

Kajian Kalori Limbah Pelepah Dan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Sebagai Sumber Energi Alternatif

Josua Simanjuntak¹, Pribadyo*², Muhammad Jalil³, Sulaiman Ali⁴, Ilhamdi Taufik⁵

^{1,2,4,5}Jurusan Teknik Mesin Universitas Teuku Umar; Jalan Kampus UTU, Aceh Barat, 23615 Indonesia

³Jurusan Agroteknologi Universitas Teuku Umar; Jalan Kampus UTU, Aceh Barat, 23615 Indonesia

e-mail: *²pribadyo@utu.ac.id

Abstrak

Usaha pencarian dan pengembangan energi alternatif dari potensi alam perlu dilakukan. Salah satu sumber energi alternatif itu adalah briket arang dari limbah pelepah dan tandan buah kosong kelapa sawit. limbah tersebut belum memiliki nilai ekonomis yang tinggi, namun jika diabaikan dan dibiarkan berserakan akan membuat lingkungan sekitar menjadi rusak dan berantakan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kalori pelepah, tandan kosong kelapa sawit, dan perbandingannya. Metode yang dilakukan adalah eksperimental dengan pengujian skala Laboratorium. Dalam pengumpulan data penulis menggunakan dua tahap yaitu studi literatur dan pengujian kadar kalori. Studi ini melalui buku-buku, jurnal dan website yang berkaitan dengan penelitian. Sampel uji ditetapkan 3 jenis ukuran mesh 100, 50 dan 30. Pengujian dilakukan dalam 5 kali percobaan dengan variasi berat masa sampel adalah 0,31 gram. Dari hasil pengujian diketahui bahwa pelepah dan tandan kosong kelapa sawit, ukuran mesh 100 TKKS lebih tinggi nilai kalor nya dibandingkan Pelepah yaitu sebesar 1,76%. Didapati bahwa nilai rata-rata kalori pada Pelepah adalah sebesar 17,55 kJ/gr sedangkan pada Tandan Kosong Kelapa Sawit nilai kalori rata-rata sebesar 18,91 kJ/gr. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa terdapat perbandingan TKKS lebih besar nilai kalori nya dibandingkan pelepah.

Kata kunci— Energi alternatif, pelepah, TKKS, kalori, biomasa

Abstract

Efforts to search and develop alternative energy from natural potential need to be carried out. One alternative energy source is charcoal briquettes from waste palm fronds and empty fruit bunches. This waste does not have high economic value, but if it is ignored and left scattered it will cause the surrounding environment to become damaged and messy. The aim of this research was to determine the calorific value of fronds, empty oil palm fruit bunches, and their comparison. The method used was experimental with laboratory scale testing. In collecting data, the author used two stages, namely literature study and calorie content testing. This study is through books, journals and websites related to research. The test samples were determined to be 3 types of mesh sizes 100, 50 and 30. The test was carried out in 5 trials with a variation in sample weight of 0.31 grams. From the test results, it is known that the fronds and empty bunches of oil palm, mesh size 100 EFB, have a higher calorific value than the fronds, namely 1.76%. It was found that the average calorific value in the fronds was 17.55 kJ/gr, while in empty oil palm bunches the average calorific value was 18.91 kJ/gr. Thus, it can be concluded that there is a comparison of EFB which has a greater calorific value compared to fronds.

Keywords—Alternative energy, fronds, EFB, calories, biomass

1. PENDAHULUAN

Debutuhan energi masyarakat Indonesia pada saat ini masih sangat bergantung kepada bahan bakar minyak (BBM). Bahan bakar yang biasa dikonsumsi masyarakat Indonesia saat ini, seperti minyak, gas dan batubara termasuk kelompok energi fosil yang tidak dapat diperbaharui. Dalam masa tertentu, sumber energi ini akan habis dan tidak lagi dapat dikonsumsi oleh masyarakat. Usaha pencarian dan pengembangan energi-energi alternatif yang bersumber dari potensi alam perlu dilakukan. Pribadyo dkk telah melakukan penelitian “Pengaruh Ukuran Mesh Terhadap Kualitas Briket Batubara Campur Biomassa Kulit Kacang Tanah Dan Tepung Kanji Sebagai Perikat Dengan Tekanan 8,43 kg/cm²”. Dari hasil penelitian diketahui kualitas briket batu bara campur limbah kulit kacang tanah dengan kerapatan tertinggi pada sampel (2.1) yaitu 0.99 gr/cm², kadar air terendah pada sampel (1.1) yaitu 2.20%, kadar abu terendah pada sampel (1.1) yaitu 3.05%, ketangguhan tertinggi pada sampel (2.1) yaitu 1.52% dan nilai kalor tertinggi pada sampel (1.1) yaitu 5298.2 kal/gram. Energi alternatif dapat diciptakan melalui keluaran-keluaran dari hasil pertanian, baik berupa tanaman budidaya, maupun yang bersumber dari sisa hasil pertanian (biomassa) yang memang memiliki nilai keberlanjutan yang cukup tinggi. Salah satu negara yang telah memanfaatkan biomassa sebagai energi alternatif adalah Amerika Serikat (Papolo, 2012).

Krisis energi yang ada di negara Indonesia ditandai dengan semakin langkanya bahan bakar minyak (BBM) ditengah - tengah masyarakat. Selain harga BBM yang merangkak naik yang disebabkan oleh harga minyak dunia yang melonjak tinggi (Satria, 2018). Penggunaan kayu bakar dan arang yang berasal dari kayu bakau dapat menyebabkan lingkungan menjadi rusak. Untuk itu kita perlu membuat sumber energi alternatif untuk bahan bakar dari bahan-bahan limbah organik disekitar kita (Lontoh dkk, 2017).

Di Indonesia, ada banyak sekali sumber daya energi yang bisa dimanfaatkan, salah satunya adalah biomassa (Pribadyo dkk, 2020). Salah satu sumber energi alternatif itu adalah briket arang, yang mana bahan-bahan penyusunnya berasal dari limbah pelepah kelapa sawit dan tandan buah kosong. Bahan ini adalah limbah yang berasal dari pohon kelapa sawit. Bahan tersebut memang tidak memiliki nilai ekonomis yang tinggi, namun jika diabaikan dan dibiarkan berserakan akan membuat lingkungan sekitar menjadi rusak dan berantakan. Pelepah sawit adalah limbah yang belum banyak digunakan sebagai bahan baku biomassa. Selama ini pelepah hanya digunakan sebagai pakan ternak atau dibuat sebagai pupuk kompos, padahal ketersediaan bahan baku yang sangat melimpah bahkan terbanyak jika dibandingkan limbah lainnya. Energi panas yang dihasilkan dari hasil pembakaran cukup tinggi membuat limbah pelepah sawit sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai biomassa (Atnaw dkk, 2011).

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penelitian potensi pelepah dan tandan kosong kelapa sawit perlu dilakukan. Untuk mendapatkan nilai energi dari penelitian ini akan mengkaji nilai kalor dari pelepah dan tandan kosong kelapa sawit.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dilaboratorium Teknik Mesin Universitas Teuku Umar. Waktu penelitian dilakukan selama 3 (tiga) bulan, dimulai dari bulan Maret sampai dengan bulan Mei 2024. Adapun lokasi penelitian ditunjukkan dalam gambar 1.



Gambar 1 Peta Provinsi Aceh
(Sumber: BPS, 2024)



Gambar 2 Lokasi Penelitian
(Sumber: Google Maps)

2.1 Alat dan Bahan

2. 1.1 Alat

Adapun alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pisau/parang untuk memotong bahan baku yang masih utuh.
2. Mesin *Chopper* untuk pencacahan dengan spesifikasi ber type MCS-68 2 in 1
3. *Tray Drayer* sebagai mesin pengering. Dengan spesifikasi AM-TD24.
4. Neraca digital sebagai alat timbang.
5. Saringan mesh sebagai alat untuk pengayakan. Dengan *type* aperture 0,6mm.
6. *Bomb calorimeter* digunakan sebagai alat uji kalori. Dengan spesifikasi ber *type* CAL3k-AC.1.

2. 1.2 Bahan

Adapun bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelepah kelapa sawit dan tandan buah kosong kelapa sawit (TKKS) yang diperoleh di area lingkungan kampus Universitas Teuku Umar.

Persamaan yang digunakan adalah:

1. Menghitung kadar air:

$$xi = \frac{Wi - Wst}{Ws} \quad (1)$$

Dengan:

x_i adalah kandungan air dalam bahan (gram air/gr padatan kering)

W_{st} adalah berat bahan kering (g) pada saat (1)

W_i adalah berat bahan dalam tray selama pengamatan (g)

W_s adalah padatan kering (g)

2. Menghitung laju pengeringan air:

$$R = \frac{\Delta W}{\Delta t} \frac{1}{A} = \frac{[Wi - Wi - i]}{[ti - ti - i]} \frac{1}{Ai} \quad (2)$$

Dengan:

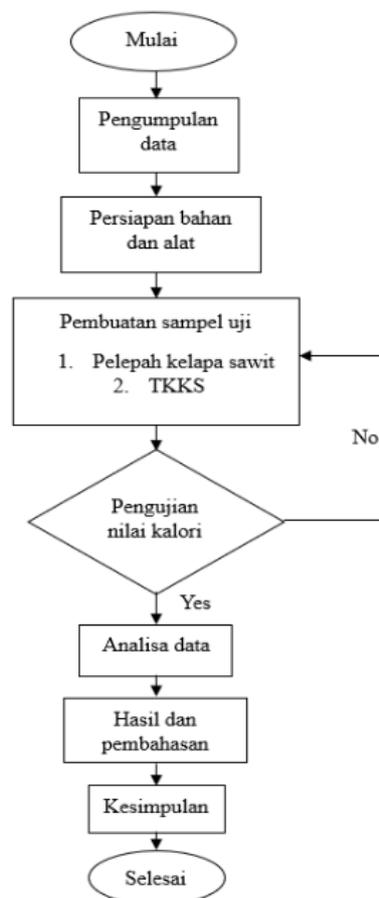
R adalah laju pengeringan (g H₂O/menit cm²)

A adalah luas permukaan pengeringan (cm²)

t adalah waktu pengamatan (menit)

2.3 Diagram alir penelitian

Diagram alir penelitian dengan Langkah-langkah kerja ditunjukkan dalam gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengukuran Berat dan Kadar air Sampel Pelepah

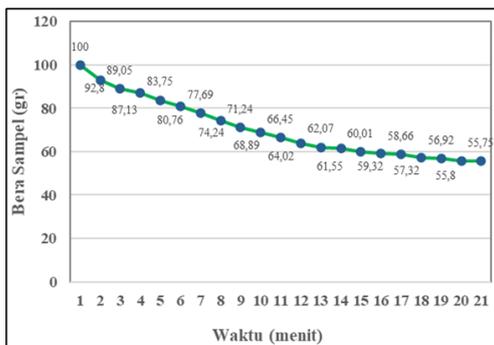
Hasil pengukuran sampel dari pelepah kelapa sawit ditunjukkan dalam tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengukuran sampel uji pelepah kelapa sawit

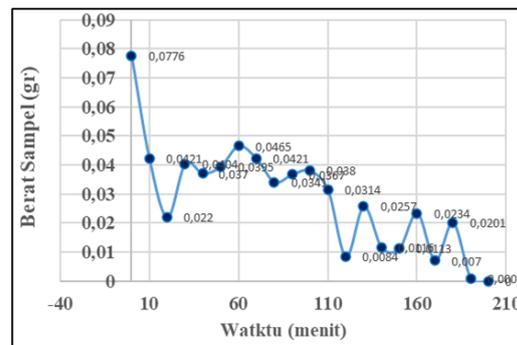
NO	Waktu (Menit)	Upstream °C		Downstream °C		Humadity (% RH)	Berat (Gram)	Kecepatan Udara (m/s)	Kadar Air	Laju Penguapan
		T1	T2	T3	T4					
1	0	38.2	37.4	35.1	33.8	33.4	100	1,083	0.0776	88455487.05
2	10	37.9	37.3	34.7	35	34.3	92.8	1,083	0.0421	72612713.25
3	20	37.8	37.2	34.8	35.7	32.7	89.05	1,083	0.0220	59410401.75
4	30	39.6	38.6	36.3	36	31.6	87.13	1,083	0.0404	77893637.85
5	40	37.9	37.4	34.6	35.3	33.7	83.75	1,083	0.0370	71292482.1
6	50	39.4	38.4	36.4	36.8	39.5	80.76	1,083	0.0395	60730632.9
7	60	37.9	37.4	35.3	35.7	32.4	77.69	1,083	0.0465	56769939.45
8	70	39.5	38.6	36.6	36.3	31.1	74.24	1,083	0.0421	68652019.8
9	80	38.6	38.1	35.8	35.8	34.2	71.24	1,083	0.0341	67331788.65
10	90	38.5	38	36.4	36.1	34	68.89	1,083	0.0367	52809246
11	100	38	37.5	36.1	35.9	34.2	66.45	1,083	0.0380	46208090.25
12	110	38.4	38	36.1	36.5	33.7	64.02	1,083	0.0314	50168783.7
13	120	38.2	37.6	35.9	36.4	32.1	62.07	1,083	0.0084	46208090.25
14	130	38.2	38	35.9	36.2	32.1	61.55	1,083	0.0257	54129477.15
15	140	38.2	38.1	35.9	36	33.2	60.01	1,083	0.0116	58090170.6
16	150	38.2	38	35.9	36.1	33	59.32	1,083	0.0113	55449708.3
17	160	38.2	37.7	35.9	36.2	33.2	58.66	1,083	0.0234	50168783.7
18	170	38.2	37.4	35.9	36.1	32.6	57.32	1,083	0.0070	47528321.4
19	180	38.2	37.6	35.9	36	32.1	56.92	1,083	0.0201	51489014.85
20	190	38.2	37.6	35.9	36	32.1	55.8	1,083	0.0009	51489014.85
21	200	38.2	37.6	35.9	36	32.1	55.75	1,083	0.0000	51489014.85

Tabel 2 di atas adalah hasil pengukuran sampel pada pelepah kelapa sawit yang dilakukan peneliti di laboratorium, dimana ada 21 tahap uji yang dilakukan dan 4 tahap upstream T°C downstream. Adapun hasil rata-rata yang didapatkan dari uji sampel tersebut ialah, pada T1 = 38,35, T2 = 37,78, T3 = 35,77, dan T4 = 35,90, humadity 33,20 % RH, berat 70,63 gram dan kecepatan udara konstan dalam 1,083 m/s. Sementara itu kadar air yang didapatkan dari uji sampel tersebut adalah rata-rata 0,028, laju pengeringan -0.00016211 dan laju penguapan 58970324.7.

Berdasarkan hasil pengujian penurunan berat masa dan kadar air pada masing-masing sampel ditunjukkan dalam gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Grafik Penurunan masa berat



Gambar 6. Grafik Penurunan kadar air

Gambar 6 diatas adalah grafik penurunan kadar air pada pelepah kelapa sawit yang menunjukkan bahwa rata-rata penurunan kadar air yang didapatkan dari hasil uji sampel tersebut adalah 0,028 dan penurunan yang paling signifikan ada pada periode sampel ke 21 dimenit 200 yang hasilnya adalah konstan, artinya penurunan kadar air pelepah kelapa sawit pada saat uji sampel dipengaruhi oleh berat sampel sehingga semakin banyak periode uji sampel yang dilakukan, semakin berkurang kadar air yang terkandung dalam sampel uji atau bahkan tidak ada kadar air yang tersisa dari hasil uji sampel tersebut.

3.2 Hasil Pengukuran Berat dan Kadar air Sampel TKKS

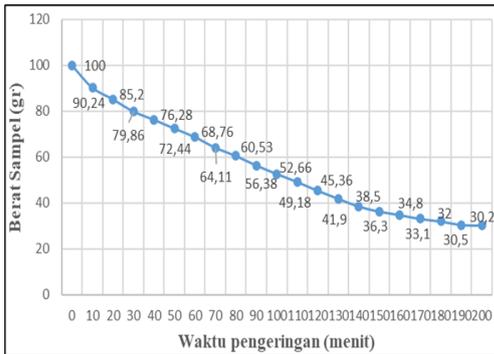
Hasil pengukuran sampel dari tandan kosong kelapa sawit ditunjukkan dalam tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil Pengukuran sampel uji TKKS

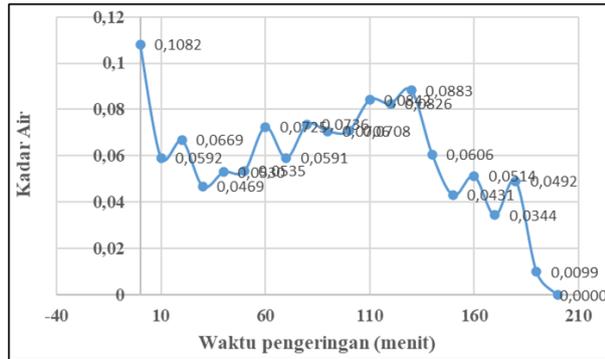
NO	Waktu (Menit)	Upstream °C		Downstream °C		Humadity (% RH)	Berat (Gram)	Kecepatan Udara (m/s)	Kadar Air	Laju Penguapan
		T1	T2	T3	T4					
1	0	38.2	37.4	35.1	33.8	33.4	100	1,083	10.83	88455487.05
2	10	37.9	37.3	34.7	35	34.3	90.24	1,083	10.83	72612713.25
3	20	37.8	37.2	34.8	35.7	32.7	85.2	1,083	10.83	59410401.75
4	30	39.6	38.6	36.3	36	31.6	79.86	1,083	10.83	77893637.85
5	40	37.9	37.4	34.6	35.3	33.7	76.28	1,083	10.83	71292482.1
6	50	39.4	38.4	36.4	36.8	39.5	72.44	1,083	10.83	60730632.9
7	60	37.9	37.4	35.3	35.7	32.4	68.76	1,083	10.83	56769939.45
8	70	39.5	38.6	36.6	36.3	31.1	64.11	1,083	10.83	68652019.8
9	80	38.6	38.1	35.8	35.8	34.2	60.53	1,083	10.83	67331788.65
10	90	38.5	38	36.4	36.1	34	56.38	1,083	10.83	52809246
11	100	38	37.5	36.1	35.9	34.2	52.66	1,083	10.83	46208090.25
12	110	38.4	38	36.1	36.5	33.7	49.18	1,083	10.83	50168783.7
13	120	38.2	37.6	35.9	36.4	32.1	45.36	1,083	10.83	46208090.25
14	130	38.2	38	35.9	36.2	32.1	41.9	1,083	10.83	54129477.15
15	140	38.2	38.1	35.9	36	33.2	38.5	1,083	10.83	58090170.6
16	150	38.2	38	35.9	36.1	33	36.3	1,083	10.83	55449708.3
17	160	38.2	37.7	35.9	36.2	33.2	34.8	1,083	10.83	50168783.7
18	170	38.2	37.4	35.9	36.1	32.6	33.1	1,083	10.83	47528321.4
19	180	38.2	37.6	35.9	36	32.1	32	1,083	10.83	51489014.85
20	190	38.2	37.6	35.9	36	32.1	30.5	1,083	10.83	51489014.85
21	200	38.2	37.6	35.9	36	32.1	30.2	1,083	10.83	51489014.85

Dari tabel 3 di atas adalah hasil pengukuran untuk penurunan masa berat sampel pada TKKS yang dilakukan peneliti di laboratorium, dimana ada 21 tahap uji yang dilakukan dan 4 tahap *upstream T°C downstream*. Adapun hasil rata-rata yang didapatkan dari uji sampel tersebut ialah, pada T1 = 38,35, T2 = 37,78, T3 = 35,77, dan T4 = 35,0, *humadity* 33,20 % RH, berat 56,10 Gram dan kecepatan udara konstan dalam 1,083 m/s. Sementara itu kadar air yang didapatkan dari uji sampel tersebut adalah rata-rata -0.0482, laju pengeringan -8.4644E-05 dan laju penguapan -1152330575.

Berdasarkan hasil pengukuran penurunan berat masa dan kadar air pada sampel TKKS ditunjukkan dalam gambar 7 dan 8.



Gambar 5. Grafik Penurunan masa berat



Gambar 6. Grafik Penurunan kadar air

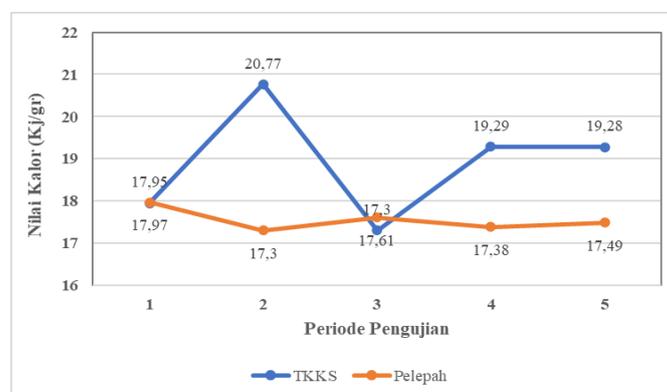
Rata-rata penurunan berat yang didapatkan pada saat pengujian adalah 56,10gram dalam 21 sampel. Penurunan berat yang paling rendah didapatkan dari uji sampel pelepah kelapa sawit adalah 30,2 gram. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa setiap penurunan jumlah berat pada setiap tahap uji dipengaruhi oleh jumlah atau hasil berat sampe yang didapatkan dari berat sampel uji sebelumnya. Pada gambar 6 adalah grafik penurunan kadar air pada pelepah kelapa sawit yang menunjukkan bahwa rata-rata penurunan kadar air yang didapatkan dari hasil uji sampel tersebut adalah 0,032 dan penurunan yang paling signifikan ada pada periode sampel ke 21 dimenit 200 yang hasilnya konstan, artinya penurunan kadar air pelepah kelapa sawit pada saat uji sampel dipengaruhi oleh berat sampel sehingga semakin banyak periode uji sampel yang dilakukan, semakin berkurang kadar air yang terkandung dalam sampel uji atau bahkan tidak ada kadar air yang tersisa dari hasil uji sampel tersebut

3.2 Hasil Pengukuran Berat dan Kadar air Sampel TKKS

Hasil uji nilai kalori sampel pelepah dan tandan kosong kelapa sawit dari berbagai ukuran mesh dengan berat sampel 0,31 per/gram (50 : 50), serta pencampuran dari kedua sampel uji masing-masing sebrat 0,165 Gram untuk ukuran mesh 100 dengan 5 (lima) kali uji per sampel ditunjukkan dalam tabel 4, 5 dan 6 pada gambar grafik 7, 8 dan 9 sebagai berikut:

Tabel 4 Hasil Uji Kalor Mesh 100

Mesh 100					
TKKS	17,95 Kj/gr	20,77 Kj/gr	17,30 Kj/gr	19,29 Kj/gr j	19,28 Kj/gr
Pelepah	17,97 Kj/gr	17,30 Kj/gr	17,61 Kj/gr	17,38 Kj/gr	17,49 Kj/gr
Campuran	16,37 Kj/gr	16,10 Kj/gr	15,88 Kj/gr		

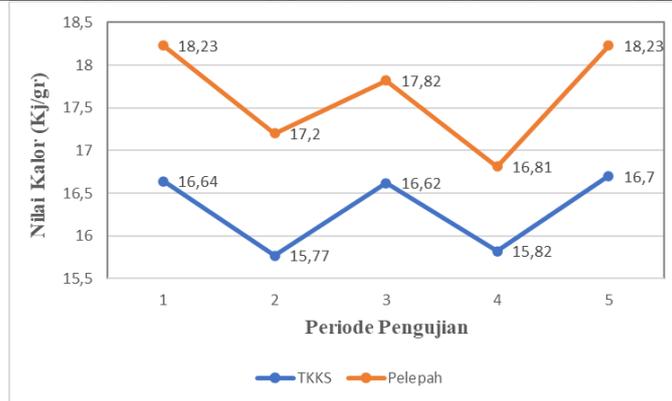


Gambar 7 Garfik Hasil Uji Kalori Ukuran Mesh 100

Hasil yang didapatkan dari uji sampel campuran dalam 100 mesh adalah 20,77 Kj/gr nilai maksimum dan 17,3 Kj/gr nilai minimum pada TKKS. Sementara itu nilai maksimum pada pelepah kelapa sawit adalah 17,97 Kj/gr dan 17,3 untuk nilai minimum.

Tabel 5 Hasil Uji Kalor Mesh 50

Mesh 80					
TKKS	16,64 Kj/gr	15,77 Kj/gr	16,62 Kj/gr	15,82 Kj/gr	16,70 Kj/gr
Pelepah	18,23 Kj/gr	17,20 Kj/gr	17,82 Kj/gr	16,81 Kj/gr	18,23 Kj/gr

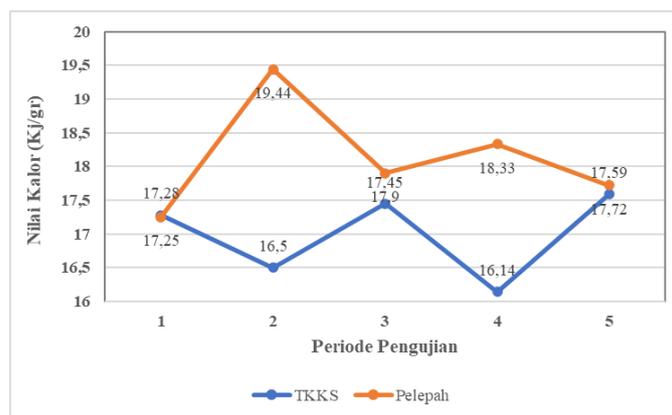


Gambar 8 Garfik Hasil Uji Kalori Ukuran Mesh 50

Hasil yang didapatkan dari uji sampel campuran dalam 50 mesh adalah 16,7 Kj/gr nilai maksimum dan 15,77 Kj/gr nilai minimum pada TKKS. Sementara itu nilai maksimum pada pelepah kelapa sawit adalah 18,23 Kj/gr dan 16,81 untuk nilai minimum.

Tabel 6 Hasil Uji Kalor Mesh 30

Mesh 30					
TKKS	17,28 Kj/gr	16,50 Kj/gr	17,45 Kj/gr	16,14 Kj/gr	17,59 Kj/gr
Pelepah	17,25 Kj/gr	19,44 Kj/gr	17,90 Kj/gr	18,33 Kj/gr	17,72 Kj/gr



Gambar 9 Garfik Hasil Uji Kalori Ukuran Mesh 30

Hasil yang didapatkan dari uji sampel campuran dalam 30 mesh adalah 17,72 Kj/gr nilai maksimum dan 16,14 Kj/gr nilai minimum pada TKKS. Sementara itu nilai maksimum pada pelepah kelapa sawit adalah 19,44 Kj/gr dan 17,28 untuk nilai minimum.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan uji nilai kalori, penurunan berat masa sampel laju pengeringan dan laju penguapan untuk masing-masing sampel uji pelepah dan tandan kosong kelapa sawit maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Pada mesh 100 nilai kalor rata-rata untuk TKKS mengalami selisih nilai sebesar 1,76 % dibandingkan nilai kalor pelepah kelapa sawit. Sementara laju pengeringannya sampel uji pelepah mengalami laju percepatan pengeringan yang lebih baik dibandingkan dengan TKKS yaitu sebesar 2%.
- Pada mesh 50 nilai kalor pelepah kelapa sawit mengalami penurunan sebesar 1,53 % dibandingkan nilai kalor TKKS.
- Pada mesh 30 nilai kalor TKKS mengalami penurunan sebesar 1,14 % dibandingkan dengan nilai kalor pelepah kelapa sawit..

5. SARAN

Adapun saran untuk penelitian ini adalah:

- Ketersediaan bahan baku yang melimpah, terbarukan serta berkelanjutan merupakan modal yang sangat besar untuk mengembangkan energi alternatif dari pelepah kelapa sawit.
- Penelitian ini adalah penelitian awal mengenai uji kalori dari pelepah dan tandan kosong kelapa sawit. Masih terdapat kelemahan serta kekurangan dari penelitian ini sehingga diharapkan pada peneliti selanjutnya agar dapat melengkapi serta menyempurnakan ini.
- Ketersediaan bahan baku yang melimpah serta berkelanjutan ini selayaknya bisa menjadi sebuah pilihan untuk mengatasi permasalahan energi yang saat ini menjadi permasalahan diseluruh negara termasuk Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Konversi energi Jurusan Teknik mesin dan laboratorium struktur Jurusan Teknik sipil universitas teuku umar yang telah memberi dukungan peralatan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abqorriyah Ristanto Utomo, and Bambang Suwignyo. 2015. "Produktivitas Tanaman Kaliandra (*Calliandra Calothyrsus*) Sebagai Hijauan Pakan Pada Umur Pemotongan Yang Berbeda." *Buletin Peternakan* 39(2): 103.
- [2] Alpendari, H., & Prakoso, T. (2021). Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Upaya Memaksimalkan Zero Waste (Palm Oil Mill Waste Return Measures as an Effort to Maximize Zero waste). *AGRISINTECH*, 2, 48–58.
- [3] Amirta Rudianto. 2018. "Pellet Kayu." : 81.
- [4] Arhamsyah. (2010). Pemanfaatan Biomassa Kayu Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 42-48.
- [5] Ariyanto, Agus Dwi, and Lutfi Mustakim. 2023. "Energi Baru Terbarukan Pemerintah Melalui PT PLN (Persero) Sebagai Badan Usaha Milik Hidup

-
- [6] Lebih Hijau . Program Co-Firing Energi EBT Nasional (PT PJB , 2021). Rumah Kaca Yang Dihasilkan (Cahyo , Bahan Bakar Energi Terbarukan Dalam Perbandingan Tertentu Dengan Tetap Mempertimbangkan Kualitas Bahan Bakar Sesuai Keperluan . Selain Itu.” 6: 98–104.
- [7] Atnaw, S. M., Sulaiman, S. A., & Yusup, S. (2013). Syngas production from downdraft gasification of oil palm fronds. *Energy*, 61, 491-501.
- [8] BPS Kaltim, 2013 “Kaltim dalam angka tahun 2012”. Kalimantan.
- [9] Dirgantoro, M. A., dan Adawiyah, R. 2018. Nilai ekonomi pemanfaatan limbah kelapa sawit menuju zero waste production. *Biowallacea*. 5(2):825–837.
- [10] Gani, Anischan. 2018. Potensi Arang Hayati Biochar Sebagai Komponen Teknologi Perbaikan Produktivitas Lahan Pertanian. *Jurnal Iptek Tanaman Pangan*, 4 (1): 33-48
- [11] Haryana, Arif. “Biomass Utilization as Renewable Energy for Optimization of National Energy Mix Pengembangan Pemanfaatan Biomassa Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mencapai Bauran Energi Nasional Yang Optimal.” : 55–65.
- [12] Harahap, dkk. 2000. Produktivitas Tanaman Kelapa Sawit Tinjauan Dari Aspek Tanah Dan Iklim. *Pertemuan Teknis Kelapa Sawit, Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan. Hal II. 1-18.*
- [13] Haygreen, J.G dkk. 1989. “Hasil Hutan dan Ilmu Kayu Semua Pengantar”. Diterjemahkan oleh Sutjipto A. Hadikusumo. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- [14] Hieu, Vu Minh, and Ida Rasovska. 2017. “Craft Villages and Tourism Development, a Case Study in Phu Quoc Island of Vietnam.” *Management* 21(1): 223–36.
- [15] Kaliandra, Potensi et al. 2021. “Indonesia Berpeluang Menjadi Pengekspor Terbesar Untuk Pelet Kayu Jenis Tanaman Yang Potensial Untuk Dikembangkan Menjadi Bahan Baku Pelet Kayu Antara Lain Kaliandra , Gamal ,.” XX: 71– 80.
- [16] Kamal D. M., (2022). Penambahan serbuk Ampas Kopi Sebagai Upaya meningkatkan Nilai Kalor Briket Limbah Kertas. *Jurnal Inovasi Penelitian*, 2(12).
- [17] Kasim, Tarmizi 2015, Studi Pemanfaatan Pohon Kaliandra Sebagai Sumber Energi Primer. Medan. Jurusan Teknik Industri Sumatera Utara
- [18] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2021. Kementerian esdm akan menuntaskan 100% rasio elektrifikasi di 2022. Diakses pada 25 oktober 2022 dari <https://www.esdm.go.id/id/mediacenter/arsipberita/kementeriaesdmakan-tuntaskan-100-rasio-elektifikasi-di-2022->
- [19] Kementrian Pertanian Indonesian. 2021. Luas Areal Kelapa Sawit Menurut Provinsi di Indonesia, 2017-2021. [Internet]. <https://www.pertanian.go.id/home/index.php?show=repo&fileNum=229>. Diakses pada tanggal 12 Desember 2022.
- [20] Marini, L. F., Sarungallo, P., Pramanagara, R. O., & Budi, H. A. S. (2022). Analisis Ekonomi Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit (PKS) sebagai Bahan Bakar Boiler (Studi Kasus PT. Medco Papua Hijau Selaras). *Igya Ser Hanjop: Jurnal Pembangunan Berkelanjutan* 4,4(1),53–65. <https://doi.org/10.47039/ish.4.2022.53-65>
- [21] Mulia, A. 2007. Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Briket Arang. Tesis Sekolah Pasca sarjana Universitas Sumatera Utara.
- [22] Nova Nurfauziawati. 2010. “Laporan Praktikum Fisika Dasar Modul 8 Kalorimeter”
- [23] Pribadyo, dkk. (2020). Pengaruh Komposisi Dan Kuat Tekan terhadap Tingkat Kerapuhan Briket Arang Biomasa Campur Batubara dengan Tepung Kanji sebagai Perekat. *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, 2. (1), 67-72
- [24] Rahardja dkk. (2021), “Studi Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit Sebagai Pembangkit Listrik Biomassa Di PT” Kurnia Luwuk Sejati. Skripsi, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo
- [25] Sidiq, Agus Noor. 2022. “Pengaruh Co-Firing Biomassa Terhadap Efisiensi Boiler PLTU Batubara.” 11(1): 21–31.
-

-
- [26] Sugiyono, A., I. Febijanto, E. Hilmawan, and Adiarso. 2022. "Potential of Biomass and Coal Co-Firing Power Plants in Indonesia: A PESTEL Analysis." IOP Conference Series: Earth
[27] Widyastuti, Christine, and Oktaria Handayani. "Akibat Pemanfaatan Energi Batubara." Ejournal Kajian Teknik Elektro 1(2): 112– 20.