

## **Analisis Efisiensi Energi Listrik Melalui Pengendalian Tekanan dan Level Air Berbasis PLC pada Boiler Berkapasitas 10,5 Ton dan 21 Ton**

**Gatra Wanara Seta<sup>1</sup>, Taufik Barlian<sup>2</sup>, Asri Indah Lestari<sup>3\*</sup>, Wiwin A. Oktaviani<sup>4</sup>,  
Yosi Apriani<sup>5</sup>**

1,2,3,4,5 Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Palembang, Indonesia

e-mail\* : [asri\\_indahlestari@um-palembang.ac.id](mailto:asri_indahlestari@um-palembang.ac.id)

### **ABSTRAK**

Kebutuhan energi listrik yang tinggi di sektor industri menuntut peningkatan efisiensi dalam sistem utilitas, salah satunya pada unit boiler. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh sistem pengendalian tekanan dan level air berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) terhadap efisiensi energi listrik pada dua unit boiler berkapasitas 10,5 ton/jam dan 21 ton/jam di PT Indofood CBP Sukses Makmur Tbk Tanjung Api-Api. Metode penelitian meliputi pengumpulan data operasional boiler, perhitungan konsumsi energi listrik sebelum dan sesudah optimasi logika kontrol PLC, serta analisis efisiensi termal sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem kendali berbasis PLC mampu menjaga kestabilan parameter operasi sesuai setpoint, meningkatkan keandalan, dan menghemat konsumsi energi listrik. Boiler 10,5 ton mengalami penghematan sebesar 108 kWh/hari atau 30%, sedangkan boiler 21 ton mencatatkan penghematan 72 kWh/hari atau 20%. Efisiensi termal kedua boiler tetap stabil pada kisaran 70,16%, menandakan bahwa peningkatan efisiensi listrik tidak menurunkan performa termal sistem. Dengan demikian, penggunaan PLC terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi energi listrik tanpa mengganggu kinerja operasi boiler di lingkungan industri.

**Kata Kunci:** *Boiler, PLC, Efisiensi Energi, Tekanan Air, Level Air*

## ***Analysis of Electrical Energy Efficiency through PLC-Based Pressure and Water Level Control in 10.5 Ton and 21 Ton Capacity Boilers***

### **ABSTRACT**

The high demand for electrical energy in the industrial sector demands increased efficiency in utility systems, one of which is in boiler units. This study aims to analyze the effect of the *Programmable Logic Controller* (PLC)-based pressure and water level control system on the efficiency of electrical energy in two boiler units with a capacity of 10.5 tons/hour and 21 tons/hour at PT Indofood CBP Sukses Makmur Tbk Tanjung Api-Api. The research methods include boiler operational data collection, calculation of electrical energy consumption before and after PLC control logic optimization, and thermal efficiency analysis of the system. The results of the study show that the application of a PLC-based control system is able to maintain the stability of operating parameters according to the setpoint, improve reliability, and save electrical energy consumption. A 10.5-ton boiler has a saving of 108 kWh/day or 30%, while a 21-ton boiler has a saving of 72 kWh/day or 20%. The thermal efficiency of both boilers remained stable at the range of 70.16%, indicating that the increase in electrical efficiency did not decrease the thermal performance of the system. Thus, the use of PLCs has proven to be effective in improving electrical energy efficiency without interfering with boiler operation performance in industrial environments.

**Keywords:** *Boiler, PLC, Energy Efficiency, Water Pressure, Water Level*

### **PENDAHULUAN**

Energi listrik merupakan kebutuhan utama yang tidak terpisahkan dari berbagai aktivitas manusia, termasuk kegiatan industri [1]. Efisiensi energi memiliki keterkaitan yang erat dengan penggunaan energi listrik, di mana peningkatan efisiensi energi menjadi salah satu faktor penting dalam meningkatkan produktivitas serta menjaga keberlanjutan operasional industri modern [2].

Di PT Indofood CBP Sukses Makmur Tbk Tanjung Api-Api, pemakaian energi listrik berasal dari sistem utilitas, salah satunya adalah unit boiler yang berfungsi sebagai penyedia uap untuk proses produksi.

Boiler merupakan bagian dari pembangkit tenaga uap berbentuk bejana tertutup yang berfungsi mengubah air menjadi uap dengan memanfaatkan panas hasil pembakaran bahan bakar. Jenis bahan bakar yang umum digunakan pada boiler meliputi batu bara, minyak, gas, biomassa, dan panas limbah [3]. Sistem boiler terdiri atas sistem air umpan, sistem uap, dan sistem bahan bakar. Secara umum, proses kerja boiler melibatkan proses pembakaran dan pelepasan panas [4], serta proses perpindahan panas untuk menghasilkan uap dari air umpan, [5].

Pengoperasian boiler yang stabil dipengaruhi oleh beberapa parameter utama, antara lain temperatur, tekanan, level air, dan laju aliran massa uap [6]. Untuk menjaga kestabilan parameter-parameter tersebut, diperlukan sistem pengendalian yang andal. Salah satu teknologi yang banyak digunakan dalam sistem pengendalian industri adalah *Programmable Logic Controller* (PLC). PLC merupakan perangkat kendali yang dapat diprogram untuk menggantikan sistem kendali konvensional dengan memanfaatkan bahasa pemrograman khusus, seperti *ladder logic*, *function block diagram*, dan *structured text*, guna mengendalikan berbagai input, output, serta perangkat pendukung lainnya [7]. PLC juga mampu mengoperasikan perangkat keluaran melalui pengaturan logika kendali *on-off* dan fungsi timer [8]. Dibandingkan sistem kendali konvensional berbasis relay, PLC memiliki keunggulan dalam fleksibilitas, kecepatan respon, dan efisiensi integrasi sistem otomasi industri [9].

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji penerapan sistem kendali dan analisis kinerja boiler. Setiawan *et al.* [10] menerapkan kontrol PID berbasis PLC dengan metode Ziegler–Nichols pada sistem sterilisasi baglog dan menunjukkan performa kendali suhu yang baik dengan kesalahan rata-rata sensor sebesar 1,082%. Hernawan [11] melakukan analisis efisiensi boiler berdasarkan standar ASME PTC 4.1 menggunakan metode langsung dan tidak langsung, yang menghasilkan efisiensi masing-masing sebesar 80,35% dan 79,68%, lebih rendah dari spesifikasi desain. Sementara itu, Putri *et al* [12] mengembangkan sistem kendali level air boiler berbasis PLC dan HMI dengan kontrol PID, yang mampu mengendalikan level air dengan rata-rata kesalahan sebesar 3%.

PT Indofood CBP Sukses Makmur Tbk mengoperasikan dua unit boiler dengan kapasitas berbeda, yaitu 10,5 ton/jam dan 21 ton/jam. Kedua boiler tersebut menggunakan sistem kendali berbasis PLC, namun beroperasi pada kondisi beban dan kebutuhan uap yang berbeda. Perbedaan kapasitas dan karakteristik operasi ini berpotensi memengaruhi kinerja sistem kendali serta efisiensi penggunaan energi listrik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem pengendalian tekanan dan level air berbasis PLC pada kedua unit boiler tersebut, serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap kinerja boiler dan efisiensi penggunaan energi listrik.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada sistem boiler di PT Indofood CBP Sukses Makmur Tbk Tanjung Api-Api. Objek penelitian meliputi sistem pembangkitan uap, sistem pengendalian level air dan tekanan, serta konsumsi energi listrik pada pompa *feedwater*. Penelitian difokuskan pada evaluasi kinerja boiler sebelum dan sesudah penerapan sistem kendali berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC).

Boiler yang diteliti menggunakan bahan bakar biomassa cangkang sawit sebagai sumber energi panas [3]. Energi panas hasil pembakaran dimanfaatkan untuk menghasilkan uap melalui sistem pembangkitan uap yang terintegrasi dengan sistem pengendalian level air dan tekanan. Evaluasi kinerja boiler dilakukan dengan menganalisis konsumsi energi listrik, energi masukan dan keluaran boiler, serta efisiensi termal. Parameter-parameter tersebut umum digunakan sebagai indikator kinerja boiler industri dalam evaluasi sistem boiler sebelum dan sesudah penerapan

kendali otomatis [13]. Boiler yang digunakan merupakan boiler tipe *water tube* dengan kapasitas 10,5 ton/jam dan 21 ton/jam yang dioperasikan pada tekanan 9–12 bar. Boiler tipe *water tube* banyak digunakan pada industri karena mampu beroperasi pada tekanan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan boiler tipe *fire tube* [14]. Sistem boiler dilengkapi dengan pengendalian level air dan tekanan berbasis PLC untuk menjaga operasi tetap stabil, aman, dan efisien.

### **Parameter pada Sistem Boiler**

#### **Tekanan Uap**

Tekanan uap digunakan sebagai parameter kendali utama dalam pengoperasian boiler. Pada penelitian ini, tekanan operasi dijaga pada kisaran 9–12 bar sesuai dengan kapasitas boiler yang digunakan untuk menjaga kestabilan proses pembangkitan uap. Pengendalian tekanan dilakukan mengacu pada rekomendasi operasi boiler industri dan kajian kinerja sistem uap [15].

#### **Level Air**

Level air drum boiler digunakan sebagai parameter keselamatan dan kestabilan proses pembentukan uap. Pengendalian level air dilakukan dengan menjaga ketinggian air pada kisaran 60–75% dari kapasitas penuh untuk mencegah terjadinya *overheating* pada pipa pemanas dan fenomena *carryover* [16].

### **Metode Pengambilan dan Analisis Data**

Analisis kinerja boiler dilakukan dengan menghitung konsumsi energi listrik, energi masukan dan keluaran boiler, serta efisiensi energi dan efisiensi termal. Parameter-parameter tersebut digunakan sebagai indikator utama untuk menilai kinerja boiler sebelum dan sesudah penerapan sistem kendali PLC, sebagaimana direkomendasikan dalam studi evaluasi kinerja boiler sebelumnya [17].

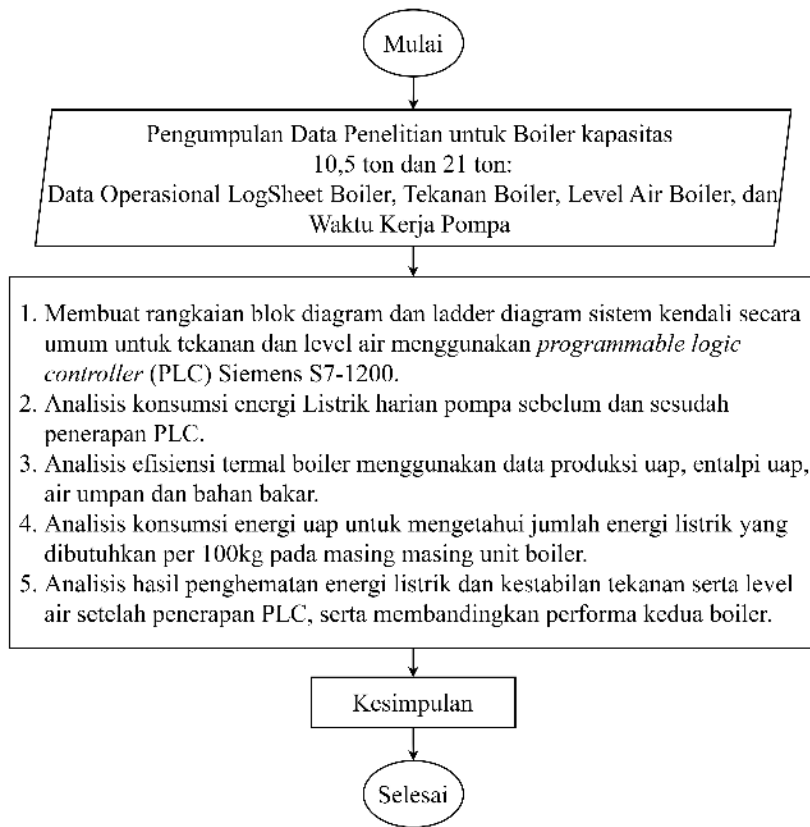
### **Prosedur Penelitian**

Tahapan penelitian dilaksanakan berdasarkan diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1, tahapan ini meliputi:

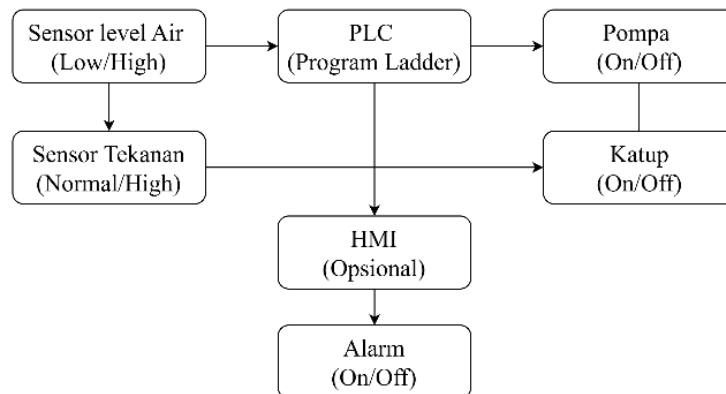
1. Pengumpulan data operasional boiler sebelum penerapan sistem kendali PLC.
2. Perancangan dan pemrograman sistem kendali PLC.
3. Implementasi sistem PLC pada sistem boiler.
4. Pengambilan data operasional boiler setelah penerapan PLC.
5. Analisis dan perbandingan kinerja boiler sebelum dan sesudah penerapan PLC.

Hubungan antar komponen utama sistem pengendalian ditunjukkan pada Gambar 2. Sistem kendali berbasis PLC mengatur level air dan tekanan boiler secara otomatis dengan memproses sinyal dari sensor level dan tekanan menggunakan logika *ladder diagram* untuk mengendalikan aktuator, seperti pompa *feedwater* dan katup pelepas tekanan. Program PLC terdiri dari 20 *network* yang mencakup fungsi *start-stop*, pengendalian level dan tekanan, sistem alarm, serta rangkaian proteksi dan *interlock*. Struktur *ladder diagram* PLC ditampilkan pada Gambar 3.





**Gambar 1. Diagram Alir Penelitian**



**Gambar 2. Blok Diagram Sistem Pengendalian**



**Gambar 3. Diagram Ladder 20 Network**

### Perhitungan Parameter Kinerja Boiler Konsumsi Energi Listrik

Konsumsi energi listrik dapat dihitung menggunakan Persamaan (1) [18].

$$E = P \times t \tag{1}$$

dengan:

- E = Energi listrik yang digunakan
- P = Daya listrik pompa (watt)
- T = Waktu kerja (jam)



### Efisiensi Konsumsi Energi Terhadap Volume Air

Efisiensi konsumsi energi terhadap volume air dapat dihitung menggunakan Persamaan (2) [18].

$$\eta = \frac{E}{V} \quad (2)$$

dengan:

$\eta$  = Efisiensi energi (m<sup>3</sup>/kWh)

$V$  = Volume Air (m<sup>3</sup>)

$E$  = Konsumsi Energi Listrik (kWh)

### Efisiensi Energi Listrik

Efisiensi energi listrik dapat dihitung menggunakan Persamaan (3) [18].

$$Efisiensi = \frac{E_{sebelum} - E_{sesudah}}{E_{sebelum}} \times 100\% \quad (3)$$

dengan:

$E_{sebelum}$  = Energi listrik sebelum menggunakan PLC (kWh)

$E_{sesudah}$  = Energi listrik setelah menggunakan PLC (kWh)

### Energi Output Boiler

Energi output boiler dapat dihitung menggunakan Persamaan (4) [18].

$$Q_{output} = m \times (h_1 - h_2) \quad (4)$$

dengan:

$Q_{output}$  = Energi panas dari uap (kcal)

$m$  = Jumlah uap yang dihasilkan (kg/hari)

$h_1$  = Entalpi uap jenuh (kcal/kg)

$h_2$  = Entalpi air umpan (kcal/kg)

### Energi Input Boiler

Energi input boiler dapat dihitung menggunakan Persamaan (5) [18].

$$Q_{bakar} = m_{bakar} \times \text{nilai kalor bahan bakar} \quad (5)$$

dengan:

$Q_{bakar}$  = Energi panas dari bahan bakar (kcal)

$m_{bakar}$  = Jumlah bahan bakar yang digunakan (kg/hari)

Nilai Kalor = Kalor jenis cangkang sawit (kcal/kg)

### Efisiensi Termal Boiler

Efisiensi termal boiler dapat dihitung menggunakan Persamaan (6) [18].

$$\eta = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \times 100\% \quad (6)$$

dengan:

$\eta$  = Efisiensi termal (%)

$Q_{output}$  = Energi panas uap

$Q_{bakar}$  = Energi dari bahan bakar

### Konsumsi Energi per Uap

Konsumsi energi per uap dapat dihitung menggunakan Persamaan (7) [18].

$$kWh \text{ per } 100 \text{ kg uap} = \frac{E \times 100}{Q_{uap}} \quad (7)$$

dengan:

$E$  = Konsumsi energi listrik (kWh/hari)

$Q_{uap}$  = Produksi uap (kg/hari)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Teknis Sistem dan Spesifikasi Pompa

Sistem pompa air umpan pada boiler menggunakan pompa sentrifugal industri yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan tekanan dan debit air dalam proses untuk pembentukan uap, spesifikasi pompa air umpan terlihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Spesifikasi Pompa Air Umpan**

Parameter	Spesifikasi
Merek/Tipe Pompa	Grundfos MG160L2-42FF380-H3
Daya Listrik (Power)	15.0 kW
Tegangan Operasi	380-415 V / 660-690 V
Arus Listrik	28.0-31.0 A / 16.2-17.5 A
Frekuensi Motor	60 Hz
Kecepatan Putaran (RPM)	± 2950 RPM
Debit Maksimum (Flowrate)	31.0 - 42.6 m <sup>3</sup> /h
Head Pompa (Estimasi)	± 30 meter
Efisiensi Motor	91-92% (IE3)
Faktor Daya (cos $\phi$ )	0.93-0.97

PT Indofood CBP Sukses Makmur TBK Tanjung Api-Api memiliki 2 unit boiler dengan masing-masing kapasitas sebesar 10,5 ton dan 21 ton, spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 2.

**Table 2. Spesifikasi Dua Unit Boiler**

Parameter	Unit Boiler	
	Boiler 10.5 Ton	Boiler 21 Ton
Jenis Boiler	Water Tube Boiler	Water Tube Boiler
Kapasitas Produksi Uap	10,5 Ton/jam	21 ton/jam
Tekanan Operasional	± 8 bar	± 8 bar
Suhu Uap Keluaran	180-250°C	200-280°C
Konsumsi Air Umpan	8-10 m <sup>3</sup> /jam	17-20 m <sup>3</sup> /jam
Sistem Kontrol	PLC Siemens S7-1200	PLC Siemens S7-1200
Pompa Feedwater	Motor Listrik 15kW	Motor Listrik 15kW
Burner	Sistem interlock	Sistem interlock
Kontrol Level dan Tekanan	Sensor + PLC + HMI	Sensor + PLC + HMI

### Data Daya dan Durasi Waktu Pemakaian Pompa

Pemakaian energi listrik harian pada pompa air umpan untuk 2 unit boiler berkapasitas 10,5 ton dan 21 ton ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Pemakaian Energi Harian Pompa Air Umpan untuk Boiler**

Unit Boiler	Daya (kW)	Durasi (jam/hari)
Boiler 10.5 Ton	15	24
Boiler 21 Ton	15	24

### Data Operasional 2 Unit Boiler

Data operasional 2 unit boiler dengan masing-masing kapasitas 10,5 ton dan 21 ton ditunjukkan pada Tabel 4.



**Tabel 4. Data Operasional 2 Unit Boiler**

Parameter	Unit Boiler	
	Boiler 10,5 Ton	Boiler 21 Ton
Produksi Uap (kg/hari)	252.000	504.000
Tekanan (kcal/kg)	664	664
Suhu Air Umpan (kcal/kg)	91	91
Konsumsi Cangkang (kg/hari)	49.000	98.000
Nilai Kalor (kcal/kg)	4.200	4.200

### Perhitungan Konsumsi Energi Listrik 2 Unit Boiler

#### 1. Perhitungan Konsumsi Energi Listrik Boiler 10,5 Ton

a. Sebelum Optimasi PLC

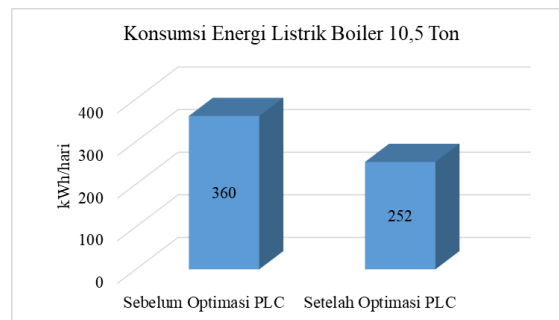
Konsumsi energi listrik harian sebelum optimasi PLC dihitung menggunakan Persamaan (1) dan data Tabel 3.

$$E = 15 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} = 360 \text{ kWh/hari}$$

b. Setelah Optimasi PLC

Setelah optimasi PLC, pompa hanya bekerja 70% dari kapasitas nominalnya. Konsumsi energi listrik harian setelah optimasi PLC dihitung menggunakan Persamaan (1), data Tabel 3, dan faktor daya sebesar 0,7.

$$E = 15 \text{ kW} \times 0,7 \times 24 \text{ jam} = 252 \text{ kWh/hari}$$



**Gambar 4. Konsumsi Energi Listrik Boiler 10,5 Ton**

c. Penghematan Energi

Penghematan energi dihitung menggunakan mengurangi energi sebelum optimasi PLC dan energi sesudah optimasi PLC.

$$\text{Penghematan (kWh)} = 360 - 252 = 108 \text{ kWh/hari}$$

d. Efisiensi Energi

Efisiensi energi dihitung menggunakan Persamaan (2), data Tabel 3, dan hasil perhitungan dari poin a dan b.

$$\eta = \frac{360 - 252}{360} \times 100\% = 30\%$$

#### 2. Perhitungan Konsumsi Energi Listrik Boiler 21 Ton

a. Sebelum Optimasi PLC

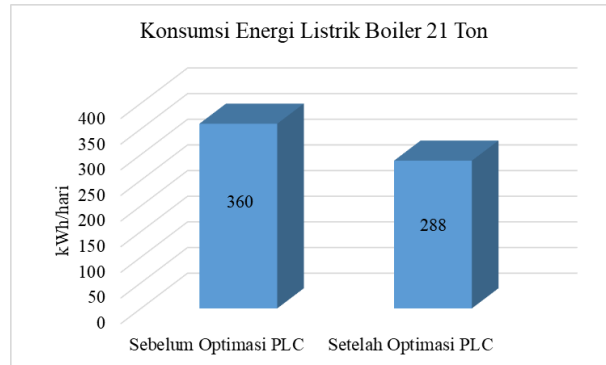
Konsumsi energi listrik harian sebelum optimasi PLC dihitung menggunakan Persamaan (1) dan data Tabel 3.

$$E = 15 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} = 360 \text{ kWh/hari}$$

b. Setelah Optimasi PLC

Setelah optimasi PLC, pompa hanya bekerja 80% dari kapasitas nominalnya. Konsumsi energi listrik harian setelah optimasi PLC dihitung menggunakan Persamaan (1), data Tabel 3, dan faktor daya sebesar 0,8.

$$E = 15 \text{ kW} \times 0.8 \times 24 \text{ jam} = 288 \text{ kWh/hari}$$



**Gambar 5. Konsumsi Energi Listrik Boiler 21 Ton**

- c. **Penghematan Energi**  
Penghematan energi dihitung dengan mengurangi energi sebelum optimasi PLC dan energi sesudah optimasi PLC.  
Penghematan (kWh) =  $360 - 288 = 72 \text{ kWh/hari}$
- d. **Efisiensi Energi**  
Efisiensi energi dihitung menggunakan Persamaan (3), data Tabel 3, dan hasil perhitungan dari poin a dan b.  
$$\eta = \frac{360-288}{360} \times 100\% = 20\%$$

Rekapitulasi hasil perhitungan konsumsi energi listrik 2 unit boiler dengan masing-masing kapasitas 10,5 ton dan 21 ton terlihat pada Tabel 5.

Parameter	Unit Boiler	
	Boiler 10,5 Ton	Boiler 21 Ton
Sebelum Optimasi PLC (kWh/hari)	360	360
Setelah Optimasi PLC (kWh/hari)	252	288
Penghematan Energi (kWh/hari)	108	72
Efisiensi Energi (%)	30	20

### Pehitungan Energi Termal 2 Unit Boiler

#### 1. Perhitungan Energi Termal Boiler 10,5 Ton

- a. **Energi Output**  
Energi output dihitung menggunakan Persamaan (4), data Tabel 4, dan nilai selisih entalpi sebesar 573 kcal/kg.  
$$Q_{output} = 252.000 \times (664 - 91) = 252.000 \times 573 = 144.396.000 \text{ kcal}$$
- b. **Energi Input**  
Energi input dihitung menggunakan Persamaan (5) dan data Tabel 4.  
$$Q_{bakar} = 49.000 \times 4.200 = 205.800.000 \text{ kcal}$$
- c. **Energi Termal**  
Energi termal dihitung menggunakan Persamaan (6) dan hasil yang didapatkan pada poin a dan b diatas.  
$$\eta = \frac{144.396.000}{205.800.000} \times 100\% = 70,16\%$$



## 2. Perhitungan Energi Termal Boiler 21 Ton

### a. Energi Output

Energi output dihitung menggunakan Persamaan (4), data Tabel 4, dan nilai selisih entalpi sebesar 573 kcal/kg.

$$Q_{output} = 504.000 \times (664 - 91) = 504.000 \times 573 = 288.792.000 \text{ kcal}$$

### b. Energi Input

Energi input dihitung menggunakan Persamaan (5) dan data Tabel 4.

$$Q_{bakar} = 98.000 \times 4.200 = 411.600.000 \text{ kcal}$$

### c. Energi Termal

Energi termal dihitung menggunakan Persamaan (6) dan hasil yang didapatkan pada poin a dan b diatas.

$$\eta = \frac{288.792.000}{411.600.000} \times 100\% = 70,16\%$$

Rekapitulasi hasil perhitungan energi termal 2 unit boiler dengan masing-masing kapasitas 10,5 ton dan 21 ton terlihat pada Tabel 6.

**Table 6. Energi Termal 2 Unit Boiler**

Parameter	Unit Boiler	
	Boiler 10,5 Ton	Boiler 21 Ton
Energi Output (kcal)	144.396.000	288.792.000
Energi Input (kcal)	205.800.000	411.600.000
Efisiensi Termal (%)	70,16	70,16

## Pehitungan Konsumsi Energi per 100 kg Uap 2 Unit Boiler

Perhitungan konsumsi energi per unit uap bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan energi listrik secara spesifik, yaitu berapa besar energi listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan 100 kg uap pada masing-masing boiler.

### 1. Pehitungan Konsumsi Energi per 100 kg Uap pada Boiler 10,5 Ton

Perhitungan konsumsi energi per 100 kg uap dihitung menggunakan Persamaan (7), data Tabel 4 dan Tabel 5.

$$Energi \text{ per } 100 \text{ kg uap} = \frac{252 \times 100}{252.000} = 1 \text{ kWh}/100 \text{ kg uap}$$

### 2. Pehitungan Konsumsi Energi per 100 kg Uap pada Boiler 21 Ton

Perhitungan konsumsi energi per 100 kg uap dihitung menggunakan Persamaan (7), data Tabel 4 dan Tabel 5.

$$Energi \text{ per } 100 \text{ kg uap} = \frac{288 \times 100}{504.000} = 0,57 \text{ kWh}/100 \text{ kg uap}$$

Rekapitulasi konsumsi energi per 100 kg uap untuk 2 unit boiler dengan masing-masing kapasitas 10,5 Ton dan 21 Ton terlihat pada Tabel 7.

**Tabel 7. Konsumsi Energi per 100 kg Uap 2 Unit Boiler**

Unit Boiler	Konsumsi Energi per 100 kg Uap (kWh/100 kg uap)
Boiler 10.5 Ton	1
Boiler 21 Ton	0,57

Rekapitulasi hasil perhitungan 2 unit boiler dengan masing-masing kapasitas 10,5 ton dan 21 ton terlihat pada Tabel 8.

**Table 8. Rekapitulasi Hasil Perhitungan 2 Unit Boiler**

Parameter	Unit Boiler	
	Boiler 10,5 Ton	Boiler 21 Ton
Penghematan Energi (kWh/hari)	108	72
Efisiensi Energi (%)	30	20
Konsumsi Energi Listrik Setelah Optimasi PLC (kWh/hari)	252	288
Produksi Uap (kg/hari)	252.000	504.000
Konsumsi Energi per 100 kg Uap (kWh/100 kg uap)	1	0,57
Efisiensi Termal (%)	70,16	70,16

Penerapan sistem pengendalian berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) memberikan dampak signifikan terhadap penghematan energi listrik pompa *feedwater* pada kedua unit boiler, meskipun dengan tingkat efektivitas yang berbeda. Pada boiler berkapasitas 10,5 ton/jam, PLC mampu mengoptimalkan waktu operasi pompa melalui pengendalian level air yang lebih responsif serta penerapan *timer* seperti *on delay*, *off delay*, dan *anti-short cycling*. Kondisi ini membuat pompa hanya beroperasi saat diperlukan, sehingga diperoleh penghematan energi sebesar 108 kWh/hari atau sekitar 30%.

Pada boiler berkapasitas 21 ton/jam, kebutuhan suplai air umpan yang lebih besar menyebabkan pompa *feedwater* harus beroperasi lebih lama, sehingga pengurangan waktu kerja pompa oleh PLC menjadi lebih terbatas. Penghematan energi yang diperoleh sebesar 72 kWh/hari atau sekitar 20%. Meskipun demikian, boiler 21 ton/jam menunjukkan efisiensi konversi energi listrik ke uap yang lebih baik, dengan konsumsi 0,57 kWh per 100 kg uap, dibandingkan 1 kWh per 100 kg uap pada boiler 10,5 ton/jam. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas boiler dan kebutuhan proses berpengaruh terhadap efektivitas penghematan energi melalui sistem kendali PLC.

Hasil analisis efisiensi termal menunjukkan bahwa kedua unit boiler memiliki nilai efisiensi yang sama, yaitu sebesar 70,16%. Kesamaan ini menunjukkan bahwa penerapan PLC tidak memengaruhi proses utama pembentukan uap. Efisiensi termal ditentukan oleh konversi energi bahan bakar menjadi energi uap, yang dipengaruhi oleh desain boiler, kualitas pembakaran, sistem perpindahan panas, serta kehilangan panas seperti *flue gas loss* dan *blowdown*. Karena kedua boiler memiliki karakteristik desain dan pembakaran yang serupa, maka nilai efisiensi termalnya pun sama. Dengan demikian, meskipun PLC efektif menurunkan konsumsi energi listrik pompa *feedwater*, pengendalian tersebut tidak berdampak pada efisiensi termal boiler.

## KESIMPULAN

Penerapan sistem kendali berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) efektif mengurangi konsumsi energi listrik pompa *feedwater* melalui pengaturan waktu operasi yang lebih optimal. Boiler berkapasitas 10,5 ton/jam menghasilkan penghematan energi lebih besar dibandingkan boiler 21 ton/jam karena kebutuhan air umpan yang lebih rendah. Sebaliknya, boiler 21 ton/jam lebih efisien dalam konversi energi listrik menjadi uap. Efisiensi termal kedua boiler tetap sama, yaitu 70,16%, karena PLC tidak memengaruhi proses pembakaran dan pembentukan uap di dalam boiler.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Saidah, D. S. Barus and A. Razak, "Analisis Peluang Penghematan Energi pada Boiler dengan Kapasitas 40 Tan/Jam di PKS AEK Loba PT. Socfin Indonesia," *SINERGI Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 45-54, <https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v3i1.704>, 2022.
- [2] M. Habibuddin, M. Anshar and Firman, "Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Direct dan Indirect pada PLTU Jenepono 2×135 MW," *SINERGI*, vol. 22, no. 1, pp. 146-156, <http://dx.doi.org/10.31963/sinerigi.v22i1.5002>, 2024.



- [3] R. Nainggolana, F. S. Ritonga, E. Juwita, A. J. Bangun and A. A. S. Marbun, "Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Bahan Bakar Biomassa di PLTU PT. GIP Growth Asia," *SINERGI Polmed: JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN*, vol. 6, no. 2, pp. 70-77, <https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v6i2.2498>, 2025.
- [4] A. Pudjanarsa and D. Narsunud, *Mesin Konvesi Energi*, Yogyakarta: Andi Offset, 2008.
- [5] Jatmiko, R. Widodo and F. Leestiana, "Sistem Kendali Temperature pada Unit Boiler di Kilang PPSDM Migas Berbasis PLC," *Swara Patra : Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, vol. 12, no. 1, pp. 36-40, <https://doi.org/10.37525/sp/2022-1/324>, 2022.
- [6] Y. Pravitasari, M. B. Malino and M. N. Mara, "Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung," *PRISMA FISIKA*, vol. V, no. 01, pp. 09-12, 2017.
- [7] Rimbawati, Cholish, E. Saputro and P. Harahap, "Perancangan Sistem Kontrol Penstabil Tegangan Menggunakan PLC M221 Pada PLTMH Bintang Asih," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 62-70, <https://doi.org/10.30596/rele.v3i2.6482>, 2021.
- [8] M. P.Y.Kawulur, M. Tumembow and A. Polii, "Pembuatan Program Alat Penekan Briket dari Campuran Arang Tempurung dengan Limbah Kertas Menggunakan Programmable Logic Controller Nano V-5," *Jurnal Masina Nipake*, vol. 2, no. 2, pp. 44-55, Available: <https://p3m.polimdo.ac.id/jurnal/index.php/MASINA-NIPAKE/article/view/88>, 2022.
- [9] V. K. Putra and D. B. Santoso, "Analisis Sistem Kontrol Kecepatan Motor Menggunakan Inverter LS-SV004IG5A-4 pada Mesin CNC," *Electron : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 37-45, <https://doi.org/10.33019/electron.v5i1.135>, 2024.
- [10] M. R. Setiawan, M. Fauziyah and M. Rifa'i, "Sistem Pengaturan Suhu Boiler Pada Steamer Baglog Dengan Kontrol PID Menggunakan PLC dan HMI," *Jurnal Elkolind : Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 3, no. 3, pp. 2-9, 2016.
- [11] K. Hernawan, "Peluang Penghematan Energi pada Boiler di PT. Indo Bharat Rayon," *Jurnal Teknik Energi*, vol. 10, no. 1, pp. 19-23, <https://doi.org/10.35313/v10i1.2314>, 2020.
- [12] T. W. O. Putri, M. Mowaviq and I. Hajar, "Rancang Bangun Sistem Kendali Level Air Berbasis Programmable Logic Controller dan Human Machine Interface," *KILAT Jurnal Kajian Ilmu dan Teknologi*, vol. 10, no. 2, pp. 272-279, <https://doi.org/10.33322/kilat.v10i2.1315>, 2021.
- [13] D. Aprilia and Hardjono, "Penentuan Efisiensi Boiler dengan Menggunakan Metode Langsung di PT X Lumajang," *Distilat Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, pp. 421-426, <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.237>, 2021.
- [14] A. Saputra, F. P. Putra, M. A. Tahdid and Zurohaina, "Pengaruh Level Ketinggian Air Terhadap Efisiensi Thermal pada Cross Section Water Tube Boiler Menggunakan Gas dan Solar Produksi Saturated Steam Proses Kontinyu," *Jurnal Kinetika*, vol. 11, no. 2, pp. 50-54, Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/article/view/3090>, 2020.
- [15] L. Safitri and T. Sriana, "Analisis Performa Kinerja Boiler Menggunakan Direct Method dan Indirect Method pada Area Utilitas," *SNTEM*, vol. 4, no. November, pp. 587-594, Available: <https://www.collegesidekick.com/study-docs/27642236>, 2024.
- [16] R. P. Ilyas, Sonhaji and H. Nurdiansari, "Rancang Bangun Sistem Kendali Suhu dan Level Air pada Boiler di Kapal Tanker Menggunakan Outseal PLC dan HMI," *Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik*, vol. 4, no. 2, pp. 11-28, <https://doi.org/10.55606/juprit.v4i2.4949>, 2025.
- [17] K. F. Akbar, E. S. Budi and Yulianto, "Kontrol PID Pada Steam Mini Plant Boiler Menggunakan PLC dan HMI," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 7, no. 3, pp. 2-8, Available: <https://jurnal.polinema.ac.id/index.php/elkolind/article/view/4338/2843>, 2020.
- [18] D. A. Maharani, E. Naryono and A. Eko, "Perhitungan Efisiensi pada Boiler di PT. PLTU Tanjung Awar-Awar," *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, pp. 414-420, <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.232>, 2023.