



Analisis Variasi Ukuran Partikel Biomassa Cangkang Kelapa Sawit dan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) terhadap Karakteristik *Refuse Derived-Fuel* (RDF)

Riza Hidayarizka^{1*}, Agustina Wulandari², Ismi Khairunnissa Ariani³, Rahmi Yorika⁴

¹²³⁴ Teknik Lingkungan, Jurusan Ilmu Kebumihan dan Lingkungan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan.

*Corresponding email: riza.hidayarizka@lecturer.itk.ac.id

Received: 24/October/2024
Accepted: 26/November/2024

Revised: 15/November/2024
Published: 31/December/2024

To cite this article:

Hidayarizka, R., Wulandari, A., Ariani, I. K & Yorika, R. (2024). Analisis Variasi Ukuran Partikel Biomassa Cangkang Kelapa Sawit dan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) terhadap Karakteristik *Refuse Derived-Fuel* (RDF). *SPECTA Journal of Technology*, 8(3), 210-222. <https://10.35718/specta.v8i3.1212>

Abstract

Energy consumption in Indonesia is still mostly dependent on fossil fuels like coal, leading to their gradual depletion. Therefore, there is a need for environmentally friendly alternative energy sources from biomass waste, such as RDF. Biomass waste with a high calorific value, like palm kernel shells and empty palm kernel bunches (EFB), is promising as RDF raw material. The size of the particles affects the characteristics of RDF because it impacts the structure and composition of RDF pellets. The tested composition ratios of palm kernel shells, EFB, and adhesives were (90:0:10), (80:10:10), (70:20:10), (60:30:10), and (50:40:10), with particle sizes of 60, 80, and 100 mesh. The RDF characteristics evaluated included moisture content, ash content, volatile matter, fixed carbon, and calorific value. The best RDF composition was found to be 70% palm kernel shells, 20% empty palm kernel bunches, and 10% adhesive at a particle size of 60 mesh, resulting in a moisture content of 5.2%, ash content of 4.64%, volatile matter of 78.89%, fixed carbon of 9.64%, and a calorific value of 4404.32 cal/g. XRD analysis indicates that RDF contains amorphous carbon, silica, and, with the addition of EFB, contributes to the potassium content. SEM analysis shows that larger particle sizes of the raw material form larger pores in RDF compared to smaller particle sizes.

Keywords: calorific value, palm oil waste, particle size, refuse derived fuel, waste to energy

Abstrak

Konsumsi energi di Indonesia masih didominasi oleh penggunaan energi fosil seperti batu bara yang mengakibatkan sumber energi tersebut semakin menipis. Oleh karena itu dibutuhkan energi alternatif ramah lingkungan yang berasal dari limbah biomassa seperti RDF. Limbah biomassa yang berpotensi menjadi bahan baku RDF adalah biomassa yang memiliki nilai kalor tinggi seperti CKS dan TKKS. Ukuran partikel memiliki pengaruh terhadap karakteristik RDF, hal ini karena ukuran partikel dapat mempengaruhi struktur dan susunan dari pellet RDF. Komposisi rasio CKS, TKKS, dan perekat yaitu (90:0:10), (80:10:10), (70:20:10), (60:30:10), (50:40:10) dengan variasi ukuran partikel yaitu 60, 80 dan 100 mesh. Uji karakteristik RDF yang dilakukan terdiri dari kadar air, kadar abu, *volatile matter*, *fixed carbon* dan nilai kalor. Karakteristik RDF yang paling optimum didapatkan pada ukuran partikel 60 mesh dengan komposisi 70% CKS, 20% TKKS dan 10% perekat dengan kadar air 5,2%, kadar abu 4,64%, *volatile matter* 78,89%, *fixed carbon* 9,64% dan nilai kalor 4404,32 kal/g. Pengujian XRD menunjukkan bahwa RDF memiliki kandungan *amorphous carbon*, silika, dan dengan penambahan TKKS berkontribusi pada kandungan kalium. Hasil pengujian SEM menunjukkan bahwa RDF dengan ukuran partikel lebih besar akan membentuk pori – pori RDF yang lebih besar dibandingkan RDF dengan ukuran partikel yang kecil.

Kata Kunci: limbah kelapa sawit, nilai kalor, *refuse derived-fuel*, ukuran partikel, *waste to energy*

1. Pendahuluan

Konsumsi energi di Indonesia masih mengandalkan bahan bakar fosil sebagai energi utama, seperti batu bara dan minyak bumi. Berdasarkan data dari Kementerian ESDM (2022), penggunaan bahan bakar fosil mencapai 87,4%, dengan konsumsi batu bara sebesar 193 juta ton. Peningkatan penggunaan batu bara terus menerus mengakibatkan cadangan bahan bakar fosil yang semakin menipis. Oleh karena itu, diperlukan energi alternatif yang lebih ramah lingkungan, seperti *Refuse Derived-Fuel* (RDF), dengan bahan baku limbah biomassa. RDF merupakan energi alternatif pengganti batu bara dengan keunggulan pengolahan yang lebih efisien karena tidak memerlukan lahan luas dan memiliki nilai kalor yang mendekati batu bara, yaitu 3000–5000 kal/g (Safira et al., 2022). Beberapa penelitian menemukan bahwa RDF dari limbah biomassa dapat menghasilkan kualitas yang baik. RDF dari bahan baku sabut kelapa menghasilkan nilai kalor sebesar 4800 kal/g (Wijaya et al., 2023). Penelitian yang lain juga menjelaskan bahwa RDF dari limbah kulit durian menghasilkan nilai kalor sebesar 3516 kal/g (Hudayarizka et al., 2024). Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, limbah biomassa sangat berpotensi dijadikan sebagai bahan baku RDF.

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) produksi kelapa sawit di provinsi Kalimantan Timur 2.1 juta ton, dimana jumlah limbah CKS dan TKKS sebanyak 21% dari total produksi belum dimanfaatkan secara optimal sebagai energi alternatif seperti RDF (Praevia & Widayat, 2022). Cangkang kelapa sawit (CKS) dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) memiliki potensi sebagai bahan baku RDF karena memiliki nilai kalor yang tinggi, yaitu 4799,13 kal/g untuk CKS dan 4489,10 kal/g untuk TKKS (Dewi et al., 2022). CKS mengandung karbon sebesar 50,70%, yang dapat meningkatkan nilai kalor (Aziz et al., 2019), selain itu TKKS memiliki kandungan utama selulosa sebesar 45,95%, yang berkontribusi pada peningkatan nilai *fixed carbon* dan kualitas RDF (Warsito et al., 2017). Pembentukan pellet RDF memerlukan perekat agar bahan baku dapat menyatu dengan baik dan mudah dalam pembentukan. Ukuran partikel bahan baku juga memiliki dampak terhadap karakteristik dan pori-pori RDF sehingga berpengaruh pada pembakaran dan nilai kalor.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh variasi komposisi bahan baku CKS dan TKKS dan variasi ukuran partikel terhadap karakteristik RDF. Komposisi bahan baku dan ukuran partikel yang paling optimal akan menghasilkan RDF dengan kualitas dan karakteristik yang paling baik dengan beberapa pengujian, seperti uji kadar air, kadar abu, *volatile matter*, *fixed carbon* dan nilai kalor. Uji XRD digunakan untuk melihat komposisi kristal yang terkandung di dalam sebuah pellet RDF, sedangkan uji SEM berfungsi menganalisa pori-pori yang terbentuk dari variasi ukuran partikel, karena berkorelasi dengan penetrasi oksigen ketika pembakaran berlangsung.

2. Metodologi

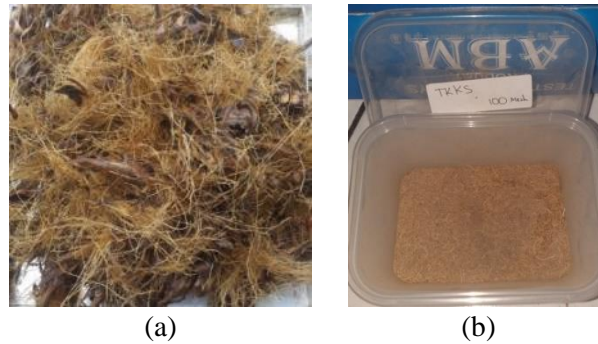
2.1. Preperasi Bahan Baku

Cangkang kelapa sawit diperoleh dari salah satu perkebunan di Samboja. Pembuatan serbuk CKS dimulai dengan membersihkan bahan baku dan pencacahan menjadi ukuran yang kecil. Setelah itu, CKS dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C selama 12 jam (Aziz et al., 2019). Setelah proses pengeringan, CKS dihaluskan dan diayak dengan ayakan berukuran 60 mesh, 80 mesh, dan 100 mesh.



(a) (b)
Gambar 1: (a) Cangkang Kelapa Sawit (b) Serbuk Cangkang Kelapa Sawit

Tandan kosong kelapa sawit diperoleh dari salah satu perkebunan di Samboja. TKKS dibersihkan dan dipotong menjadi bagian-bagian kecil. Selanjutnya, TKKS dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 12 jam (Khairiah & Ridwan, 2021). Setelah proses pengeringan, TKKS digiling dan disaring menggunakan ayakan berukuran 60 mesh, 80 mesh, dan 100 mesh.



(a) (b)
Gambar 2: (a) Biomassa TKKS (b) Serbuk TKKS

Tepung tapioka digunakan sebagai bahan dasar perekat. Pembuatan perekat diawali dengan pencampuran air dan tepung tapioka dengan rasio 1 : 10. Kemudian dipanaskan atau dimasak selama 1 – 2 menit hingga mengental dan bening seperti lem (Paranita, 2020).

2.2. Pembuatan RDF

Pada proses pembuatan RDF, hal pertama yang dilakukan yaitu persiapan bahan baku dan perekat. Komposisi rasio CKS, TKKS dan perekat yang digunakan pada penelitian ini adalah 90:0:10, 80:10:10, 70:20:10, 60:30:10, 50:40:10. Seluruh rasio divariasikan dengan ukuran partikel bahan baku yaitu 60 mesh, 80 mesh, 90 mesh. Proses pembuatan dimulai dengan mencampurkan serbuk CKS, TKKS dan perekat sesuai komposisi rasio dan ukuran partikel yang telah ditentukan. Setelah pencampuran, maka adonan dicetak menjadi pellet RDF menggunakan cetakan berbentuk silinder dengan diameter 1,2 cm dan tinggi 3 cm. RDF yang telah dicetak melalui proses pengeringan selama 12 jam dengan suhu 60°C.



Gambar 3: Pellet RDF

2.3. Karakteristik Kualitas RDF

Kadar air memiliki pengaruh terhadap penyalaan awal RDF, dimana kadar air berpengaruh pada nilai kalor (Deglas & Fransiska, 2020). Persentase kadar air pada RDF dapat dihitung dengan menggunakan standar ASTM D-3173-17. Adapun persamaannya yaitu sebagai berikut :

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(A-B)}{A} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

A = sampel awal (gr)

B = sampel setelah pemanasan (gr)

Kadar abu merupakan zat sisa yang dihasilkan dari proses pembakaran dengan unsur utamanya yaitu mineral, kalium dan silica (Deglas & Fransiska, 2020). Tingginya kadar abu mengakibatkan turunnya kualitas RDF. Metode ASTM D-3174-12 digunakan untuk menganalisa nilai kadar abu. Adapun persamaannya yaitu sebagai berikut :

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{(A-B)}{C} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan :

- A = wadah dan residu (gr)
- B = wadah kosong (gr)
- C = sampel (gr)

Volatile matter berpengaruh terhadap kemampuan menyala suatu RDF, semakin tinggi *volatile matter* maka RDF akan mudah dinyalakan (Deglas & Fransiska, 2020). Persentase *volatile matter* yang terkandung di dalam RDF dapat dihitung dengan menggunakan standar ASTM D-3175-20. Adapun persamaannya yaitu sebagai berikut :

$$D = 100 \times \frac{(B-C)}{(B-A)} \quad (3)$$

$$Wvm = D - E \quad (4)$$

Keterangan :

- Wvm = *volatile matter* (%)
- A = wadah (gr)
- B = wadah dan sampel (gr)
- C = wadah dan sampel setelah furnace (gram)
- D = massa yang hilang (%)
- E = kandungan air sampel (%)

Nilai *Fixed carbon* dipengaruhi oleh kadar air, abu, dan *volatile matter*. Tingginya nilai *fixed carbon* akan berbanding terbalik dengan nilai kadar air, abu, dan *volatile matter* (Saputra et al., 2021). Metode ASTM D-3172-07 digunakan untuk menghitung persentase *fixed carbon* yang terkandung di dalam RDF. Adapun persamaannya yaitu sebagai berikut :

$$FC = 100 - (MC + AC + Wvm) \quad (5)$$

Keterangan :

- FC = *Fixed carbon* (%)
- MC = *Moisture Content*/Kadar air (%)
- AC = *Ash Content*/Kadar Abu (%)
- Wvm = *volatile matter* (%)

Nilai kalor adalah parameter penting untuk menilai karakteristik RDF. Kualitas RDF akan meningkat seiring meningkatnya nilai kalor yang berdampak pada proses pembakaran yang lebih efisien (Putri & Sukandar, 2013). Metode ASTM D-240-19 digunakan sebagai standar perhitungan nilai kalor menggunakan alat *bomb calorimeter*

2.4. Analisis Kristalinitas dan Struktur pada RDF

X-Ray Diffraction (XRD) adalah metode analisis dengan memanfaatkan sinar X yang dilakukan untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal, sifat – sifat fisika dan komposisi kimia dari suatu bahan padat. Ketika sinar X diarahkan pada sampel kristal, sinar tersebut akan dibiaskan dengan panjang gelombang yang sama dan dideteksi sebagai puncak difraksi oleh detektor (Putama Mursal, 2018).

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan metode analisis yang berfungsi untuk menganalisa bentuk dan struktur morfologi pada permukaan partikel. SEM dilakukan untuk mengamati sampel dengan menggunakan mikroskop elektron yang memiliki perbesaran 200.000 kali (Putama Mursal, 2018).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Bahan Baku RDF

Serbuk CKS dan TKKS diuji untuk menganalisa karakteristik dan kualitas bahan baku dengan menggunakan persamaan (1) kadar air, persamaan (2) kadar abu, persamaan (3) dan (4) *volatile matter*, persamaan (5) *fixed carbon* dan alat *bomb calorimeter* untuk menguji nilai kalor. Pengujian karakteristik bahan baku bertujuan sebagai informasi pendukung menganalisa kualitas RDF yang dibentuk. Hasil uji karakteristik bahan baku RDF dapat dilihat pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1: Karakteristik Cangkang Kelapa Sawit dan TKKS

No	Parameter	Karakteristik Bahan Baku		Satuan
		Cangkang	TKKS	
1	Kadar Air	9,56	10,05	%
2	Kadar Abu	2,01	2,48	%
3	<i>Volatile Matter</i>	68,39	77,59	%
4	<i>Fixed Carbon</i>	20,04	9,88	%
5	Nilai Kalor	4345,32	3931,76	kal/g

Hasil uji menunjukkan bahwa bahan baku CKS dan TKKS mengandung kadar air sebesar 9,56% dan 10,05%. Kadar air bahan baku berpengaruh terhadap kualitas RDF yaitu nilai kalor, selain itu kadar air juga akan mempengaruhi proses penyalan awal pada RDF (Kasrun et al., 2016). Berdasarkan pengujian didapatkan hasil uji kadar abu pada CKS dan TKKS yaitu sebesar 2,01% dan 2,48%. Hasil uji menunjukkan bahwa kadar *volatile matter* pada CKS dan TKKS yaitu sebesar 68,39% dan 77,59% dimana hal ini menunjukkan bahwa bahan baku mengandung senyawa organik yang cukup tinggi.

Nilai *fixed carbon* pada CKS menunjukkan nilai yang lebih besar yaitu sebesar 20,04% dibandingkan TKKS menghasilkan kadar *fixed carbon* sebesar 9,88%. Hasil ini sesuai dengan penjelasan dari Al-alang dan Fadhillah (2020) menyatakan bahwa nilai *fixed carbon* pada CKS yaitu sekitar 20 – 22%. Uji termal nilai kalor pada bahan baku RDF menunjukkan hasil yang baik, dimana bahan baku CKS dan TKKS menghasilkan nilai kalor sebesar 4345,32 kal/g dan 3931,76 kal/g. Nilai kalor CKS mendapatkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan TKKS karena nilai *fixed carbon* pada CKS lebih tinggi yang dapat membantu meningkatkan nilai kalor (Biantoro & Widayat, 2021). Berdasarkan penelitian Dewi et al. (2022) didapatkan nilai kalor pada CKS dan TKKS yaitu sebesar 4799,13 kal/g dan 4489,10 kal/g.

Pada proses pembuatan RDF dibutuhkan perekat untuk menggabungkan bahan baku sehingga dapat dibentuk menjadi pellet. Karakteristik perekat diuji untuk mengetahui dampak dari penggunaan perekat terhadap kualitas RDF. Hasil uji karakteristik perekat tepung tapioka dapat dilihat pada Tabel 2. berikut.

Tabel 2: Karakteristik Perekat RDF

No	Parameter	Karakteristik Perekat		Satuan
1	Kadar Air	10,01	%	
2	Kadar Abu	0,89	%	
3	<i>Volatile Matter</i>	94,18	%	
4	<i>Fixed Carbon</i>	0	%	
5	Nilai Kalor	3532,41	kal/g	

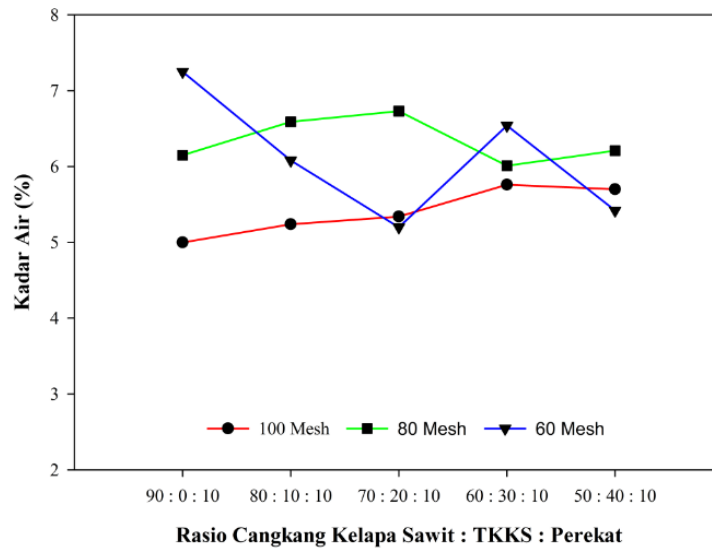
Hasil uji karakteristik perekat tepung tapioka menunjukkan bahwa kadar air 10,1% dan *volatile matter* 94,18%. Kadar *volatile matter* yang tinggi disebabkan oleh adanya kandungan amilosa dan amilopektin yang menguap karena proses pembakaran. Kadar abu dan *fixed carbon* pada perekat menunjukkan nilai sebesar 0,89% dan 0%. Semakin tinggi nilai *volatile matter* akan membuat nilai *fixed carbon* yang didapatkan semakin rendah. Hasil uji nilai kalor pada perekat didapatkan sebesar 3533,41 kal/g.

3.2. Karakteristik RDF Cangkang dan Tandan Kosong Kelapa Sawit

1. Kadar Air

Uji kadar air dilakukan untuk menganalisa air yang terkandung pada RDF, dimana kadar air berdampak pada pembakaran awal RDF. Kadar air yang dihasilkan dipengaruhi oleh ukuran partikel dan rasio bahan

baku serta perekat yang digunakan (Damayanti et al., 2017). Hasil uji kadar air pada setiap komposisi RDF ditunjukkan pada grafik di Gambar 4 berikut.

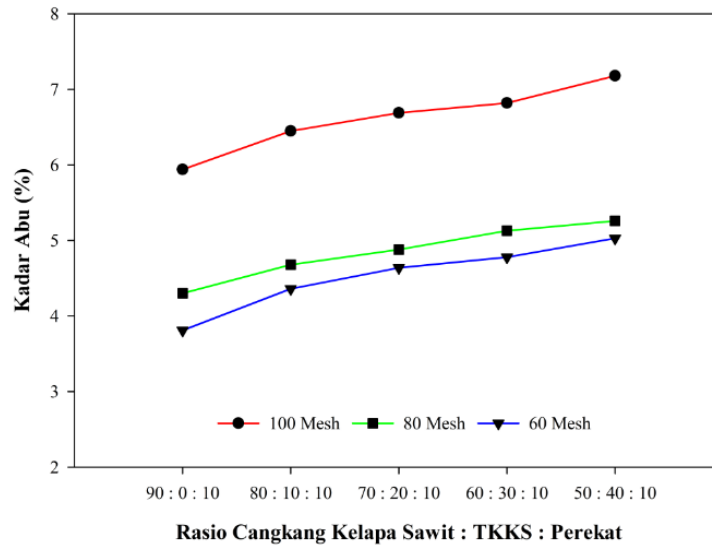


Gambar 4: Kadar Air RDF

Grafik di atas memperlihatkan RDF dengan kadar air tertinggi 7,25% diperoleh pada ukuran partikel 60 mesh variasi rasio 90% CKS, 0% TKKS dan 10% perekat. Sedangkan hasil uji kadar air terendah didapatkan pada ukuran partikel 100 mesh dengan rasio 90% CKS, 0% TKKS dan 10% perekat dengan nilai 5%. Dapat dilihat pada grafik, bahwa dengan adanya penambahan komposisi TKKS maka akan meningkatkan kadar air. Hal ini dikarenakan TKKS memiliki sifat yang berserabut dan hidrofilik yang membuat air tidak mudah meninggalkan TKKS (Praevia & Widayat, 2022). Pada penelitian yang dilakukan oleh Susanto dan Yanto (2013), CKS : TKKS dengan perbandingan 1:25 memiliki kadar air lebih besar yaitu sebesar 7,46% dibandingkan dengan perbandingan 1:10 yang memiliki kadar air sebesar 6,4%. Ukuran partikel yang lebih besar akan mengikat air lebih banyak. Hal ini dikarenakan besar kecilnya ukuran partikel akan mempengaruhi rongga udara yang terbentuk, sehingga akan banyak menyerap air dari udara di sekelilingnya (Lestari et al., 2018). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Iriany et al. (2016) menunjukkan bahwa kadar air tertinggi terdapat pada RDF 10 mesh yang menunjukkan hasil 2,49% dibandingkan dengan RDF 60 mesh yang memiliki kadar air 1,01%. Berdasarkan data kadar air yang didapatkan menunjukkan bahwa semua variasi komposisi dan ukuran partikel telah memenuhi standar RDF Indonesia menurut Kementerian Perindustrian Republik Indonesia tahun 2017 yaitu $\leq 20\%$.

2. Kadar Abu

Pengukuran kadar abu bertujuan untuk mengukur zat sisa yang dihasilkan dari proses pembakaran (Rumape et al., 2019). Nilai kadar abu dianalisa sebagai salah satu parameter kualitas RDF. Hasil uji kadar abu pada masing – masing komposisi bahan baku RDF ditunjukkan pada grafik pada Gambar 5. Berdasarkan grafik tersebut, RDF dengan ukuran partikel 100 mesh dan variasi rasio 50% CKS, 40% TKKS dan 10% perekat menghasilkan kadar abu tertinggi sebesar 7,18%. Sedangkan RDF dengan ukuran partikel 60 mesh dan rasio bahan baku 90% CKS, 0% TKKS dan 10% perekat dengan ukuran partikel 60 mesh menghasilkan kadar abu terendah sebesar 3,81%. Dapat dilihat pada grafik diatas menunjukkan bahwa dengan penambahan komposisi TKKS akan menghasilkan kadar abu yang lebih besar karena adanya senyawa kimia seperti kalium dan silika yang menjadi residu setelah proses pembakaran (Siregar et al., 2023).

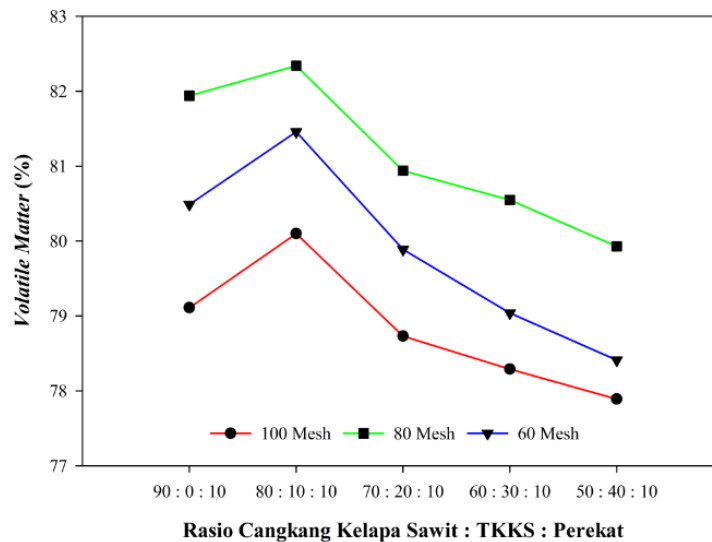


Gambar 5: Kadar Abu RDF

Ukuran partikel yang lebih kecil meningkatkan kerapatan pada pellet RDF, dimana hal ini menyebabkan RDF mengandung partikel yang lebih banyak sehingga meningkatkan sisa pembakaran (Wardani & Ariani, 2023). Dari grafik di atas, terlihat bahwa penambahan komposisi TKKS menghasilkan kadar abu yang lebih tinggi karena adanya senyawa kimia, seperti kalium dan silika, yang tertinggal sebagai residu setelah proses pembakaran (Siregar et al., 2023). Hasil pengujian kadar abu menunjukkan bahwa RDF dengan semua variasi telah memenuhi standar kualitas RDF Indonesia yang disusun oleh Kementerian Perindustrian Republik Indonesia tahun 2017 yaitu $\leq 10\%$.

3. Volatile Matter

Pengujian *volatile matter* dilakukan untuk melihat pengaruh komposisi bahan baku terhadap kualitas RDF seperti kemampuan penyalaan awal. Hasil uji *volatile matter* pada masing – masing komposisi bahan baku RDF ditunjukkan pada Gambar 6 sebagai berikut.



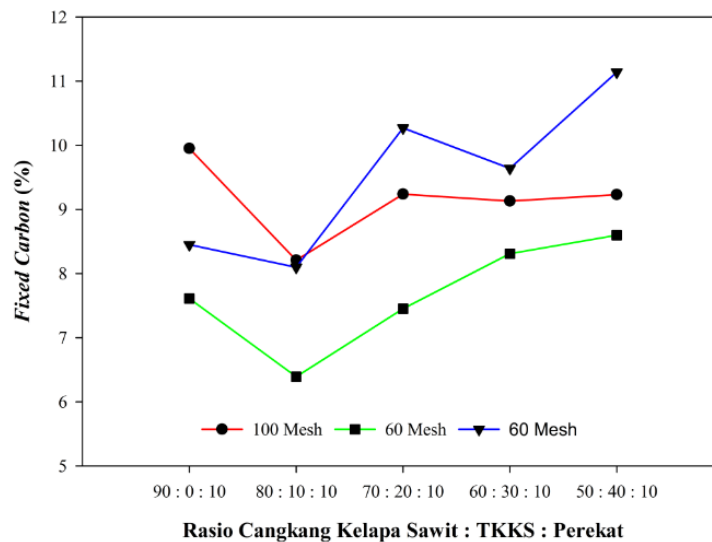
Gambar 6: Volatile Matter RDF

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa hasil uji *volatile matter* tertinggi terdapat pada variasi 80% CKS, 10% TKKS dan 10% perekat dengan ukuran partikel 80 mesh yaitu sebesar 82,34% dan untuk hasil uji *volatile matter* terendah berada pada variasi 50% CKS, 40% TKKS dan 10% perekat dengan ukuran partikel 100 mesh yaitu sebesar 77,89%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak penggunaan komposisi CKS akan meningkatkan nilai *volatile matter* karena adanya kandungan zat ekstraktif yang mudah menguap (Wiranata et al., 2017). Ukuran partikel juga memberikan pengaruh

terhadap kualitas RDF, semakin kecil ukuran partikel maka nilai *volatile matter* akan semakin kecil. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa hasil *volatile matter* pada ukuran partikel 60 mesh lebih rendah yaitu 13,17% dibandingkan dengan ukuran partikel 10 mesh yaitu sebesar 14,93% (Iriany et al., 2016)., Berdasarkan standar kualitas RDF Indonesia, nilai *volatile matter* yang memenuhi standar 50% - 80% yaitu dengan rasio 50:40:20 pada ukuran partikel 100, 80 dan 60 mesh, kemudian pada ukuran partikel 100 dan 60 mesh dengan rasio 60:30:10 dan 70:20:10, serta pada rasio 90:0:10 dengan ukuran partikel 100 mesh.

4. Fixed Carbon

Pengujian *fixed carbon* bertujuan untuk menentukan kandungan karbon yang tidak mudah menguap dalam sebuah RDF, yang berkontribusi pada efisiensi pembakaran dan kualitas bahan bakar. Nilai *fixed carbon* RDF akan dipengaruhi karakteristik kadar air, kadar abu dan *volatile matter* (Saputra et al., 2021). Hasil uji *fixed carbon* pada setiap masing - masing komposisi bahan baku RDF ditunjukkan pada Gambar 7. berikut.

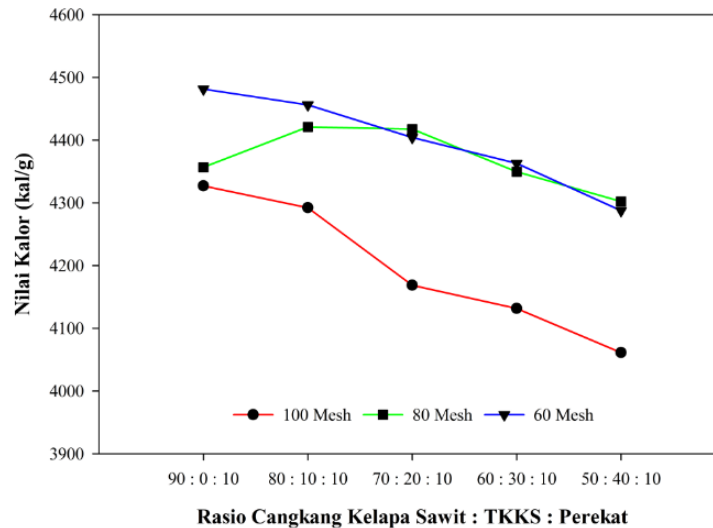


Gambar 7: Fixed Carbon RDF

Berdasarkan grafik diatas, nilai *fixed carbon* tertinggi terdapat pada ukuran partikel 60 mesh dengan variasi komposisi 50% CKS, 40% TKKS dan 10% perekat menunjukan nilai 11.14%. Nilai *fixed carbon* terendah ditunjukkan pada variasi komposisi 80% CKS, 10% TKKS dan 10% perekat dengan ukuran partikel 80 mesh sebesar 6.39%. Penambahan komposisi TKKS pada RDF akan meningkatkan nilai *fixed carbon* karena adanya kandungan selulosa yang komponen penyusunnya terdiri dari karbon. Ukuran partikel juga memberikan pengaruh terhadap kualitas RDF, semakin besar ukuran partikel maka nilai *fixed carbon* akan semakin tinggi.

5. Nilai Kalor

Pengujian nilai kalor bertujuan untuk menganalisa jumlah energi yang dapat dihasilkan RDF dinyalakan. Nilai kalor menjadi karakteristik penting dalam menghasilkan RDF yang berkualitas. Nilai parameter ini menunjukkan kandungan panas yang ada pada bahan bakar, karena tingginya nilai kalor menunjukkan kualitas RDF yang semakin baik. Hasil uji nilai kalor pada setiap komposisi bahan baku bisa dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8: Nilai Kalor RDF

Berdasarkan Gambar 8, nilai RDF dengan ukuran partikel 60 mesh dengan komposisi 90% CKS, 0% TKKS dan 10% perekat menunjukkan nilai kalor tertinggi, 4481.58 kal/g. Nilai kalor terendah dihasilkan pada RDF dengan ukuran 100 mesh dengan komposisi 50% CKS, 40% TKKS dan 10% perekat sebesar 4061.10 kal/g. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak penggunaan komposisi CKS maka akan meningkatkan nilai kalor pada RDF karena adanya kandungan karbon yang dapat meningkatkan nilai kalor (Aziz et al., 2019).

Ukuran partikel juga akan memberikan pengaruh terhadap nilai kalor RDF. Dapat dilihat pada Gambar 8, RDF dengan partikel dengan ukuran 60 mesh menghasilkan nilai kalor lebih tinggi dibandingkan RDF dengan partikel berukuran 100 mesh. RDF dengan partikel lebih besar akan menciptakan rongga – rongga udara yang lebih besar untuk dilewati oleh udara, hal ini mengakibatkan proses pembakaran lebih cepat sehingga nilai kalor yang dihasilkan lebih tinggi (Oke et al., 2016). Penelitiannya terdahulu menunjukkan bahwa nilai kalor pada RDF 20 mesh lebih tinggi yaitu sebesar 4800 kal/g dibandingkan dengan ukuran RDF 40 mesh yaitu 4700 kal/g (Wardani & Ariani, 2023). Berdasarkan data nilai kalor yang didapatkan menunjukkan bahwa RDF dengan semua variasi komposisi dan ukuran partikel telah memenuhi standar kualitas RDF Indonesia yang disusun oleh Kementerian Perindustrian Republik Indonesia tahun 2017 yaitu lebih besar dari 3000 kal/g.

3.3. Analisis Statistik Karakteristik RDF

Analisis statistik dilakukan untuk mengetahui pengaruh signifikansi dari setiap variasi rasio komposisi dan ukuran partikel bahan baku terhadap karakteristik RDF. Metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui nilai signifikan yaitu dengan *one way anova* atau *kruskal wallis*. Untuk menentukan metode pengujian diawali dengan uji normalitas dan homogenitas. Hasil data dengan distribusi tidak normal dan tidak homogen akan dilanjutkan dengan metode *kruskal wallis*. Sedangkan untuk data dengan distribusi normal dan homogen akan dilanjutkan metode *one way anova*.

Tabel 4: Uji Statistik Pengaruh Rasio Komposisi Terhadap Karakteristik RDF

No	Parameter	Uji Prasyarat	Metode	Sig	Keterangan
1	Kadar Air	Normal Homogen	<i>One way anova</i>	0.949	Rasio komposisi tidak berpengaruh signifikan terhadap karakteristik RDF karena nilai Sig > 0.05
2	Kadar Abu	Normal Homogen	<i>One way anova</i>	0.773	Rasio komposisi tidak berpengaruh signifikan terhadap karakteristik RDF karena nilai Sig > 0.05
3	<i>Volatile Matter</i>	Normal Homogen	<i>One way anova</i>	0.145	Rasio komposisi tidak berpengaruh signifikan terhadap karakteristik RDF karena nilai Sig > 0.05

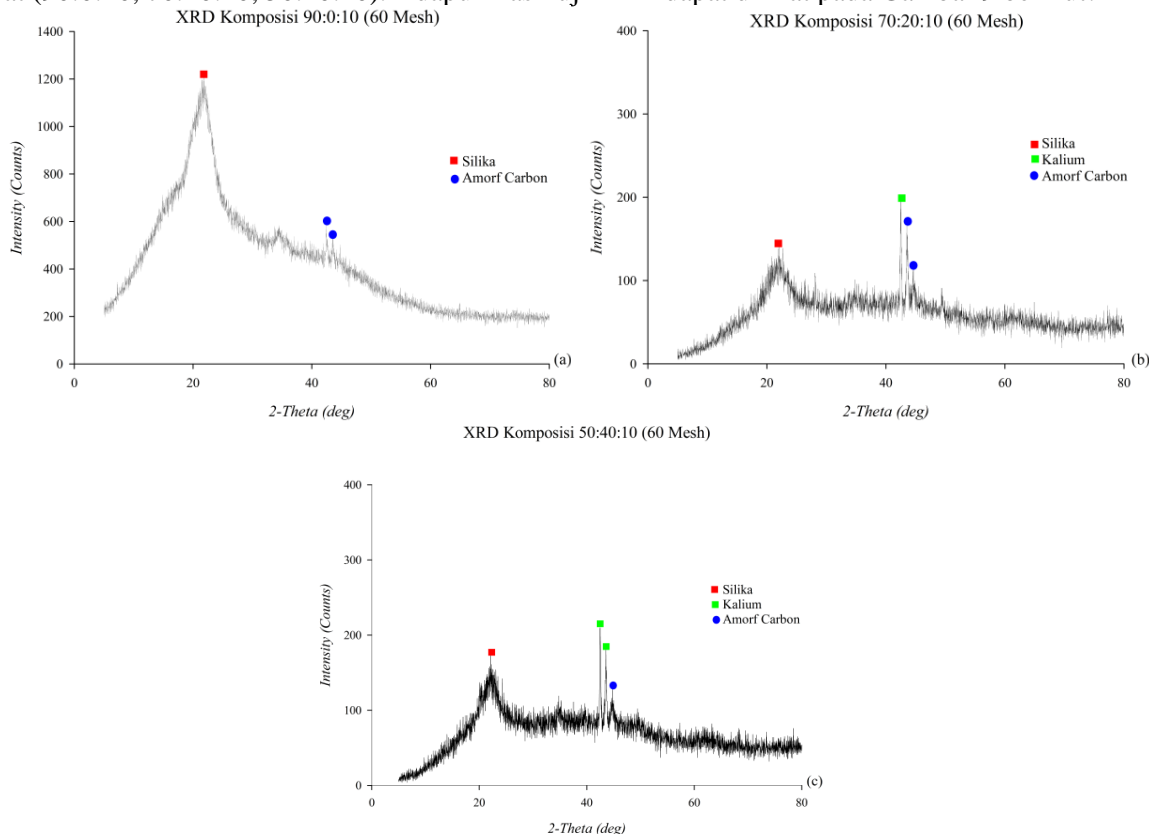
No	Parameter	Uji Prasyarat	Metode	Sig	Keterangan
4	Fixed Carbon	Normal Homogen	One way anova	0.327	Rasio komposisi tidak berpengaruh signifikan terhadap karakteristik RDF karena nilai Sig > 0.05
5	Nilai Kalor	Normal Homogen	One way anova	0.376	Rasio komposisi tidak berpengaruh signifikan terhadap karakteristik RDF karena nilai Sig > 0.05

Pada uji statistik, semua hasil uji kadar air, kadar abu, *volatile matter*, *fixed carbon* dan nilai kalor digunakan sebagai sampel. Berdasarkan Tabel 4, hasil pengujian statistik menunjukkan bahwa uji data terdistribusi normal dan homogen, sehingga pengujian dilanjutkan dengan metode *one way anova*. Berdasarkan analisis *one way anova* terkait variasi rasio komposisi didapatkan nilai signifikan > 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa variasi rasio komposisi CKS dan TKKS tidak memiliki pengaruh secara signifikan terhadap karakteristik RDF. Sedangkan, pada analisis *one way anova* terkait variasi ukuran partikel didapatkan nilai signifikan < 0,05. Hal ini menunjukkan variasi ukuran partikel berpengaruh secara signifikan terhadap karakteristik RDF.

3.4. Analisis Kristalinitas dan Struktur RDF

1. X-Ray Diffraction (XRD)

XRD dilakukan untuk mengetahui kandungan mineral dan kristalinitas pada RDF. Pengujian XRD dilakukan pada 3 sampel RDF yang berukuran partikel 60 mesh dengan komposisi CKS, TKKS dan perekat (90:0:10, 70:20:10, 50:40:10). Adapun hasil uji XRD dapat dilihat pada Gambar 9 berikut.



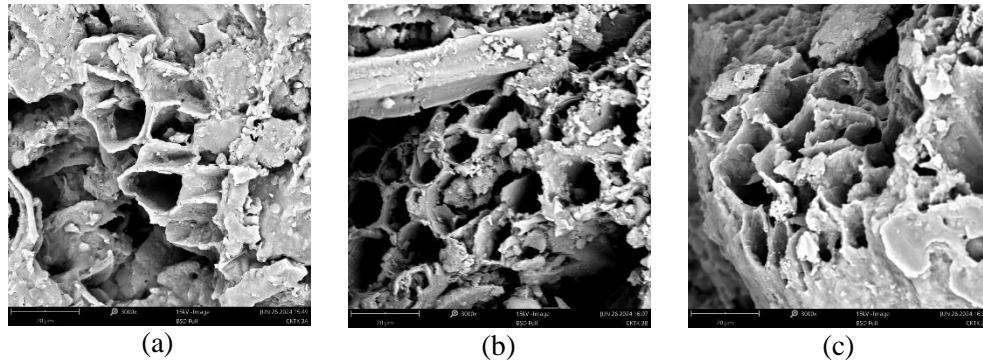
Gambar 9: Hasil Uji XRD dengan Komposisi CKS : TKKS : Perekat (a) 90:0:10 (b) 70:20:10 (c) 50:40:10

Berdasarkan gambar diatas, didapatkan puncak difraksi (a) silika di $2\theta = 21^\circ$ serta amorf carbon di $2\theta = 42^\circ$ dan 43° . Pada gambar 8, puncak difraksi (b) silika di $2\theta = 21^\circ$, amorf carbon $2\theta = 43^\circ$ dan 44° serta kalium $2\theta = 42^\circ$. Kemudian pada grafik (c), didapatkan puncak difraksi silika di $2\theta = 21^\circ$, amorf carbon $2\theta = 44^\circ$ serta kalium $2\theta = 42^\circ$ dan 43° . Senyawa kalium dan silika yang terdapat dalam RDF akan memberikan dampak terhadap karakteristik RDF seperti parameter kadar abu. Hal ini sejalan

dengan analisa pada karakteristik kadar abu RDF diatas yang menjelaskan bahwa meningkatnya kadar abu RDF disebabkan oleh adanya senyawa kalium dan silika pada TKKS (Siregar et al., 2023).

2. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pengujian SEM bertujuan untuk menganalisis morfologi struktur dan ukuran pori. Pengujian ini dilakukan pada 3 sampel dengan komposisi 70% CKS, 20% TKKS dan 10% perekat dengan ukuran partikel 60 mesh, 80 mesh dan 100 mesh. Struktur morfologi dari pengujian SEM pada setiap ukuran partikel ditunjukkan pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10: Hasil Uji SEM RDF (a) 100 Mesh, (b) 80 Mesh dan (c) 60 Mesh

Berdasarkan gambar diatas, dapat dilihat bahwa RDF yang terbentuk dari partikel dengan 60 mesh menghasilkan pori – pori lebih besar dibandingkan dengan ukuran 100 mesh. Hal ini dikarenakan RDF yang tersusun dari partikel yang lebih besar akan membentuk ruang pori – pori yang lebih besar, sehingga akan memudahkan udara berpenetrasi ke dalam RDF yang akan mengakibatkan pembakaran akan lebih mudah dan meningkatkan nilai kalor pada RDF (Oke et al., 2016). Hal ini sesuai dengan hasil pengujian nilai kalor pada Gambar 8 yang menunjukkan nilai kalor tertinggi dihasilkan pada RDF ukuran partikel 60 mesh yaitu 4481.58 kal/g.

4. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh variasi komposisi bahan baku CKS dan TKKS dan variasi ukuran partikel pada karakteristik RDF. Hasil penelitian menunjukkan bahwa RDF yang paling optimum dihasilkan oleh komposisi 70% CKS, 20% TKKS, dan 10% dengan ukuran partikel 60 mesh dengan kadar air 5,2%, kadar abu 4,64%, *volatile matter* 78,89%, *fixed carbon* 9,64% dan nilai kalor 4404,32 kal/g. Pada pengujian XRD didapatkan kandungan amorf carbon, silika, dan dengan penambahan TKKS akan menambakan kandungan lain, yaitu kalium. Ukuran partikel bahan baku yang lebih besar akan membentuk pori – pori yang lebih besar menghasilkan proses pembakaran akan lebih cepat.

References

- Al-alang, A. M. T., & Fadhillah. (2020). Analisis Pengaruh Pemberian Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Nilai Parameter Batubara. *Jurnal Bina Tambang*, 5(1), 190–199. <https://doi.org/https://doi.org/10.24036/bt.v5i1.107638>
- Aziz, M. R., Siregar, A. L., Rantawi, A. B., & Rahardja, I. B. (2019). Pengaruh Jenis Perekat pada Briket Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Waktu Bakar. *Prosiding SEMNASTEK Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 141–152. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/5256/3532>
- Biantoro, A. B., & Widayat, W. (2021). Pengaruh Tekanan Kompaksi dan Perekat terhadap Karakteristik Briket Limbah Daun Cengkeh. *Jurnal Inovasi Mesin*, 3(2), 18–28. <https://doi.org/10.15294/jim.v3i2.52796>
- Damayanti, R., Lusiana, N., & Prasetyo, J. (2017). Studi Pengaruh Ukuran Partikel dan Penambahan Perekat Tapioka terhadap Karakteristik Biopellet dari Kulit Coklat (*Theobroma Cacao L.*) Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan. *Jurnal Teknotan*, 11(1). <https://doi.org/10.24198/jt.vol11n1.6>
- Deglas, W., & Fransiska, F. (2020). Analisis perbandingan bahan dan jumlah perekat terhadap briket

- tempurung kelapa dan ampas tebu. *Teknologi Pangan : Media Informasi Dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 11(1), 72–78. <https://doi.org/10.35891/tp.v11i1.1899>
- 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 (JEPCA)*, 5(1), 17. <https://doi.org/10.33087/jepca.v5i1.71>
- Hudayarizka, R., Sholikah, U., & Budiarti, D. T. (2024). Utilization of durian peels (*Durio zibethinus*) and lubricant treatment sludge as raw materials of Refuse-Derived Fuel. 8(1), 68–79. <https://doi.org/10.22515/sustinere.jes.v8i1.370>
- Iriany, Firman Abednego Sarwedi Sibarani, & Meliza. (2016). Pengaruh Perbandingan Tempurung Kelapa Dan Eceng Gondok Serta Variasi Ukuran Partikel Terhadap Karakteristik Briket. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(3), 56–61. <https://doi.org/10.32734/jtk.v5i3.1546>
- Kasrun, A. W., Anggono, W., & Sutrisno, T. (2016). Karakteristik Pembakaran Briket dari Limbah Daun Pohon Bintaro. *Jurnal Teknik Mesin*, 16(2), 64–70. <https://doi.org/10.9744/jtm.16.2.64-70>
- Khairiah, H., & Ridwan, M. (2021). Pengembangan Proses Pembuatan Bioetanol Generasi Ii Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 9(4), 233–240. <https://doi.org/10.21776/ub.jpa.2021.009.04.5>
- Lestari, L., Apriadin, & Ode Sitti Ilmawati, W. (2018). Karakteristik briket limbah sabut kelapa (cocos nucifera l.) menggunakan perekat sagu (metroxylyon sp.). *Jurnal Aplikasi Fisika*, 14(2), 37–44. <https://doi.org/https://doi.org/10.47662/alulum.v8i2.203>
- Oke, P., Olugbade, T., & Olaiya, G. (2016). Analysis of the Effect of Varying Palm Kernel Particle Sizes on the Calorific Value of Palm Kernel Briquette. *British Journal of Applied Science & Technology*, 14(3), 1–5. <https://doi.org/10.9734/bjast/2016/23148>
- Paranita, D. (2020). Kombinasi Campuran Pelepeh Kelapa Sawit Dan Kulit Kacang Tanah Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biobriket. *Jurnal Al Ulum: LPPM Universitas Al Washliyah Medan*, 8(2), 45–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.47662/alulum.v8i2.203>
- Praevia, M. F., & Widayat, W. (2022). Analisis Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Cofiring pada PLTU Batubara. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(1), 28–37. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13367>
- Putama Mursal, I. L. (2018). Karakterisasi Xrd Dan Sem Pada Material Nanopartikel Serta Peran Material Nanopartikel Dalam Drug Delivery System. *Pharma Xplore : Jurnal Ilmiah Farmasi*, 3(2), 214–221. <https://doi.org/10.36805/farmasi.v3i2.491>
- Putri, A. P., & Sukandar, S. (2013). Studi Pemanfaatan Limbah B3 Sludge Produced Water Sebagai Bahan Baku Refuse Derived Fuel (Rdf). *Jurnal Tehnik Lingkungan*, 19(1), 1–10. <https://doi.org/10.5614/jtl.2013.19.1.1>
- Rumape, O., Mohamad, E., & Mohi, R. A. (2019). Optimasi Briket Bungkil Jarak Pagar (Jatropha Curcas) Melalui Variasi Tepung Tapioka. *Jambura Journal of Chemistry*, 1(1), 1–5. <https://doi.org/10.34312/jambchem.v1i1.2103>
- Safira, A. P., Rosariawari, F., & Kunci, K. (2022). Potensi Pemanfaatan Refuse Derived Fuel (RDF) Sampah Domestik di TPST Desa Taman, Sidoarjo sebagai Briket. *Enviromental Science and Engineering Conference*, 3(1), 1–8. <http://esec.upnvjt.com/>
- Saputra, D., Siregar, A. L., & Rahardja, I. B. (2021). Karakteristik Briket Pelepeh Kelapa Sawit Menggunakan Metode Pirolisis Dengan Perekat Tepung Tapioka. *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, 3, 143–156. <https://doi.org/10.35814/asiimetrik.v3i2.1973>
- Siregar, B. S. A., Ruswanto, A., & Adisetya, E. (2023). Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Cangkang Biji Karet sebagai Bahan Baku Briket Arang dengan Perekat Bentonit. 1(September), 1951–1960. <https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/JOM/article/view/778>
- Susanto, A., & Yanto, T. (2013). Pembuatan Briket Bioarang Dari Cangkang Dan Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 6(2). <https://doi.org/10.20961/jthp.v0i0.13516>
- Wardani, F. K., & Ariani, A. (2023). Studi Karakteristik Briket Campuran Used Carbon Dan Sludge Industri Bioteknologi Dengan Analisa Proksimat Dan Nilai Kalor. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 9(4), 606–615. <https://doi.org/10.33795/distilat.v9i4.4174>
- Warsito, J., Sabang, S. M., & Mustapa, K. (2017). Pembuatan Pupuk Organik Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Akademika Kimia*, 5(1), 8. <https://doi.org/10.22487/j24775185.2016.v5.i1.7994>

- ijaya, I. M. W., Wiratama, I. G. N. M., Putra, I. K. A., & Atmaja, N. P. C. D. (2023). Unlocking the Energy Potential of Temple Waste and Coconut Fiber through Refuse-Derived Fuel Production toward Sustainable Energy. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 24(7), 19–29. <https://doi.org/10.12912/27197050/169362>
- Wiranata, L. C., Hamzah, F., & Restuhadi, F. (2017). Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Dalam Pembuatan Briket Dengan Penambahan Pelepah Kelapa Sawit. *Universitas Riau JOM Faperta UR*, 4(1), 1–8. <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFAPERTA/article/view/16892/16312>