

## Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung (Studi Kasus di PT X)

Elita Amrina<sup>\*1,2)</sup>, dan Haifa Nabila Alqadri<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Prodi Pendidikan Profesi Insinyur, Sekolah Pascasarjana, Universitas Andalas, Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

<sup>2)</sup> Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Email: [elita@eng.unand.ac.id](mailto:elita@eng.unand.ac.id)

### ABSTRAK

Peningkatan efisiensi menjadi salah satu target setiap perusahaan dalam menghadapi persaingan industri yang tinggi saat ini. PT X merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang farmasi yang memproduksi serta mengembangkan vaksin dan antisera. Salah satu mesin yang berperan penting dalam proses produksi yaitu Boiler. Saat ini perusahaan menghadapi permasalahan terkait meningkatnya penggunaan bahan bakar pada Boiler akibat menurunnya efisiensi Boiler. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi Boiler di PT X menggunakan metode langsung. Diagram *Fishbone* digunakan untuk menentukan rekomendasi perbaikan. Hasil penelitian diperoleh efisiensi Boiler berada pada rentang nilai 86% - 87%. Nilai ini menunjukkan Boiler masih layak digunakan dalam proses produksi karena masih memenuhi efisiensi standar yang ditetapkan perusahaan (85%), tetapi sudah mendekati nilai bawah. Rekomendasi perbaikan yang diberikan yaitu mengubah spesifikasi *economizer* sesuai fungsi dan standar, memastikan kualitas bahan sesuai spesifikasi, melakukan pemeriksaan dan perawatan secara berkala, memberikan pelatihan pengoperasian Boiler, dan melakukan perbaikan prosedur operasi Boiler.

**Kata kunci:** Boiler, diagram Fishbone, efisiensi, metode langsung

### 1. Pendahuluan

Peningkatan efisiensi dan produktivitas menjadi salah satu target setiap perusahaan dalam menghadapi persaingan yang ketat. Efisiensi bertujuan untuk mendapatkan output sebanyak mungkin dengan biaya operasional yang minim. Efisiensi dapat berpengaruh dalam seberapa baik perusahaan dalam mengelola produksi, tenaga kerja, dan hal-hal lain yang berkaitan dengan perusahaan tersebut. Salah satu bentuk penggunaan efisiensi pada perusahaan yaitu efisiensi pada kegiatan operasional.

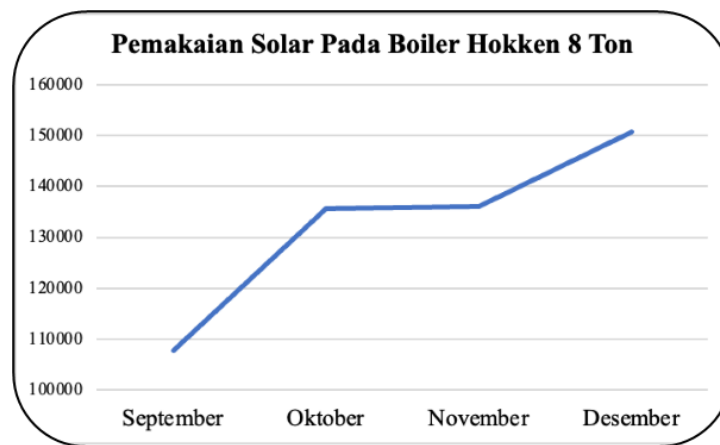
Efisiensi merupakan ketepatan dalam pemanfaatan sumber daya (tenaga, waktu, dan biaya) yang tersedia yang dapat menghasilkan output yang maksimal. Efisiensi mesin didefinisikan sebagai ketepatan mesin memanfaatkan sumber daya yang disediakan dengan menghasilkan output yang maksimal. Sebuah mesin akan dikatakan maksimal jika mendapatkan hasil produksi yang maksimal dengan penggunaan sumber daya yang minimal (Pudjanarsa dan Nursuhud, 2006). Efisiensi mesin di lini produksi mengacu pada pemilihan mesin dengan efisiensi yang sesuai untuk mengurangi waktu menganggur, menyeimbangkan beban kerja, dan meningkatkan aliran produksi (Marzoog dkk, 2020). Efisiensi mesin sangat penting untuk manufaktur berkelanjutan yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti konsumsi energi, biaya produksi, dan daya saing (Anna dkk, 2021).

Pengukuran efisiensi dapat dilakukan melalui pendekatan yang berorientasi pada input dan output. Pengukuran efisiensi yang berorientasi input berfokus untuk meminimalkan jumlah input yang dibutuhkan agar menghasilkan tingkat output tertentu, dengan menekankan pada optimalisasi sumber daya (Chiang, 2023). Sedangkan pengukuran efisiensi berorientasi output bertujuan untuk memaksimalkan tingkat output yang diperoleh dari seperangkat input yang diberikan, dengan fokus pada produktivitas dan maksimalisasi output (Chiang, 2023).

PT X merupakan perusahaan *life science* yang memiliki peran dalam menyediakan serta mengembangkan produk *life science* untuk meningkatkan kualitas hidup. PT X memproduksi serta mengembangkan vaksin dan antisera menjadi produk yang dibutuhkan oleh masyarakat.

Seksi Boiler merupakan seksi yang bertugas dalam operasional mesin Boiler. Seksi Boiler berada dalam tanggung jawab bagian mekanik dan utilitas yang berada pada naungan divisi teknik dan pemeliharaan. Kegiatan yang dilakukan pada seksi Boiler tersebut yaitu membantu menjalankan operasi mesin Boiler, mengawasi serta mengendalikan proses mesin Boiler.

Penggunaan mesin operasi yang terus-menerus akan menurunkan efisiensi pada mesin tersebut. Bertambahnya penggunaan bahan bakar dalam mesin Boiler menjadi permasalahan yang sedang dihadapi seksi Boiler. Penggunaan bahan bakar yang berlebih mungkin saja menjadi akibat dari menurunnya efisiensi mesin Boiler. Hal ini dapat dilihat pada penggunaan bahan bakar solar pada mesin Boiler pada bulan September-Desember 2023 yang semakin meningkat di tiap bulannya. Grafik pemakaian solar pada Boiler Hokken 8 ton/jam pada bulan September-Desember 2023 dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



**Gambar 1.** Grafik Pemakaian Solar Pada Boiler Hokken  
(Sumber: Data diolah dari PT. X, 2023)

Gambar 1 menunjukkan terjadi peningkatan pemakaian solar pada bulan Oktober dan Desember. Penggunaan bahan bakar yang berlebihan dapat menjadi kemungkinan dari akibat menurunnya efisiensi mesin Boiler. Efisiensi boiler merupakan unjuk kerja atau tingkat unjuk kerja boiler yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan atau diserap oleh fluida kerja di dalam boiler dengan masukan energi kimia dari bahan bakar (Sangputri dan Safitra, 2015). Efisiensi boiler memiliki pengaruh besar terhadap penghematan energi (Dharmakusuma dkk, 2020). Penurunan efisiensi menyebabkan kehilangan panas sehingga perlu adanya penambahan bahan bakar dan udara yang masuk secara optimum untuk menghasilkan nilai efisiensi yang baik dan mengurangi faktor-faktor kehilangan panas (Putra, dkk, 2011). Dengan semakin efisiennya Boiler, akan berdampak secara langsung terhadap biaya proses, meminimalkan polusi lingkungan dan pelepasan gas berbahaya ke dalam lingkungan (Sugiharto, 2020). Analisis efisiensi mesin digunakan untuk mengetahui bagaimana keadaan suatu mesin sehingga dapat dipertimbangkan dalam penggunaannya. Berdasarkan permasalahan yang disebutkan, analisis efisiensi mesin Boiler menggunakan metode langsung (direct method), yaitu perbandingan energi yang digunakan oleh mesin dengan energi yang disediakan. Dilihat dari permasalahan yang sedang dihadapi oleh PT X, maka perlu untuk menganalisis efisiensi mesin Boiler. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengukur efisiensi mesin Boiler dengan metode langsung di PT X dan menentukan usulan perbaikan untuk proses operasional mesin Boiler di PT X.

## 2. Metode

Penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan yaitu studi lapangan, studi literatur, pengumpulan data, dan pengolahan data.

## 2.1 Studi lapangan

Studi lapangan yang dilakukan yaitu observasi, wawancara, serta dokumentasi secara langsung ke lapangan. Observasi dilakukan dengan melakukan kunjungan ke area kerja Boiler untuk melihat proses operasi mesin Boiler Hokken kapasitas 8 ton/jam. Kemudian, dilakukan wawancara dengan kepala seksi Boiler terkait proses kerja Boiler serta permasalahan yang sedang dialami oleh seksi Boiler. Dokumentasi dan data pendahuluan terkait permasalahan juga dikumpulkan pada penelitian ini.

## 2.2 Studi literatur

Studi literatur dilakukan terkait teori-teori yang berkaitan dengan permasalahan penelitian dan metode penelitian yang digunakan. Studi literatur yang dilakukan berkaitan dengan efisiensi mesin, mesin Boiler, dan metode langsung.

## 2.3 Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang langsung didapatkan dari sumber data. Data primer yang diambil pada penelitian ini berupa observasi secara langsung ke area kerja, dan melakukan wawancara dengan kepala seksi Boiler dan pegawai kerja seksi Boiler. Adapun data primer yang didapatkan berupa dokumentasi foto dan video terkait Boiler dan hasil wawancara yang membahas terkait operasi mesin Boiler. Data sekunder yang dikumpulkan adalah data-data historis perusahaan berupa data harian operasional mesin kerja Boiler Hokken kapasitas 8 ton/jam pada bulan November 2023. Data tersebut berisi waktu operasi mesin Boiler, tekanan yang dihasilkan mesin Boiler, temperatur, dan konsumsi utilitas mesin Boiler.

## 2.4 Pengolahan data

Pengolahan data dilakukan setelah semua data yang dibutuhkan untuk penyelesaian masalah telah dikumpulkan. Pada penelitian ini, data yang telah dikumpulkan kemudian dilakukan perhitungan efisiensi mesin menggunakan metode langsung (*direct method*). Metode langsung merupakan metode efisiensi mesin dengan prinsip perbandingan antara energi yang didapat dari fluida kerja (air dan *steam*) dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar Boiler (Holman, 1997). Metode langsung juga dikenal dengan metode input-output karena metode ini hanya memerlukan keluaran atau output dan panas masuk sebagai input untuk mengevaluasi efisiensi mesin. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut (Wuryanti, 1995):

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi Boiler } (\eta) &= \frac{\text{Panas Keluar}}{\text{Panas Masuk}} \\ \text{Efisiensi Boiler } (\eta) &= \frac{m^{\circ} \times (h_g - h_f)}{m^{\circ}_{bb} \times \text{LHV}} \times 100\% \end{aligned} \quad (1)$$

Keterangan:

- $m^{\circ}$  : Jumlah steam yang dihasilkan per jam (8000 kg/jam)
- $m^{\circ}_{bb}$  : Jumlah bahan bakar yang digunakan per jam (kg/jam)
- $h_g$  : Entalpi steam jenuh (kkal/kg)
- $h_f$  : Entalpi air umpan (kkal/kg)
- LHV : Nilai kalor bahan bakar (9063 kkal/liter)

## 3. Hasil dan Pembahasan

Data yang diambil pada data harian Boiler untuk diolah yaitu rata-rata dari *hour meter* Boiler, tekanan uap Boiler, dan temperatur *feed water* Boiler. Adapun data lain yang dibutuhkan yaitu nilai kalor bahan bakar (HHV). Entalpi *steam* jenuh dan uap air didapat dengan menggunakan metode interpolasi. Besar entalpi berdasarkan suhu dan tekanan dilihat dari tabel termodinamika (Keenan dkk, 1992). Contoh perhitungan interpolasi entalpi *steam* jenuh pada tanggal 1 November 2023 adalah sebagai berikut:

$$hg = \frac{(P_2 - P_1)}{(P_2 - P_1)} \times ((hg_2 - hg_1) + hg_1) \times 0,2388 \text{ kkal/kg}$$

$$hg = \frac{(770 - 750)}{(800 - 750)} \times ((2768,3 - 2765,7) + 2765,7) \times 0,2388 \text{ kkal/kg}$$

$$hg = 660,70 \text{ kkal/kg}$$

Nilai 0,2388 kkal/kg digunakan untuk mengubah satuan entalpi yang awalnya kJ/kg. Perhitungan interpolasi entalpi uap air sebagai berikut:

$$hf = \frac{(T_2 - T_1)}{(T_2 - T_1)} \times ((hf_2 - hf_1) + hf_1) \times 0,2388 \text{ kkal/kg}$$

$$hf = \frac{(34,6 - 30)}{(35 - 30)} \times ((146,64 - 125,74) + 125,74) \times 0,2388 \text{ kkal/kg}$$

$$hf = 34,62 \text{ kkal/kg}$$

Jumlah bahan bakar yang digunakan dapat dilihat pada *hour meter* Boiler lalu dikonversi dalam massa jenis bahan bakar. Perhitungan bahan bakar dapat dilihat sebagai berikut.

$$m_{bb}^0 = \text{rata-rata hour meter boiler} \times \text{massa jenis bahan bakar}$$

$$m_{bb}^0 = 727,98 \times 0,87 \text{ kg/l}$$

$$m_{bb}^0 = 633,34 \text{ liter/jam}$$

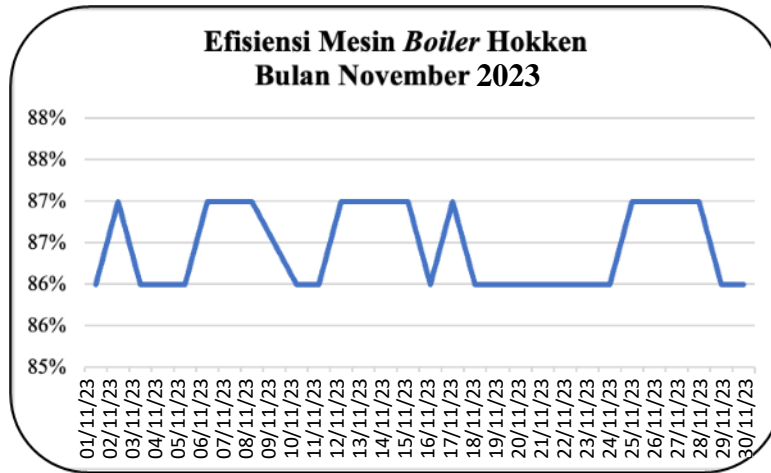
Perhitungan efisiensi mesin dilakukan apabila semua variabel perhitungan telah ditemukan. Adapun perhitungan efisiensi mesin ialah sebagai berikut.

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{m^0 \times (h_g - h_f)}{m_{bb}^0 \times \text{LHV}}$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{8000 \times (660,70 - 34,62)}{633,34 \times 9063} \times 100\%$$

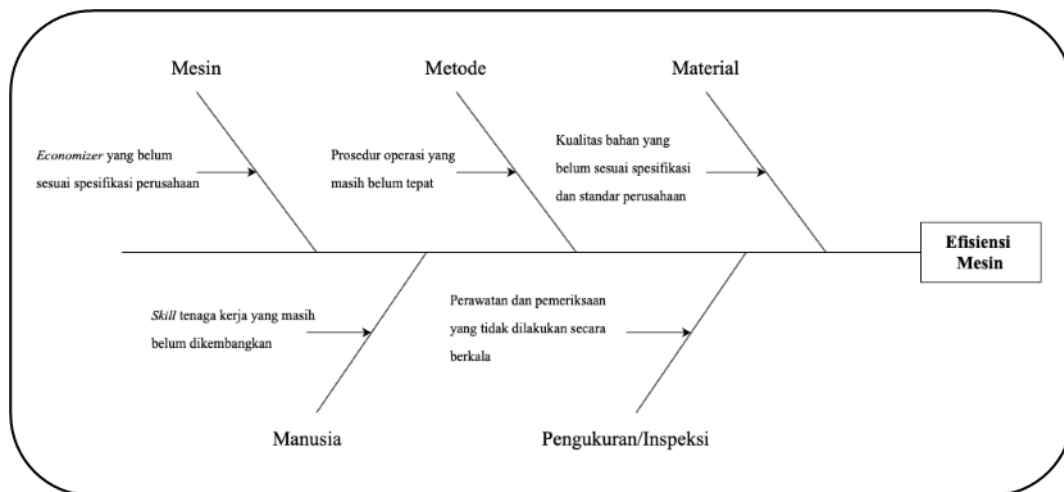
$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 87\%$$

Efisiensi Boiler diperoleh sebesar 87% dengan satu liter solar menghasilkan 16,64 kg uap. Hal ini menandakan bahwa Boiler layak digunakan dalam proses produksi dikarenakan efisiensi mesin memenuhi standar yaitu sebesar 85%. Efisiensi mesin Boiler selama bulan November 2023 digambarkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Efisiensi Mesin Boiler Hokken

Berdasarkan Gambar 2, terjadinya penurunan efisiensi yang tidak teratur sebesar 86% pada bulan November 2023. Meskipun demikian, Boiler masih layak digunakan dalam proses produksi dikarenakan efisiensi mesin memenuhi standar perusahaan yaitu sebesar 85%. Selain dari perbandingan energi masuk dan keluar, perawatan mesin Boiler, pemeriksaan kualitas bahan bakar dan kandungan air juga dapat mempengaruhi besarnya efisiensi Boiler. Peningkatan efisiensi Boiler juga dapat dilakukan dengan menaikkan temperatur uap air dengan beberapa pertimbangan sesuai kualifikasi mesin. Kemungkinan penyebab menurunnya efisiensi dijabarkan dalam diagram Fishbone pada Gambar 3. berikut.



Gambar 3. Diagram Fishbone Penyebab Menurunnya Efisiensi Mesin Boiler

Beberapa penyebab didapatkan dari hasil wawancara narasumber yaitu *economizer* yang fungsinya belum sesuai standar spesifikasi, perawatan yang tidak dilakukan secara berkala, serta kualitas bahan yang masih belum memenuhi standar spesifikasi. Prosedur dan *skill* tenaga kerja dilihat dari observasi secara langsung pada ruangan Boiler. Kendala-kendala tersebut memungkinkan menjadi faktor luar penyebab menurunnya efisiensi mesin.

Berdasarkan penyebab yang telah dijabarkan, dirumuskan rekomendasi perbaikan agar efisiensi mesin tidak mengalami penurunan dan menghindari mesin dari kerusakan. Rekomendasi perbaikan dirangkum pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Rekomendasi Perbaikan Efisiensi Mesin Boiler

Aspek	Penyebab	Rekomendasi Perbaikan
Mesin	<i>Economizer</i> belum sesuai spesifikasi perusahaan	Perbaikan spesifikasi <i>economizer</i> sesuai fungsi Boiler dan standar perusahaan
Metode	Prosedur operasi tidak tepat	Perubahan prosedur operasi yang tepat dan sesuai standar perusahaan
Material	Kualitas bahan baku belum sesuai spesifikasi dan standar perusahaan	Memastikan kualitas bahan sesuai spesifikasi yang diberikan perusahaan
Manusia	Skill tenaga kerja belum berkembang	Pelatihan/training untuk tenaga kerja
Pengukuran/ Inspeksi	Perawatan dan pemeriksaan yang tidak dilakukan secara berkala	Perawatan dan pemeriksaan yang dilakukan secara berkala

Untuk aspek mesin, direkomendasikan untuk memperbaiki spesifikasi *economizer* sesuai fungsi dan standar perusahaan. *Economizer* dapat membantu Boiler dalam menaikkan temperatur mesin sehingga dapat meningkatkan efisiensi mesin. Menurut Djokosetyardjo (2003), hal ini dikarenakan *economizer* menghemat penggunaan bahan bakar dengan mengambil panas gas buang (*flues gas*) sebelum terbuang ke atmosfer. Spesifikasi *economizer* yang diperbaiki dapat mempengaruhi mesin sehingga efisiensi mesin tidak mengalami penurunan. Untuk menaikkan nilai efisiensi Boiler bisa dilakukan dengan perbaikan kinerja Boiler dengan memasang peralatan seperti *economizer* (Sugiharto, 2020).

Rekomendasi perbaikan pada aspek material yaitu memastikan kualitas bahan baku sudah sesuai spesifikasi perusahaan. Kualitas bahan dapat mempengaruhi efisiensi mesin. Semakin tinggi kualitas bahan baku maka akan menyebabkan efisiensi mesin juga mengalami peningkatan, begitu sebaliknya (Martono, 2019). Oleh karena itu, perlu dilakukan pemeriksaan kualitas bahan baku sebelum digunakan pada mesin Boiler.

Pada aspek pengukuran/inspeksi direkomendasikan untuk melakukan pemeriksaan dan perawatan secara berkala dengan minimal pemeriksaan dua kali selama sebulan. Hasil wawancara menyatakan bahwa mesin hanya diperiksa ketika mengalami kerusakan saja. Hal ini dapat menjadi kesalahan besar jika mesin dibiarkan hingga rusak berat. Perawatan mesin secara berkala dapat menjaga mesin tetap dalam keadaan optimal sehingga dapat menjaga bahkan meningkatkan efisiensi mesin (Garg, 1997). Pemeriksaan secara berkala dapat mengoptimalkan efisiensi mesin yang akan meminimalkan biaya dan potensi kegagalan (Assis dan Marques, 2021).

Rekomendasi perbaikan untuk aspek manusia dan metode yaitu memberikan pelatihan terkait pengoperasian mesin Boiler dan melakukan perbaikan prosedur operasi. Berdasarkan pengamatan secara langsung, prosedur Boiler dijelaskan secara umum dan kurang menjelaskan secara rinci. Oleh karena itu perlu diperbaiki dengan memberikan penjelasan secara rinci agar tidak terjadi kesalahan prosedur saat mengoperasikan mesin Boiler. Pelatihan kerja diselenggarakan untuk membekali, meningkatkan, dan mengembangkan keterampilan, kemampuan, dan produktivitas tenaga kerja. Manfaat tersebut dapat berdampak pada prosedur kerja sehingga pengoperasian mesin menjadi lebih optimal (Sastrohadiwiryo, 2021).

#### 4. Simpulan

Efisiensi Boiler selama bulan November mengalami penurunan efisiensi yang tidak teratur hingga sebesar 86%. Meskipun demikian, Boiler masih layak digunakan dalam proses produksi dikarenakan efisiensi mesin memenuhi standar perusahaan yaitu sebesar 85%. Rekomendasi perbaikan untuk menjaga efisiensi mesin yaitu dengan mengubah spesifikasi *economizer* sesuai fungsi dan standar perusahaan, memastikan kualitas bahan baku sudah sesuai spesifikasi perusahaan, melakukan pemeriksaan dan perawatan secara berkala dengan minimal

pemeriksaan dua kali selama sebulan, memberikan pelatihan terkait pengoperasian mesin Boiler, dan melakukan perbaikan prosedur operasi.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sekolah Pascasarjana Universitas Andalas atas dukungan dalam pembiayaan publikasi ini.

### Daftar Pustaka

- Anna, G., Elena, M. dan Svetlana, S. (2021). Management of Energy Supply of Production as a Factor of Sustainable Development of Machine-building Enterprises. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on Sustainable Development of Regional Infrastructure* (ISSDRI). Vol. 1. 833-839.
- Assis, R. dan Marques, P. C. (2021). A Dynamic Methodology for Setting Up Inspection Time Intervals in Conditional Preventive Maintenance. *Applied Sciences*. 11(18). 1-11.
- Chiang, K. (2023). Output-Input Ratio Efficiency Measures. *International series in management science/operations research*, 19-42.
- Dharmakusuma, M. D, Belyamin, dan Widiyatmoko. (2020). Analisis Eksergi Pada Boiler PLTU. *Jurnal Mekanik Terapan*. 1(1). 45-53.
- Djokosetyardjo, M. J. (2003). *Ketel Uap*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Garg, H. P. (1997). *Industrial Maintenance*. India: S. Chand & Company.
- Holman, J. P. dan Jasjfi, E., (1997). *Perpindahan Kalor* (Edisi ke-6). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Keenan, J. H., Keyes, F. G., Hill, P. G. and Moore, J. G. (1992). *Steam Tables: Thermodynamic Properties of Water Including Vapor, Liquid, and Solid Phases*. Krieger Pub Co.
- Martono, R.V. (2019). *Analisis Produktivitas dan Efisiensi*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Marzoog, R. J., Al-Zubaidy, S. S. dan Al-Duroobi, A. A. (2020). Study the Effect of Machine Efficiency in Production Lines Balancing. *Engineering and Technology Journal*. 38(9). 1283-1292.
- Pudjanarsa, A. dan Nursuhud, D. (2006). *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Sangputri M. E. dan Safitra A. G. (2015). Perhitungan Efisiensi Boiler Unit 20 PT PJB UBJOM Rembang pada Beban 315 MW dengan Metode Langsung (*Directed Method*). *Jurnal Kerja Praktek*. 1(1). 1-6.
- Sastrohadiwiryo, H. B. S. (2021). *Manajemen Tenaga Kerja Indonesia*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Sugiharto, A. (2020). Perhitungan efisiensi Boiler dengan metode secara langsung pada Boiler pipa api. *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*. 10(2). 1-6.
- Wuryanti, S. (1995). *Perpindahan Panas dan Penerapannya*. Bandung: Penerbit Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik.