AGROFORETECH

Volume 4, Nomor 3, September 2026

Analisis Kebutuhan dan Konsumsi Bahan Bakar *Boiler* per Ton *Steam* yang Dihasilkan di PT XYZ Kalimantan Tengah

Immanuel Ersan Saragi[*)], Lisma Safitri, Harsunu Purwoto
Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian,
INSTIPER Yogyakarta
[*)]Email Korespondensi: nuelimma29@gmail.com

ABSTRAK

Boiler adalah alat di pabrik kelapa sawit yang berfungsi menghasilkan *steam* sebagai sumber energi untuk proses pengolahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh tekanan *steam* dan suhu *feed water* terhadap perubahan *entalphy*, menghitung besarnya nilai kalor total yang telah dihasilkan dari fiber dan cangkang, serta pengaruh *moisture*, *oil*, dan NOS terhadap nilai kalor, mengkaji jumlah massa bahan bakar aktual yang dikonsumsi untuk menghasilkan setiap satu ton *steam* di PT. XYZ. Penelitian ini dilakukan melalui observasi kuantitatif dengan pendekatan neraca massa dan neraca energi menggunakan data operasional harian *boiler* dari tanggal 06 Oktober 2025 sampai 10 September 2025. Data yang dianalisis meliputi tekanan dan suhu *steam*, tekanan dan suhu *feed water*, produksi *steam*, konsumsi bahan bakar, dan hasil analisa laboratorium fiber dan cangkang. Perhitungan memakai metode energi dengan efisien *boiler* 73%. Hasil menunjukkan tekanan *steam* relatif stabil di sekitar 21 bar jadi pengaruhnya pada perubahan *entalphy* tidak besar, tapi suhu *feed water* memberikan pengaruh yang besar pada perubahan *entalphy*. Rata-rata *entalphy steam* tercatat 668,60 kkal/kg dan *entalphy feed water* 80,62 kkal/kg, jadi perubahan *entalphy* rata-rata 587,97 kkal/kg. Nilai kalor bahan bakar dipengaruhi oleh *moisture*, *oil*, dan NOS yang dimana *moisture* menurunkan nilai kalor, tapi *oil* dan NOS menaikkan nilai kalor. Kebutuhan bahan bakar aktual *boiler* selama penelitian berkisar 7.666,91-7.734,96 kg/jam dengan produksi *steam* 21.268,7 - 28.423,81 kg/jam. Rata-rata konsumsi bahan bakar per ton *steam* yang dihasilkan adalah 305,54 kg/ton *steam*.

Kata Kunci: *boiler*, *steam*, kebutuhan bahan bakar, konsumsi bahan bakar, nilai kalor, fiber, cangkang, *entalphy*.

PENDAHULUAN

Pabrik kelapa sawit (PKS) merupakan pabrik untuk mengolah tandan buah kelapa segar (TBS) menjadi minyak kelapa sawit dan inti sawit melalui proses mekanis dan termal. Dalam mengolah sawit, pabrik kelapa sawit menggunakan *boiler* untuk menghasilkan *steam* dan membangkitkan energi pada pabrik kelapa sawit (Aini et al., 2024).

Pada penelitian Dinata & Kurniawan, (2024) mengungapkan fiber dan cangkang merupakan limbah biomassa utama dari proses pengolahan kelapa sawit yang umum digunakan sebagai bahan bakar *boiler* karena memilikikandungan energi panas dan ketersediaan yang cukup untuk pembentukan *steam*.

Boiler pada PKS umumnya memakai bahan bakar fiber dan cangkang, yang dimana fiber dan cangkang tersebut diperoleh dari hasil proses pengolahan tandan buah segar. Nilai kalor bahan bakar menjadi faktor penting dalam pembakaran dan jumlah *steam* yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai kalor bahan bakar, maka semakin sedikit bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi panas (Sitorus, R. S., Pratama, A. B., Saragi, J. F. H. T., 2025)

Nilai kalor merupakan parameter penting dalam menentukan jumlah energi yang dapat dilepaskan oleh bahan bakar saat proses pembakaran. Semakin tinggi nilai kalor bahan bakar, maka semakin besar energi panas yang tersedia untuk proses pembentukan *steam* (Shuit et al., 2008)

Menurut Rahardja et al., (2021), kandungan *moisture*, *oil*, dan NOS sangat mempengaruhi nilai kalor dari bahan bakar yang digunakan, yang dimana *moisture* menurunkan nilai kalor karena sebagian energi dipakai untuk mengupakan air selama proses pembakaran.

Selain *moisture*, *oil*, dan NOS, kondisi operasional *boiler* seperti tekanan *steam* dan suhu *feed water* juga mempengaruhi proses pembentukan *steam* (Hartanto et al., 2020).

Kinerja *boiler* dapat dianalisis melalui keseimbangan antara energi yang berasal dari pembakaran bahan bakar dan energi yang diserap untuk menghasilkan steam, sehingga evaluasi penggunaan energi menjadi penting dalam menentukan kebutuhan bahan bakar dan efisiensi operasional *boiler* (Barma et al., 2017)

Maka dari itu dilakukan analisis kebuutuhan dan konsumsi bahan bakar *boiler* per ton *steam steam* yang dihaasilkan di PT. XYZ Kalimantan Tengah untuk mengetahui jumlah penggunaan bahan bakar, konsumsi bahan bakar per ton *steam* yang dihasilkan dan pengaruh tekanan *steam* dan suhu *feed water* terhadap perubahan *entalphy*.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di PT. XYZ Kalimantan Tengah pada unit *boiler* pabrik kelapa sawit selama periode 06 Oktober sampai 10 November 2025.

Alat dan bahan

Alat yang digunakan adalah *oven* pengering, timbangan analitik, *soxhlet*, desikator, *pressure gauge*, dan wadah sampel. Bahan yang digunakan adalah sampel fiber, cangkang, n-hexane, dan kapas penyumbat

Pengambilan data

Data Penelitian meliputi:

- Tekanan *steam*
- Suhu *feed water*
- Tekanan *feed water*
- Suhu *steam*
- Produksi *steam*
- Konsumsi bahan bakar
- Analisa *moisture*, *oil*, dan NOS

Analisa sampel

Analisa sampel dilakukan di laboratorium untuk mengetahui *moisture*, *oil*, dan NOS, dengan analisa *moisture* menggunakan *oven* pada suhu 105^0 selama 8 jam. Analisa *oil* dilakukan menggunakan ekstraksi soxhlet dengan pelarut n-hexane. Nilai NOS dihitung menggunakan persamaan: NOS = 100 – (% *moisture* + % *oil*).

Analisis Data

Penelitian menggunakan pendekatan neraca massa dan neraca energi. Konsumsi bahan bakar per ton *steam* dihitung menggunakan metode energi. Penelitian menggunakan pendekatan neraca massa dan neraca energi. Pada proses pembentukan *steam*, energi panas dari pembakaran bahan bakar digunakan untuk mengubah *feed water* menjadi *steam*.

Besarnya kebutuhan energi tersebut dipengaruhi oleh perubahan *entalphy* antara *steam* dan *feed water* (Çengel, Y. A., & Boles, 2015).

Kebutuhan dan konsumsi bahan bakar dalam pembentukan *steam* juga berkaitan dengan kondisi *feed water*, karena perubahan temperatur air umpan akan memengaruhi kebutuhan energi yang diperlukan selama proses pembentukan *steam* (Okwabi et al., 2023)

Metode energi:

K per ton *steam* = $\frac{h\ steam - h\ feed\ water}{\eta \text{ x LHVcampuran}}$

Keterangan :

K per ton *steam* = Konsumsi per ton *steam*
h *steam* = *Entalphy steam* (kkal/kg)
h *feed water* = *Entalphy feed water* (kkal/kg)
η = Efisiensi *boiler* (73%)
LHV = Nilai kalor bahan (kkal/kg)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tekanan *steam* dan suhu *feed water* merupakan parameter operasional yang berkaitan dengan kebutuhan energi dalam proses pembentukan *steam* (Erbas, 2021). Perubahan kondisi operasi boiler dapat memengaruhi performa termal dan kebutuhan energi melalui pendekatan neraca energi. Dari hasil penelitian, tekanan *steam* relatif stabil jadi pengaruhnya terhadap perubahan *entalphy* tidak besar. Tapi, suhu *feed water* malah sebaliknya, dia memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap perubahan *entalphy*, tabel 1 dibawah ini adalah tabel *entalphy* maksimum, minium, dan rata-rata dari *steam* dan *feed water*.

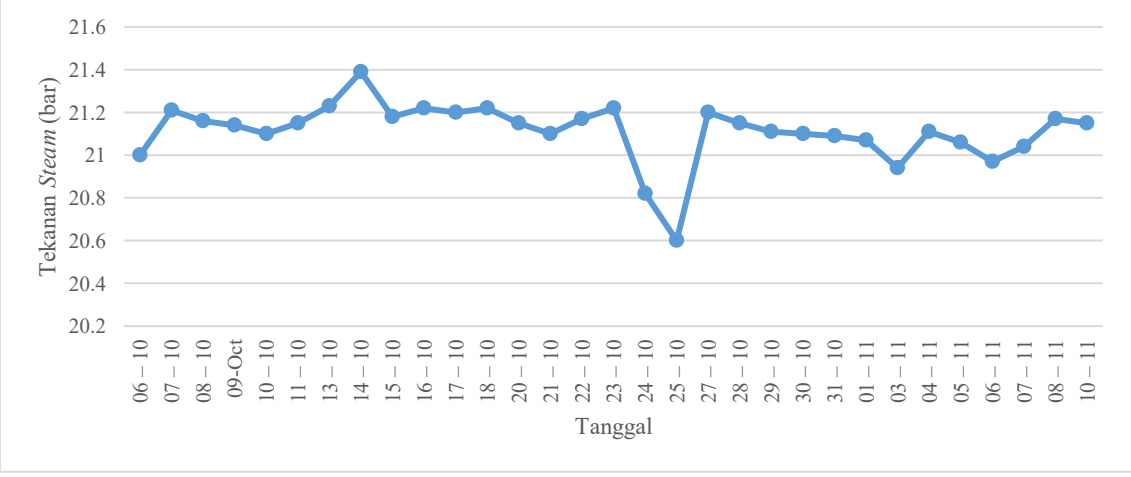
Tabel 1 *Entalphy steam* dan *feed water*

Parameter	Minimum	Maksimum	Rata-rata
Entalphy steam (kkal/kg	668,49	668,69	668,60
Entalphy feed water (kkal/kg)	77,82	83,10	80,62
Perbedaan *entalphy* (kkal/kg)	585,53	590,79	587,97

(Sumber: Data primer, 2025)

Dari tabel 1 di atas dapat dilihat bahwa nilai minimum *entalphy steam* berada pada kisaran 668,49 kkal/kg, nilai maksimum 668,69 kkal/kg dan rata-rata 668,60 kkal/kg, sedangkan untuk *entalphy feed water* memiliki nilai minimum 77,82 kkal/kg, maksimum 83,10 kkal/kg, dan rata-rata 80,62 kkal/kg, dengan perbedaan *entalphy* adalah 587,97 kkal/kg untuk minimum, 590,79 kkal/kg untuk maksimum, dan rata-rata 587,97 kkal.kg.

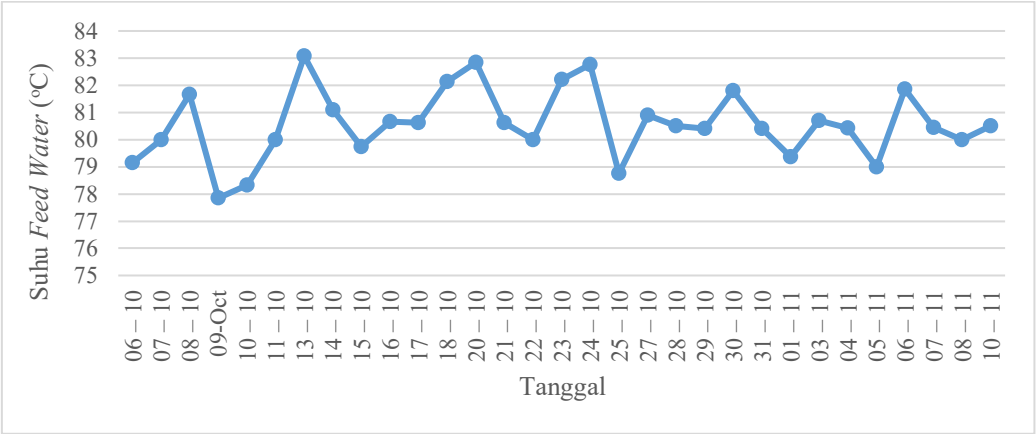
Untuk melihat perubahan tekanan *steam* selama penelitian dapat dilihat grafik berikut.



Gambar 1. Perubahan Tekanan *Steam*

Dari gambar 1 di atas dapat dilihat bahwa tekanan *steam* mengalami perubahan dari 20,6 bar yang paling rendah yang terjadi pada tanggal 25 Oktober 2025 hingga 21,39 bar yang paling tinggi di tanggal 14 Oktober 2025 dengan rata-rata perubahan *steam* adalah 21,11 bar. Perubahan tekanan *steam* seperti gambar di atas dapat diakibatkan oleh perubahan beban kebutuhan steam pada saat pengoperasian di *boiler*.

Untuk melihat juga bagaimana perubahan suhu *feed water* selama penelitian dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 2 Perubahan Suhu *Feed water* (^{0}C)

Dari gambar grafik 2 dapat dilihat bahwa gambar grafik tersebut mengalami juga perubahan dari yang terkecil 77,85 ^{0}C pada tanggal 9 Oktober 2025 hingga 83,08 ^{0}C pada tanggal 13 Oktober 2025 dengan rata-rata suhu *feed water* adalah 80,42 ^{0}C. Perubahan suhu pada *feed water* dapat diakibatkan kondisi pemanasan *feed water* di *feed water tank* atau daerator tank.

Berdasarkan gambar grafik 1 dan gambar grafik 2 diketahui bahwa tekanan *steam* selama penelitian lebih cenderung stabil jika dibandingkan dengan suhu *feed water* yang mengalami perubahan yang lebih besar daripada tekanan *steam*. Kedua variabel ini akan memberikan pengaruh terhadap perubahan *entalphy*.

Berikut adalah tabel 2 perubahan *entalphy* (Δh) pada *steam* dan *feed water*. Perubahan *entalphy steam* dan *feed water* diperoleh dengan rumus h *steam* – h *feed water*, dimana h adalah *entalphy*.

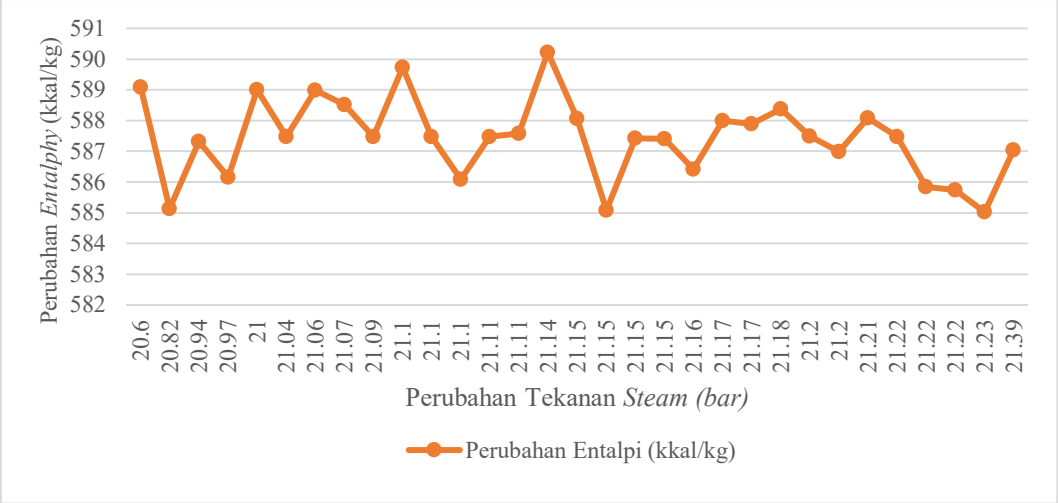
Tabel 2 Perubahan *Entalhpy Steam* dan *Feed water*

Parameter	h *steam* (kkal/kg)	h *feed water* (kkal/kg)	Perubahan *entalphy* (kkal/kg)
Jumlah	20.726,62	2.499,37	18.227,25
Rata-rata	668,60	80,62	587,97

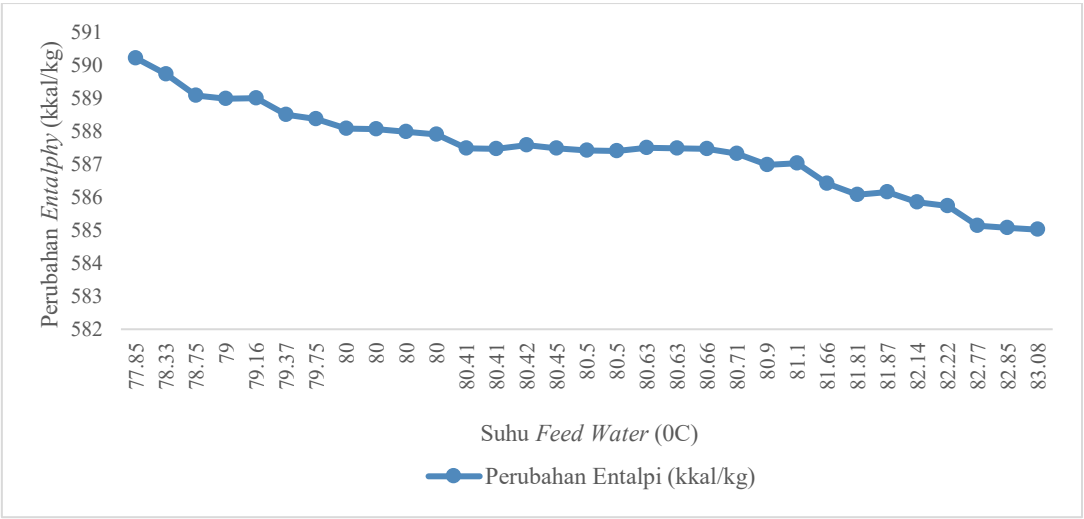
(Sumber : Hasil pengolahan data penelitian, 2025)

Berdasarkan tabel 2 perubahan *entalphy steam* dan *feed water* di atas dapat dilihat bahwa jumlah *entalphy steam* sebesar 20.726,62 kkal/kg dan *entalphy feed water* 2.499,37 kkal/kg jadi jumlah keseluruhan perubahan *entalphy* adalah 18.227,25 kkal/kg. Nilai rata-rata *entalphy steam* adalah 668,60 kkal/kg dan *entalphy feed water* adalah 80,62 kkal/kg, dengan rata-rata perubahan *entalphy* adalah 587,97 kkal.kg.

Perubahan *entalphy steam* dan *feed water* disajikan dalam bentuk grafik sederhana, yaitu antara tekanan *steam* terhadap perubahan *entalphy* serta suhu *feed water* terhadap perubahan *entalphy* yang dapat dilihat pada gamabr di bawah ini.



(a)



(b)

Gambar 3 (a) Grafik Hubungan Tekanan *Steam* terhadap Perubahan *Entalphy*
(b) Grafik Hubungan Suhu *Feed water* terhadap Perubahan *Entalhpy*

Berdasarkan gambar 3 di atas dapat dilihat bahwa kedua gambar tersebut memiliki pola yang berbeda, yang dimana gambar (a) grafik hubungan tekanan *steam* terhadap perubahan *entalphy* menunjukkan grafik naik turun meskipun data tekanan *steam* sudah diurutkan dari yang terkecil hingga yang terbesar, ini menunjukkan perubahan tekanan *steam* tidak diikuti oleh perubahan *entalphy*, ini terjadi karena selama penelitian tekanan *steam* relatif stabil jadi hubungan tekanan *steam* dan perubahan *entalhpy* tidak terlihat dengan jelas.

Akan tetapi gambar (b) grafik hubungan suhu *feed water* terhadap perubahan *entalphy* menunjukkan grafik berbeda yaitu semakin tinggi suhu *feed water* perubahan *entalphy* menurun, ini berarti ketika suhu *feed water* meningkat maka *entalphy feed water* semakin tinggi, sehingga perbedaan *entalphy steam* dan *entalphy feed water* menjadi lebih kecil. Dan juga dari gambar grafik 3 (b) tersebut terlihat hubungan lebih jelas daripada hubungan tekanan *steam* dan perubahan *entalphy* (a).

Setelah melihat grafik dari hubungan tekanan *steam* dan suhu *feed water* terhadap perubahan *entalphy*, dibawah ini adalah hasil analisis regresi untuk melihat lebih jelas bagaimana hubungan tekanan *steam* dan suhu *feed water* terhadap perubahan *entalphy*.

Tabel 3 Hasil Analisis Regresi

Variabel	Koefisien	Std. Error	t hitung	Sig.
Konstanta	666,2748	0,7795	854,704	<0,001
Tekanan *steam* (X_1)	0,1643	0,0368	4,464	0,00012
Suhu *feed water* (X_2)	-1,0148	0,0040	-253,541	<0,001

(Sumber: Hasil pengolahan data menggunakan RStudio, 2025)

Persamaan di atas menunjukkan bahwa tekanan uap adalah X1 memiliki koefisien regresi sebesar 0,1643 yang artinya jika tekanan uap meningkat 1 bar, perubahan *entalphy* diperkirakan naik sekitar 0,1643 kkal/kg, dengan suhu umpan tetap. Signifikansi 0,00012 yang lebih kecil dari 0,05 menunjukkan hubungan tersebut signifikan secara statistik. Suhu umpan (X2) memiliki koefisien regresi sebesar -1,0148. Ini berarti kenaikan suhu umpan sebesar 1°C diperkirakan menurunkan perubahan *entalphy* sekitar 1,0148 kkal/kg, dengan tekanan uap tetap. Nilai signifikansi < 0,05 menunjukkan hubungan tersebut juga signifikan secara statistik. Hubungan negatif antara suhu umpan dan perubahan *entalphy* sesuai dengan perhitungan *entalphy* yang dipakai dalam penelitian, yaitu selisih *entalphy* uap dan *entalphy* umpan. Saat suhu umpan naik, *entalphy* umpan ikut naik sehingga selisih *entalphy* uap dan umpan menjadi lebih kecil.

Analisa Kualitas Fiber dan Cangkang

Kualitas fiber dan cangkang dipengaruhi oleh *moisture*, *oil*, dan NOS. ketiga hal tersebut menentukan besar kecilnya nilai kalor dari bahan bakar. Berikut adalah tabel 4 Analisa kualitas fiber dan cangkang.

Tabel 4 Analisa Kualitas Fiber dan Cangkang

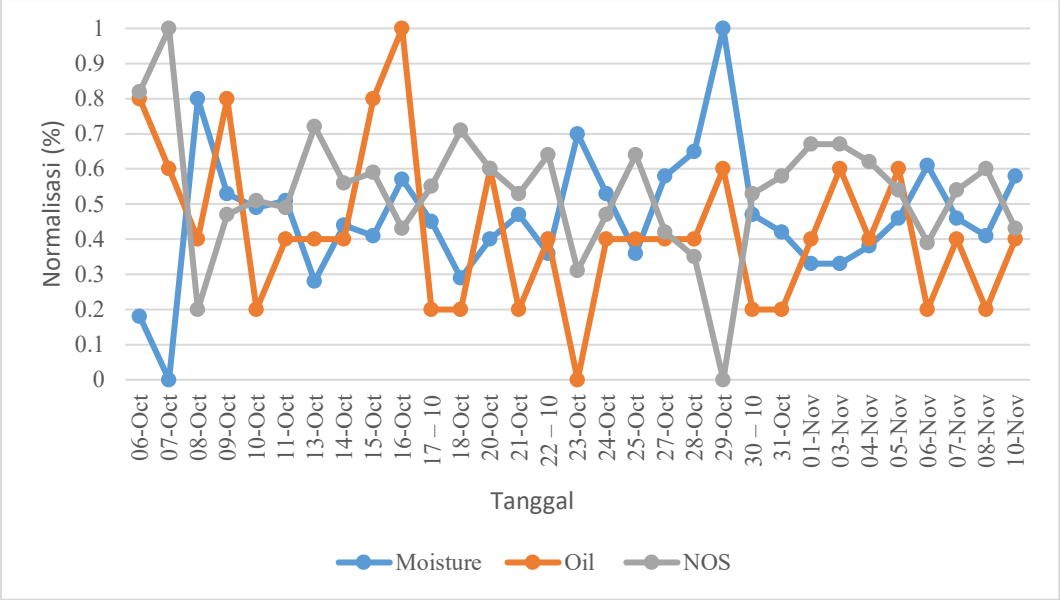
Parameter	Fiber			Cangkang		
	M (%)	O (%)	N (%)	M (%)	O (%)	N (%)
Rata-rata	34,25%	3,92%	61,83%	13,63%	1,12%	85,25%
Standar deviasi	3,06	0,01	3,06	1,11	0,06	1,12
Min	26,44	3,90	52,89	10,75	1,04	82,34
Max	43,18	3,95	69,63	16,42	1,29	88,14

(Sumber: Data primer, 2025)

Pada tabel 4 analisa kualitas bahan bakar di atas, diketahui bahan bakar fiber dan cangkang selama penelitian yang terdiri dari *moisture*, *oil*, dan NOS. Pada fiber diketahui rata-rata *moisture* adalah sebesar 34,25% ± 3,06%, *oil* 3,92% ± 0,01%, dan NOS sebesar 61,83% ± 3,06%. Pada cangkang diperoleh rata-rata *moisture* 13,63% ± 1,11, *oil* 1,12% ± 0,06, dan NOS 85,25% ± 1,12. Dan selama penelitian *moisture* pada fiber berkisar 26,44% - 43,18%, *oil* 3,90% - 3,95%, dan NOS 52,89% - 69,63%, sedangkang *moisture* pada cangkang berkisar 10,75% - 16,42%, *oil* 1,04% - 1,29%, dan NOS 82,34% - 88,14%.

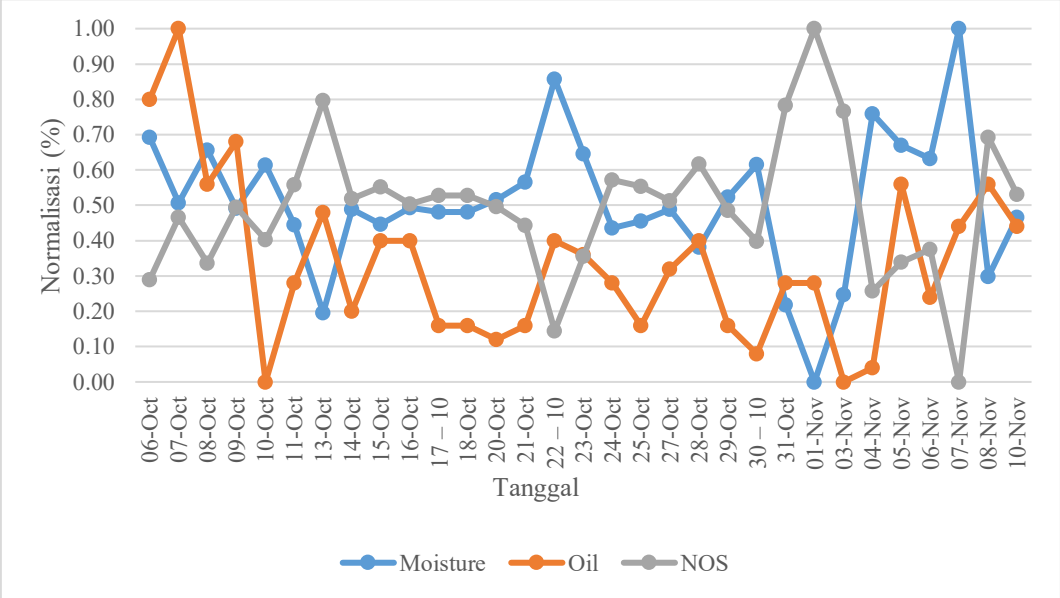
Akan tetapi, data primer hasil analisa kualitas bahan bakar selama penelitian menunjukkan adanya perubahan dari waktu ke waktu. Yang dimana perubahan *moisture*, *oil*, dan NOS pada fiber dan cangkang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Untuk mengamati pola perubahan *moisture*, *oil*, dan NOS selama penelitian, setiap parameter dinormalisasi terlebih dahulu. Langkah ini bertujuan untuk menyetarakan skala ketiganya, sehingga perubahan relatif pada *moisture*, *oil*, dan NOS dapat dilihat dengan jelas serta dibandingkan dalam satu grafik.



Gambar 4 Grafik Normalisasi Kualitas Fiber

Berdasarkan Gambar 4 grafik normalisasi kualitas fiber di atas, nilai normalisasi *moisture*, *oil*, dan NOS pada fiber menunjukkan pola yang berfluktuasi sepanjang periode pengamatan. Ketiga parameter tersebut mengalami perubahan dari waktu ke waktu, meskipun pola perubahannya berbeda pada setiap periode. Contoh antara tanggal 07 dan 08 Oktober, nilai normalisasi *moisture* meningkat dari 0,00 menjadi 0,80. Sebaliknya, nilai *oil* turun dari 0,60 menjadi 0,40, sedangkan NOS menurun dari 1,00 menjadi 0,20. Perubahan ini menunjukkan adanya perbedaan dinamika relatif pada ketiga parameter selama periode tersebut. Secara umum, grafik di atas menggambarkan pola perubahan relatif *moisture*, *oil*, dan NOS selama penelitian.



Gambar 5 Grafik Normalisasi Kualitas Cangkang

Berdasarkan gambar 5 grafik normalisasi kualitas cangkang di atas nilai normalisasi *moisture*, *oil*, dan NOS pada cangkang juga memperlihatkan pola yang fluktuatif selama periode pengamatan. Pada beberapa hari, kenaikan *moisture* terjadi bersamaan dengan penurunan NOS, namun pada hari lain, perubahan *oil* dan *moisture* tidak mengikuti pola yang sama. Sebagai contoh, antara 06 dan 07 Oktober, nilai normalisasi *moisture* turun dari sekitar

0,69 menjadi 0,50, sementara *oil* naik dari 0,80 menjadi 1,00 dan NOS meningkat dari 0,29 menjadi 0,47. Kondisi ini menunjukkan bahwa dinamika ketiga parameter dapat diamati secara bersamaan melalui grafik normalisasi.

Produksi Bahan Bakar Fiber dan Cangkang

Produksi fiber dan cangkang berasal dari pengolahan TBS, berdasarkan *material balance* perusahaan fiber yang dihasilkan adalah 12,5% sedangkang cangkang 1,11% dari kapasitas olah pabrik 55.000 kg/jam. Berikut adalah tabel 5 produksi bahan bakar fiber dan cangkang.

Tabel 5 Produksi Bahan Bakar

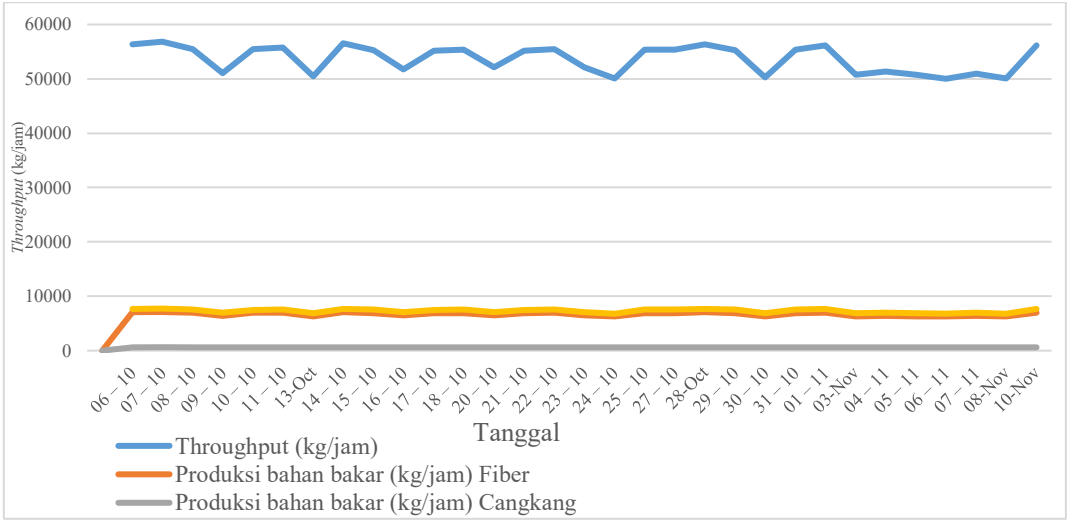
Tanggal	*Throughput* (kg/jam)	Produksi bahan bakar (kg/jam)		
		Fiber	Cangkang	Total
		12,5%	1,11%	
06 – 10	56.333	7.041,62	625,29	7.666,91
07 – 10	56.833	7.104,12	630,84	7.734,96
08 – 10	55.496	6.937	616	7.553
09 – 10	51.097	6.387,1	567,17	6.954,27
10 – 10	55.464	6.933	554,64	7.487,64
11 – 10	55.766	6.970,75	557,66	7.528,41
13 - 10	50.441	6.305,12	559,89	6.865,01
14 – 10	56.555	7.069,37	627,76	7.697,13
15 – 10	55.302	6.912,75	613,85	7.526,6
16 – 10	51.784	6.473	574,80	7.047,8
17 – 10	55.148	6.893,5	612,14	7.505,64
18 – 10	55.392	6.924	614,85	7.538,85
20 – 10	52.113	6.514,12	578,45	7.092,57
21 – 10	55.207	6.900,87	612,79	7.513,66
22 – 10	55.463	6.932,87	615,63	7.548,5
23 – 10	52.142	6.517,75	578,77	7.096,52
24 – 10	50.037	6.254,62	555,41	6.810,03
25 – 10	55.389	6.923,62	614,81	7.538,43
27 – 10	55.360	6.920	614,49	7.534,49
28 - 10	56.368	7.046	625,68	7.671,68
29 – 10	55.281	6.910,12	613,61	7.523,8
30 – 10	50.250	6.281,2	557,7	6.838,9
31 – 10	55.382	6.922,75	614,74	7.537,49
01 – 11	56.122	7.015,25	622,95	7.638,2
03 - 11	50.740	6.342,5	563,21	6.905,71
04 – 11	51.364	6.420,5	574,31	6.994,81
05 – 11	50.709	6.338,62	562,86	6.901,48
06 – 11	50.009	6.251,12	555,09	6.806,21

Tanggal	*Throughput* (kg/jam)	Produksi bahan bakar (kg/jam)		
		Fiber	Cangkang	Total
		12,5%	1,11%	
07 – 11	50.937	6.367,12	565,40	6.932,52
08 - 11	50.057	6.257,12	555,63	6.812,75
10 - 11	56.157	7.019,62	623,34	7.642,96
Jumlah	1.672.822	207.453,92	18.545,21	226.446,9
Rata-rata	53.962	6.692,15	598,69	7.304,73

Sumber: Data laboratorium PT. XYZ, (2025)

Pada tabel 5 di atas data produksi bahan bakar *boiler* didapatkan rata-rata kapasitas pabrik sebesar 53.962 kg/jam, rata-rata fiber adalah 6.692,15 kg/jam, rata-rata cangkang adalah 598,69 kg/jam, dan untuk rata-rata gabungan bahan bakar fiber + cangkang adalah sebesar 7.304,73 kg/jam. Berdasarkan tabel 3 juga tanggal 07 Oktober 2025 memiliki produksi fiber, cangkang, *throughput*, dan total bahan bakar tertinggi selama penelitian.

Untuk melihat produksi fiber dan cangkang yang diperoleh dari tabel 5 lebih jelas dapat dilihat pada gambar 8 berikut dalam bentuk *line chart*.



Gambar 6 *Line Chart* Produksi Bahan Bakar

Pada gambar 6 *line chart* di atas dapat dilihat bahwa saat *throughput* meningkat, maka jumlah bahan bakar juga ikut meningkat, tapi sebaliknya jika *throughput* menurun maka jumlah bahan bakar juga menurun. Ini berarti produksi bahan bakar itu bergantung pada jumlah tandan buah segar (TBS) yang diolah pabrik PKS XYZ. Dapat dilihat juga bahwa fiber memiliki kontribusi bahan bakar terbesar daripada cangkang, walaupun begitu, cangakng tetap penting sebagai bahan bakar tambahan yang dapat meningkatkan nilai kalor pada saat proses pembakaran di *boiler*.

Potensi Nilai Kalor Fiber dan Cangkang

Nilai kalor dari bahan bakar dibagi menjadi 2, nilai kalor bahan bakar terhadap sampel dari analisa di laboratorium dan nilai kalor bahan bakar terhadap total fiber dan cangkang yang diperoleh, berikut adalah tabel 6 potensi nilai kalor terhadap sampel.

Tabel 6 Potensi Nilai Kalor terhadap Sampel

Parameter	Nilai kalor bahan bakar		
	Fiber (kkal/kg)	Cangkang (kkal/kg)	Total gabungan fiber + cangkang (kkal/kg)
Jumlah	78.124,3	124.734,16	202.858,5
Rata-rata	2.520,13	4.023,68	6.543,82

(Sumber: Analisa data primer, 2025)

Berdasarkan tabel 6 tentang potensi nilai kalor to sampel di atas, dapat dilihat bahwa energi kalor yang dihasilkan fiber berjumlah 78.124,3 kkal/kg dengan rata-rata 2.520,13 kkal/kg, sedangkang cangkang memiliki jumlah kalor yaitu sebesar 124.734,16 kkal/kg dengan rata-rata yaitu 4.023,68 kkal/kg, dan untuk total gabungan niali kalor fiber + cangkang adalah 202.858,5 kkal/kg dengan rata-rata 6.543,82 kkal/kg. Dari kedua bahan bakar tersebut, memiliki perbedaan yang cukup banyak yaitu 46.609,86 kkal/kg, hal ini dikarenakan cangkang memiliki karbon yang lebih banyak daripada fiber, sehingga cangkang memiliki nilai kalor yang lebih besar daripada fiber.

Setelah nilai kalor terhadap sampel telah diketahui, selanjutnya adalah menghitung nilai kalor yang diperoleh dari total bahan bakar fiber dan cangkang yang didapat yang ada pada tabel 3.5 produksi bahan bakar dengan mengalikan langsung nilai kalor terhadap sampel. Berikut adalah tabel 7 potensi niali kalor terhadap total fiber dan cangkang.

Tabel 7 Potensi Nilai Kalor terhadap Total Fiber dan Cangkang

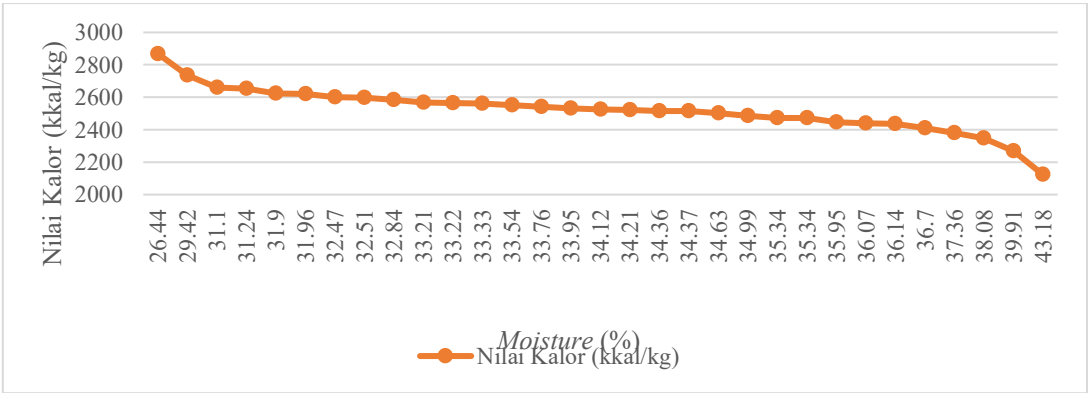
Parameter	Nilai kalor bahan bakar		
	Fiber (kkal/jam)	Cangkang (kkal/jam)	Total gabungan fiber + cangkang (kkal/jam)
Jumlah	524.491.620,4	73.879.817,65	598.371.438
Rata-rata	16.919.084,53	2.383.219,92	19.302.304,5

(Sumber: Analisa data primer, 2025)

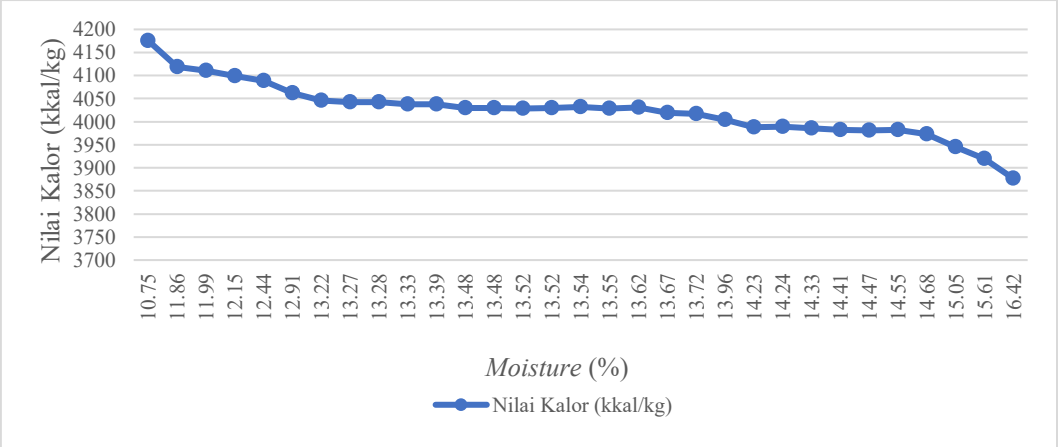
Berdasarkan tabel 7 potensi nilai kalor di atas dapat dilihat bahwa nilai kalor yang dihasilkan dari fiber + cangkang adalah sebesar 598.371.438 kkal/jam, dengan fiber menghasilkan 524.491.620,4 kkal/jam dan cangkang 73.879.817,65 kkal/jam, dengan rata-rata total bahan bakar fiber + cangkang adalah 19.302.304,5 kkal/jam, fiber rata-rata nilai kalor adalah sebesar 16.919.084,53 kkal/jam, dan cangkang rata-rata nilai kalor adalah 2.383.219,92 kkal/jam.

Pengaruh *Moisture*, *Oil*, dan NOS terhadap Nilai Kalor

Dari hal tersebut dilakukan grafik sederhana untuk mengetahui apakah ada pengaruh dari *moisture*, *oil*, dan NOS terhadap nilai kalor yang dimana gambar grafiknya dapat dilihat gambar 3.9.



(a)

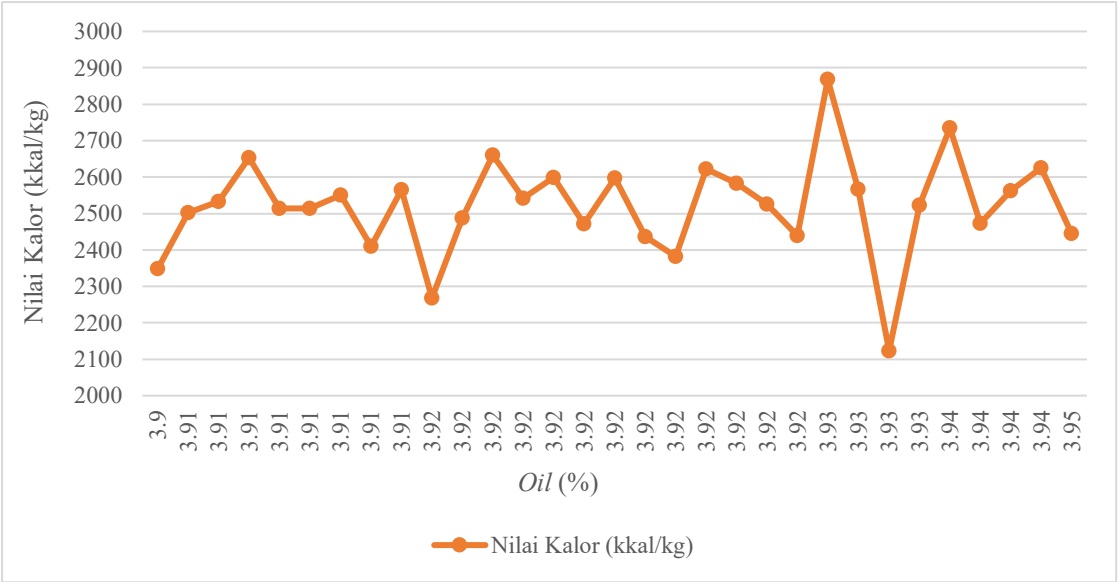


(b)

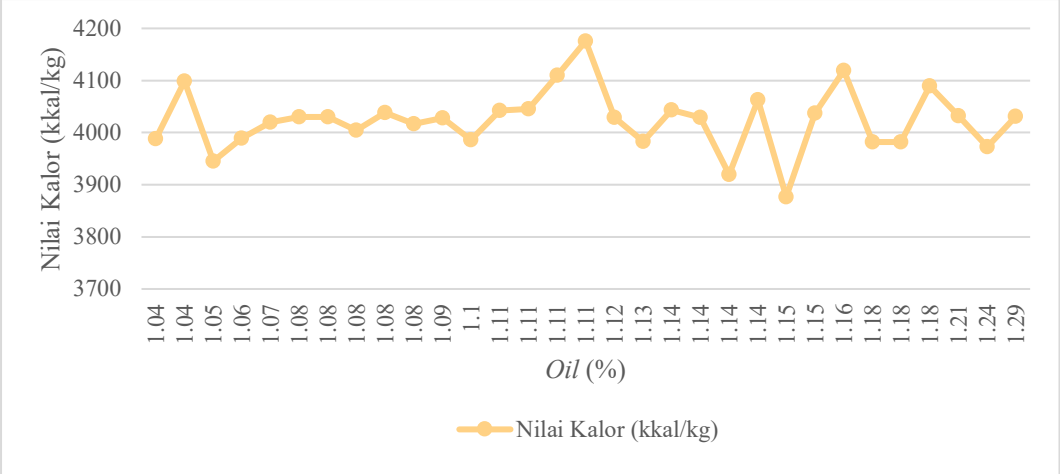
Gambar 7 (a) Grafik *Moisture* Fiber terhadap Nilai Kalor Fiber,
(b) Grafik *Moisture* Cangkang terhadap Nilai Kalor Cangkang

Dari gambar 7 di atas merupakan grafik *moisture* fiber dan cangkang terhadap nilai kalor fiber dan cangkang, dari kedua gambar tersebut, dapat dilihat bahwa grafik tersebut menujunjukkan bahwa *moisture* berpengaruh negatif karena semakin tinggi *moisture* pada fiber dan cangkang maka nilai kalor yang dihasilkan akan ikut turun. Ini terjadi karena sebagian energi panas yang dihasilkan selama pembakaran digunakan untuk menguapkan air.

Komposisi bahan bakar fiber dan cangkang bukan hanya *moisture* saja tapi ada juga *oil*, grafik *oil* terhadap nilai kalor dapat dilihat gambar 3.10.



(a)

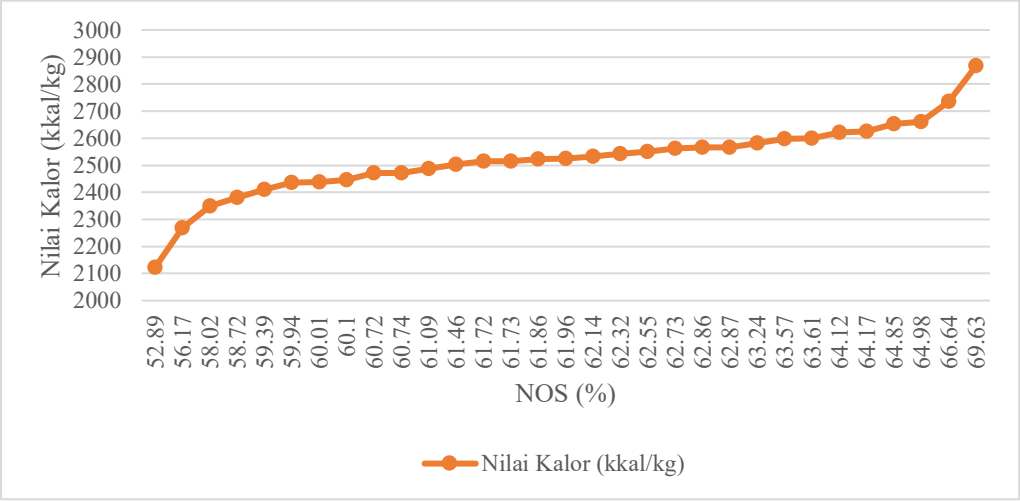


(b)

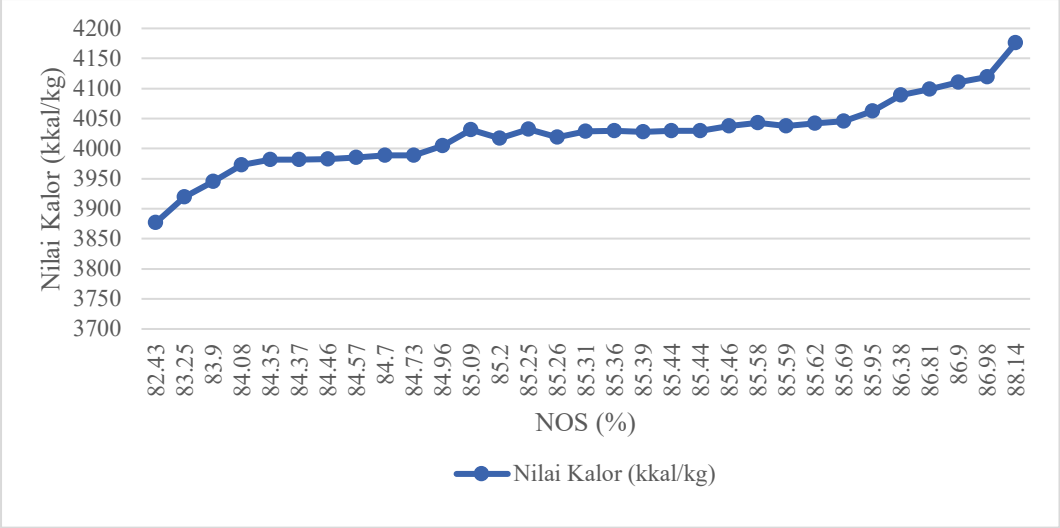
Gambar 8 (a) Grafik *Oil* Fiber terhadap Nilai Kalor Fiber,
(b) Grafik *Oil* Cangkang terhadap Nilai Kalor Cangkang.

Dari gambar 8 grafik *oil* fiber dan cangkang terhadap nilai kalor fiber dan cangkang, dapat dilihat bahwa kedua grafik tersebut menunjukkan tidak adanya hubungan yang jelas antara *oil* dan nilai kalor bahan bakar. Hal ini dikarenakan nilai *oil* pada fiber dan cangkang sangat kecil, sehingga perubahan energi yang diberikan dari kandungan *oil* tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap perubahan nilai kalor. Walaupun secara teori *oil* berfungsi untuk meningkatkan nilai kalor, tapi dalam penelitian ini variasi *oil* sangat kecil jadi tidak terlihat adanya signifikan.

Kompsisi terakhir dari bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah NOS (*non-oil solid*), yang dimana grafik NOS terhadap nilai kalor pada fiber dan cangkang dapat dilihat gambar 9.



(a)



(b)

Gambar 9 (a) Grafik NOS Fiber terhadap Nilai Kalor Fiber,
(b) Grafik NOS Cangkang terhadap Nilai Kalor Cangkang

Dari gambar 9 di atas dapat dilihat bahwa kedua grafik tersebut menunjukkan grafik yang naik ke atas, artinya ketika NOS fiber ataupun cangkang meningkat maka nilai kalor fiber dan cangkang juga ikut meningkat. Berdasarkan tabel kualitas bahan bakar (selengkapnya ada di lampiran) pada tanggal 16 Oktober 2025 nilai NOS pada fiber adalah 60,10% dan cangkang 85,31% memiliki nilai kalor 2.445,75 kkal/kg untuk fiber, 4.028,59 kkal/kg untuk cangkang, dan pada tanggal 01 November 2025 nilai NOS fiber 64,12% dan cangkang 88,14% memiliki nilai kalor 2.621,82 kkal/kg untuk fiber, 4.175,76 kkal/kg untuk cangkang. Hal ini berarti ketika nilai NOS pada fiber dan cangkang maka nilai kalor pada fiber dan cangkang ikut meningkat, hal ini dikarenakan NOS adalah padatan dapat mudah terbakar dan menghasilkan panas.

Kebutuhan Bahan Bakar dan *Steam* yang Dihasilkan

Kebutuhan bahan bakar dan *steam* yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 8 berikut ini.

Tabel 8 Kebutuhan Bahan Bakar dan *Steam* yang Dihasilkan

Parameter	Minimum	Maksimum	Rata-rata
Kebutuhan Bahan bakar (kg/jam)	6.806,21	7.734,96	7.304,73
Produksi *steam* (kg/jam)	21.268,70	28.423,81	23.963,74

(Sumber: Analisa data primer, 2025)

Dari tabel 8 di atas dapat dilihat bahwa ketika produksi *steam* meningkat itu diikuti oleh kebutuhan bahan bakar yang naik juga. Dengan rata-rata kebutuhan bahan bakar adalah 7.304,73 kg/jam dan produksi *steam* adalah 23.963,74 kg/jam.

Konsumsi Bahan Bakar per Ton *Steam* yang dihasilkan

Konsumsi bahan bakar per ton *steam* dihitung menggunakan metode energi yang dapat dilihat pada tabel 9 berikut ini.

Tabel 9 Konsumsi Bahan Bakar per Ton *Steam* yang Dihasilkan

Parameter	Minimum	Maksimum	Rata-rata
Metode energi (kg/ton *steam*)	272,13	353,75	305,54

(Sumber: Analisa data primer, 2025)

Dari tabel 9 di atas dapat dilihat bahwa konsumsi bahan bakar per ton *steam* yang dihasilkan selama penelitian berkisar 272,13 – 353,75 kg/ton *steam* dengan rata-rata 305,54 kg/ton *steam*.

Steam yang Dihasilkan dari tiap-tiap Bahan Bakar

Steam yang dihasilkan dari tiap-tiap bahan bakar *steam* yang dihasilkan dari fiber dan cangkang, serta persentase kontribusi dari masing-masing bahan bakar terhadap total *steam* yang dihasilkan. Berikut adalah tabel 10 *steam* yang dihasilkan dari masing-masing bahan bakar

Tabel 10 *Steam* yang Dihasilkan dari Masing-masing Bahan bakar dan Persentase Terhadap Total *Steam*

Parameter	Minimum	Maksimum	Rata-rata
Steam total (kg/jam)	21.268,70	28.423,81	23.963,74
Steam fiber (kg/jam)	18.209,22	25.269,74	20.397
Steam cangkang (kg/jam)	2.721,03	3.222,91	2.958,85
Persentase fiber (%)	85,62	88,90	87,62
Persentase cangkang (%)	11,10	14,39	12,38

(Sumber: Analisa data primer, 2025)

Dari tabel 10 di atas dapat dilihat bahwa fiber berkontribusi lebih besar daripada cangkang dengan rata-rata persensate fiber sebesar 87,62%, sedangkan cangkang hanya 12,38%.

Persentase Komposisi Bahan Bakar Fiber dan Cangkang

Berikut adalah tabel 11 yang menunjukkan persentase komposisi bahan bakar fiber dan cangkang.

Tabel 11 Persentase Komposisi Bahan Bakar Fiber dan Cangkang

Parameter	Minimum	Maksimum	Rata-rata
Fiber (%)	91,84	92,59	91,89
Cangkang (%)	7,41	8,16	8,11

(Sumber: Analisa data primer, 2025)

Dari tabel 11 di atas dapat dilihat bahwa persentase komposisi bahan bakar paling banyak dipegang oleh fiber dengan rata-rata 91,89%, sedangkan cangkang 8,11%, ini berarti bahan bakar utama yang digunakan *boiler* PT. XYZ Kalimantan Tengah adalah fiber. Pada penelitinan Siswanto, (2020) menyatakan bahwa perbedaan persentase penggunaan fiber dan cangkang dapat dipengaruhi oleh beberapa fakor, seperti kualitas TBS yang diolah, kadar air bahan bakar, dan kondisi dan sistem pencampuran di *boiler*. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar dipengaruhi oleh jumlah *steam* yang dihasilka, kualitas bahan bakar seperti *moisture*, *oil*, dan NOS.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, suhu *feed water* memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap perubahan *entalpi* dibandingkan tekanan *steam* karena tekanan *steam* selama penelitian relatif stabil. Kualitas bahan bakar menunjukkan bahwa *moisture* cenderung menurunkan nilai kalor, sedangkan NOS meningkatkan nilai kalor, sementara *oil* tidak memberikan pengaruh yang besar karena variasi datanya relatif kecil. Nilai rata-rata ± standar deviasi kualitas bahan bakar selama penelitian yaitu *moisture* fiber sebesar 34,25 ± 3,06%, *oil* fiber sebesar 3,92 ± 0,01%, dan NOS fiber sebesar 61,83 ± 3,06%, sedangkan *moisture* cangkang sebesar 13,63 ± 1,11%, *oil* cangkang sebesar 1,12 ± 0,06%, dan NOS cangkang sebesar 85,25 ± 1,12%, dengan nilai kalor total rata-rata bahan bakar sebesar 6.543,82 kkal/kg. Selanjutnya, rata-rata konsumsi bahan bakar untuk menghasilkan satu ton *steam* adalah sebesar 305,25 kg/ton *steam*, baik berdasarkan metode energi.

DAFTAR PUSTAKA

Aini, Z., Reza, T., Alaqsa, S., Basriati, S., Islam, U., Sultan, N., & Kasim, S. (2024). *Steam requirements and mass balance in digesters and screw presses at palm oil mill*. *9*(2), 109–120. https://doi.org/10.22219/jemmme.v9i2.37043

Barma, M. C., Saidur, R., Rahman, S. M. A., Allouhi, A., Akash, B. A., & Sait, S. M. (2017). A review on boilers energy use , energy savings , and emissions reductions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *79*(May), 970–983. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.187

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Thermodynamics: An Engineering Approach*.

Dinata, T. A., & Kurniawan, E. (2024). *Studi Pemanfaatan Biomassa Limbah Padat Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Untuk Pembangkit Energi Listrik*.

Erbas, O. (2021). Investigation of factors affecting thermal performance in a coal - Fired boiler and determination of thermal losses by energy balance method. *Case Studies in Thermal Engineering*, *26*(April), 101047. https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101047

Hartanto, L. B., Sibarani, M., & Tuapetel, J. V. (2020). *Analisa Teknis dan Biaya Penggunaan Bahan Bakar Cangkang Kelapa Sawit dan Batu Bara pada Boiler DZL4 di PT . Lautan Luas Tbk . 4*(1), 17–23.

Okwabi, R., Mensah, G., Fiagbe, Y. A. K., & Davis, F. (2023). Towards the estimation of quantity of fuel consumed in steam generation through predictive modelling of feedwater temperature. *Scientific African*, *20*. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01650

Rahardja, I. B., Mahfud, A., & Bawana, P. D. (2021). *Pengaruh Penggunaan Boiler 20 Ton Uap / Jam Terhadap Kenaikan Kapasitas Pabrik 40 Ton / Jam Pabrik Minyak Kelapa Sawit (PMKS) XYZ*. *13*(2), 227–236.

Shuit, S. H., Tan, K. O. K. T. A. T., & Lee, K. T. (2008). *Oil Palm Biomass As A Sustainable Energy Source : A Malaysian Case Study*. *2008*(Icenv).

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 (JEPCA)*, *3*(1), 22. https://doi.org/10.33087/jepca.v3i1.35

Sitorus, R. S., Pratama, A. B., Saragi, J. F. H. T., S. (2025). *Analisis Penggunaan Bahan Bakar Padat Terhadap Kebutuhan Udara Pembakaran di Dalam Furnace pada Boiler dengan Kapasitas 200 Ton / Jam*. *8*(2), 84–89.