

Audit dan Analisis Penghematan Energi Pada *Boiler* Pembangkit Listrik PT Pertamina Zona 9 Field Sangatta

Selamethariyanto¹, Restu Mukti Utomo¹, Adi Pandu Wirawan¹,

¹Fakultas Teknik, Teknik Elektronika, Universitas Mulawarman

selamethariyanto371@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan audit energi dan mengevaluasi konsumsi energi pada sistem *Boiler* di PT Pertamina Zona 9 Field Sangatta. Hasil perhitungan digunakan sebagai acuan dalam meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi konsumsi bahan bakar. Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung dan pengamatan performa *Boiler* seperti konsumsi bahan bakar, produksi uap, serta analisis gas buang. Data sekunder berupa catatan historis konsumsi energi dan spesifikasi *Boiler* diperoleh dari arsip internal. Data tersebut diolah untuk menentukan keseimbangan energi input-output dan efisiensi termal *Boiler*. Audit menunjukkan efisiensi *Boiler* berkisar antara 75% hingga 83% dalam empat tahun terakhir. Evaluasi juga menunjukkan adanya kehilangan energi melalui gas buang dan udara berlebih. Rekomendasi yang diberikan mencakup optimasi sistem kontrol pembakaran, pemeliharaan berkala, serta kemungkinan penerapan sistem ekonomiser. Berdasarkan efisiensi dan kehilangan energi yang dihitung, sistem *Boiler* masih memiliki potensi penghematan energi dan peningkatan kinerja operasional.

Kata kunci: audit energi, *Boiler*, efisiensi energi, kriteria efisiensi, system pembangkit

ABSTRACT

The purpose of this study is to conduct an energy audit on the Boiler system of the power plant at PT Pertamina Zona 9 Field Sangatta. The results of this energy audit calculation are expected to be a reference in efforts to improve energy efficiency in the power generation system. The initial step taken in this study was the collection of primary and secondary data. Primary data was obtained through direct measurements on the Boiler system in the field, while secondary data was obtained from relevant agencies, such as Boiler operational data from PT Pertamina Zona 9 Field Sangatta, energy consumption data from internal company reports, and technical references from the Ministry of Energy and Mineral Resources (ESDM). The collected data was then processed to obtain the Energy Consumption Intensity (IKE) value and used to identify potential energy efficiency measures that can be implemented. Based on the results of the calculation and data processing, energy consumption in the Boiler system shows a consumption value that can be further analyzed to evaluate its efficiency. From the energy audit conducted, the IKE value obtained indicates that the Boiler system at PT Pertamina Zona 9 Field Sangatta is still in the efficient category according to the applicable IKE index criteria, so it can be concluded that the power generation system has implemented the principles of energy efficiency quite well.

Keywords : energy audit, Boiler, efficiency energy, criteria of efficiency, generator system

1. Pendahuluan

Efisiensi energi adalah rasio antara output energi dengan total input energi. Rasio ini selalu terkait dengan situasi tertentu (musim, waktu, hasil akhir yang diinginkan, dan sebagainya). Upaya yang dapat dilakukan untuk mengetahui tingkat efisiensi energi pada *Boiler* pembangkit Listrik yaitu melalui proses audit energi pada sebuah *Boiler*. Audit energi diperlukan untuk mengetahui besarnya kebutuhan energi yang digunakan sebuah *Boiler*. Pada proses audit diperlukan sebuah inovasi agar perhitungan energi dapat dilakukan sesuai kebutuhan diketahui dengan cepat dan dapat menghemat biaya. Inovasi tersebut dapat diterapkan dengan merancang sebuah perangkat lunak yang bersifat *maintainable*, *dependable*, dan *useable*^[1]. Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional yang mengamanatkan melakukan kegiatan konservasi energi khususnya bidang hemat energi dengan program menerapkan manajemen dan audit

energi dari sisi pengguna energi (*Demand Site Management*). Prosedur standar audit energi pada bangunan gedung juga telah diatur dengan diterbitkannya SNI 03-6196-2000^[2].

Audit energi salah satu metode manajemen energi yang digunakan untuk melakukan efisiensi energi. Analisa kualitatif dari audit energi pada bangunan dilakukan dengancara pengukuran dan survei penggunaan energi. Efisiensi energi, tingkat konsumsi, harga energi, dan dampak lingkungan dari bangunan dapat dilakukan audit, pengawasan, dan evaluasi. Hasil dari audit energi salah-satunya rekomendasi untuk melakukan efisiensi energi ^[2]. Bertambahnya jumlah penduduk di Indonesia setiap tahunnya berbanding lurus dengan jumlah aktivitasnya juga. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya peningkatan jumlah peralatan elektronika yang semakin banyak jenisnya. Penggunaan peralatan elektronika juga berbanding lurus dengan jumlah energi listrik yang dibutuhkan^[3].

Peningkatan kebutuhan energi listrik berbanding lurus dengan jumlah biaya yang harus dikeluarkan untuk membayarnya. Semakin besar kebutuhan listrik yang digunakan, maka semakin besar pula biaya yang harus dikeluarkan untuk membayarnya. Biaya yang besar tentu mempengaruhi segala jenis operasional lainnya. Solusi dari permasalahan tersebut maka perlu dilakukan adanya manajemen energi^[4]. Manajemen energi merupakan bentuk pendekatan sistematis dan terpadu untuk melaksanakan pemanfaatan sumber daya energi secara efektif, efisien, dan rasional tanpa mengurangi kuantitas maupun kualitas fungsi utama gedung ^[5]. Proses audit energi yang dilakukan pada penelitian ini mengidentifikasi penggunaan energi bahan bakar dan rugi-rugi pemborosan energi pada *Boiler* PT Pertamina Zona 9 Field Sangatta^[6]. Penelitian terdahulu juga sudah dilakukan, bertujuan untuk menganalisis peluang penghematan energi pada *Boiler* tipe water tube berkapasitas 40 ton/jam yang menggunakan bahan bakar cangkang dan serabut kelapa sawit di PKS Aek Loba PT. Socfin ^[7].

Pada dasarnya kegiatan audit energi pada Boilr yang ada pada PT Pertamina Zona 9 Field Sangatta dilakukan untuk mengetahui profil penggunaan energi dan peluang penghematan energi pada *Boiler* yang di gunakan dalam pembangkit untuk meningkatkan efisiensi energi, sehingga penggunaan energi khususnya pada *Boiler* PT Pertamina Zona 9 Field Sangatta dapat lebih terkontrol.

Adapun tipe *Boiler* yang di gunakan yaitu *Boiler fire tube* (*Boiler* pipa api), *Fire tube Boiler* adalah salah satu jenis ketel uap yang proses pembakarannya berlangsung di dalam pipa. Ketel ini akan menghasilkan uap dengan kapasitas dan tekanan lebih rendah. *Fire tube* juga disebut sebagai *Boiler Shell*. Semua permukaan di dalamnya berkontribusi terhadap perpindahan panas secara tertutup di dalam *shell* yang terbuat dari baja. Selain itu, jenis ini dalam Bahasa Indonesia dikenal pula dengan sebutan *Boiler* tabung api. Hal ini dikarenakan gas buang panas yang keluar akibat reaksi pembakaran dilewatkan melalui tabung *Boilernya*. Tabung ini dikelilingi oleh air yang perlu dipanaskan. Kemudian, panas yang dihasilkan akan dikirimkan ke air yang dihasilkan oleh gas panas waktu proses pembakaran^[8]

2. Metode Penelitian

Dalam Penelitian ini menggunakan metode *mixed-method* dengan bersetandarkan ABMA (American Boiler Manufactures Asociacion), dan menggunakan metode langsung atau *Input Output ASME PTC 4.1*, dalam audit energi ini diawali dengan pengumpulan data primer yang dilakukan secara langsung di lokasi loading PT Pertamina Zona 9 Field Sangatta. Proses pengumpulan data dilaksanakan melalui dua metode utama, yaitu wawancara dan pengukuran lapangan. Wawancara dilakukan dengan melibatkan para operator dan teknisi yang bertanggung jawab terhadap pengoperasian *Boiler*, guna memperoleh informasi mendalam mengenai kondisi operasional, pola penggunaan bahan bakar, serta pemeliharaan sistem yang telah diterapkan. Selain itu, tim audit juga melakukan pengukuran langsung terhadap parameter teknis *Boiler*, seperti suhu gas buang, tekanan uap, dan konsumsi bahan bakar, untuk memperoleh data yang akurat dan representatif. Pendekatan ini bertujuan memastikan bahwa hasil evaluasi didasarkan pada kondisi aktual di lapangan, sehingga analisis yang dihasilkan dapat menggambarkan tingkat efisiensi energi secara menyeluruh dan memberikan rekomendasi yang tepat sasaran.

a. ABMA

American Boiler Manufacturers Association (ABMA) adalah sebuah organisasi industri di Amerika Serikat yang mewadahi para produsen, pemasok, dan pihak terkait dalam bidang ketel

uap (boiler) serta sistem pembangkit energi panas. Didirikan pada tahun 1888, ABMA berperan penting dalam menetapkan standar, mendukung inovasi teknologi, serta mengedepankan praktik terbaik dalam desain, manufaktur, operasi, dan perawatan boiler. Asosiasi ini juga menjadi pusat informasi dan advokasi bagi industri, baik dalam hal regulasi, keselamatan, efisiensi energi, maupun isu lingkungan. Dengan jaringan anggotanya yang luas, ABMA turut mendorong perkembangan teknologi boiler yang lebih ramah lingkungan, hemat energi, dan sesuai dengan tuntutan industri modern. Melalui konferensi, publikasi, serta program pendidikan, ABMA tidak hanya memperkuat posisi para anggotanya di pasar global, tetapi juga memastikan bahwa industri boiler dapat terus beradaptasi dengan kebutuhan energi yang berkelanjutan.

b. ASME PTC 4.1

ASME PTC 4.1 (*Performance Test Code 4.1*) adalah standar yang diterbitkan oleh American Society of Mechanical Engineers (ASME) yang mengatur metode pengujian performa boiler uap. Kode ini memberikan pedoman teknis yang sistematis dan terukur untuk menilai efisiensi serta kinerja ketel uap dalam kondisi operasi tertentu. Tujuan utama dari ASME PTC 4.1 adalah memastikan bahwa hasil pengujian performa dapat dilakukan dengan cara yang konsisten, akurat, dan dapat dibandingkan, sehingga memberikan dasar yang kuat dalam evaluasi desain, pengoperasian, maupun pemeliharaan boiler. Standar ini mencakup prosedur pengukuran input energi (seperti bahan bakar, udara, dan air umpan) serta output energi berupa uap yang dihasilkan. Dengan penerapan ASME PTC 4.1, industri dapat memverifikasi klaim performa dari produsen, mengidentifikasi potensi peningkatan efisiensi, serta menjamin kepatuhan terhadap spesifikasi teknis dan persyaratan keselamatan.

3. Hasil dan Pembahasan

Data Tabel 1. Awal Hasil Obsrvasi PT Pertamina Zona 9 Field Sangatta

Keterangan	Hasil Pengukuran
Jenis <i>Boiler</i>	Fire Tube
Jam Oprasional	24 Jam/Hari
Tekanan Dan Suhu Uap	85 psi
Air yang digunakan	Air Sungai / Air Sumur
Nameplet <i>Boiler</i>	-
Jumlah Bahan Bakar/ Th 2021 - 2024	175.155,47 215.176,74 254.291,11 311.290,94
Temperatur gas	150,3 °C
Nilai Calor	52 J/g
Kapasitas <i>Boiler</i>	285 CFT
Suhu Buang	308,1 °C

AVERY – LAURANCE (S) PTE.LTD			
A SUBSIDIARY OF B&L CORP			
MANUFACTURE	: AVERY – LAURANCE (S) PTE.LTD		
SERIAL NO.	: 970E - 501	ITEM NO.	: 42 - 01 - 05
CODE	: ASME SECT IV	DATE	: 14 - 6 - 74
DESIGN PRESSURE	: 12 PSIG	TEST PRESSURE	: 60 PSIG
DESIGN TEMP.	: 250 ° F	MAX WORK PRESS	: 15 PSIG
X - RAY	: SPOT	STRESS RELIAGED	: NO
CAPACITY	: 785 CFT	INSPECTOR	: LLOYDS

Gambar 1. Gambar Nampeplet Boiler

- a. Perhitungan CFT (Cubic Feet)**
 - = 285 CFT x 0,45 kg/CFT
 - = 128, 25 kg/Jam
 - = 128,25x24
 - = 3.078kg/hari
 - = 3,078ton/hari
- b. Produksi Uap Pertahun**
 - = 3.078 ton/hari × 365kg/tahun
 - = 1.123,47 ton/tahun
- c. Analisis Efisiensi Boiler Tahun 2021**
 - Output 2021
$$Q_{out} = 1.123.470 \times 2.772$$

$$= 3.113.820.840 \text{ kJ}$$

$$= 3.114 \text{ GJ/Tahun}$$
 - Input 2021
$$Q_{in} = 175.155,47 \text{ kg} \times 52 \text{ MJ/kg}$$

$$= 9.108.084,44 \text{ MJ}$$

$$= 9.108 \text{ GJ/Tahun}$$
 - Efisiensi Boiler
$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100 \%$$

$$= \frac{3.114}{9.108} \times 100 \%$$

$$= 34,18\%$$
- d. Analisis Efisiensi Boiler Tahun 2022**
 - Output 2022
$$Q_{out} = 1.123.470 \times 2.772$$

$$= 3.113.820.840 \text{ kJ}$$

$$= 3.114 \text{ GJ/Tahun}$$
 - Input 2022
$$Q_{in} = 215.176,74 \text{ kg} \times 52 \text{ MJ/kg}$$

$$= 11.188.790,48 \text{ MJ}$$

$$= 11.189 \text{ GJ/Tahun}$$
 - Efisiensi Boiler
$$\eta = \frac{E_{Output}}{E_{Input}} \times 100 \%$$

$$= \frac{3.114}{11.189} \times 100 \%$$

$$= 27,83\%$$
- e. Analisis Efisiensi Boiler Tahun 2023**
 - Output 2023
$$Q_{out} = 1.123.470 \times 2.772$$

$$= 3.113.820.840 \text{ kJ}$$

$$= 3.114 \text{ GJ/Tahun}$$
 - Input 2023
$$Q_{in} = 254.291,11 \times 52$$

$$= 13.222.337,72 \text{ MJ}$$

$$= 13.222 \text{ GJ/Tahun}$$
 - Efisiensi Boiler
$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100 \%$$

$$= \frac{3.114}{13.222} \times 100 \%$$

$$= 23,55 \%$$

f. Analisis Efisiensi Boiler Tahun 2024

• Output 2024

$$\begin{aligned} Q_{out} &= 1.123.470 \times 2.772 \\ &= 3.113.820.840 \text{ kJ} \\ &= 3.114 \text{ GJ/Tahun} \end{aligned}$$

• Input 2024

$$\begin{aligned} Q_{in} &= 311.290,94 \text{ kg} \times 52 \text{ MJ/Kg} \\ &= 16.186.329 \text{ MJ} \\ &= 16.186 \text{ GJ/Tahun} \end{aligned}$$

• Efisiensi Boiler

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100 \% \\ &= \frac{3.114}{16.186} \times 100 \% \\ &= 19,24\% \end{aligned}$$

g. Perhitungan Rekomendasi 2025

$$\begin{aligned} &= 3.078 \text{ ton/hari} \times 365 \text{ hari} \\ &= 1.123.470 \text{ ton/tahun} \\ &= 1.123.470 \times 1.000 \\ &= 1.123.470.000 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\text{uap } 85 \text{ psi} = 2.772 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} E_{output} &= 1.123.470.000 \times 2.772 \text{ MJ} \\ &= 3.114.258.840.000 \text{ kJ} \\ &= \frac{3.114.258.840.000}{1.000.000} \\ &= 3.114.259 \text{ GJ} \end{aligned}$$

Jika efisiensi boiler 80%:

$$\begin{aligned} Q_{in} &= \frac{Q_{out}}{0,8} \\ &= \frac{3.114.259}{0,8} \\ &= 3.892.824 \text{ GJ} \end{aligned}$$

$$\text{Kalor bahan bakar} = 52 \text{ MJ/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Bahan Bakar} &= \frac{Q_{in}}{\text{Nilai Kalor}} \times 100\% \\ &= \frac{3.892.824}{52} \times 100\% \\ &= 74.861.991 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

h. Efisiensi Biaya

$$\begin{aligned} Q_{in} &= \frac{3.114}{0,3418} \\ &= 9.114,22 \text{ GJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka Selisih energinya} &= 16.186 - 9.144 \\ &= 7.072 \text{ GJ/Tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Selisih Bahan Bakar} &= \frac{7.072.000}{52} \\ &= 136.000 \text{ Kg/tahun} \end{aligned}$$

Estimasi Penhematan biaya jika target minimum ini di gunakan yaitu

$$\begin{aligned} \text{Jika Misal Harga Gas} &= \text{Rp } 9.000/\text{kg} \\ \text{Penghematan Bahan Bakar} &= 136.000 \text{ kg/tahun} \\ \text{Total penghematan} &= 136.000 \times 9.000 \\ &= \text{Rp } 1.244.000.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

4. Kesimpulan

Dari data di atas, terlihat bahwa efisiensi boiler mengalami penurunan yang signifikan dari tahun 2021 ke tahun 2024. Hal ini menunjukkan adanya potensi masalah dalam sistem boiler yang perlu diidentifikasi dan diperbaiki. Produksi uap tetap sama (1.123,47 ton/tahun) selama 4 tahun. Efisiensi menurun drastis dari 34,18% (2021) ke 19,24% (2024). Konsumsi bahan bakar naik 77,7% dalam 4 tahun, tanpa peningkatan output. Ekonomisasi Gas Buang, dengan Suhu cerobong 308,1 °C menunjukkan potensi kehilangan panas tinggi. Pasang economizer untuk pemanasan awal air umpan (pre-heating) hingga 90°C. Potensi peningkatan efisiensi: +5–7%. Optimasi Sistem Pembakaran Kalibrasi burner agar pembakaran sempurna (rasio udara-bahan bakar ideal). Pasang O₂ analyzer dan kontrol otomatis. Hindari kelebihan udara dan incomplete combustion. Pemeliharaan dan Isolasi Bersihkan skala dan kerak pada fire tube secara berkala. Periksa kerusakan pada insulasi pipa dan body boiler. Lakukan inspeksi blowdown dan air feed system untuk mencegah efisiensi turun. Dan di lakukan pemasangan Sistem Monitoring Digital (IoT). Jika Penargetan Efisiensi ingin menjadikan Minimum 34,18% seperti Tahun 2021 maka Adapun perhitungan berikut ini.

Dengan pengembalian efisiensi ke level 2021 (34,18%), perusahaan dapat: Menghemat ± Rp 1,2 Miliar per tahun, Mengurangi konsumsi gas hingga 136 ton/tahun, Menurunkan emisi CO₂ secara signifikan. Berdasarkan hasil pengumpulan data operasional Boiler tipe Fire Tube di PT Pertamina Zona 9 Sangatta, diketahui bahwa unit ini beroperasi selama 24 jam per hari dengan tekanan uap sebesar 85 psi dan suhu uap 158 °C. Bahan bakar yang digunakan adalah gas alam dengan nilai kalor 52 MJ/kg, di mana konsumsi tahunan tercatat terus meningkat dari 175.155,47 kg pada tahun 2021 hingga mencapai 311.290,94 kg pada tahun 2024. Hasil pengukuran juga menunjukkan suhu cerobong asap sebesar 308,1 °C, yang relatif tinggi dan mengindikasikan adanya kerugian energi signifikan melalui gas buang (flue gas loss). Kehilangan panas yang terlalu tinggi ini menunjukkan bahwa sebagian besar energi hasil pembakaran terbuang bersama aliran gas ke atmosfer. Berdasarkan literatur efisiensi boiler, suhu cerobong di atas 300 °C biasanya dapat menyebabkan kerugian panas lebih dari 15–20% dari total energi bahan bakar, tergantung kadar excess air dan komposisi flue gas. Kondisi ini jelas menurunkan efisiensi keseluruhan boiler.

5. Daftar Pustaka

- Sommerville. Ian. (2011). Software Engineering Ninth Edition. Pearson Education. Inc.: United States of America.
- J., Ulfatun, F., Manumayoso, B., Ayu, E., & Adi, P. (2025). Implementasi Peraturan Presiden (PERPRES) No. 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). 3(1), 13–17.
- Mehulkumar, J. P. Ved Vyas, D. Rajendra,
- A. (2014). The Case study of Energy Conservation & Audit in Industry Sector. International Journal Of Engineering And Computer Science, 3 (4), 5298-5303. Awanish, K. Shashi, R. Bharath Kuma, S.
- M. Priyanka, K. Ramesh, L. (2015). Electrical Energy Audit in Residential House. SMART GRID Technologies, 21, 625–630.
- Deepak, R. Ranjana, K. Asutosh, K.P. (2013). Electrical Energy Audit (A Case a study of Tobacco Industry). Rishiraj Institute of Technology. Indore India. International Journal of Engineering and Applied Sciences. www.eaas-jour.
- Rafel, P.Z. Julio, C.M.S. Fernadno, S. S. Paulo, S.S. 2018. Energy audit model based on a performance evaluation system. Energy, 154, 544–552.
- Anagra, F. (2020). Audit Energi dan Analisis Peluang Penghematan Konsumsi Energi Listrik di Unit 1 PLTU Banten 3 Lontar. Jurnal Teknologi Elektro, 11(1), 32. <https://doi.org/10.22441/jte.2020.v11i1.005>.
- Dwijaji Chandra, Y., & Utama Margi, D. (2020). Analisis Efisiensi Boiler Terhadap Pola Pengoperasian Sootblower Di Pltu Suralaya. Jurnal Simetrik, 10(1), 309–312
- Dwijaji Chandra, Y., & Utama Margi, D. (2020). Analisis Efisiensi Boiler Terhadap Pola Pengoperasian Sootblower Di Pltu Suralaya. Jurnal Simetrik, 10(1), 309–312.
- Shahab, A., & Amna, S. (2023). Efficiency Analysis of Fire Tube Boiler Type at Refinery Utility Unit. Jurnal Cakrawala Ilmiah, 2(7), 3109–3118.
- ABMA. (2008). Determining & Testing Boiler Efficiency for Commercial/Institutional Packaged Boilers. Abma, 1–11.
- http://www.abma.com/assets/docs/Tech_Resources/2015commercial_Boiler_efficiency.determine.test_2008