/ton. yaitu sekitar 86,5 kWh/ton atau 22,4%. Artinya, potensi penghematan energi diperkirakan dapat dicapai, meskipun belum mencapai kondisi optimal. Hasil ini menunjukkan potensi efisiensi yang signifikan. Untuk mencapai kategori efisien (<200 kWh/ton), diperlukan perbaikan lanjutan seperti optimasi sistem pendingin, peningkatan performa kompresor, serta pengendalian suhu air baku.

Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Perbandingan kuantitatif dilakukan dengan mempertimbangkan perbedaan objek, batas sistem, satuan SEC, kapasitas produksi, dan pola operasi. Oleh karena itu, nilai dari penelitian terdahulu digunakan sebagai konteks teknis dan bukan sebagai standar yang sepenuhnya identik dengan Industri Es Kristal Bodas.

Tabel 10. Perbandingan hasil dengan penelitian terdahulu

Penelitian	Objek/pendekatan	Hasil utama	Perbandingan dengan penelitian ini
Hamid et al. (2025) [12]	Kajian teknologi pembuatan es	Vapor compression: 90–130 kWh/ton; pumpable ice: 60–75 kWh/ton	SEC 386 kWh/ton lebih tinggi 197–329% daripada rentang vapor compression. Nilai penelitian ini 1,6% lebih tinggi;
Terehovics et al. (2018) [13]	Refrigerasi ikan pada pabrik	Rata-rata 380 kWh/ton produk	keduanya menunjukkan beban refrigerasi intensif.
Piselli et al. (2024) [14]	Kajian 119 studi bangunan perdagangan pangan	Refrigerasi sekitar 50–60% konsumsi energi	Porsi refrigerasi penelitian ini 97,2%, lebih tinggi 37,2–47,2 poin persentase. Penghematan 22,4%
Ghaith dan Dag (2022) [15]	PV dan ice storage untuk pendinginan gedung	Penghematan energi 33–38%; payback 7,8–8,8 tahun	lebih rendah 10,6–15,6 poin persentase; skenario investasi dan objeknya berbeda.
Evans et al.	Benchmark cold	SEC cold store 30–	Mendukung

Penelitian	Objek/pendekatan	Hasil utama	Perbandingan dengan penelitian ini
(2014) [16]	store pangan	50 kWh/m ³ /tahun; volume menjelaskan sebagian besar variasi energi	pentingnya kapasitas dan utilisasi; satuannya berbeda sehingga tidak dibandingkan langsung dengan kWh/ton.

Dibandingkan kajian Hamid et al. [12], SEC 386 kWh/ton berada sekitar 197–329% di atas rentang sistem vapor compression 90–130 kWh/ton dan jauh di atas rentang teknologi pumpable ice 60–75 kWh/ton. Selisih ini konsisten dengan adanya konsumsi freezer 24 jam, beban penyimpanan, rendahnya utilisasi kapasitas produksi, serta rugi-rugi sistem yang tidak termasuk dalam batas energi pembuatan es pada benchmark. Nilai penelitian ini juga mendekati temuan Terehovics et al. [13] sebesar 380 kWh/ton pada refrigerasi ikan, yaitu hanya 6 kWh/ton atau 1,6% lebih tinggi. Kedekatan tersebut tidak membuktikan efisiensi yang sama karena produk, temperatur, kapasitas, dan batas sistem berbeda.

Porsi mesin es dan freezer sebesar 97,2% lebih tinggi daripada kontribusi refrigerasi sekitar 50–60% yang dilaporkan dalam kajian bangunan perdagangan pangan oleh Piselli et al. [14]. Perbedaan 37,2–47,2 poin persentase dapat dijelaskan karena objek penelitian ini hampir seluruhnya merupakan fasilitas produksi dan penyimpanan es, sedangkan bangunan perdagangan pangan masih memiliki beban pencahayaan, ventilasi, ruang penjualan, dan utilitas lain. Temuan Evans et al. [16] bahwa volume cold store merupakan prediktor utama konsumsi energi juga mendukung perlunya menilai kesesuaian kapasitas penyimpanan terhadap volume es yang benar-benar diproduksi dan disimpan.

Potensi penghematan gabungan terkoreksi sebesar 22,4% lebih rendah 10,6–15,6 poin persentase daripada penghematan 33–38% pada sistem PV dan ice storage yang dilaporkan Ghaith dan Dag [15]. Namun, objek dan investasinya berbeda. Penelitian Ghaith dan Dag menggunakan integrasi fotovoltaiik dan penyimpanan es untuk pendinginan gedung dengan payback 7,8–8,8 tahun, sedangkan penelitian ini menggunakan skenario optimasi operasi dan penggantian peralatan. Dengan demikian, kontribusi penelitian ini terletak pada audit aplikatif untuk industri es skala menengah, tetapi persentase penghematan dan payback tetap harus dikonfirmasi menggunakan data investasi aktual serta pengukuran konsumsi setelah implementasi.

Rincian Investasi dan Analisis Simple Payback Period

Nilai investasi berikut merupakan skenario indikatif untuk analisis kelayakan awal, bukan penawaran harga vendor. Sebelum implementasi, pemilik perlu memperoleh

spesifikasi teknis dan minimal dua atau tiga penawaran harga. Rincian investasi digunakan agar asumsi modal dapat ditelusuri dan diperbarui.

Tabel 11. Rincian asumsi investasi strategi penghematan

Strategi	Komponen/tindakan	Jumlah	Biaya satuan (Rp)	Subtotal (Rp)
Low cost	Timer digital siler	1	75.000	75.000
Low cost	LED efikasi lebih tinggi	3	50.000	150.000
Low cost	Timer penggunaan kipas	1	25.000	25.000
Low cost	Pengaturan set point dan SOP freezer	1	0	0
High cost	Mesin produksi dengan COP lebih tinggi	1	12.000.000	12.000.000
High cost	Retrofit freezer/insulasi dan kontrol	1	8.000.000	8.000.000
Total	Low + high cost			20.250.000

Dengan tarif energi yang digunakan dalam penelitian sebesar Rp1.200/kWh, strategi low cost menghemat sekitar Rp274.800 per bulan. Simple Payback Period dihitung sebagai investasi dibagi penghematan bulanan, sehingga $SPP \text{ low cost} = \text{Rp}250.000 / \text{Rp}274.800 = 0,91$ bulan. Strategi high cost menghasilkan $SPP = \text{Rp}20.000.000 / \text{Rp}1.458.000 = 13,72$ bulan.

Pada skenario gabungan, penghematan freezer tidak dijumlahkan langsung. Penghematan low cost 5% sebesar 216 kWh/bulan diterapkan terlebih dahulu sehingga konsumsi freezer tersisa 4.104 kWh/bulan. Penghematan high cost 20% kemudian dihitung dari sisa tersebut, yaitu 820,8 kWh/bulan. Total penghematan gabungan terkoreksi menjadi 1.401,24 kWh/bulan atau 22,4%, bukan 1.444 kWh/bulan atau 23%. Konsumsi akhir menjadi 4.851,76 kWh/bulan, biaya akhir Rp5.822.112 per bulan, dan SEC menjadi 299,5 kWh/ton. Dengan investasi Rp20.250.000 dan penghematan biaya Rp1.681.488 per bulan, $SPP \text{ gabungan} = 12,04$ bulan.

Tabel 12. Ringkasan kelayakan ekonomi sederhana

Skenario	Investasi (Rp)	Hemat biaya/bulan (Rp)	Hemat biaya/tahun (Rp)	SPP (bulan)
Low cost	250.000	274.800	3.297.600	0,91
High cost	20.000.000	1.458.000	17.496.000	13,72
Gabungan sekuensial	20.250.000	1.681.488	20.177.856	12,04

Hasil payback tersebut merupakan estimasi sederhana yang belum memasukkan biaya perawatan, umur ekonomis, perubahan tarif, biaya modal, downtime instalasi, dan nilai sisa

peralatan. Oleh sebab itu, keputusan investasi akhir perlu menggunakan harga vendor aktual dan analisis arus kas yang lebih lengkap.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil audit energi, konsumsi listrik rata-rata Bodas Es Kristal sebesar 6.253 kWh per bulan didominasi sistem produksi dan refrigerasi sebesar 97,2%. Nilai SEC awal sebesar 386 kWh/ton menunjukkan penggunaan energi yang tinggi. Setelah koreksi skenario gabungan secara sekuensial, estimasi penghematan menjadi 1.401,24 kWh/bulan atau 22,4%, konsumsi turun menjadi 4.851,76 kWh/bulan, dan SEC menjadi 299,5 kWh/ton. Hasil ini merupakan estimasi teknis-ekonomi dan belum membuktikan penghematan aktual sebelum tindakan diterapkan dan diukur di lapangan.

Berdasarkan hasil penelitian, pemilik industri disarankan menyesuaikan kapasitas mesin dan cold storage dengan volume produksi, melakukan perawatan rutin sistem refrigerasi, serta menerapkan langkah hemat energi berbiaya rendah seperti pengaturan waktu operasi peralatan dan penggunaan lampu LED. Sementara itu, penelitian selanjutnya disarankan melakukan audit energi yang lebih rinci, termasuk analisis performa sistem pendingin, evaluasi kelayakan strategi berbiaya tinggi, serta pengembangan model prediksi konsumsi energi agar upaya efisiensi dapat dilakukan secara lebih optimal dan terukur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Habibah, R. R. Harahap, and B. Fachri, “Integrasi Sistem Penyimpanan Energi (Battery) dengan Pengaturan Beban Otomatis pada Gedung Cerdas,” *Journal of Electrical Engineering Research*, vol. 1, no. 1, pp. 33–39, 2025, <https://doi.org/10.64803/joeer.v1i1.5>.
- [2] Khairul, D. Suseno, and Widodo, “Peran Audit Energi dalam Pengembangan Program Manajemen Energi di Bangunan dan Industri: Sebuah Kajian Literatur,” *RAMATEKNO*, vol. 5, no. 2, pp. 133–140, 2025, <https://doi.org/10.61713/jrt.v5i2.285>.
- [3] G. A. Boyd, “Measuring plant level energy efficiency when production activities are not homogeneous: The ENERGY STAR energy performance indicator,” in *Proceedings of the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry*, 2005, pp. 6-35–6-46. [Online]. Available: https://www.aceee.org/files/proceedings/2005/data/papers/SS05_Panel06_Paper03.pdf.
- [4] T. Dunlop, “Energy efficiency: The evolution of a motherhood concept,” *Social Studies of Science*, vol. 52, no. 5, pp. 710–732, 2022, <https://doi.org/10.1177/03063127221096171>.
- [5] A. Fatoni and H. Setiawan, “Analisa efisiensi energi pada penggunaan chiller satu kompresor dan dua kompresor,” *SINERGI*, vol. 22, no. 2, pp. 293–304, 2024, <https://doi.org/10.31963/sinergi.v22i2.4829>.
- [6] I. M. F. Nuryasa, A. H. Falah, and I. Sulistiyowati, “Monitoring Freon pressure and compressor current load to maintain efficient Internet of Things (IoT)-based air conditioning (AC) performance,” *UMSIDA Preprints Server*, ver. 1, 2026, <https://doi.org/10.21070/ups.9843>.
- [7] A. W. Biantoro and D. S. Permana, “Analisis audit energi untuk pencapaian efisiensi energi di Gedung AB, Kabupaten Tangerang, Banten,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 85–93, 2017, <https://doi.org/10.22441/jtm.v6i2.1186>.
- [8] I. W. Suriana, I. W. Sukadana, A. P. Abiyasa, and I. W. S. Yasa, “Audit energi untuk mengoptimalkan penghematan konsumsi listrik di Kantor PT Tunas Jaya Sanur,” *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, vol. 7, no. 4, pp. 2974–2985, 2025, <https://doi.org/10.38035/rj.v7i4.1586>.
- [9] I. Faozan, “Analisis perbandingan evaporator kulkas (lemari es) dengan menggunakan refrigerant R-22 dan R-134a,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 4, no. 3, pp. 99–105, 2015, <https://doi.org/10.22441/jtm.v4i3.1272>.
- [10] M. Anwar, D. Sudrajat, B. Belyamin, and B. Wibowo, “Komparasi konsumsi daya listrik dan efisiensi energi pada modifikasi freezer kapasitas 100 L,” *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, vol. 22, no. 1, pp. 37–43, 2026, <https://doi.org/10.14710/ijfst.22.1.37-43>.
- [11] A. Lawrence, P. Thollander, M. Andrei, and M. Karlsson, “Specific energy consumption/use (SEC) in energy management for improving energy efficiency in industry: Meaning, usage and differences,” *Energies*, vol. 12, no. 2, art. no. 247, 2019, <https://doi.org/10.3390/en12020247>.
- [12] M. Hamid, M. Song, T. Hadibi, M. Mohasan, D. A. Uglanov, and Z. Zhen, “Research progress and challenges in the preparation and application of ice-making technology,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 223, art. no. 115996,

- 2025, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115996>.
- [13] E. Terehovics, R. Soloha, I. Veidenbergs, and D. Blumberga, "Analysis of fish refrigeration electricity consumption," *Energy Procedia*, vol. 147, pp. 649–653, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.07.084>.
- [14] C. Piselli, C. Balocco, S. Forastiere, A. Silei, F. Sciarpi, and F. Cotana, "Energy efficiency in the commercial sector: Thermodynamics fundamentals for the energy transition," *Energy Reports*, vol. 11, pp. 4601–4621, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.04.033>.
- [15] F. A. Ghaith and R. O. Dag, "Performance and feasibility of utilizing solar powered ice storage system for space cooling applications," *Energy Conversion and Management: X*, vol. 16, art. no. 100319, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100319>.
- [16] J. A. Evans, A. M. Foster, J.-M. Huet, L. Reinholdt, K. Fikiin, C. Zilio, M. Houska, A. Landfeld, C. Bond, M. Scheurs, and T. W. M. van Sambeek, "Specific energy consumption values for various refrigerated food cold stores," *Energy and Buildings*, vol. 74, pp. 141–151, 2014, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.075>.