



Analisa Unjuk Kerja Ketel Uap Pipa Air Kapasitas 20 Ton/Jam Menggunakan Bahan Bakar *Palm Kernel Shell* Dan *Palm Fiber*

Samuel Richard Hasian Pakpahan^{1*}, Ali Hasimi Pane², Tengku Jukdin Saktisahdan³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Asahan, Sumatra Utara Indonesia (21216)

corresponding author* : hasianpakpahansamuelrichard@gmail.com

Abstract

This research analyzes the performance of a water tube boiler used in a palm oil processing plant with a capacity of 20 tons/hour. The boiler utilizes biomass fuels consisting of palm kernel shells and palm fibers, which are waste products from the processing operation. The primary objective of the research was to analyze the efficiency of the boiler through direct observation methods. The findings revealed that the boiler demonstrated an average efficiency of 54.9361%, with a peak efficiency of 55.7737%. The fuel composition comprised 25% palm kernel shell and 75% palm fiber. The elemental chemical composition of the fuel was characterized by carbon (C) at 44.55%, hydrogen (H₂) at 5.35%, oxygen (O₂) at 32.625%, sulfur (S) at 44.55%, and nitrogen (N₂) at 0.0425%. The fuel's heating value was measured at 16,975.22 kJ/kg for Higher Heating Value (HHV) and 16,661.22 kJ/kg for Lower Heating Value (LHV). The fuel consumption was calculated at 1.58333 kg of fuel per second, with a combustion product mass flow rate of 17.55811 kg of gas per second. The research concludes by recommending continuous optimization of combustion processes and routine maintenance to sustain and potentially improve the boiler's performance at an optimal level.

Keywords: Water Tube Boiler, Biomass, Efficiency, Palm Kernel Shell, Palm Fiber

Abstrak

Penelitian ini menganalisis unjuk kerja ketel uap pipa air yang digunakan pada pabrik pengolahan kelapa sawit dengan kapasitas 20 ton/jam. Ketel uap ini menggunakan bahan bakar biomassa berupa cangkang kelapa sawit (*palm kernel shell*) dan serabut kelapa sawit (*palm fiber*) kelapa sawit yang merupakan limbah dari proses pengolahan. Tujuan penelitian adalah untuk menganalisa besaran efisiensi dari ketel uap, metode yang digunakan observasi langsung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketel uap memiliki efisiensi rata-rata 54,9361% dan efisiensi tertinggi 55,7737%. Persentase bahan bakar *palm kernel shell* (25%) dan *palm fiber* (75%). Kandungan elementer kimia bahan bakar C = 44,55%, H₂ = 5,35%, O₂ = 32,625%, S = 44,55%, N₂ = 0,0425%. Nilai kalor bahan bakar HHV = 16975,22

kJ/kg dan LHV = 16661,22 kJ/kg. konsumsi bahan bakar 1,583333 kg-bb/s. Laju aliran massa produk pembakaran 17,55811 kg-g, prod/s. Penelitian ini memberikan rekomendasi untuk optimasi pembakaran dan perawatan rutin guna mempertahankan performa ketel uap pada tingkat yang lebih optimal.

Kata kunci: Ketel Uap Pipa Air, Biomassa, Efisiensi, Cangkang Kelapa Sawit, Serabut Kelapa Sawit

1. PENDAHULUAN

Industri sawit Indonesia memiliki sejarah panjang yang dimulai sejak era kolonial. Benih kelapa sawit pertama kali diperkenalkan ke Indonesia pada tahun 1848 untuk keperluan kebun raya. Sejak itu, perkebunan sawit telah berkembang secara signifikan dan volume produksi juga meningkat. Pemerintah juga telah berfokus pada pengembangan industri hilir guna meningkatkan nilai tambah minyak sawit. Upaya ini berhasil mendorong pertumbuhan ekspor, yang meningkat dari USD 21,6 miliar menjadi USD 36,2 miliar dalam periode 2011-2021 (Sipayung, 2024).

Istilah ketel uap berasal dari kata *boil*, yang berarti mendidih dan menguap. berdasarkan asal kata tersebut, ketel uap atau *boiler* dapat diartikan sebagai perangkat untuk mengonversi energi. Alat ini berfungsi mengubah energi panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar menjadi energi potensial dalam bentuk uap (Ernita et al., 2022). Proses kerja ketel uap melibatkan pemanasan air dalam bejana tertutup menggunakan bahan bakar seperti minyak, gas, batubara, atau energi listrik. Prinsip kerjanya adalah mentransfer energi panas atau berubah menjadi uap. Karena air panas memiliki berat jenis lebih rendah dibandingkan air dingin, terjadi perbedaan berat jenis di dalam ketel. Air panas yang lebih ringan akan bergerak naik, sementara air dingin yang lebih berat akan turun ke bagian bawah (Gumelar et al., 2022). Berdasarkan mekanisme fluida yang digunakan terdapat dua jenis ketel uap yaitu mesin ketel uap pipa api (*water tube boiler*) dan mesin ketel uap pipa air (*fire tube boiler*). Ketel uap pipa api adalah jenis ketel uap dimana gas panas hasil pembakaran mengalir melalui satu atau lebih pipa yang berada didalam wadah berisi air. Panas dari gas tersebut ditransfer ke air melalui dinding pipa melalui proses konduksi, sehingga memanaskan air dan menghasilkan uap. Ketel uap pipa air, secara umum, memiliki desain yang menyerupai ketel pipa, namun dengan perbedaan utama bahwa uap air dan tekanan tinggi berada di dalam pipa-pipa, sementara gas hasil pembakaran terletak diluar pipa (Tambunan et al., 2023).

Dari beberapa penelitian sebelumnya, analisis efisiensi *water tube boiler* menggunakan metode langsung di PT Toba Pulp Lestari, Tbk Porsea-Sumatera Utara dengan bahan bakar adalah fiber 50% + cangkang sawit 20% + kulit kayu 30%. Diperoleh efisiensi ketel uap tertinggi adalah 60,68% dan terendah adalah 57,23% (Baringbing & Sinaga, 2023). Penentuan efisiensi ketel uap pipa api di PT X Lumajang dengan bahan bakar adalah oli bekas yang sudah di treatment. Melalui perhitungan metode langsung, efisiensi ketel uap di PT X lumajang diperoleh yang tertinggi adalah 84,710% dan terendah 52,76% (Aprilia & Hardjono, 2021). Kemudian analisis efisiensi ketel uap pipa air dilakukan pada PT XYZ dengan menggunakan metode langsung dan tidak langsung. Bahan bakar ketel uap adalah gas. Hasilnya, nilai efisiensi ketel uap untuk metode langsung adalah diperoleh sebesar 73,78% dan untuk metode tak langsung adalah diperoleh sebesar 73,37% (Gumelar et al., 2022).

Berdasarkan jurnal (Aprilia & Hardjono, 2021; Baringbing & Sinaga, 2023; Gumelar et al., 2022) efisiensi ketel uap pipa air merupakan parameter penting sebagai indikator kinerja ketel uap pipa air lebih efisien dan maksimal. Efisiensi ketel uap pipa air adalah tingkat kinerja ketel uap pipa air yang dihitung berdasarkan perbandingan antara energi yang diserap atau dipindahkan ke fluida kerja di dalam ketel dengan energi yang dihasilkan dari bahan bakar yang digunakan (Rahardja et al., 2022). Oleh karena itu, penulis dalam penelitian ini akan melakukan analisa unjuk kerja ketel uap pipa air kapasitas 20 ton uap/jam dengan bahan bakar *palm kernel shell* dan *palm fiber*. Ketel uap pipa air yang diamati sebagai bahan penelitian adalah beroperasi pada pabrik kelapa sawit (PKS). Sementara itu, analisa unjuk kerja ketel uap dilakukan melalui metode langsung dan data operasional ketel uap adalah digunakan sebagai parameter input penelitian.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan di salah satu pabrik kelapa sawit (PKS) swasta PT Agro Multi Sawita yang berlokasi di wilayah Kabupaten Asahan, Sumatera Utara. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah: ketel uap, temperatur feed water, temperatur gas duct, temperatur dearator, *palm kernel shell*, dan *palm fiber*.

Metode yang digunakan metode langsung, atau dikenal sebagai metode input-output, merupakan metode yang hanya membandingkan daya yang tersedia (uap) dan masukan panas (bahan bakar) untuk memperkirakan efisiensi. Keunggulan metode ini adalah kemampuannya untuk mengevaluasi efisiensi ketel uap secara cepat, menggunakan sedikit parameter, dan minim membutuhkan analisis laboratorium dalam perhitungannya (Wicaksana et al., 2023).

Penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui perhitungan reaksi pembakaran, produk pembakaran, perbandingan udara bahan bakar, nilai kalor bahan bakar, laju aliran massa bahan bakar, laju aliran massa udara pembakaran, laju aliran massa gas produk pembakaran, efisiensi ketel uap pipa air (*water tube boiler*).

Bahan bakar adalah suatu materi yang dapat diubah menjadi energi (Yuliani et al., 2022). Bahan bakar yang digunakan pada PT Agro Multi Sawita ialah bahan bakar biomassa dengan perbandingan *palm kernel shell* 25 % dan *palm fiber* 75%. Biomassa adalah sumber energi terbarukan yang berasal dari material biologis, seperti tanaman, pertanian, perkebunan, limbah industri, serta limbah rumah tangga yang bersifat organik (Dewi et al., 2022). Berikut presentase unsur kimia *palm kernel shell* dan *palm fiber* yang bersumber dari (Siswanto, 2020).

Tabel 1. Unsur kimia palm kernel shell dan palm fiber

Nama Unsur	<i>Palm Kernel Shell</i> (%)	<i>Palm Fiber</i> (%)
Carbon (C)	50,4	42,6
Hidrogen (H_2)	5,8	5,2
Oksigen (O_2)	34,2	32,1
Nitrogen (N_2)	0,05	0,04
Abu	4,4	5,7
Sulfur	0,1	0,2

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Reaksi Pembakaran

Untuk mencari massa $m_{f,i}$ pada molekul carbon (c) = 44,55 : 100 = 0,4455 kg.

$MW_{bb,i}$ Massa atom pada unsur adalah C = 12.

$NM_{bb,i}$ adalah jumlah mole untuk setiap molekul (i)

$$NM_{bb,i} = \frac{0,4455}{12} = 0,037125 \text{ kmol}$$

$NM_{bb,tot}$ adalah jumlah total dari mole untuk setiap molekul yang dilakukan pembagian dimana hasil nya adalah $NM_{bb,tot}$.

$$NM_{bb,tot} = 0,037125 : 0,02675 : 0,010195313 : 0,0000546875 : 0,0000151786 \\ = 0,074140179 \text{ kmol}$$

Menentukan fraksi mole dari molekul bahan bakar carbon ($y_{bb,i}$)

$$y_{bb,i} = \frac{0,037125}{0,074140179} = 0,500740634$$

Tabel 2. Fraksi mole untuk setiap molekul bahan bakar

Mol.	$m_{f,i}$ (kg)	$MW_{bb,i}$ (kg/mol)	$NM_{bb,i}$ (kmol)	$NM_{bb,tot}$ (kmol)	$y_{bb,i}$
C	0,4455	12	0,037125	0,074140179	0,500740634
H ₂	0,0535	2	0,02675		0,360803016
O ₂	0,32625	32	0,010195313		0,137514
S	0,00175	32	0,0000546875		0,000737623
N ₂	0,000425	28	0,0000151786		0,000204728

3.2. Produk Pembakaran

Untuk mencari molekul dengan menggunakan tabel periodik dengan massa atom.

Molekul CO₂ = 12 + (15,999 x 2) = 33,998 (44)

$NM_{prod,i}$ adalah nilai dari Tabel 2.

$$NM_{prod,tot,wb} = 0,50074063 + 0,36080302 + 0,00073762 + 1,02361237 \\ + 0,27218288 \\ = 2,158077$$

$$NM_{prod,tot,db} = 0,50074063 + 0,00073762 + 1,023612 + 0,27218288 \\ = 1,797274$$

$$y_{prod,i}(wet\ basis) = \frac{0,50074063}{2,158077} = 0,232031$$

$$y_{prod,i}(dry\ basis) = \frac{0,50074063}{1,797274} = 0,278611$$

Untuk berat mole total produk pembakaran $MW_{prod,tot}$ dapat ditentukan baik dalam basis basah maupun basis kering.

1. Untuk basis basah (*wet basis*)

$$MW_{prod,tot,wb} = \frac{(44 \times 0,500741) + (18 \times 0,360803) + (64 \times 0,000738) + (28 \times 1,02361237) + (32 \times 0,27218288)}{2,158077} \\ = 24,18606 \text{ kg/mol}$$

2. Untuk basis kering (*dry basis*)

$$MW_{prod,tot,db} = \frac{(44 \times 0,500741) + (64 \times 0,000738) + (28 \times 0,544366) + (32 \times 0,27218288)}{2,069456}$$

$$= 25,42791 \text{ kg/mol}$$

Tabel 3. Produk pembakaran

Fraksi Mole Untuk Setiap Molekul Produk Pembakaran ($y_{prod,i}$)						
Mol.	MW _i kg/mol	NM _{prod,i} kmol	NM _{prod,tot} (<i>wet basis</i>) kmol	NM _{prod,tot} (<i>dry basis</i>) kmol	$y_{prod,i}$ (<i>wet basis</i>)	$y_{prod,i}$ (<i>dry basis</i>)
CO ₂	44	0,50074063	2,158077	1,797274	0,232031	0,278611
H ₂ O	18	0,36080302			0,167187	0,20075
SO ₂	64	0,00073762			0,000342	0,00041
N ₂	28	1,02361237			0,474317	0,569536
O ₂	32	0,27218288			0,126123	0,151442

3.3. Perbandingan Udara Bahan Bakar

1. PUBB teoritis

- a. Dalam basis mole

$$PUBB_{mole,th} = \frac{0,544365765 \times 4,76}{1}$$

$$= 2,591181 \text{ kg}$$

- b. Dalam basis massa

$$PUBB_{massa,th} = \left[2,591181 \times \frac{28,97}{11,16028} \right]$$

$$= 6,726223$$

2. PUBB actual

- a. Dalam basis mole

$$PUBB_{mole,akt} = \frac{0,544365765(0,5 + 1) \times 4,76}{1}$$

$$= 3,88677$$

- b. Dalam basis massa

$$PUBB_{massa,akt} = \left[3,886772 \times \frac{28,97}{11,16028} \right]$$

$$= 10,08933$$

3.4. Nilai Kalor Bahan Bakar

1. Nilai kalor tertinggi (HHV) bahan bakar

$$HHV = 33950 \times 0,4455 + 144200 \left(0,0535 - \frac{0,32625}{8} \right) + 9400 \times 0,00175$$

$$= 16975,22 \text{ kJ/kg}$$

2. Nilai kalor terendah (LHV) bahan bakar

$$LHV = 16975,22 - 2400(12,6 + 9 \times 0,0535) \text{ kJ/kg}$$

$$= 16661,26 \text{ kJ/kg}$$

3.5. Laju Aliran Massa Bahan Bakar

$$\text{Plam kernel shell} = 30 \text{ ton tbs} \times 6\% = 1.800 \text{ kg}$$

$$\text{Palm fiber} = 30 \text{ ton tbs} \times 13\% = 3.900 \text{ kg}$$

$$\text{Konsumsi perjam} = 1.800 \text{ kg} + 3.900 \text{ kg} = 5.700 \text{ kg}$$

$$\dot{m}_{bb} = 5700 \text{ kg/jam} = 1,58333 \text{ kg/dtk}$$

3.6. Laju Aliran Massa Udara Pembakaran

1. Konsumsi udara pembakaran teoritis

$$\dot{m}_{ud,th} = 6,726223 \times 1,583333$$

$$= 10,64385 \text{ kg} - \text{ud/s}$$

2. Konsumsi udara pembakaran aktual

$$\dot{m}_{ud,akt} = 10,08933 \times 1,583333$$

$$= 15,97478 \text{ kg} - \text{ud/s}$$

3.7. Laju Aliran Massa Udara Pembakaran

$$\dot{m}_{g,prod} = 1,58333 + 15,97478$$

$$\dot{m}_{g,prod} = 17,55811 \text{ kg} - \text{g, prod/s}$$

3.8. Efisiensi Ketel Uap Pipa Air (Water Tube Boiler)

$$\eta_B = \frac{5,55556 \times (2977,206 - 376,9684)}{1,58333 \times 16661,26} \times 100$$

$$= 54,75959\%$$

3.9. Rata-Rata Perhitungan Efisiensi Minggu 1-5

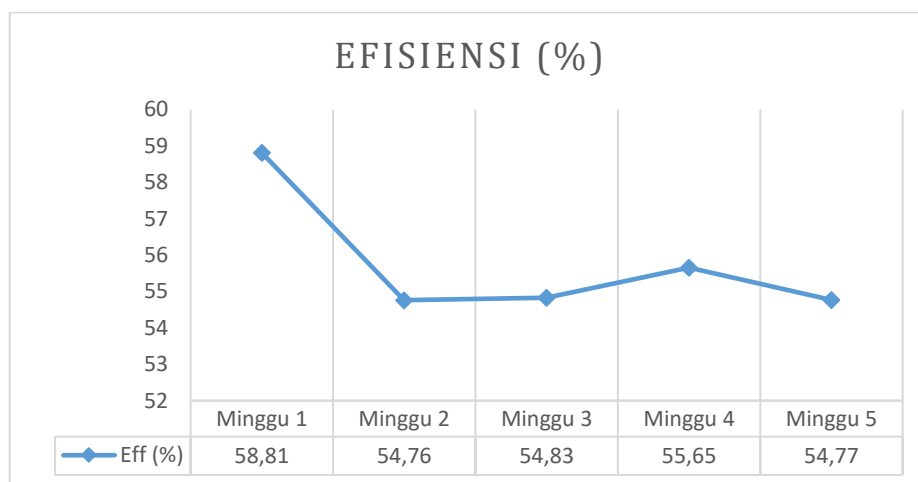
Tabel 4. Nilai rata-rata efisiensi 5 minggu

Minggu	P	T	T _{sat}	M _u	M _{bb}	H _{sup}	H _{air}	T _{air}	Eff. (%)
1	1989	280	211,81	5,56	1,58	2977,94	375,41	89,63	58,81
2	2000	280	212,39	5,56	1,58	2977,21	376,97	90	54,76
3	1989	280	212,1	5,56	1,58	2977,57	373,86	89,26	54,83
4	2000	280	212,39	5,56	1,58	2977,21	372,3	88,89	55,65
5	1983	280	211,95	5,56	1,58	2977,75	376,97	90	54,77

Berdasarkan analisis data operasional PT Agro Serasi Lestari selama 5 minggu pengamatan. Pengumpulan data dilakukan secara sistematis setiap jam dari pukul 09:00 hingga 17:00 wib setiap minggu yang kemudian di rata – rata kan setiap minggu dengan fokus pada parameter kinerja sistem. Parameter-parameter tersebut mencakup seperti tekanan (P), temperatur uap (T), temperature saturasi (T_{sat}), massa udara (M_u), massa bahan bakar (M_{bb}), entalpi superheater (H_{sup}), entalpi udara (H_{air}), temperatur udara (T_{air}) dan efisiensi.

Pada Tabel 4 perhitungan efisiensi terdapat parameter yang stabil, seperti temperatur uap (T) sebesar $280\text{ }^{\circ}\text{C}$, massa udara (M_u) $5,56$, massa bahan bakar (M_{bb}) $1,58\text{ kg/dtk}$. Untuk parameter lainnya memiliki nilai yang fluktuatif, seperti tekanan (P) yang bervariasi antara $1983 - 2000$, temperatur udara (T_{air}) yang bervariasi antara $89,26 - 90\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperature saturasi (T_{sat}) yang bervariasi antara $211,81 - 212,39$, entalpi superheater (H_{sup}) yang bervariasi antara $2977,21 - 2977,74$, entalpi udara (H_{air}) yang bervariasi antara $372,3 - 376,97$.

Secara keseluruhan, dapat dilihat dari data operasional selama lima minggu pengamatan menunjukkan bahwa PT Agro Serasi Lestari telah menerapkan sistem pengendalian yang efektif. Hal ini terlihat dari minimnya fluktuasi pada parameter-parameter kunci dan konsistensi nilai efisiensi yang terjaga. Untuk dapat melihat grafik efisiensi rata-rata selama 5 minggu dapat dilihat dari gambar 1.



Gambar 1. Grafik nilai rata-rata efisiensi 5 minggu

Pada grafik efisiensi menunjukkan fluktuasi selama periode 5 minggu pengamatan. Pada minggu pertama, sistem mencapai efisiensi tertinggi sebesar $58,81\%$. Namun, terjadi penurunan signifikan pada minggu kedua dimana efisiensi turun menjadi $54,76\%$. Memasuki minggu ketiga, efisiensi mengalami sedikit peningkatan menjadi $54,83\%$. Pola kenaikan berlanjut pada minggu keempat dengan efisiensi mencapai $55,65\%$. Di minggu terakhir atau minggu kelima, efisiensi kembali mengalami penurunan menjadi $54,77\%$. Secara keseluruhan, meski terjadi fluktuasi, sistem cenderung mempertahankan efisiensi pada kisaran $54-55\%$ setelah penurunan dari nilai tertinggi di minggu pertama.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dan perhitungan dalam jurnal ini, diperoleh beberapa kesimpulan penting. Komposisi bahan bakar pada ketel uap pipa air terdiri dari 25% cangkang kelapa sawit (*palm kernel shell*) dan 75% serabut kelapa sawit (*palm fiber*). Penelitian ini mengidentifikasi kandungan elementer kimia bahan bakar $C = 44,55\%$, $H_2 = 5,35\%$, $O_2 = 32,625\%$, $S = 44,55\%$, $N_2 = 0,0425\%$. Nilai kalor bahan bakar yang dihasilkan mencapai *High Heating Value* (HHV) sebesar $16.975,22\text{ kJ/kg}$

dan *Low Heating Value* (LHV) sebesar 16.661,22 kJ/kg. Dalam operasional ketel uap, konsumsi bahan bakar tercatat sebesar 1,58333 kg per detik. Laju aliran massa produk pembakaran mencapai 17,55811 kg gas produk per detik. Secara keseluruhan, efisiensi pembakaran menunjukkan hasil yang signifikan, dengan rata-rata efisiensi selama 5 minggu pengamatan terendah 54,76% dan mencapai nilai tertinggi 58,81%.

Saran yang dapat diberikan untuk pengoptimalan kinerja ketel uap pipa air. Pertama, disarankan untuk melakukan peningkatan efisiensi ketel uap pipa air melalui pelaksanaan pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) yang dilakukan secara berkala dan terencana. Selain aspek teknis, pengembangan sumber daya manusia juga menjadi fokus penting. Peningkatan kompetensi operator melalui pelatihan khusus dipandang perlu untuk mendukung kinerja dan kemampuan SDM dalam mengoperasikan ketel uap dengan lebih baik dan efisien. Terakhir, optimasi sistem ketel uap dapat dicapai melalui penyempurnaan kontrol temperatur dan aliran. Langkah ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan performa dan efektivitas pengoperasian ketel uap secara menyeluruh.

Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Tengku Jukdin Saktisahdan, M.Eng dan Bapak Ali Hasimi Pane, M.T. selaku dosen pembimbing di Fakultas Teknik Universitas Asahan, yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan artikel ilmiah. Apresiasi juga disampaikan kepada Bapak Lesman Panjaitan dan Rudi R. Panjaitan atas rekomendasi yang memungkinkan penulis melakukan penelitian di PT Agro Serasi Lestari. Dukungan mereka sangat berarti dalam terselesaikannya artikel ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA / REFERENCE

- Aprilia, D., & Hardjono. (2021). Penentuan Efisiensi Boiler Dengan Menggunakan Metode Langsung Di PT X Lumajang. *Teknik Mesin*, 7(2), 421–426.
- Baringbing, M. H., & Sinaga, Dr. Ir. N. (2023). Analisis Efisiensi Water Tube Boiler Menggunakan Metode Langsung Di Pt. Toba Pulp Lestari, Tbk Porsea-Sumatera Utara. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(2), 49–68.
- Dewi, R., Djufri, U., & Wijaya, H. (2022). Pemanfaatan Biomassa Padat Kelapa Sawit Sebagai Energi Baru Terbarukan Di Pltu Pabrik Kelapa Sawit Pt. Perkebunan Nusantara VI Unit Usaha Bunut. *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPKA)*, 5(1), 17–23. <https://doi.org/10.33087/jepca.v5i1.71>
- Ernita, H., Saufi, ilham, & Susan Silitonga, A. (2022). Analisis Efisiensi Ketel Uap Pipa Air Pada Pltu Biomassa Pt Growth Asia. *Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan Tahun 2022*, 3(1), 1066–1073.

Gumelar, G. P. A., Dewi, M. N., Miftah, A., Endranaka, W., & S P Eka, B. A. F. (2022). Analisis Efisiensi Boiler Berbahan Bakar Gas Di Pt Xyz Menggunakan Metode Langsung Dan Tidak Langsung. *Jurnal Teknik Kimia*, 2, 22–28.

Rahardja, I. B., Abinanda, E., & Siregar, A. L. (2022). Water Tube Boiler Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 45 Ton/Jam. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 14(1), 39–54.

Sipayung, T. (2024, March 15). *Sejarah Kelapa Sawit dan Minyak Kelapa Sawit 2024*. <https://palmoilina.asia/>. <https://palmoilina.asia/sawit-hub/sejarah-kelapa-sawit/>

Siswanto, J. E. (2020). Analisis Limbah Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar Boiler dengan Menggunakan Variasi Campuran Antara Fiber dan Cangkang Buah Sawit. *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPKA)*, 3(1), 22. <https://doi.org/10.33087/jepca.v3i1.35>

Tambunan, D. H., Sipayung, A., Pakpahan, A., & Tarigan, Y. (2023). Unjuk Kerja Kapasitas Ketel Uap Mini Menggunakan Bahan Bakar Gas. *Ilmiah Teknik Mesin*, 4(1), 49–59.

Wicaksana, S. P., Rahmatulloh, A., & Subandi, R. (2023). Analisis Efisiensi Boiler Fire-Tube Pada Produksi Stpp Di PT Petrocentral Gresik Menggunakan Metode Langsung Dan Tidak Langsung. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 9(3), 258–265. <https://doi.org/10.33795/distilat.v9i3.3777>

Yuliani, D., Saryono, S., Apriani, D., Maghfiroh, & Ro, M. (2022). Dampak Kenaikan Harga Bahan Bakar Minyak (BBM) Terhadap Sembilan Bahan Pokok (Sembako) Di Kecamatan Tambun Selatan Dalam Masa Pandemi. *Jurnal Citizenship Virtues*, 2(2), 320–326.