

Pengembangan Sistem Manajemen Energi Listrik Untuk Industri Operasional Boiler

Harris Pane¹, Syafriwel²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tjut Nyak Dhien

E-mail: harrispane15@gmail.com, syafriwel.lp3i@gmail.com

Korespondensi : aidilalfarizi1101@gmail.com

Abstrak

Industri boiler peralatan penting dalam sektor-sektor industri besar, seperti pembangkit energi, manufaktur, dan pengolahan kimia, dengan fungsinya yang vital dalam menghasilkan uap yang digunakan dalam berbagai proses industri. Mengembangkan sistem manajemen energi listrik untuk industri boiler yang menghitung konsumsi energi listrik secara akurat dan efisien. Mengidentifikasi parameter yang mempengaruhi efisiensi energi listrik pada sistem operasional boiler. Menyusun rekomendasi berbasis data untuk penghematan energi listrik yang dapat diterapkan pada operasional Boiler. Pengaruh sistem otomatisasi dalam operasional manajemen energi listrik Boiler sangat signifikan, karena memberikan pengendalian yang presisi, efisiensi tinggi, dan penghematan energi yang benar-benar nyata. Sistem ini terintegrasi dalam bentuk energi manajemen sistem atau EMS yang bekerja bersama kontrol otomatis pada boiler. Pengembangan sistem manajemen energi listrik dalam industri yang mengoperasikan Boiler memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi energi, kestabilan operasi, dan penghematan biaya operasional. Melalui integrasi kontrol otomatis berbasis sensor, pengaturan distribusi listrik dan beban Boiler dapat dilakukan secara real-time dan responsif terhadap perubahan kebutuhan proses.

Kata Kunci : Manajemen Energi, Industri, Boiler, EMS, Efisiensi

Abstract

The boiler industry plays an important role in major industrial sectors, such as power generation, manufacturing, and chemical processing, with its vital function in producing steam used in various industrial processes. Developing an electrical energy management system for the boiler industry that calculates electrical energy consumption accurately and efficiently. Identifying key parameters that affect electrical energy efficiency in the Boiler operational system. Developing data-based recommendations for electrical energy savings that can be applied to Boiler operations. The influence of automation systems in boiler electrical energy management operations is very significant, because it provides precise control, high efficiency, and real energy savings. This system is integrated in the form of an energy management system or EMS that works together with automatic control in the Boiler. The development of an electrical energy management system in the industry that operates Boilers has a significant impact on energy efficiency, operational stability, and operational cost savings. Through the integration of sensor-based automatic control, electricity distribution and Boiler load settings can be done in real-time and responsive to changes in process needs.

Keywords : Energy Management, Industry, Boiler, EMS, Efficiency

1. PENDAHULUAN

Industri boiler memainkan peran penting dalam sektor-sektor industri besar, seperti pembangkit energi, manufaktur, dan pengolahan kimia, dengan fungsinya yang vital dalam menghasilkan uap yang digunakan dalam berbagai proses industri. Salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh industri ini adalah konsumsi energi listrik yang tinggi pada operasional

boiler, seperti pada motor penggerak pompa, kipas, serta sistem kontrol otomatis lainnya. Ketidakefektifan dalam penggunaan energi listrik dapat menyebabkan pemborosan energi yang berdampak pada peningkatan biaya operasional serta dampak negatif terhadap lingkungan.

Dengan meningkatnya kesadaran terhadap efisiensi energi dan pengurangan biaya, pengembangan sistem manajemen energi listrik untuk industri boiler menjadi langkah yang sangat penting. Sistem ini akan berfungsi untuk memantau, menganalisis, dan mengoptimalkan konsumsi energi listrik dalam operasional boiler secara lebih efisien. Hal ini diharapkan tidak hanya akan mengurangi pemborosan energi, tetapi juga memberikan rekomendasi untuk penghematan energi yang dapat berdampak pada penurunan biaya dan keberlanjutan operasional industri. Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan di atas, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut: Bagaimana cara merancang dan mengembangkan sistem manajemen energi listrik yang dapat memantau konsumsi energi listrik secara real-time pada operasional boiler, Parameter-parameter apa saja yang perlu diukur untuk menganalisis kinerja energi listrik dalam sistem operasional boiler dan Apa saja strategi penghematan energi listrik yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi operasional sistem boiler

Maksud dan tujuan penelitian ini dibuat ialah mengembangkan sistem manajemen energi listrik untuk industri boiler yang menghitung konsumsi energi listrik secara akurat dan efisien, mengidentifikasi parameter kunci yang mempengaruhi efisiensi energi listrik pada sistem operasional boiler dan menyusun rekomendasi berbasis data untuk penghematan energi listrik yang dapat diterapkan pada operasional boiler.

2. METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di pabrik perancangan boiler dan di laboratorium rangkaian listrik, laboratorium sistem kontrol dan laboratorium mesin listrik Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Tjut Nyak Dhien Medan. Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Februari 2025 sampai dengan bulan Juli 2025

Prosedur Penelitian

Penelitian ini berlangsung dari bulan Februari 2025 sampai dengan bulan Juli 2025 di pabrik perancangan boiler dan di laboratorium rangkaian listrik, laboratorium sistem kontrol dan laboratorium mesin listrik Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Tjut Nyak Dhien Medan. Data-data yang telah diperoleh kemudian diolah dan digambarkan sesuai dengan kebutuhan dalam rumusan masalah. Adapun data yang digunakan pada penelitian ini meliputi :

1. Data pengukuran dari tegangan pada sistem kontrol peralatan.
2. Data hasil pengecekan gangguan saat operasional boiler dan nilai pengukuran
3. Data peralatan dan kelengkapan yang tersedia pada boiler untuk penelitian

Dalam melakukan penelitian, analisa berdasarkan Blok Diagram. Blok diagram merupakan salah satu cara yang paling sederhana untuk menjelaskan untuk pengambilan data saat terjadi gangguan dari suatu sistem untuk melokalisasi kesalahan dari suatu sistem.

Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini dilakukan beberapa metode dalam melakukan pengumpulan data antara lain :

1) Studi literature

Penulis melakukan studi literature dari berbagai sumber buku, sumber jurnal terbaru, dan halaman *web*. Dalam melakukan analisa mengumpulkan buku referensi dari perkuliahan atau dari materi training dan pelatihan tentang peralatan yang berkaitan dengan boiler di laboratorium dan sistem penangkal peralatan yang digunakan oleh laboratorium. Sebagai

tambahan saya juga mencari referensi yang berasal dari internet berasal dari jurnal nasional dan internasional sebagai penunjang yang berhubungan dengan penelitian.

2) Metode observasi

Melakukan peninjauan langsung pada lokasi pengumpulan data dengan cara observasi ke tempat lokasi penelitian dengan pengambilan foto dokumentasi dan pengambilan data hasil pengukuran.

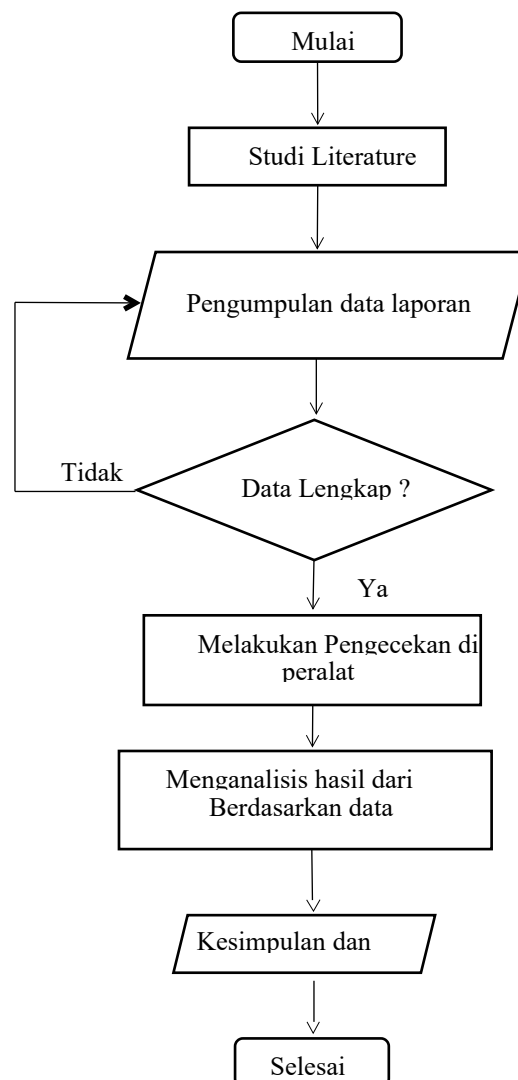
3) Metode wawancara

Melakukan interview kepada pihak teknisi boiler yang mengerti tentang berkaitan judul diatas, Wawancara ini bertujuan untuk menambah pengetahuan sumber referensi lebih jauh mengenai dampak peralatan terhadap sistem lainnya dan memperjelas data-data yang diperoleh saat observasi.

Metodologi

Diagram alir metodologi yang dilakukan dalam pemecahan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

Berikut gambar diagram alur penelitian ini sebagai berikut.



Gambar 1 Diagram alur penelitian
Sumber: Penulis

Analisis Data

Analisis data dan penyelesaian masalah yang digunakan dalam skripsi ini yaitu dengan menggunakan data yang diperoleh dari tahap observasi yang diolah sebagai bahan analisa penelitian sebagai berikut :

1. Melakukan analisis terhadap data yang terkumpul untuk mengidentifikasi pola penggunaan energi listrik.
2. Menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi penggunaan energi listrik.
3. Mengembangkan model atau simulasi untuk memprediksi kinerja sistem.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Pengukuran Konsumsi Energi Listrik Boiler

Boiler adalah Bejana bertekanan yang tertutup berfungsi untuk mengubah air menjadi uap air (*steam*). Boiler yang diteliti memiliki data utama sistem boiler sebagai berikut seperti tercantu pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Data Utama Sistem Boiler

No	Data Boiler	Jenis
1	Jenis Boiler	Boiler Uap
2	Kapasitas Boiler	30.000 kg/jam
3	Efesiensi Boiler	73 %
4	Bahan Bakar	Fiber dan Cangkang Sawit
5	Jam Operasi	8 jam perhari , 22 hari kerja per bulan
6	Peralatan yang digunakan	Pompa air umpan nomor 1 dan Pompa air umpan nomor 2, Blower IDF, Blower 1st <i>Forced Draft Fan</i> (FDF), Blower 2nd <i>Forced Draft Fan</i> (FDF), <i>Double Damper</i> nomor 1, <i>Double Damper</i> 2, Pendulum, <i>Draft Kontrol</i> , Kompresor, Pompa Sirkulasi untuk Frame penahan castable pada pintu, sistem kontrol otomatis, sistem pipa dan valve otomatis



Gambar 2 Boiler Uap

Pompa air umpan adalah komponen yang digerakkan motor listrik yang berfungsi untuk mengisi air kedalam Boiler.



Gambar 3. Pompa Air Umpan pada Boiler

Kipas udara pembakaran (*Blower Forced Draft Fan - FD Fan*) pada boiler adalah salah satu komponen penting dalam sistem pembakaran. Kipas ini berfungsi untuk memasok udara (oksigen) ke ruang bakar (*furnace*) agar proses pembakaran bahan bakar dapat berjalan efisien dan optimal.



Gambar 4. *Blower 1st Forced Draft Fan*



Gambar 5. *Blower 2nd Forced Draft Fan*

komponen penting dalam sistem pembakaran yang berfungsi menghisap gas buang hasil pembakaran dari dalam Boiler dan mendorong keluar melalui cerobong asap (*Chimney*).



Gambar 6 *Blower Induced Draft Fan*

Double Damper pada boiler adalah komponen pemisah abu dari *Hopper* pengumpul abu dari udara luar sambil membiarkan abu yang terkumpul keluar dari *hopper* pengumpul.



Gambar 7. *Double Damper*

Pendulum adalah komponen yang berfungsi untuk membagi bahan bakar kedalam ruang dapur Boiler secara merata.



Gambar 8. Pendulum

Draft Control adalah komponen yang berfungsi untuk mengatur aliran udara didalam Boiler sehingga proses pembakaran dapat berjalan optimal dan efisien.



Gambar 9. *Draft Control*

Kompresor adalah komponen yang berfungsi menghisap udara lingkungan untuk dimampatkan atau meningkatkan tekanan udara, yang dimana udara tersebut digunakan untuk keperluan Aktuator system Kontrol peralatan Boiler.



Gambar 10. Kompresor

Pompa Sirkulasi untuk *Frame Penahan Castable* adalah Komponen yang berfungsi mengalirkan air dingin ke *Frame Water Cooling* agar Frame tersebut tidak mengalami panas berlebih yang dapat menyebabkan kerusakan.



Gambar 11. Pompa Sirkulasi untuk *Frame Penahan Castable*

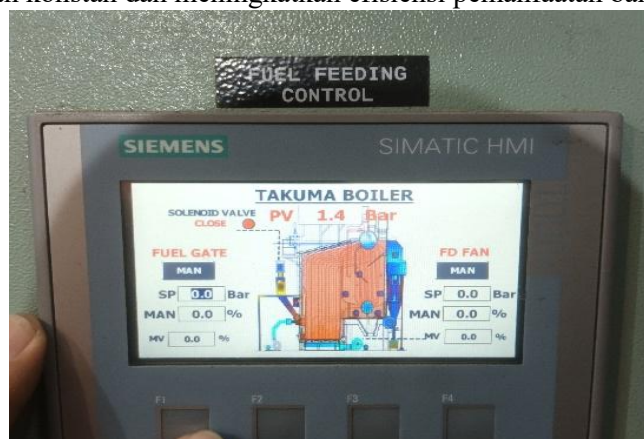
Sistem kontrol air otomatis pada boiler berfungsi untuk mengontrol level air dalam drum boiler. Menjaga agar level air tidak terlalu rendah (menghindari overheating) dan tidak

terlalu tinggi (menghindari *carryover*). Menggunakan sensor level dan kontroler serta *aktuator valve*.



Gambar 12. *Aktuator Valve*

Sistem kontrol *fuel feeding* berfungsi menyesuaikan pembukaan Aktuator untuk mempertahankan tekanan konstan dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan bahan bakar.



Gambar 13. Otomatis Pemasukan Bahan Bakar

1. Daya listrik yang dibutuhkan peralatan boiler

Adapun rincian spesifikasi penggunaan energi listrik yang terpasang pada peralatan Boiler sebagai berikut seperti tercantum pada tabel 2 berikut:

Tabel 2 Data Motor Listrik yang terpasang

No	Peralatan yang terpasang	Tegangan listrik (V)	Cos ϕ	Daya Motor Listrik (kW)	Range Arus (A)
1	Pompa air umpan nomor 1	400	0,95	55	91,3 - 99,7
2	Pompa air umpan nomor 2	400	0,95	55	91,3 - 99,7
3	<i>Blower IDF</i>	400	0,95	132	227 – 247
4	<i>Blower 1st FDF</i>	400	0,95	22	40,5 – 44,3
5	<i>Blower 2nd FDF</i>	400	0,95	18,5	31,3 – 34,2
6	<i>Double Damper nomor 1</i>	400	0,95	0,37	1,9
7	<i>Double Damper nomor 2</i>	400	0,95	0,37	1,9

8	Pendulum	400	0,95	0,75	3,25 – 3,54
9	<i>Draft Control</i>	400	0,95	0,4	1,1
10	Kompressor	400	0,95	1,45	3
11	Pompa sirkulasi untuk Frame penahan castable pada pintu	400	0,95	3	4,0
12	Sistem Control	400	0,95		4

Sebelum dilakukan manajemen energi listrik dilakukan pengukuran Arus listrik untuk keperluan operasional Boiler selama 1 jam dengan rincian sebagai berikut :

Kebutuhan motor listrik pada Pompa Air nomor 1 sebesar 30,8 A, Pompa Air nomor 2 operasional 29 A, *Blower 1st FDF* operasional 11 A, *Blower 2nd FDF* operasional 11 A, *Blower IDF* operasional 196 A, *Double Damper* nomor 1 operasional 1 A, *Double Damper 2* operasional 1 A, Pendulum Operasional 1 A, *Draft Control* operasional 1 A, Kompressor operasional 3,7 A, Pompa untuk sirkulasi air Frame Penahan Castable pintu 3 A, Sistem kontrol elektronik 2 A.

Pengukuran Daya Listrik dalam Sistem Pembakaran dan Pompa

a. Pompa Air Umpan nomor 1

Pompa ini digunakan untuk memasok air umpan ke boiler. Misalkan pompa beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:

Energi yang Digunakan oleh Pompa selama 1 jam:

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 30,8 \text{ A} \times 0,95$$

$$\text{Daya} = 20.271 \text{ Watt} = 20,271 \text{ kWh}$$

$$\text{Daya selama 1 Hari} = 20,271 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 162,175 \text{ kWh}$$

Energi selama 1 Bulan (untuk 22 hari kerja):

$$\text{Energi selama 1 Bulan} = 162,175 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 3.567,858 \text{ kWh}$$

b. Pompa Air Umpan nomor 2

Pompa ini digunakan untuk memasok air umpan ke boiler. Misalkan pompa beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:

Energi yang Digunakan oleh Pompa selama 1 jam:

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 29 \text{ A} \times 0,95$$

$$\text{Daya} = 19.087 \text{ Watt} = 19,087 \text{ kWh}$$

$$\text{Energi selama 1 Hari} = 19,087 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 152,697 \text{ kWh}$$

Energi selama 1 Bulan (untuk 22 hari kerja):

$$\text{Energi selama 1 Bulan} = 152,697 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 3.359 \text{ kWh}$$

c. *Blower 1st Force Draft Fan*

Blower ini digunakan untuk memasok udara ke boiler. Misalkan *1st Force Draft Fan* beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:

Energi yang Digunakan oleh *Fan* selama 1 jam:

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 11 \text{ A} \times 0,95$$

$$\text{Daya} = 7.239 \text{ Watt} = 7,239 \text{ kWh}$$

$$\text{Energi selama 1 Hari} = 7,239 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 57,919 \text{ kWh}$$

Energi selama 1 Bulan (untuk 22 hari kerja):

$$\text{Energi selama 1 Bulan} = 57,919 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 1.274 \text{ kWh}$$

d. *Blower 2nd Force Draft Fan*

Blower ini digunakan untuk memasok udara ke boiler. Misalkan *2nd Force Draft Fan* beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:

Energi yang Digunakan oleh *Fan* selama 1 Jam:

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

- $Daya = \sqrt{3} \times 400 V \times 11 A \times 0,95$
 $Daya = 7.239 \text{ Watt} = 7,239 \text{ kWh}$
Energi selama 1 Hari = $7,239 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 57,919 \text{ kWh}$
Energi selama 1 Bulan (untuk 22 hari kerja):
Energi selama 1 Bulan = $57,919 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 1.274 \text{ kWh}$
- e. *Blower Induced Draft Fan*
Blower ini digunakan untuk menghisap udara dari boiler ke gas buang. Misalkan *Induced Draft Fan* beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:
Energi yang Digunakan oleh *Fan* selama 1 jam:
 $Daya = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi$
 $Daya = \sqrt{3} \times 400 V \times 196 A \times 0,95$
 $Daya = 129.003 \text{ Watt} = 129,003 \text{ kWh}$
Energi selama 1 Hari = $129,003 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 1.032 \text{ kWh}$
Energi selama 1 Bulan (untuk 22 hari kerja):
Energi selama 1 Bulan = $1.032 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 22.704,553 \text{ kWh}$
- f. *Double Damper* nomor 1
Peralatan ini digunakan untuk memisahkan abu sisa pembakaran didalam boiler. Misalkan *Double Damper* nomor 1 beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:
Energi yang Digunakan oleh *Double Damper* nomor 1 selama 1 jam:
 $Daya = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi$
 $Daya = \sqrt{3} \times 400 V \times 1 A \times 0,95$
 $Daya = 658,179 \text{ Watt} = 0,658 \text{ kWh}$
Energi selama 1 Hari = $0,658 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 5,265 \text{ kWh}$
Energi selama 1 Bulan (untuk 22 hari kerja):
Energi selama 1 Bulan = $5,265 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 115,839 \text{ kWh}$
- g. *Double Damper* nomor 2
Peralatan ini digunakan untuk memisahkan abu sisa pembakaran didalam boiler. Misalkan *Double Damper* nomor 2 beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:
Energi yang Digunakan oleh *Double Damper* nomor 2 selama 1 jam:
 $Daya = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi$
 $Daya = \sqrt{3} \times 400 V \times 1 A \times 0,95$
 $Daya = 658,179 \text{ Watt} = 0,658 \text{ kWh}$
Energi selama 1 hari = $0,658 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 5,265 \text{ kWh}$
Energi selama 1 Bulan (untuk 22 hari kerja):
Energi selama 1 Bulan = $5,265 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 115,839 \text{ kWh}$
- h. *Pendulum*
Peralatan ini digunakan untuk pembagi bahan bakar di boiler. Misalkan *Pendulum* beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:
Energi yang Digunakan oleh *pendulum* selama 1 jam:
 $Daya = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi$
 $Daya = \sqrt{3} \times 400 V \times 1 A \times 0,95$
 $Daya = 658,179 \text{ Watt} = 0,658 \text{ kWh}$
Energi selama 1 hari = $0,658 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 5,265 \text{ kWh}$
Energi selama 1 Bulan (untuk 22 hari kerja):
Energi selama 1 Bulan = $5,265 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 115,839 \text{ kWh}$
- i. *Draft Control*
Peralatan ini digunakan untuk mengatur aliran udara di boiler. Misalkan *Draft Control* beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:
Energi yang Digunakan oleh *Draft Kontrol* selama 1 jam:

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi \\ \text{Daya} &= \sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 1 \text{ A} \times 0,95 \\ \text{Daya} &= 658,179 \text{ Watt} = 0,658 \text{ kWh} \\ \text{Energi selama 1 Hari} &= 0,658 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 5,265 \text{ kWh} \\ \text{Energi selama 1 Bulan (untuk 22 hari kerja):} & \\ \text{Energi selama 1 Bulan} &= 5,265 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 115,839 \text{ kWh} \end{aligned}$$

j. Kompresor

Peralatan ini digunakan untuk keperluan angin aktuator di boiler. Misalkan Kompresor beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:

Energi yang Digunakan oleh Kompresor 1 jam:

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi \\ \text{Daya} &= \sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 3,7 \text{ A} \times 0,95 \\ \text{Daya} &= 2.435 \text{ Watt} = 2,435 \text{ kWh} \\ \text{Energi selama 1 Hari} &= 2,435 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 19,482 \text{ kWh} \\ \text{Energi selama 1 Bulan (untuk 22 hari kerja):} & \\ \text{Energi selama 1 Bulan} &= 19,482 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 428,606 \text{ kWh} \end{aligned}$$

k. Pompa sirkulasi

Peralatan ini digunakan untuk menjaga panas pada frame agar tidak *Overheating*. Misalkan Pompa sirkulasi air Frame Pintu beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:

Energi yang Digunakan oleh Pompa Sirkulasi selama 1 jam:

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi \\ \text{Daya} &= \sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 3 \text{ A} \times 0,95 \\ \text{Daya} &= 1.974 \text{ Watt} = 1,974 \text{ kWh} \\ \text{Energi selama 1 Hari} &= 1,316 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 15,796 \text{ kWh} \\ \text{Energi selama 1 Bulan (untuk 22 hari kerja):} & \\ \text{Energi selama 1 Bulan} &= 15,796 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 347,518 \text{ kWh} \end{aligned}$$

l. Sistem Kontrol

Peralatan ini digunakan untuk memonitoring dan mengontrol peralatan sistem kontrol yang terpasang di Boiler. Misalkan Sistem Kontrol beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:

Energi yang Digunakan oleh Sistem Kontrol selama 1 jam :

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi \\ \text{Daya} &= \sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 2 \text{ A} \times 0,95 \\ \text{Daya} &= 1.316 \text{ Watt} = 1,316 \text{ kWh} \\ \text{Energi selama 1 Hari} &= 1,316 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 10,53 \text{ kWh} \\ \text{Energi selama 1 Bulan (untuk 22 hari kerja):} & \\ \text{Energi selama 1 Bulan} &= 10,53 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 231,679 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Tabel 3. Data Pengukuran Konsumsi Listrik sebelum manajemen

No	Peralatan	Daya (kW)	Konsumsi Energi per Hari kWh	Konsumsi Energi per Bulan kWh
1	Pompa air umpan nomor 1	20,271	162,175	3.567,858
2	Pompa air umpan nomor 2	19,087	152,697	3.359

3	<i>Blower 1 st Forced Draft Fan</i>	7,239	57,919	1.274
4	<i>Blower 2nd Forced Draft Fan</i>	7,239	57,919	1.274
5	<i>Induced Draft Fan</i>	129,003	1.032	22.704,553
6	<i>Double Damper nomor 1</i>	0,658	5,265	115,839
7	<i>Double Damper nomor 2</i>	0,658	5,265	115,839
8	<i>Pendulum</i>	0,658	5,265	115,839
9	<i>Draft Control</i>	0,658	5,265	115,839
10	Kompresor	2,435	19,482	428,606
11	Pompa sirkulasi air untuk frame penahan castable	1,974	15,796	347,518
12	Sistem Kontrol	1,316	10,53	231,679
Total Konsumsi Eneergi listrik		191,196	1.529,578	33.650,57

Evaluasi Efisiensi dan Penghematan Energi

Efisiensi kebutuhan listrik boiler meningkat dengan adanya perbaikan dalam kontrol dan pemeliharaan sistem. Dalam hal ini, akan di ukur konsumsi energi untuk menghasilkan uap. Setelah dilakukan manajemen energi listrik dilakukan pengukuran Arus listrik untuk keperluan operasional Boiler selama 1 jam dengan rincian sebagai berikut :

Kebutuhan motor listrik pada Pompa Air nomor 1 sebesar 28,8 A, Pompa Air nomor 2 operasional 26,6 A, *Blower 1st FDF* operasional 10 A, *Blower 2nd FDF* operasional 10 A, *Blower IDF* operasional 191 A, *Double Damper* nomor 1 operasional 1 A, *Double Damper* nomor 2 operasional 1 A, Pendulum Operasional 1 A, *Draft Control* operasional 1 A, Kompresor operasional 3,7 A, Pompa untuk sirkulasi air Frame Penahan Castable pintu 3 A, Sistem kontrol elektronik 2 A.

a. Pompa Air Umpan nomor 1

Pompa ini digunakan untuk memasok air umpan ke boiler. Misalkan pompa beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:

Energi yang Digunakan oleh Pompa selama 1 jam:

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi$$

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 28,8 \text{ A} \times 0,95$$

$$\text{Daya} = 18.955 \text{ Watt} = 18,955 \text{ kWh}$$

$$\text{Energi selama 1 Hari} = 18,955 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 151,644 \text{ kWh}$$

Energi selama 1 Bulan (untuk 22 hari kerja):

$$\text{Energi selama 1 Bulan} = 151,644 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 3.336,179 \text{ kWh}$$

b. Pompa Air Umpan nomor 2

Pompa ini digunakan untuk memasok air umpan ke boiler. Misalkan pompa beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:

Energi yang Digunakan oleh Pompa selama 1 jam:

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi$$

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 26,6 \text{ A} \times 0,95$$

$$\text{Daya} = 17.507 \text{ Watt} = 17,507 \text{ kWh}$$

$$\text{Energi selama 1 Hari} = 17,507 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 140,060 \text{ kWh}$$

Energi selama 1 Bulan (untuk 22 hari kerja):

$$\text{Energi selama 1 Bulan} = 140,060 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 3.081,332 \text{ kWh}$$

c. *Blower 1 st Force Draft Fan*

Blower ini digunakan untuk memasok udara ke boiler. Misalkan *1 st Force Draft Fan* beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:

Energi yang Digunakan oleh *Fan* selama 1 jam:

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi$$

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 10 \text{ A} \times 0,95$$

$$\text{Daya} = 6.581 \text{ Watt} = 6,581 \text{ kWh}$$

- Energi selama 1 Hari = $6,581 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 52,654 \text{ kWh}$
Energi selama 1 Bulan (untuk 22 hari kerja):
Energi selama 1 Bulan = $52,654 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 1.158 \text{ kWh}$
- d. *Blower 2nd Force Draft Fan*
Blower ini digunakan untuk memasuk udara ke boiler. Misalkan *2nd Force Draft Fan* beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:
Energi yang Digunakan oleh *Fan* per Hari:
Daya = $\sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi$
Daya = $\sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 10 \text{ A} \times 0,95$
Daya = $6.581 \text{ Watt} = 6,581 \text{ kWh}$
Energi selama 1 hari = $6,581 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 52,654 \text{ kWh}$
Energi selama 1 bulan (untuk 22 hari kerja):
Energi selama 1 bulan = $52,654 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 1.158 \text{ kWh}$
- e. *Blower Induced Draft Fan*
Blower ini digunakan untuk menghisap udara dari boiler ke gas buang. Misalkan *Induced Draft Fan* beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:
Energi yang Digunakan oleh *Fan* selama 1 jam :
Daya = $\sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi$
Daya = $\sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 191 \text{ A} \times 0,95$
Daya = $125.712 \text{ Watt} = 125,712 \text{ kWh}$
Energi selama 1 hari = $125,712 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 1.005,697 \text{ kWh}$
Energi selama 1 bulan (untuk 22 hari kerja):
Energi selama 1 bulan = $1.005,697 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 22.125,355 \text{ kWh}$
- f. *Double Damper nomor 1*
Peralatan ini digunakan untuk memisahkan abu sisa pembakaran didalam boiler. Misalkan *Double Damper nomor 1* beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:
Energi yang Digunakan oleh *Double Damper nomor 1* jam :
Daya = $\sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi$
Daya = $\sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 1 \text{ A} \times 0,95$
Daya = $658,179 \text{ Watt} = 0,658 \text{ kWh}$
Energi selama 1 hari = $0,658 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 5,265 \text{ kWh}$
Energi selama 1 bulan (untuk 22 hari kerja):
Energi selama 1 bulan = $5,265 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 115,839 \text{ kWh}$
- g. *Double Damper nomor 2*
Peralatan ini digunakan untuk memisahkan abu sisa pembakaran didalam boiler. Misalkan *Double Damper nomor 2* beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:
Energi yang Digunakan oleh *Double Damper nomor 2* selama 1 jam :
Daya = $\sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi$
Daya = $\sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 1 \text{ A} \times 0,95$
Daya = $658,179 \text{ Watt} = 0,658 \text{ kWh}$
Energi selama 1 hari = $0,658 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 5,265 \text{ kWh}$
Energi selama 1 bulan (untuk 22 hari kerja):
Energi selama 1 bulan = $5,265 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 115,839 \text{ kWh}$
- h. *Pendulum*
Peralatan ini digunakan untuk pembagi bahan bakar di boiler. Misalkan *Pendulum* beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:
Energi yang Digunakan oleh *pendulum* selama 1 jam :
Daya = $\sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi$
Daya = $\sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 1 \text{ A} \times 0,95$

Daya = 658,179 Watt = 0,658 kWh
 Energi selama 1 hari = 0,658 kW×8 jam = 5,265 kWh
 Energi selama 1 bulan (untuk 22 hari kerja):
 Energi selama 1 bulan=5,265 kWh×22 hari=115,839 kWh

i. *Draft Control*

Peralatan ini digunakan untuk mengatur aliran udara di boiler. Misalkan *Draft Control* beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:

Energi yang Digunakan oleh *Draft Control* selama 1 jam :

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi$$

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 1 \text{ A} \times 0,95$$

$$\text{Daya} = 658,179 \text{ Watt} = 0,658 \text{ kWh}$$

$$\text{Energi selama 1 hari} = 0,658 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 5,265 \text{ kWh}$$

Energi selama 1 bulan (untuk 22 hari kerja):

$$\text{Energi selama 1 bulan} = 5,265 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 115,839 \text{ kWh}$$

j. Kompresor

Peralatan ini digunakan untuk keperluan angin aktuator di boiler. Misalkan Kompresor beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:

Energi yang Digunakan oleh Kompresor selama 1 jam :

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi$$

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 3,7 \text{ A} \times 0,95$$

$$\text{Daya} = 2.435 \text{ Watt} = 2,435 \text{ kWh}$$

$$\text{Energi selama 1 hari} = 2,435 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 19,482 \text{ kWh}$$

Energi selama 1 bulan (untuk 22 hari kerja):

$$\text{Energi selama 1 bulan} = 19,482 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 428,606 \text{ kWh}$$

k. Pompa sirkulasi

Peralatan ini digunakan untuk menjaga panas pada frame agar tidak *Overheating*. Misalkan Pompa sirkulasi air Frame Pintu beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:

Energi yang Digunakan oleh Pompa Sirkulasi per Hari:

$$\text{Daya per jam} = \sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 3 \text{ A} \times 0,95 \times 1 \text{ jam}$$

$$\text{Daya per jam} = 1.974 \text{ Watt} = 1,974 \text{ kW}$$

$$\text{Energi per Hari} = 1,316 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 15,796 \text{ kWh}$$

Energi per Bulan (untuk 22 hari kerja):

$$\text{Energi per Bulan} = 15,796 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 347,518 \text{ kWh}$$

l. Sistem Kontrol

Peralatan ini digunakan untuk memonitoring dan mengontrol peralatan sistem kontrol yang terpasang di Boiler. Misalkan Sistem Kontrol beroperasi secara kontinu selama 1 jam operasi boiler:

Energi yang Digunakan oleh Sistem Kontrol selama 1 jam :

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Cos } \varphi$$

$$\text{Daya} = \sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 2 \text{ A} \times 0,95$$

$$\text{Daya} = 1.316 \text{ Watt} = 1,316 \text{ kWh}$$

$$\text{Energi selama 1 hari} = 1,316 \text{ kW} \times 8 \text{ jam} = 10,53 \text{ kWh}$$

Energi selama 1 bulan (untuk 22 hari kerja):

$$\text{Energi selama 1 bulan} = 10,53 \text{ kWh} \times 22 \text{ hari} = 231,679 \text{ kWh}$$

Tabel 4. Data Pengukuran Konsumsi Listrik setelah Manajemen

No	Peralatan	Daya (kW)	Konsumsi Energi per Hari kWh	Konsumsi Energi per Bulan kWh
1	Pompa air umpan nomor 1	18,955	151,644	3.336,179
2	Pompa air umpan nomor 2	17,507	140,060	3.081,332

3	<i>Blower 1 st Forced Draft Fan</i>	6,581	52,654	1.158
4	<i>Blower 2nd Forced Draft Fan</i>	6,581	52,654	1.158
5	<i>Induced Draft Fan</i>	125,712	1.005,697	22.125,355
6	<i>Double Damper nomor 1</i>	0,658	5,265	115,839
7	<i>Double Damper nomor 2</i>	0,658	5,265	115,839
8	<i>Pendulum</i>	0,658	5,265	115,839
9	<i>Draft Control</i>	0,658	5,265	115,839
10	<i>Kompresor</i>	2,435	19,482	428,606
11	<i>Pompa sirkulasi air untuk frame penahan castable</i>	1,974	15,796	347,518
12	<i>Sistem Kontrol</i>	1,316	10,53	231,679
Total Konsumsi Energi listrik		183,693	1.469,577	32.330,025

Penghematan Energi per Bulan:

Penghematan energi per jam = $(191,196 - 183,693) \text{ kW} = 7,503 \text{ kW}$

Penghematan energi per hari = $(1.529,578 - 1.469,577) \text{ kW} = 60,001 \text{ kW}$

Penghematan energi per bulan = $(33.650,57 - 32.330,025) \text{ kW} = 1.320,545 \text{ kW}$

Pengaruh Sistem Otomasi pada Operasional Boiler

Pengaruh sistem otomasi dalam operasional manajemen energi listrik boiler sangat signifikan, karena memberikan pengendalian yang presisi, efisiensi tinggi, dan penghematan energi yang benar-benar nyata. Sistem ini terintegrasi dalam bentuk energi manajemen sistem atau EMS yang bekerja bersama kontrol otomatis pada boiler.

Tabel 4, Efisiensi Energi dan Penghematan Biaya

No	Dampak Otomasi	Keterangan
1	Efisiensi termal naik	Karena kontrol presisi pada bahan bakar, udara, dan air
2	Konsumsi bahan bakar turun	Tidak ada pemborosan saat operasional atau fluktuasi beban
3	Pemeliharaan lebih jarang	Sistem mendeteksi potensi kerusakan lebih awal
4	Emisi meurun	Pembakaran optimal → CO, NOx, dan SOx lebih rendah
5	Return of investement ROI tinggi	Hemat energi = hemat biaya jangka Panjang

Sistem manajemen energi dan otomasi pada sistem boiler dapat membantu secara langsung dalam:

1. Mengatur energi secara efisien dan presisi.
2. Menjamin keamanan operasional boiler.
3. Mengurangi biaya energi dan emisi.
4. Meningkatkan kontrol penuh terhadap seluruh parameter penting boiler.

4. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan perolehan data pengukuran dan data lainnya yang di analisis maka dapat diambil suatu kesimpulan dari hasil data diatas yaitu:

1. Pengembangan sistem manajemen energi listrik dalam industri yang mengoperasikan boiler memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi energi, kestabilan operasi, dan penghematan biaya operasional. Melalui integrasi kontrol otomatis berbasis sensor, pengaturan distribusi listrik dan beban boiler dapat dilakukan secara real-time dan responsif terhadap perubahan kebutuhan proses.

2. Sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pembakaran dan menurunkan konsumsi energi listrik untuk komponen-komponen seperti pompa, kipas, dan sistem kontrol, tetapi juga mampu mengurangi emisi dan memperpanjang umur peralatan melalui operasi yang lebih stabil dan terkontrol. Selain itu, pemantauan data konsumsi energi secara terus-menerus memungkinkan identifikasi potensi pemborosan dan perbaikan berkelanjutan.
3. Pengembangan sistem manajemen energi listrik merupakan langkah strategis yang mendukung transisi industri menuju operasi yang lebih hemat energi, ramah lingkungan, dan berorientasi pada keberlanjutan

Saran

Untuk penghematan EMS yang stabil maka sebaiknya bisa ditambahkan sistem monitoring pada pengukuran dalam pengambilan data dalam pengembangan sistem efisiensi energi listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sun, S., & Wang, X. (2013). "Control Strategy for Fuel Feeding System of Biomass Boiler." *Energy Procedia*, 61, 2740-2743
- [2] Singh, R., & Sharma, S. (2020). *Energy Efficiency and Management in Industrial Boilers*. Energy Science Journal.
- [3] Patel, P., & Joshi, S. (2021). *Smart Energy Management for Industrial Boilers*. Journal of Renewable Energy Technologies.
- [4] Kato, Y., & Tanaka, H. (2019). *Optimization of Energy Use in Industrial Boiler Systems*. Energy Efficiency Review.
- [5] International Energy Agency. (2022). *Energy Management Systems in Industrial Boilers: Guidelines and Practices*.
- [6] Brown, M., & Smith, R. (2019). *Energy Management and Efficiency in Electric Boiler Systems*. Energy Science Journal.
- [7] Kumar, S., & Sharma, R. (2020). *Electricity Consumption Optimization in Industrial Boilers*. Journal of Renewable Energy.
- [8] Hasan, M., & Wijaya, S. (2021). *Energy Audit and Management in Industrial Boiler Systems*. International Journal of Energy Engineering.
- [9] International Energy Agency. (2022). *Electricity Efficiency in Industrial Boilers: A Practical Guide*.
- [10] Suryanto, A. (2023). Penerapan Teknologi Smart Grid untuk Efisiensi Energi. Yogyakarta: Deepublish.
- [11] Huda, N. (2020). Konservasi Energi dan Pembangkitan Ramah Lingkungan. Yogyakarta: Gava Media.
- [12] Pramana, A. (2021). Sistem Manajemen Energi Berbasis ISO 50001: Panduan Penerapan di Sektor Manufaktur. Bandung: Penerbit Andi.
- [13] Anies, M. (2022). Manajemen Energi Industri: Teori dan Aplikasi Praktis. Jakarta: Media Sains Indonesia.
- [14] Nursetyo, A., & Wijaya, H. (2021). Analisis Penerapan Sistem Manajemen Energi ISO 50001 sebagai Upaya Peningkatan Efisiensi Energi Listrik di PT. Semen Indah. *Jurnal Teknik Industri*, 15(1), 54-65
- [15] International Energy Agency. (2022). *Energy Efficiency 2022*. Paris: IEA Publications.
- [16] Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2021). "Energy Management in Industrial Systems." *IEEE Transactions on Industry Applications*, 57(3).
- [17] U.S. Department of Energy. (2020). *Improving Steam System Performance: A Sourcebook for Industry*. Washington DC.
- [18] International Energy Agency. (2021). *Energy Management in Industry*. Paris: IEA.
- [19] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2019). *Pedoman Manajemen Energi di Industri*. Jakarta: ESDM.

- [20] Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI ISO 50001 Sistem Manajemen Energi*. Jakarta: BSN.
- [21] Applied Energy. (2021). "Industrial Energy Management System for Boiler Efficiency Improvement."
- [21] Energy Procedia. (2020). "Energy Efficiency Optimization in Industrial Boiler Systems."
- [22] Journal of Cleaner Production. (2022) "Energy Management Systems Implementation in Industrial Processes."
- [23] Renewable and Sustainable Energy Reviews. (2021) "Energy Optimization Techniques in Industrial Steam Boilers."
- [24] International Journal of Energy Research. (2023) "Development of Energy Monitoring Systems for Industrial Applications."
- [25] Energy Reports. (2022). "Energy Efficiency Improvement in Boiler Operations."
- [26] World Bank. (2021). *Energy Efficiency in Industrial Sector*. Washington DC.