

Analisa Sistem Kontrol *Fuel Feeding* Pada Sistem Boiler

Riadi Agus Syahputra¹, Syafrivel², Jhoni Hidayat³, Nurmahendra Harahap⁴, Ayu Fitriani⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tjut Nyak Dhien

Email : riadi@gmail.com¹, syafrivel.lp3i@gmail.com²

Korespondensi: syafrivel.lp3i@gmail.com

Abstrak

Sistem boiler merupakan sistem yang mempunyai peranan yang sangat penting dalam berbagai industri, terutama dalam pembangkit tenaga listrik, proses pemanas pada industri berbagai industri. Salah satu komponen utama dalam sistem boiler adalah sistem pengaturan bahan bakar (fuel feeding system), maka diperlukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis sistem kontrol pada proses pengaturan bahan bakar pada boiler dengan pendekatan yang komprehensif., Meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan operasional industri yang menggunakan boiler sebagai sumber energi utama.pada industri, melihat sistem kontrol pengaturan fuel ke boiler Fuel feeding merupakan sistem penting dalam mesin pembakaran internal, seperti mesin kendaraan bermotor dan mesin industri, yang berfungsi untuk menyuplai bahan bakar ke dalam ruang pembakaran dengan cara yang efisien dan terkontrol. Analisis data dan penyelesaian masalah yang digunakan yaitu dengan menggunakan data yang diperoleh dari tahap observasi yang diolah sebagai bahan analisa penelitian Dengan penerapan sistem otomatis maka dapat dilihat bahwa terjadi pengurangan bahan bakar dari 1000 menjadi 950 yang menunjukkan pembakaran yang lebih efisien. Peningkatan efisiensi termal yang terjadi peningkatan dari 75 persen menjadi 80 persen lebih banyak bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan panas dan mengurangi pemborosan. Penurunan suhu gas buang menunjukkan pengurangan energi dalam bentuk panas. Peningkatan konsentrasi CO₂ dan O₂ terjadi pengurangan emisi dan peningkatan efisiensi dan pembakaran menjadi lebih lengkap. Dari data pengukuran boiler baik kondisi normal maupun menggunakan sistem kontrol maka dapat dilihat keberlanjutan operasional dikarenakan terjadi efisiensi baik aliran bahan bakar, suhu, gas buang maupun karbondioksida dan oksigen saat dilakukan menjadi gas buang

Kata kunci: Boiler, *Fuel Feeding*, Bahan Bakar, efisiensi, tekanan

Abstract

The boiler system is a system that has a very important role in various industries, especially in power generation, heating processes in various industries. One of the main components in the boiler system is the fuel feeding system, so research is needed that aims to analyze the control system in the fuel feeding process in the boiler with a comprehensive approach., Increasing the efficiency and sustainability of industrial operations that use boilers as the main energy source. In industry, looking at the fuel control system to the boiler Fuel feeding is an important system in internal combustion engines, such as motor vehicle engines and industrial engines, which function to supply fuel to the combustion chamber in an efficient and controlled manner. Data analysis and problem solving used are by using data obtained from the observation stage which is processed as research analysis material With the implementation of the automatic system, it can be seen that there is a reduction in fuel from 1000 to 950 which indicates more efficient combustion. The increase in thermal efficiency that occurs increases from 75 percent to 80 percent more fuel is used to produce heat and reduce waste. The decrease in exhaust gas temperature indicates a reduction in energy in the form of heat. The increase in CO₂ and O₂ concentrations reduces emissions and increases efficiency and combustion becomes more complete. From the boiler measurement data, both normal conditions and using the control system, it can be seen that operational sustainability occurs due to the efficiency of fuel flow, temperature, exhaust gas and carbon dioxide and oxygen when made into exhaust gas.

Keywords : boiler, fuel feeding, fuel, efficiency, pressure

1. PENDAHULUAN

Sistem boiler adalah sistem yang mempunyai peran yang sangat penting dalam berbagai kebutuhan industri, terutama dalam pemanfaatan pembangkit tenaga listrik, proses pemanasan pada industri untuk berbagai industri. Salah satu komponen utama dalam sistem boiler adalah sistem pengaturan bahan bakar (*fuel feeding system*), yang berfungsi untuk menyediakan bahan bakar dengan jumlah dan kualitas yang tepat ke dalam ruang pembakaran. Proses pengaturan bahan bakar yang efisien dan optimal menjadi kunci utama dalam memastikan *performa boiler* yang bagus dan baik, efisiensi energi yang tinggi, serta pengurangan emisi gas buang yang merugikan lingkungan sekitar dan alam.

Sistem kontrol pada pengaturan bahan bakar boiler berfungsi untuk mengatur jumlah bahan bakar yang dimasukkan sesuai dengan kebutuhan proses pembakaran berdasarkan beberapa parameter, seperti tekanan uap, temperatur, dan level air dalam boiler. Pengontrolan bahan bakar membutuhkan sistem yang akurat dan responsif, karena ketidaksesuaian jumlah bahan bakar yang disuplai dapat menyebabkan pembakaran yang tidak sempurna, menurunnya efisiensi pembakaran, dan bahkan meningkatkan konsumsi bahan bakar yang berlebihan.

Berbagai jenis sistem kontrol digunakan dalam pengontrolan pengaturan bahan bakar, mulai dari sistem kontrol manual yang masih menggunakan intervensi operator hingga sistem kontrol otomatis berbasis teknologi terkini seperti PID (*Proportional-Integral-Derivative*), DCS (*Distributed Control System*), atau bahkan sistem kontrol berbasis AI (*Artificial Intelligence*) untuk meningkatkan presisi dan efisiensi operasional.

Analisis terhadap sistem kontrol pengaturan bahan bakar pada boiler juga mencakup pemahaman terhadap tantangan yang muncul, seperti variasi kualitas bahan bakar, perubahan beban yang cepat pada boiler, dan potensi gangguan sistem. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai prinsip kerja, teknik kontrol, dan sistem monitoring yang diterapkan dalam pengaturan bahan bakar sangat diperlukan untuk memastikan kinerja boiler yang maksimal serta efisiensi energi yang optimal. Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan diatas, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut, Dalam konteks ini, penting untuk menganalisis bagaimana sistem kontrol bahan bakar dapat dioptimalkan untuk mencapai kinerja terbaik dan mendukung keberlanjutan operasional boiler dan bagaimana bentuk sistem kontrol elektrical yang sesuai dengan sistem boiler. Maka dapat dilakukan penelitian dengan tujuan untuk menganalisis sistem kontrol pada proses pengaturan bahan bakar pada boiler dengan pendekatan yang komprehensif. Meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan operasional industri yang menggunakan boiler sebagai sumber energi utama pada industri. Melihat sistem kontrol pengaturan *fuel ke boiler*.

2. METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan Industri atau pabrik yang terpasang sistem boiler dan juga di 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 atau riset dilakukan berlangsung pada bulan Februari sampai dengan Juli 2025 di laboratorium sistem kontrol dan laboratorium mesin listrik Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Tjut Nyak Dhien Medan. Data-data yang telah didapat lalu diolah dan digambar sesuai dengan kebutuhan dalam rumusan masalah. Adapun data yang digunakan pada penelitian meliputi :

1. Data pengukuran dari tegangan pada sistem kontrol peralatan.
2. Data hasil gambar dan nilai pengukuran
3. Data peralatan dan kelengkapan untuk penelitian

Metode Pengumpulan Data

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

1) Studi literature

Penulis melakukan studi literature dari berbagai buku, jurnal, dan halaman *web*, Dalam melakukan analisa, penulis mengumpulkan buku referensi dari perkuliahan atau dari materi training tentang peralatan di lab dan sistem penangkal peralatan yang digunakan oleh laboratorium serta sebagai tambahan saya juga mencari referensi yang berasal dari internet baik itu berupa jurnal nasional maupun internasional sebagai penunjang yang berhubungan dengan laporan ini

2) Metode observasi

Penulis melakukan peninjauan langsung pada lokasi pengumpulan data dengan cara observasi ke tempat lokasi penelitian dan pengambilan data hasil pengukuran.

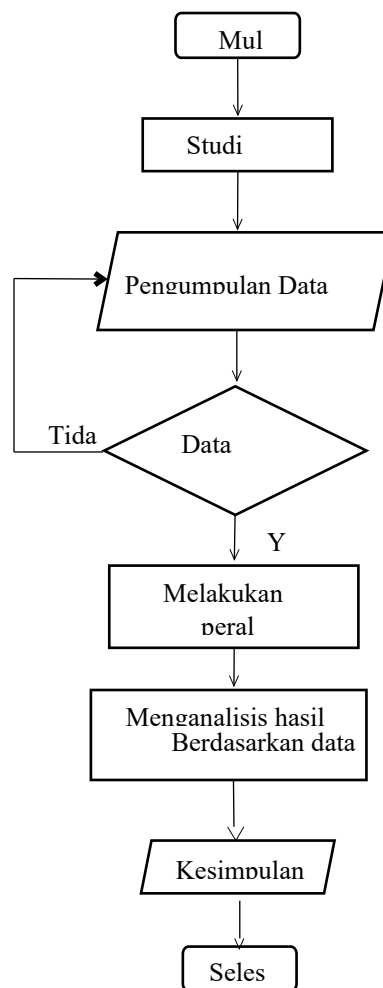
3) Metode wawancara

Penulis melakukan tanya jawab kepada pihak teknisi yang mengerti tentang judul diatas, tentunya berkaitan dengan kasus yang akan diteliti. Wawancara ini bertujuan untuk menambah pengetahuan lebih jauh mengenai dampak peralatan terhadap peralatan 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 riset ini yaitu dengan menggunakan data yang didapat dari tahapan observasi lapangan sekaligus pengukuran data yang diolah sebagai bahan analisa penelitian sebagai berikut :

- 1) Melakukan analisa dengan metode tambahan PID berbasis PLC dan SCADA dengan ditambahkan relay dan inverter
- 2) Mencatat hasil data untuk pengoptimalan efisiensi, merespon gangguan dan menjaga setpoint tekanan, level dan suhu pada sistem boiler
- 3) Lalu melakukan pengecekan odel dan algoritma, dengan kontrol 3 elemen dan lainnya
- 4) Melakukan pemeriksaan di ulang untuk melihat aspek hasil peningkatan efisiensi cepat dan kestabilan lebih baik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil data pengukuran adalah yang dipaparkan berdasarkan hasil dari data eksperimen, simulasi maupun hasil dari sistem kontrol yang diterapkan dari sistem kontrol *fuel feeding* pada sistem boiler. data yang diukur adalah tekanan , suhu dan variabel lainnya berhubungan dengan sistem pembakaran boiler. Nilai tekanan pada boiler saat sedang beroperasi ataupun tidak adalah

sebesar 1,5 hingga 2 bar tergantung tekanan air saat mendingin atau memanaskan. Jika tekanan melebihi 3 bar berarti terjadi masalah pada bejana katup pelepasan tekanan atau bejana ekspansi. Suhu pada pembakaran boiler bervariasi tergantung jenis boiler, bahan bakar yang digunakan saat beroperasi. Biasanya suhu pada boiler antara 425⁰ Celcius sampai dengan 1100⁰ Celcius dengan suhu cerobong dalam keadaan bersih 170⁰ Celcius.

Dalam keadaan normal dan dalam keadaan kontrol otomatis didapat data pengukuran seperti pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1 Data Pengukuran Boiler

1. Kondisi Normal

No	Parameter	Nilai
1	Aliran Bahan Bakar	1000 kg/jam
2	Suhu Gas Buang	250 ⁰ C
3	Konsentrasi Oksigen Gas Buang	3 %
4	Konsentrasi CO ₂ Gas Buang	12 %
5	Efisiensi Termal Boiler	75 %

2. Kondisi Setelah menggunakan kontrol sistem

No	Parameter	Nilai
1	Aliran Bahan Bakar	950 kg/jam
2	Suhu Gas Buang	220 ⁰ C
3	Konsentrasi Oksigen Gas Buang	4 %
4	Konsentrasi CO ₂ Gas Buang	14 %
5	Efisiensi Termal Boiler	80 %

Dari data pengukuran diatas pada Tabel 1 dapat dilihat ada sedikit perbedaan saat dihidupkan dalam keadaan normal dan dalam keadaan sistem kontrol otomatis. Dari data tersebut bisa dilakukan analisis data sebagai perbandingan.

Analisis Data

Aliran Bahan Bakar berdasarkan data pada Tabel 1 maka bisa kita lihat bahwa aliran bahan bakar pada kondisi normal adalah 1000 kg/jam sedangkan aliran bahan bakar pada saat penerapan kontrol otomatis adalah 950 kg/jam. Dapat dilihat bahwa penggunaan bahan bakar menjadi lebih sedikit atau berkurang setelah penerapan kontrol otomatis. Hal ini disebabkan oleh kontrol otomatis menyesuaikan rasio udara dan bahan bakar sehingga bahan bakar menjadi lebih efisien.

Dalam kondisi normal suhu gas buang sebesar 250⁰ Celcius sedangkan pada penerapan kontrol sistem menjadi 220⁰ Celcius. Dengan perolehan data tersebut dapat dianalisis bahwa penurunan gas buang setelah penerapan kontrol otomatis pembakaran menjadi lebih efisien dengan lebih sedikit energi yang terbuang dalam bentuk panas dengan demikian dapat dianalisis sistem kontrol otomatis meningkatkan proses pembakaran.

Konsentrasi oksigen gas buang dalam kondisi normal didapat sebesar 3 persen, setelah penerapan kontrol otomatis adalah sebesar 4 persen. Hal ini dapat diambil suatu kesimpulan bahwa peningkatan konsentrasi oksigen gas buang setelah penerapan sistem kontrol otomatis menunjukkan bahwa rasio udara atau bahan bakar telah disesuaikan untuk pembakaran yang lebih lengkap dan proses pembakaran lebih optimal dengan lebih banyak oksigen tersedia untuk membakar bahan bakar sepenuhnya.

Untuk konsentrasi karbondioksida atau CO₂ pada gas buang didapat pada kondisi normal didapat data 12 persen sedangkan setelah penerapan kontrol sistem otomatis adalah 14 persen. Maka didapat ada peningkatan konsentrasi CO₂ setelah penerapan kontrol otomatis hal ini tentu menunjukan pembakaran yang lebih lengkap dikarenakan banyak bahan bakar dibakar

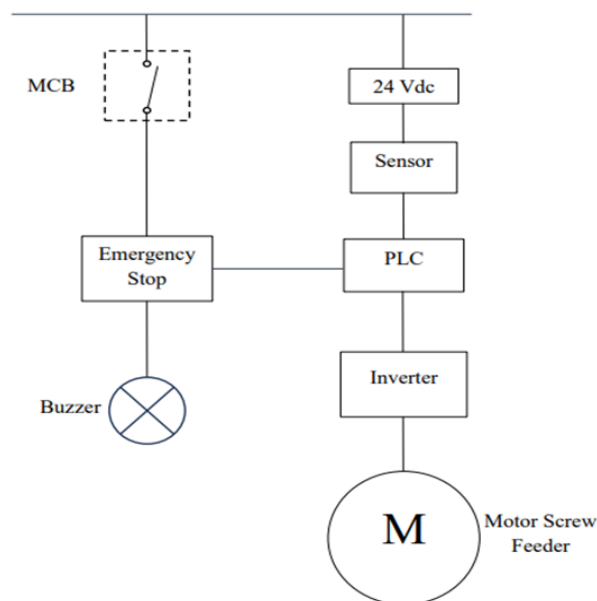
sepenuhnya sehingga menghasilkan lebih banyak CO₂ yang merupakan pembakaran yang cukup ideal.

Berdasarkan data Tabel 1 untuk efisiensi Termal Boiler dapat dilihat dalam kondisi normal nilainya 75 persen sedangkan setelah penerapan kontrol otomatis adalah 80 persen. Terjadi peningkatan efisiensi termal hal ini menunjukkan bahwa lebih banyak energi dari bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan energi panas, bukan terbuang melalui gas buang. Sehingga dapat disimpulkan kontrol otomatis yang diterapkan dapat mengoptimalkan pembakaran dan meningkatkan efisiensi sistem.

Dengan penerapan sistem otomatis maka dapat dilihat bahwa terjadi pengurangan bahan bakar dari 1000 menjadi 950 yang menunjukkan pembakaran yang lebih efisien. Peningkatan efisiensi termal yang terjadi peningkatan dari 75 persen menjadi 80 persen lebih banyak bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan panas dan mengurangi pemborosan. Penurunan suhu gas buang menunjukkan pengurangan energi dalam bentuk panas. Peningkatan konsentrasi CO₂ dan O₂ terjadi pengurangan emisi dan peningkatan efisiensi dan pembakaran menjadi lebih lengkap.

Sistem *Elektrical* pada *Fuel Feeding* Boiler

Perangkat kelistrikan *fuel feeding* yang umum digunakan pada boiler dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini:



Gambar 2 Blok Sistem Kelistrikan *Fuel Feeding* Boiler

Dari gambar 2 diatas adalah bisa dilihat komponen utama yang di pakai untuk penerapan sistem kontrol otomatis diantaranya ada motor, sensor, Inverter, PLC, tombol emergency stop, MCB dilengkapi juga dengan sensor dan lain-lain yang dapat dilihat pada rangkuman Tabel 4.2 berikut:

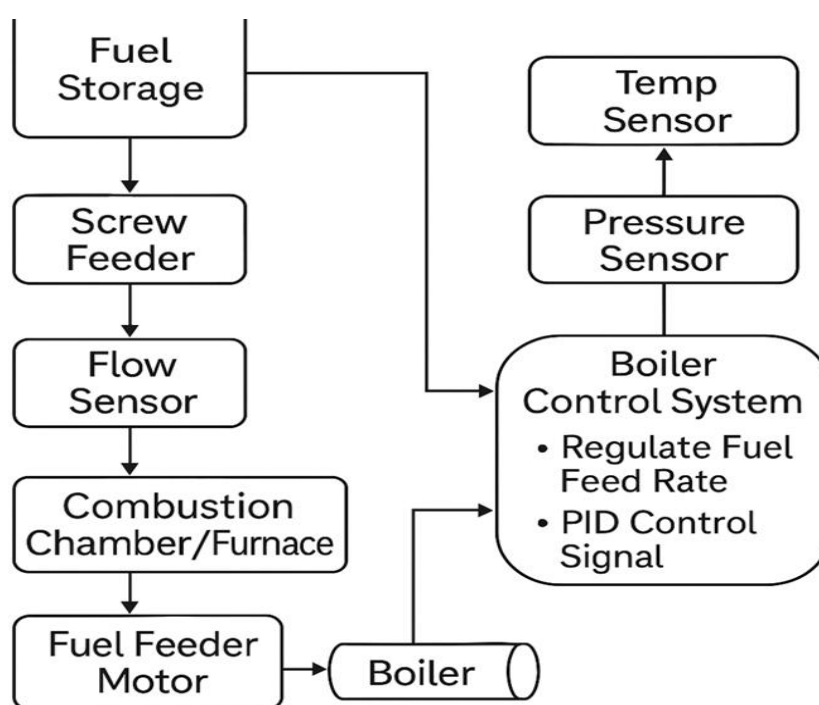
Tabel 2 Komponen Utama pada Sistem *Elektrical Fuel Feeding*

No	Komponen	Fungsi Komponen
1	Panel Kontrol	Pusat kendali operator, saklar, indikator alarm dan emergency stop.
2	<i>Power Supply</i>	Menyediakan listrik ke sistem kontrol baik

Tabel 3 Parameter Elektrikal yang digunakan

No	Komponen	Nilai
1	HMI	Touchscreen 7" – komunikasi Modbus TCP/RTU
2	Sensor Flow	4 – 20 mA Analog
3	PLC	Siemens S7-1200 / Omron CP1 E
4	Inverter (VFD)	2.2 kW input 1 phase 220 Volt, Output 3 phase 380 Volt
5	Motor Screw Feeder	1,5 kW, 3 phase 380 Volt

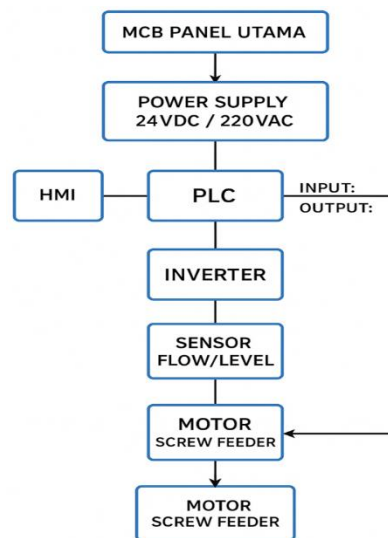
Sistem *electrical fuel feeding* terdiri dari motor listrik plus inverter berfungsi sebagai aktuator. PLC dan sensor sebagai pusat kontrol dan logika sistem. Proteksi kelistrikan menggunakan kontraktor, MCB dan *overload relay* dan antar muka HMI untuk pengawasan dan pengaturan.



Gambar 4 Bagan Sistem Boiler

Bagian–bagian dari bagan sistem boiler pada gambar 4 diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

Fuel Storage adalah tempat penyimpanan bahan bakar berupa biomasa, batubara, BBM dan lain-lain. Selanjutnya *screw feeder* atau konveyor mengirimkan bahan bakar secara mekanis keruang bakar. Selanjutnya *flow sensor* atau timbangan mengukur laju bahan bakar yang masuk ke sistem boiler. *Fuel feeder* motor penggerak bahan bakar berdasarkan perintah dari sistem kontrol. *Combustion chamber* atau *furnace* adalah dimana tempat bahan bakar yang dibakar. Lalu ada sensor tekanan dan sensor suhu yang memberi umpan balik ke sistem kontrol otomatis dan membaca besaran nilai tekanan dan suhu. Boiler kontrol sistem ialah berguna mengatur kecepatan motor *feeder* berdasarkan kebutuhan panas dan tekanan.



Gambar 5 Blok Sistem *Fuel Feeding* Boiler Secara Keseluruhan

Dalam Analisa sistem kontrol fuel feeding mempunyai peranan penting pada sistem boiler terutama juga sistem elektrikal dan kelistrikan kerana mengendalikan seluruh proses sistem otomatisasi pengumpanan dan pengatur bahan bakar.

Data Hasil Analisis

Dari analisis dapat dilihat beberapa yang terlihat kesimpulan dari sistem tersebut dapat dirangkum dalam tabel 4.4 berikut:

Tabel 4 Hasil dari Aspek yang di Analisis

No	Aspek	Temuan Utama
1	Metodologi	Digunakan tambahan PID berbasis PLC/SCADA ditambah relay atau Inverter
2	Objektif	Mengoptimal efesiensi, merespon gangguan dan mmenjaga setpoint tekanan, level dan suhu
3	Model dan Algoritma	Selain PID ada model ARMAX, kontrol 3 elemen dan lainnya.
4	Hasil	Peningkatan efesiensi hingga 3 – 4 %, respon lebih cepat dan kestabilan lebih baik.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan dan pengambilan data baik pengukuran maupun observasi maka dapat diambil kesimpulan dari analisis yaitu proses sistem pengaturan bahan bakar pada boiler Dengan penerapan sistem otomatis maka dapat dilihat bahwa terjadi pengurangan bahan bakar dari 1000 menjadi 950 yang menunjukkan pembakaran yang lebih efisien. Peningkatan efisien termal yang terjadi peningkatan dari 75 persen menjadi 80 persen lebih banyak bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan panas dan mengurangi pemborosan. Dari data pengukuran boiler baik kondisi normal maupun menggunakan sistem kontrol maka dapat dilihat keberlanjutan operasional dikarenakan terjadi efisiensi baik aliran bahan bakar, suhu, gas buang maupun karbondioksida dan oksigen saat dilakukan menjadi gas buang. Sistem kontrol dapat dilihat pada wiring diagram yang telah dilampirkan dengan kombainai sistem otomatisasi dengan menggunakan PLC/SCADA, inverter, sensor dan peralatan sistem elektrikal lainnya yang menjadi satu kesatuan sistem kendali fuel feeding pada boiler dan di gabungkan juga dengan

sistem manual yang berguna jika terjadi gangguan pada sistem otomatisasi. Untuk analisis dan perancangan selanjutnya bisa ditambahkan sistem yang lebih lengkap dengan monitoring peralatan yang terkontrol dan terpantau secara jauh dan *real time* atau dihubungkan dengan perangkat monitoring agar lebih mudah dilihat walaupun saat tidak berada di lokasi boiler tetapi sistem tetap beroperasi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abrari, A.N. 2020. Analisis Efisiensi Boiler Sebelum Dan Sesudah Overhaul Di Pltu Suralaya Unit 8. Skripsi. Program Strata Satu Fakultas Teknologi Dan Bisnis Energi Institut Teknologi Pln.
- [2] Siswanto, E.J. 2020. "Analisa Pengaruh Perubahan Beban Output Turbin Terhadap Efisiensi Boiler". Dalam Jurnal Electrical Power Control and Automation, Vol.3 No.2
- [3] Frastiyo, A dan A. Muhammad. 2020. Sistem Kerja Blowdown Pada Mesin Boiler. Institut Teknologi Nasional Yogyakarta. Skripsi. Program Studi D3 Teknik Elektronika Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.
- [4] Chrome-effect. 2021. Bagaimana Boiler Gas Diatur-Sirkuit Ganda Dan SatuPenghubung. Video-Boiler Tambang Bahan Bakar Padat. <https://chromeeffect.ru/id/floor/kak-ustroen-gazovyi-kotel> [20 Desember 2021].
- [5] Teknikelektrod3.itny. 2020. Sistem Kerja Blowdown Pada Mesin Boiler. <https://teknikelektrod3.itny.ac.id/wp-content/>.[15 Desember 2024].
- [6] Jurnal Teknologi dan Pembangkit Gas (JTPG), 2025. Analisis Termal pada Boiler PLTU XYZ Menggunakan Metode Langsung Berdasarkan Data Operasi Harian
- [7] UMB Repository (Universitas Mercu Buana), 2023. Analisa Kinerja Sistem Kontrol Fuel Gas Heater Tipe Feed Water Terhadap Efisiensi Gas Turbin Tipe F di PLTGU Priok
- [8] Jurnal Ilmiah Teknik Mesin (Sinergi Polmed), 2022. Analisis Peluang Penghematan Energi pada Boiler dengan Kapasitas 40 Ton/Jam di PKS Aek Loba PT. SOCFIN INDONESIA
- [9] Repositori Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2024. Analisa Kinerja Boiler pada Boiler Turbin Generator (BTG) PT Semen Tonasa
- [10] Jurnal UMRI, 2022. Pengaruh Main Overhaul pada Boiler Terhadap Kinerja Menggunakan Metode Direct
- [11] Sun, S., & Wang, X. (2013). "Control Strategy for Fuel Feeding System of Biomass Boiler." *Energy Procedia*, 61, 2740-2743. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.289>.
- [12] Zhang, Y., & Chen, C. (2012). "Dynamic Modeling and Simulation of Fuel Feeding System for Industrial Boiler." *Journal of Process Control*, 22(6), 982-993. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2012.03.004>.
- [13] Wang, Z., & Liu, F. (2015). "Analysis and Optimization of Fuel Feeding Control System in Industrial Boilers." *Proceedings of the 7th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, 508-513.
- [14] Tan, J., & Li, P. (2019). "Intelligent Control for Fuel Feeding System in Coal Fired Boiler." *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Control Technology and Applications*, 1151-1155. <https://doi.org/10.1109/CCTA.2019.8812730>.
- [15] Stepanoff, A. J. (1994). *Turbomachinery: Basic Principles and Applications*. Wiley-Interscience.
- [17] Gan, J., & Li, Y. (2016). *Boiler Control Systems: Advanced Process Control and Optimization*. CRC Press.
- [18] Eckhoff, R. P. (2007). *Process Safety for Engineers*. Butterworth-Heinemann.