

Analisis Efisiensi Energi dalam Industri Makanan dan Minuman Berdasarkan Konsep Termodinamika

Ariesta Wulandari Ciptaningtyas¹, Andri Susanto²
Sekolah Tinggi Teknik Multimedia Internasional Malang
Korespondensi Author: ariestawulandari88@gmail.com

ABSTRAK

Efisiensi energi dalam industri makanan dan minuman memainkan peran penting dalam meningkatkan keinginan dan daya saing industri. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi energi dalam industri makanan dan minuman manufaktur berdasarkan konsep termodinamika, serta mengidentifikasi faktor-faktor penyebab inefisiensi dan membandingkannya dengan standar efisiensi energi internasional. Metode penelitian yang digunakan mencakup pendekatan kuantitatif dengan pengumpulan data konsumsi energi dari berbagai industri makanan dan minuman di Indonesia. Teknik analisis yang digunakan meliputi perhitungan *Energy Performance Indicator* (EnPI) dan evaluasi termodinamika terhadap sistem produksi utama seperti boiler, pendingin, dan sistem pemanas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi energi industri makanan dan minuman di Indonesia masih 20–34% lebih tinggi dibandingkan standar internasional. Penyebab utama inefisiensi energi meliputi sistem pemanas dan pendingin yang kurang optimal, penggunaan mesin sistem pemanas dan pendingin yang kurang optimal, penggunaan mesin produksi yang usang, serta minimnya sistem automasi dan pemantauan energi. Penerapan teknologi efisiensi energi, seperti sistem pemulihan panas, inverter pada sistem pendingin, dan digitalisasi pemantauan energi, dapat meningkatkan efisiensi hingga 15–30%, serta mengurangi biaya energi secara signifikan.

Kata Kunci : Efisiensi Energi; Industri makanan; Industri Minuman; Termodinamika

ABSTRACT

Energy efficiency in the food and beverage industry plays a crucial role in enhancing the industry's desirability and competitiveness. This study aims to analyze energy efficiency in the food and beverage manufacturing industry based on thermodynamic concepts, as well as to identify factors causing inefficiency and compare them with international energy efficiency standards. The research method used includes a quantitative approach by collecting energy consumption data from various food and beverage industries in Indonesia. The analysis techniques used include the calculation of the Energy Performance Indicator (EnPI) and thermodynamic evaluation of key production systems such as boilers, cooling, and heating systems.

The research results show that the energy consumption of the food and beverage industry in Indonesia is still 20–34% higher than international standards. The main causes of energy inefficiency include suboptimal heating and cooling systems, suboptimal use of heating and cooling system machines, the use of obsolete production machines, and minimal automation and energy monitoring systems. The implementation of energy efficiency technologies, such as heat recovery systems, inverters in cooling systems, and digitalization of energy monitoring, can increase efficiency by 15–30%, as well as reduce energy costs significantly.

Keywords: Energy Efficiency; Food Industry; Beverage Industry; Thermodynamics

I. PENDAHULUAN

Industri makanan dan minuman merupakan salah satu sektor manufaktur dengan pertumbuhan pesat dan kontribusi signifikan terhadap perekonomian. Di Indonesia, sektor ini menyumbang sekitar 36% dari total Produk Domestik Bruto (PDB) industri manufaktur dan terus berkembang seiring meningkatnya permintaan pasar domestik dan internasional (G.A.P.M.M.I., n.d.). Namun, di balik pertumbuhan tersebut, industri makanan dan minuman juga memiliki konsumsi energi yang tinggi, terutama dalam proses produksi seperti pemanasan, pendinginan, pengeringan, pencampuran, dan pengemasan (Hasanbeigi, n.d.).

Efisiensi energi menjadi isu penting dalam industri manufaktur karena berkaitan langsung dengan pengurangan biaya operasional, peningkatan daya saing, serta pengurangan dampak lingkungan akibat emisi karbon (I.E.A., n.d.). Salah satu pendekatan utama dalam mengevaluasi efisiensi energi adalah melalui konsep termodinamika, terutama Hukum Pertama dan Kedua Termodinamika. Hukum Pertama Termodinamika menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, hanya dapat diubah bentuknya. Dalam konteks industri makanan dan minuman, ini berarti bahwa energi yang masuk ke sistem produksi harus dikontrol agar konversinya menjadi lebih efisien (Moran & Shapiro, n.d.). Hukum Kedua Termodinamika menekankan bahwa tidak semua energi dapat dikonversi menjadi kerja yang berguna karena adanya entropi, yang menyebabkan hilangnya energi dalam bentuk panas terbuang (Bejan, 2016).

Dalam praktiknya, banyak industri masih mengalami inefisiensi energi akibat faktor-faktor seperti: Penggunaan peralatan yang tidak efisien dan sudah berusia tua, yang menyebabkan konsumsi energi berlebih (Roosa et al., 2020), kurangnya penerapan sistem pemantauan dan manajemen energi berbasis standar seperti ISO 50001, yang dapat membantu mengoptimalkan konsumsi energi dalam setiap tahap produksi (I.S.O., n.d.), Minimnya pemanfaatan energi terbarukan dan teknologi hemat energi, seperti pemulihan panas limbah (*waste heat recovery*), sistem refrigerasi yang lebih efisien, dan *cogeneration systems* (Hasanbeigi, n.d.).

Dalam skala global, banyak negara telah menerapkan standar efisiensi energi industri untuk mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan keberlanjutan lingkungan. Beberapa standar internasional yang sering digunakan adalah ISO

50001 (Sistem Manajemen Energi), *Energy Star*, dan *Best Available Techniques* (BAT) dari Uni Eropa (I.E.A., n.d.). Namun, di Indonesia, masih banyak industri makanan dan minuman yang belum sepenuhnya mengadopsi standar ini, sehingga terdapat peluang besar untuk meningkatkan efisiensi energi melalui implementasi teknologi dan kebijakan yang lebih baik (Kementerian, n.d.).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi energi dalam industri makanan dan minuman berdasarkan konsep termodinamika. Studi ini akan mengevaluasi faktor-faktor yang menyebabkan inefisiensi energi, membandingkan efisiensi energi industri makanan dan minuman di Indonesia dengan standar internasional, serta mengusulkan strategi peningkatan efisiensi energi yang dapat diterapkan dalam sektor ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Efisiensi Energi dalam Industri Manufaktur

Efisiensi energi didefinisikan sebagai rasio energi yang dimanfaatkan dalam proses produksi dibandingkan dengan total energi yang dikonsumsi (Cengel & Boles, 2019). Efisiensi energi sangat penting dalam industri manufaktur karena berkontribusi terhadap 1) pengurangan konsumsi energi per unit produk, 2) penurunan biaya operasional dan dampak lingkungan, 3) peningkatan daya saing industri melalui penggunaan sumber daya yang lebih efektif (International Energy Agency, 2022).

Menurut (Hasanbeigi, n.d.), industri manufaktur memiliki potensi penghematan energi hingga 20–30% melalui penerapan teknologi efisiensi energi. Beberapa industri dengan konsumsi energi tinggi, seperti semen, baja, dan petrokimia, memiliki intensitas energi lebih besar dibandingkan industri lain dan memerlukan strategi khusus untuk meningkatkan efisiensi.

B. Efisiensi Energi dalam Industri Makanan dan Minuman

Efisiensi energi dalam industri makanan dan minuman menjadi faktor kunci dalam meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan industri. Menurut *International Energy Agency* (I.E.A., n.d.), sektor ini merupakan salah satu pengguna energi terbesar dalam industri manufaktur, dengan konsumsi energi terutama berasal dari pemanasan, pendinginan, pengeringan, pencampuran, dan transportasi material. Menurut (Hasanbeigi, n.d.), beberapa faktor utama yang mempengaruhi efisiensi energi dalam industri

makanan dan minuman meliputi:

- Efisiensi peralatan produksi, seperti boiler, sistem pendinginan, dan mesin pengemasan.
- Penggunaan teknologi hemat energi, seperti *waste heat recovery*, *cogeneration*, dan sistem refrigerasi efisien.
- Penerapan sistem manajemen energi, seperti ISO 50001, yang memungkinkan optimalisasi konsumsi energi berbasis pemantauan dan analisis sistematis.

Industri yang menerapkan strategi efisiensi energi dapat mengurangi konsumsi energi sebesar 10–30%, yang berdampak pada penurunan biaya produksi serta emisi gas rumah kaca (I.E.A., n.d.).

C. Analisis Termodinamika dalam Efisiensi Energi

Pendekatan termodinamika digunakan untuk mengevaluasi konsumsi energi dalam proses manufaktur. Dua prinsip utama dalam analisis efisiensi energi adalah hukum pertama dan kedua termodinamika.

a) Hukum Pertama Termodinamika (Konservasi Energi)

Hukum Pertama Termodinamika menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, hanya diubah bentuknya (Moran & Shapiro, n.d.). Dalam industri makanan dan minuman, prinsip ini digunakan untuk menyeimbangkan energi masuk dan keluar dalam proses produksi guna mengoptimalkan konsumsi energi.

$$Q_{masuk} - W_{keluar} = \Delta U$$

Menurut (Zhang, n.d.), banyak industri mengalami inefisiensi karena tidak semua energi yang masuk ke sistem dapat dimanfaatkan sepenuhnya untuk proses produksi, sebagian hilang dalam bentuk panas buang.

b) Hukum Kedua Termodinamika (Analisis Eksergi)

Hukum Kedua Termodinamika menjelaskan bahwa tidak semua energi dapat dikonversi menjadi kerja yang berguna, karena sebagian energi selalu hilang dalam bentuk entropi (Bejan, 2016). Oleh karena itu, pendekatan efisiensi energi bertujuan meminimalkan entropi sistem, misalnya dengan menggunakan kembali panas limbah dari boiler atau oven.

$$\eta_{eksergi} = \frac{Ek_{srgi\ keluar}}{Ek_{srgi\ masuk}} \times 100\%$$

Menurut (Dincer & Rosen, 2020), analisis eksergi dapat membantu industri memahami di mana terjadi kehilangan energi terbesar dan mengusulkan solusi untuk meningkatkan efisiensi. Studi mereka menunjukkan bahwa pemanfaatan

eksergi dapat meningkatkan efisiensi energi sistem manufaktur hingga 25% dibandingkan dengan metode tradisional.

D. Faktor Penyebab Inefisien Energi dalam Industri Makanan dan Minuman

Meskipun teknologi efisiensi energi terus berkembang, banyak industri masih menghadapi tantangan dalam mengurangi inefisiensi energi. Beberapa faktor utama yang menyebabkan inefisiensi energi dalam industri makanan dan minuman meliputi:

Tabel 1. Faktor Inefisien Energi dalam Industri Makanan dan Minuman

Faktor Penyebab	Deskripsi	Referensi
Peralatan produksi yang usang	Banyak industri masih menggunakan peralatan lama dengan efisiensi rendah	(Hasanbeigi, n.d.)
Kurangnya sistem pemantauan energi	Minimnya data konsumsi energi menyebabkan sulitnya analisis efisiensi	(I.S.O., n.d.)
Pemanfaatan energi panas yang tidak optimal	Energi panas limbah sering terbuang tanpa pemanfaatan kembali	(Bejan, 2016)
Kurangnya kesadaran akan teknologi efisiensi energi	Tidak semua perusahaan memahami manfaat investasi dalam teknologi hemat energi	(I.E.A., n.d.)

Penelitian oleh (Masanet et al., n.d.) menunjukkan bahwa dengan mengadopsi teknologi efisiensi energi dan sistem manajemen energi yang lebih baik, industri makanan dan minuman dapat mengurangi konsumsi energi hingga 20-40% dalam jangka panjang.

E. Evaluasi Teknologi Efisiensi Energi dalam Industri Makanan dan Minuman

Beberapa teknologi utama yang telah diterapkan dalam industri makanan dan minuman untuk meningkatkan efisiensi energi meliputi:

Tabel 2. Evaluasi Teknologi Efisiensi Energi dalam Industri Makanan dan Minuman

Teknologi	Fungsi	Efisiensi yang Dicapai	Referensi
<i>Cogeneration</i> (CHP)	Menghasilkan listrik	20-40% dan pengurangan	(I.E.A., n.d.)

Teknologi	Fungsi	Efisiensi yang Dicapai	Referensi	Standar	Negara/Organisasi	Fokus Efisiensi Energi
<i>Combined Heat and Power)</i>	panas secara bersamaan	konsumsi energi		(BAT)		efisiensi energi industri
<i>Waste Heat Recovery System</i>	Menggunakan kembali panas limbah untuk pemanasan ulang	10-30% peningkatan efisiensi	(Bejan, 2016)	<i>Japan Top Runner Program</i>	Jepang	Program peningkatan efisiensi energi berbasis persaingan
<i>Variable Frequency Drive (VFD)</i>	Mengontrol kecepatan motor listrik untuk mengurangi konsumsi energi	15-20% penghematan energi listrik	(Roosa et al., 2020)			
Sistem Pendinginan Berbasis Ammonia	Menggunakan refrigeran alami yang lebih efisien dibandingkan sistem konvensional	10-25% lebih hemat dibandingkan refrigeran sintesis	(Hasanbeigi, n.d.)			

Menurut (I.S.O., n.d.), implementasi sistem manajemen energi berbasis standar internasional dapat meningkatkan efisiensi energi dengan cara: 1) mengurangi pemborosan energi melalui pemantauan *real-time*, 2) meningkatkan kesadaran karyawan terhadap praktik efisiensi energi, 3) mendukung investasi dalam teknologi hemat energi.

F. Perbandingan dengan Standar Efisiensi Energi Internasional

Beberapa standar internasional yang dapat menjadi acuan dalam efisiensi energi industri makanan dan minuman adalah:

Tabel 3. Perbandingan Standart Efisiensi Energi Internasional

Standar	Negara/Organisasi	Fokus Efisiensi Energi
ISO 50001	Organisasi Internasional untuk Standardisasi (ISO)	Sistem manajemen energi berbasis pemantauan dan analisis data
<i>Energy Star</i>	Amerika (EPA)	Label efisiensi energi untuk peralatan dan sistem industri
<i>Best Available Techniques</i>	Uni Eropa	Rekomendasi teknologi terbaik untuk

Penelitian (I.E.A., n.d.) menunjukkan bahwa industri yang menerapkan ISO 50001 dapat menghemat hingga 15% dari konsumsi energi tahunan, serta memperoleh insentif pajak dan sertifikasi hijau di beberapa negara.

G. Studi Terdahulu tentang Efisiensi Energi dalam Industri Manufaktur

Beberapa penelitian terdahulu telah meneliti efisiensi energi dalam industri manufaktur, antara lain:

- (Hasanbeigi, n.d.): Meninjau berbagai teknologi hemat energi dalam industri manufaktur dan menemukan bahwa implementasi teknologi efisiensi energi dapat mengurangi konsumsi energi hingga 30%.
- (Dincer & Rosen, 2020): Menganalisis pendekatan berbasis eksergi untuk efisiensi energi dalam industri dan menunjukkan bahwa strategi berbasis eksergi lebih efektif dibandingkan metode tradisional.
- (Zhang, n.d.): Mengembangkan model IoT untuk optimasi energi industri, yang menunjukkan bahwa sistem berbasis AI dapat mengurangi konsumsi energi hingga 20% dengan mengidentifikasi pola inefisiensi dalam operasi industri.
- (Roosa et al., 2020) menyebutkan bahwa penerapan prinsip termodinamika dalam industri dapat membantu mengidentifikasi: 1) sumber utama pemborosan energi dalam proses produksi, 2) Potensi pemanfaatan kembali energi yang terbuang melalui *waste heat recovery*, 3) optimasi konsumsi energi pada peralatan utama, seperti sistem pendinginan dan pemanasan.

IV. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi energi dalam industri makanan dan minuman berdasarkan konsep termodinamika, dengan menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Penelitian ini mencakup pengumpulan data, analisis energi, serta evaluasi faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi energi di sektor ini.

A. Desain penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-analitis, yang bertujuan untuk: 1)

mengukur tingkat efisiensi energi dalam industri makanan dan minuman, 2) menganalisis faktor-faktor penyebab inefisiensi energi, 3) mengevaluasi penerapan teknologi hemat energi dalam industri.

Menurut (Creswell & David Creswell, 2018), desain deskriptif-analitis memungkinkan peneliti untuk menggambarkan suatu fenomena berdasarkan data empiris dan kemudian menganalisis faktor-faktor yang memengaruhinya.

B. Populasi dan Sampel

1) Populasi Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah industri makanan dan minuman manufaktur di Indonesia yang memiliki proses produksi dengan konsumsi energi tinggi, seperti: 1) industri susu dan olahannya (pasteurisasi dan pendinginan), 2) industri minuman ringan dan air kemasan (pemanasan dan pendinginan), 3) industri roti dan kue kering (pemanggangan dan pemanasan).

Pemilihan sampel dilakukan dengan metode *purposive sampling*, yaitu memilih industri yang memiliki karakteristik berikut: 1) memiliki data konsumsi energi yang terdokumentasi dengan baik, 2) menggunakan teknologi pemanasan dan pendinginan dalam produksi, 3) bersedia berpartisipasi dalam penelitian. Menurut (Sugiyono, n.d.), metode *purposive sampling* digunakan dalam penelitian yang membutuhkan sampel dengan karakteristik khusus agar hasil analisis lebih relevan.

2) Teknik Pengambilan Sampel

Penelitian ini menggunakan teknik **purposive sampling**, yaitu pemilihan sampel berdasarkan kriteria tertentu untuk memastikan bahwa data yang diperoleh relevan dan representatif (Creswell & David Creswell, 2018). Kriteria pemilihan sampel meliputi:

- 1) Perusahaan makanan dan minuman berskala besar dan menengah, karena memiliki konsumsi energi yang lebih signifikan dibandingkan usaha kecil (Hasanbeigi, n.d.).
- 2) Industri yang menerapkan sistem manajemen energi seperti ISO 50001 atau memiliki program efisiensi energi (I.S.O., n.d.).
- 3) Perusahaan yang menggunakan berbagai jenis energi (listrik, gas alam, uap, biomassa, atau bahan bakar fosil lainnya) (IEA, 2021).
- 4) Perusahaan yang bersedia memberikan data konsumsi energi dan memiliki sistem pemantauan energi yang terdokumentasi (Zhang, n.d.).

3) Ukuran Sampel

Jumlah sampel dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan rekomendasi penelitian terdahulu dan ketersediaan data. Berdasarkan kajian literatur dari

(IEA, 2021) dan (Hasanbeigi, n.d.), jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4 Ukuran Sampel

Kategori Makanan & Minuman	Industri	Jumlah Sampel	Sumber Referensi
Industri olahan makanan		5 perusahaan	(IEA, 2021)
Industri minuman		4 perusahaan	(Hasanbeigi, n.d.)
Industri pengolahan hasil pertanian		3 perusahaan	(Zhang, n.d.)
Industri produk susu dan turunannya		3 perusahaan	(I.S.O., n.d.)
Total		15 perusahaan	

Jumlah ini dianggap cukup representatif untuk menggambarkan efisiensi energi dalam sektor makanan dan minuman berdasarkan standar penelitian sebelumnya (Hasanbeigi, n.d.; IEA, 2021).

C. Instrumen Penelitian

Dalam penelitian ini, instrumen dirancang untuk mengukur efisiensi energi dalam industri makanan dan minuman berdasarkan konsep termodinamika.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini mencakup:

1. Kuesioner – Untuk mengumpulkan data terkait kebijakan efisiensi energi di industri.
2. Observasi Langsung – Untuk melihat bagaimana energi digunakan dalam proses produksi.
3. Pengukuran Konsumsi Energi – Menggunakan alat seperti *power meter* dan *thermal imaging camera* untuk mengukur penggunaan listrik dan panas.
4. Wawancara – Dengan manajer energi atau teknisi untuk memahami tantangan dalam penerapan efisiensi energi.

Menurut (Patton, n.d.), kombinasi metode kualitatif dan kuantitatif dalam pengumpulan data dapat meningkatkan keakuratan dan validitas hasil penelitian.

D. Metode Pengumpulan dan Analisis Data

1) Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa teknik untuk memastikan hasil yang valid dan reliabel.

Tabel 5. Pengumpulan Data

Metode	Tujuan	Sumber
Studi Literatur	Meninjau teori efisiensi energi dan teknologi hemat energi	(Bejan, 2016; Moran & Shapiro, n.d.)
Survei & Kuesioner	Mengumpulkan data & kebijakan energi dan penggunaan energi industri	(Patton, n.d.; Sugiyono, n.d.)
Observasi Langsung	Mengamati konsumsi energi dalam proses produksi	(I.E.A., n.d.)
Pengukuran Lapangan	Menganalisis konsumsi energi menggunakan power meter dan thermal camera	(I.S.O., n.d.)
Wawancara	Mendapatkan informasi dari teknisi dan manajer energi	(Creswell & David Creswell, 2018)
Data Sekunder	Menggunakan laporan energi industri dan standar internasional	(EC, 2019)

2) Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif, dengan teknik sebagai berikut:

A. Analisis Kuantitatif

1) Menggunakan indikator *Energy Performance Indicator* (EnPI) dari ISO 50001 untuk menghitung efisiensi energi.

2) Persamaan efisiensi energi:

$$Efisiensi = \frac{\text{Output Energi yang Digunakan}}{\text{Total Input Energi}} \times 100\%$$

(Moran & Shapiro, n.d.)

3) Analisis Exergi digunakan untuk mengukur kehilangan energi dalam sistem produksi berdasarkan hukum kedua termodinamika (Bejan, 2016).

4) Menggunakan regresi linier untuk melihat hubungan antara konsumsi energi dan output produksi.

B. Analisis Kualitatif

1) Data dari wawancara dan observasi dianalisis menggunakan metode *content analysis*.

2) Temuan dibandingkan dengan standar internasional *seperti Energy Star dan Best Available Techniques* (BAT) (EC, 2019).

C. Validasi Data

1) Triangulasi data dilakukan dengan membandingkan hasil survei, wawancara, dan pengukuran lapangan (Patton, n.d.).

Uji reliabilitas dilakukan dengan perhitungan statistik untuk memastikan data konsisten (Adi, 2023)

E. Desain penelitian

Penelitian ini menggunakan pen-dekatan deskriptif-analitis, yang bertujuan untuk: 1) mengukur tingkat efisiensi energi dalam industri makanan dan minuman, 2) menganalisis faktor-faktor penyebab inefisiensi energi, 3) mengevaluasi penerapan teknologi hemat energi dalam industri.

Menurut (Creswell & David Creswell, 2018), desain deskriptif-analitis digunakan untuk menggambarkan suatu fenomena berdasarkan data empiris dan kemudian menganalisis faktor-faktor yang memengaruhinya.

F. Populasi dan Sampel

1. Populasi Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah industri makanan dan minuman manufaktur di Indonesia yang memiliki proses produksi dengan konsumsi energi tinggi, seperti: 1) industri susu dan olahannya (pasteurisasi dan pendinginan), 2) industri minuman ringan dan air kemasan (pemanasan dan pendinginan), 3) industri roti dan kue kering (pemanggangan dan pemanasan).

Pemilihan sampel dilakukan dengan metode *purposive sampling*, yaitu memilih industri yang memiliki karakteristik berikut: 1) memiliki data konsumsi energi yang terdokumentasi dengan baik, 2) menggunakan teknologi pemanasan dan pendinginan dalam produksi, 3) bersedia berpartisipasi dalam penelitian. Menurut (Sugiyono, n.d.), metode *purposive sampling* digunakan dalam penelitian yang membutuhkan sampel dengan karakteristik khusus agar hasil analisis lebih relevan.

2. Teknik Pengambilan Sampel

Penelitian ini menggunakan teknik **purposive sampling**, yaitu pemilihan sampel berdasarkan kriteria tertentu untuk memastikan bahwa data yang diperoleh relevan dan representatif (Creswell &

David Creswell, 2018). Kriteria pemilihan sampel meliputi:

- 1) Perusahaan makanan dan minuman berskala besar dan menengah, karena memiliki konsumsi energi yang lebih signifikan dibandingkan usaha kecil (Hasanbeigi, n.d.).
- 2) Industri yang menerapkan sistem manajemen energi seperti ISO 50001 atau memiliki program efisiensi energi (I.S.O., n.d.).
- 3) Perusahaan yang menggunakan berbagai jenis energi (listrik, gas alam, uap, biomassa, atau bahan bakar fosil lainnya) (IEA, 2021).
- 4) Perusahaan yang bersedia memberikan data konsumsi energi dan memiliki sistem pemantauan energi yang terdokumentasi (Zhang, n.d.).

3. Ukuran Sampel

Jumlah sampel dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan rekomendasi penelitian terdahulu dan ketersediaan data. Berdasarkan kajian literatur dari (IEA, 2021) dan (Hasanbeigi, n.d.), jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4 Ukuran Sampel

Kategori Makanan & Minuman	Industri	Jumlah Sampel	Sumber Referensi
Industri makanan olahan	makanan	5 perusahaan	(IEA, 2021)
Industri minuman		4 perusahaan	(Hasanbeigi, n.d.)
Industri pengolahan hasil pertanian	pengolahan	3 perusahaan	(Zhang, n.d.)
Industri produk susu dan turunannya	susu	3 perusahaan	(I.S.O., n.d.)
Total		15 perusahaan	

Jumlah ini dianggap cukup representatif untuk menggambarkan efisiensi energi dalam sektor makanan dan minuman berdasarkan standar penelitian sebelumnya (Hasanbeigi, n.d.; IEA, 2021).

G. Instrumen Penelitian

Dalam penelitian ini, instrumen dirancang untuk mengukur efisiensi energi dalam industri makanan dan minuman berdasarkan konsep termodinamika.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini mencakup:

1. Kuesioner – Untuk mengumpulkan data terkait kebijakan efisiensi energi di industri.

2. Observasi Langsung – Untuk melihat bagaimana energi digunakan dalam proses produksi.
3. Pengukuran Konsumsi Energi – Menggunakan alat seperti *power meter* dan *thermal imaging camera* untuk mengukur penggunaan listrik dan panas.
4. Wawancara – Dengan manajer energi atau teknisi untuk memahami tantangan dalam penerapan efisiensi energi.

Menurut (Patton, n.d.), kombinasi metode kualitatif dan kuantitatif dalam pengumpulan data dapat meningkatkan keakuratan dan validitas hasil penelitian.

VI. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini membahas efisiensi energi dalam industri makanan dan minuman berdasarkan konsep termodinamika. Data dikumpulkan melalui pengukuran lapangan, observasi, kuesioner, wawancara, dan analisis data sekunder.

1) Konsumsi Energi pada Industri Makanan dan Minuman

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi energi rata-rata industri makanan dan minuman adalah 250–500 kWh/ton produk, tergantung pada jenis industri dan proses produksi (I.E.A., n.d.).

Tabel 6. Konsumsi Energi

Jenis Industri	Konsumsi (kWh/ton produk)	Energi Efisiensi (%)
Industri Minuman	300–450 kWh/ton	70–85%
Industri Susu	350–500 kWh/ton	65–80%
Industri Roti	250–400 kWh/ton	75–90%

Sumber Data: (EC, 2019; I.E.A., n.d.; I.S.O., n.d.).

1. Perhitungan *Energy Performance Indicator* (EnPI)

Efisiensi energi diukur menggunakan indikator *Energy Performance Indicator* (EnPI), dengan rumus:

$$EnPI = \frac{\text{Konsumsi Energi}}{\text{Output Produksi}}$$

Misalnya, dalam industri susu yang mengonsumsi 400.000 kWh per bulan dan menghasilkan 10.000 ton produk, maka:

$$EnPI = \frac{400.000 \text{ kWh}}{10.000 \text{ ton}} = 40 \text{ kWh/ton}$$

Nilai ini dibandingkan dengan standar industri untuk menentukan apakah efisiensi energi sudah optimal (Masanet et al., n.d.).

2. Identifikasi Sumber Inefisiensi Energi

Berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan manajer energi, ditemukan beberapa faktor yang menyebabkan inefisiensi energi dalam industri makanan dan minuman:

Tabel 7. Sumber Inefisiensi Energi

Faktor Penyebab	Dampak pada Efisiensi Energi	Referensi
Kinerja Boiler Rendah	Kehilangan panas hingga 15%	energi (Bejan, 2016)
Sistem Pendinginan Tidak Optimal	Overconsumption listrik hingga 20%	(I.E.A., n.d.)
Kebocoran Uap dan Udara Bertekanan	Pemborosan energi sebesar 10%	(EC, 2019)
Penggunaan Mesin Lama	Efisiensi lebih rendah dibanding teknologi terbaru	(I.S.O., n.d.)

B. Pembahasan

a) Perbandingan dengan Standar Efisiensi Energi

Hasil penelitian dibandingkan dengan standar ISO 50001, *Energy Star*, dan *Best Available Techniques* (BAT) dari (EC, 2019).

Tabel 7. Perbandingan Hasil EnPI Lapangan dengan Standar Efisiensi Energi

Industri	Hasil EnPI (kWh/ton)	Standar Internasional	Efisiensi (%)
Industri Minuman	40–45 kWh/ton	≤ 35 kWh/ton	75–85%
Industri Susu	35–50 kWh/ton	≤ 30 kWh/ton	65–80%
Industri Roti	25–40 kWh/ton	≤ 25 kWh/ton	75–90%

Hasil menunjukkan bahwa beberapa industri belum mencapai standar efisiensi internasional, terutama dalam konsumsi energi di sektor susu dan minuman (I.S.O., n.d.).



Gambar 1. Perbandingan Konsumsi Energi dengan Standar Efisiensi Energi

a. Analisis Data dari Grafik

Grafik di atas menunjukkan perbandingan konsumsi energi aktual dalam industri makanan dan minuman dengan standar efisiensi energi internasional (EC, 2019; I.S.O., n.d.).

Tabel 8. Perbandingan Data EnPI Lapangan dengan EnPI Standar Internasional

Industri	Konsumsi Aktual (kWh/ton)	Standar Internasional (kWh/ton)	Selisih (%)
Minuman	42 kWh/ton	35 kWh/ton	+20%
Susu	45 kWh/ton	30 kWh/ton	+33%
Roti	38 kWh/ton	25 kWh/ton	+34%

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa: industri minuman mengonsumsi 20% lebih banyak energi dibanding standar. Sedangkan Industri Susu dan Roti memiliki konsumsi energi yang lebih tinggi, dengan kelebihan konsumsi masing-masing 33% dan 34% dibanding standar internasional.

b. Penyebab Inefisiensi Energi

Menurut penelitian dari (I.E.A., n.d.; Masanet et al., n.d.), beberapa faktor utama penyebab inefisiensi energi di industri makanan dan minuman meliputi:

1. Sistem Pemanas dan Boiler yang Tidak Optimal dikarenakan boiler pada industri susu memiliki efisiensi termal yang rendah, menyebabkan kehilangan panas hingga 15%.
2. Sistem Pendinginan dengan *Overconsumption*. Sistem pendinginan di industri minuman sering mengalami overuse listrik hingga 20% lebih tinggi dari standar (US, n.d.).
3. Teknologi Lama dan Kurangnya Automasi. Banyak perusahaan masih menggunakan peralatan lama yang konsumsi energinya lebih tinggi dibanding mesin modern berstandar Energy Star (I.S.O., n.d.).

c. Rekomendasi Peningkatan Efisiensi

Agar konsumsi energi industri makanan dan minuman dapat mendekati atau bahkan melampaui standar internasional, beberapa strategi yang bisa diterapkan:

1. Optimasi Sistem Boiler dan Pemanas Menggunakan *economizer* dan *heat recovery* untuk meningkatkan efisiensi energi hingga 10% (Bejan, 2016).
2. Modernisasi Sistem Pendinginan. Penggunaan inverter pada kompresor pendingin dapat menghemat energi hingga 20% (US, n.d.).
3. Automasi dan Penggantian Mesin Lama Mengadopsi teknologi hemat energi berbasis ISO 50001, yang dapat meningkatkan efisiensi energi hingga 30% (EC, 2019).

VII. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis efisiensi energi dalam industri makanan dan minuman didapatkan kesimpulan

1) Konsumsi Energi Masih Melebihi Standar Internasional. Industri makanan dan minuman di Indonesia mengonsumsi energi 20–34% lebih tinggi dibandingkan standar internasional. Penyebab utamanya adalah penggunaan teknologi yang lama, sistem pemanas dan pendingin yang tidak efisien, serta kurangnya otomatisasi dan pemantauan.

2) Faktor Penyebab Inefisiensi Energi

Lima faktor utama yang menyebabkan inefisiensi energi dalam industri makanan dan minuman: 1) sistem Pemanasan dan Boiler yang Tidak Optimal → Efisiensi termal masih rendah dengan kehilangan panas hingga **15%**. 2) **sistem Pendinginan yang Konsumsi Berlebih** → Konsumsi listrik 20% lebih tinggi dari standar akibat perlindungan pengaturan otomatis. 3) mesin Produksi yang Usang → Mesin lama membutuhkan 30% lebih banyak energi dibandingkan mesin modern. 4) minimnya Automasi dan Pemantauan Energi → Tanpa sistem digital, terjadi pemborosan energi 10–20% per tahun. 1) kurangnya Kesadaran dan Manajemen Energi → Industri masih kurang menerapkan kebijakan efisiensi energi secara sistematis.

3) Rekomendasi Peningkatan Efisiensi Energi

Agar konsumsi energi industri makanan dan minuman dapat mendekati standar internasional, beberapa strategi utama yang direkomendasikan: 1) optimasi Sistem Boiler dan Pemanas → Menggunakan economizer dan heat recovery 10%. 2) modernisasi Sistem Pendinginan → Penggunaan inverter pada kompresor dapat menghemat energi hingga 20%. 3) otomatisasi dan Digitalisasi Pemantauan Energi → Implementasi sensor dan sistem kontrol berbasis AI dapat mengurangi konsumsi energi hingga 15%. 4) **penggunaan Peralatan Berstandar Energy Star** → **Peningkatan efisiensi hingga 30%** dibandingkan mesin lama. 5) **peningkatan Kesadaran dan Pelatihan Manajemen Energi** → **Potensi penghematan 10–20%** jika manajemen energi diterapkan dengan baik.

Implikasi dan Saran untuk Penelitian Selanjutnya
Implikasi Industri: memerlukan penerapan regulasi dan insentif yang lebih ketat dari pemerintah untuk mendorong efisiensi energi dalam industri makanan dan minuman.

DAFTAR PUSTAKA

Adi, A. F. (2023). Strategic Financial Management: Understanding the Dynamics of Financial Strategy, Performance and Investment Decisions. *Atestasi : Jurnal Ilmiah Akuntansi*, 6(1), 420–434.

- <https://doi.org/10.57178/atestasi.v6i1.839>
- Bejan, A. (2016). Advanced Engineering Thermodynamics. In *Advanced Engineering Thermodynamics*. <https://doi.org/10.1002/9781119245964>
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). Thermodynamics: An Engineering Approach 9th Edition (SI Uni. In *McGraw-Hill*.
- Creswell, J. W., & David Creswell, J. (2018). Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53.
- Dincer, I., & Rosen, M. A. (2020). Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development. In *Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824372-5.09986-3>
- EC. (2019). Best Available Techniques (BAT) Reference Document on Food, Drink and Milk Industries. In *European Commission, EUR 29978 EN*.
- G.A.P.M.M.I. (n.d.). *Laporan Tahunan Industri Makanan dan Minuman Indonesia*. Gabungan Pengusaha Makanan dan Minuman Indonesia.
- Hasanbeigi, A. (n.d.). *Energy Efficiency in the Cement Industry*.
- I.E.A. (n.d.). *Energy Efficiency 2019 Report*. International Energy Agency.
- I.S.O. (n.d.). *ISO 50001: Energy Management Systems – Requirements with Guidance for Use*. International Organization for Standardization.
- IEA. (2021). Energy Efficiency Market Report. *Iea*. International Energy Agency. (2022). International Energy Agency (IEA) World Energy Outlook 2022. *International Information Administration*.
- Kementerian, E. S. D. M. (n.d.). *Laporan Efisiensi Energi di Sektor Industri*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Masanet, E., Worrell, E., Graus, W., & Galitsky, C. (n.d.). *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Food and Beverage Industry*. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (n.d.). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. John Wiley & Sons.
- Patton, M. Q. (n.d.). *Qualitative Research & Evaluation Methods*. SAGE Publications.
- Roosa, S. A., Doty, S., & Turner, W. C. (2020). Energy Management Handbook. In *Energy Management Handbook*. <https://doi.org/10.1201/9781003151364>
- Sugiyono. (n.d.). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- US, E. P. A. (n.d.). *Energy Star Guidelines for Energy Management in the Food Industry*. Environmental Protection Agency.

Zhang, Y. (n.d.). Waste Heat Recovery Technologies in Manufacturing Industries: A Review. *Journal of Cleaner Production*.