



## Karakteristik Briket Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Metode Pirolisis Dengan Perekat Tepung Tapioka

### *Characteristics of Palm Oil Brickets using The Pyrolysis Method with Tapioca Flour Adhesive*

**Dani Saputra, Ahdiat Leksi Siregar dan Istianto Budhi Rahardja\***

Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi, Jl. Gapura No.8, Rawa Banteng, Cibuntu, Cibitung, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat, Indonesia

#### Informasi artikel

Diterima:  
02/03/2021  
Direvisi:  
23/04/2021  
Disetujui:  
27/06/2021

#### Abstract

*The energy crisis in Indonesia is marked by the increasing scarcity of fuel oil in the midst of society. One of the alternative energy sources is charcoal briquettes, where the ingredients are derived from solid waste from palm fronds. This study aims to determine the characteristics of oil palm midrib briquettes with 50% tapioca flour adhesive. The palm fronds were chopped to a size of  $\pm 5$  cm and then put into the pyrolysis chamber. Oil palm fronds were burned with a little oxygen at a temperature of 200-300°C for 3 hours. The result of pyrolysis combustion from oil palm fronds in the form of charcoal, then ground and filtered with a mesh of 60. The charcoal is glued with tapioca flour in a ratio of 2:1. Briquette testing is carried out at the Briquette Testing Laboratory provider to determine the parameters of combustion time, calorific value, moisture content, ash content, and carbon content that occur. From the test results, the following parameters are obtained: the average burning time is 1 minute/gr, the calorific value is 5.361kcal/kg wet basis and 5.863 kcal/kg dry basis, the water content is 8.56%, the ash content is 6.84 % wet basis and 7.48% dry basis, volatile matter is 36.96% wet basis and 40.42% dry basis and fixed carbon 47.64% wet basis and 52.10% dry basis.*

*Keywords: briquettes, fronds palm oil, tapioca flour.*

#### Abstrak

Krisis energi yang ada di negara Indonesia ditandai dengan semakin langkanya bahan bakar minyak (BBM) ditengah - tengah masyarakat. Salah satu sumber energi alternatif itu adalah briket arang, dimana bahan - bahan penyusunnya berasal dari limbah padat dari pelepah kelapa sawit. Penelitian ini bertujuan mengetahui karakteristik briket pelepah kelapa sawit dengan perekat tepung tapioka komposisi 50%. Pelepah kelapa sawit dicacah dengan ukuran  $\pm 5$  cm dan kemudian dimasukkan ke dalam ruang pirolisis. Pelepah kelapa sawit dibakar dengan sedikit oksigen pada temperatur 200-300°C selama 3 jam. Hasil pembakaran pirolisis dari pelepah kelapa sawit berupa arang, kemudian ditumbuk dan disaring dengan mesh 60. Arang direkatkan dengan tepung tapioka perbandingan 2:1. Pengujian briket dilakukan pada provider Laboratorium Pengujian Briket untuk mengetahui parameter waktu pembakaran, nilai kalor, kadar air, kadar abu, dan kadar karbon yang terjadi. Dari hasil pengujian diperoleh parameter sebagai berikut : waktu lama pembakaran rata-rata 1 menit/gr, nilai kalor yaitu 5,361 kkal/kg wet basis dan 5,863 kkal/kg dry basis, kadar air yaitu 8,56%, kadar abu yaitu 6,84% wet basis dan 7,48% dry basis, volatile matter yaitu 36,96% wet basis dan 40,42% dry basis dan fixed karbon 47,64% wet basis dan 52,10% dry basis.

**Kata Kunci:** briket, pelepah kelapa sawit, tepung tapioka.

\*Penulis Korespondensi. Tel: -; Handphone: +62 812 8637 2761  
email : [istianto@cwe.ac.id](mailto:istianto@cwe.ac.id)

## 1. PENDAHULUAN

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).

Salah satu sumber energi alternatif itu adalah briket arang, yang mana bahan-bahan penyusunnya berasal dari limbah padat dari pelepah kelapa sawit. Bahan ini adalah limbah yang berasal dari pabrik pengolahan 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 (Rahardja, dkk., 2021).

Salah satu limbah perkebunan yang dapat dimanfaatkan adalah daun kelapa sawit yang berasal dari pemangkasan pelepah daun kelapa sawit. Susunan daun tanaman kelapa sawit mirip dengan tanaman kelapa yaitu membentuk susunan daun mejemuk. Daun-daun tersebut akan membentuk suatu pelepah daun yang panjangnya dapat mencapai kurang lebih 7,5-9 m. Jumlah anak daun pada tiap pelepah berkisar antara 250-400 helai (Hanafi, 2004).

Pelepah kelapa sawit merupakan bagian dari tanaman kelapa sawit memiliki kandungan nutrisi. Beberapa kandungan nutrisi yang terdapat dalam fisik pelepah terdiri dari bahan kering (8.88%), abu (4.05%), protein kasar (5.56%), lemak kasar (1.12%), dan energi potensial (*gross energy*) sebesar (4.4274 Kcal/g). Kandungan zat nutrisi dalam bentuk kimia, biologis, serta paduannya dapat dilihat pada tabel 1.

Pengolahan hasil perkebunan kelapa sawit yang dilakukan pada pabrik kelapa sawit akan menghasilkan *crude palm oil (CPO)* dan limbah yang belum termanfaatkan secara optimal (Rahardja, dkk., 2020).

Tabel 1. Kandungan nutrisi pelepah kelapa sawit

Zat Nutrisi	Pelepah Kelapa Sawit			
	Fisik	Kimia	Biologis	Kimia + Biologis
BK (Bahan Kering) (%)	8,88	9,63	10,29	9,82
Abu (%)	4,05	6,59	12,63	8,01
PK (Protein Kasar) (%)	5,56	6,25	6,19	6,13
LK (Lemak Kasar) (%)	1,12	1,09	1,07	0,89
SK (Serai Kasar) (%)	49,21	43,07	36,52	39,22
GE ( <i>Gross Energy</i> ) (K.cal/g)	4.427,4	4.485,1	3.973,3	3.462,3

Limbah proses pengolahan kelapa sawit berupa cair dapat dipergunakan pupuk dan limbah padat dapat dipergunakan sebagai briket arang, selain itu sisa pengolahan buah sawit berpotensi menjadi bahan campuran makanan ternak dan difermentasikan menjadi kompos. Kandungan selulosa yang cukup tinggi tersebut merupakan suatu potensi agar pelepah sawit dapat diolah lebih lanjut sehingga hasil yang diperoleh mempunyai manfaat dengan aplikasi dan nilai ekonomi yang tinggi. Umumnya limbah pelepah kelapa sawit dibiarkan begitu saja membusuk tanpa ada perlakuan pengolahan lebih lanjut. Pelepah kelapa sawit memiliki tinggi kandungan selulosa (40,96 %), hemiselulosa (20,69 %), lignin (18,9 %), silika (0,6 %) dan air (10,10 %) (Saswono, 2010).

Briket arang adalah arang yang diolah lebih lanjut menjadi bentuk briket (penampilan dan kemasan yang menarik) yang dapat digunakan untuk keperluan energi alternatif sehari-hari sebagai pengganti minyak tanah dan gas elpiji. Briket arang mempunyai banyak kelebihan yaitu bila dikemas dengan menarik akan mempunyai nilai ekonomi yang lebih dengan arang yang di pasar tradisional, briket mempunyai panas yang lebih tinggi, tidak berbau, bersih, dan tahan lama (Widodo, dkk., 2010).

Pada penelitian ini, pembuatan briket dari bahan baku pelepah kelapa sawit dengan bahan perekat tepung tepung tapioka saja

yang digunakan. Sesuai masalah yang dihadapi, tujuan dari penelitian ini adalah membuat briket dari bahan baku pelepah kelapa sawit dengan metode Pirolisis dan mengetahui nilai kalor dari briket arang pelepah kelapa sawit yang dihasilkan dari perekat tepung tapioka.

## 2. METODOLOGI

### Pelepah Kelapa Sawit

Pelepah sawit dapat diperoleh sepanjang tahun bersamaan panen tandan buah segar (TBS). Pelepah kelapa sawit dipanen 1-2 pelepah/panen/pohon. Setiap tahun dapat menghasilkan 22 - 26 pelepah/ tahun dengan rata-rata berat pelepah daun sawit 4-6 kg/pelepah, bahkan produksi pelepah dapat mencapai 40 - 50 pelepah/pohon/tahun dengan berat sebesar 4,5 kg/ pelepah.

Pelepah kelapa sawit yang berbentuk batang panjang dengan bagian sisinya terdapat duri serta berdaun panjang dengan dibagian tengahnya memiliki kayu lidi. Pelepah kelapa sawit setelah panen TBS akan menjadi limbah biomassa di lingkungan perkebunan. Pelepah dikumpulkan dalam area kosong, dipotong-potong, serta ditumpuk sehingga menjadi mengering dan lapuk.

Kandungan selulosa yang cukup tinggi tersebut merupakan suatu potensi agar pelepah sawit dapat diolah lebih lanjut sehingga hasil yang diperoleh mempunyai manfaat dengan aplikasi dan nilai ekonomi yang tinggi.

Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan manfaat pelepah kelapa sawit adalah dengan mengolahnya menjadi briket arang (Saswono, 2010). Salah satu limbah padat perkebunan kelapa sawit yang dapat dimanfaatkan adalah daun kelapa sawit yang berasal dari pemangkasan pelepah daun kelapa sawit saat perawatan di perkebunan.

### Briket

Briket adalah bahan bakar padat yang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif yang mempunyai bentuk tertentu (Rahardja, dkk., 2019). Kandungan air pada pembriketan antara 10-20 % berat. Ukuran briket bervariasi dari 20-100 gram. Pemilihan proses pembriketan tentunya harus mengacu pada segmen pasar agar dicapai nilai ekonomi, teknis dan lingkungan yang optimal. Biomassa seringkali dianggap sebagai sampah dan sering dimusnahkan dengan dibakar. Pembriketan bertujuan untuk memperoleh suatu bahan bakar yang berkualitas yang dapat digunakan untuk semua sektor sebagai sumber energi pengganti (Ni'mah, 2020). Beberapa bentuk briket yang umum digunakan, yaitu: berbentuk oval, sarang tawon, silinder, telur, dan lain-lain. Secara umum beberapa spesifikasi briket yang dibutuhkan oleh konsumen adalah sebagai berikut :

- 1) Daya tahan briket.
- 2) Ukuran dan bentuk briket yang disesuaikan untuk penggunaannya.
- 3) Bersih (tidak berasap), terutama untuk sektor rumah tangga.

Tabel 2. Standar kualitas nilai briket (Nuryanto, 2020)

Sumber Acuan Data	Sifat Briket				Nilai Kalor (Kcal/kg)
	Moisture (%)	Ash (%)	Volatile Matter (%)	Fixed Carbon (%)	
Permen ESDM No. 47 Tahun 2006	≤ 15	≥ 10	Sesuai Bahan Baku		4.400
SNI No.1/6235/2000	≤ 8	≤ 8	≤ 15	≥ 77	≥ 5.000
Jepang	6-8	5-7	15-30	60-80	5.000-6.000
Inggris	3-4	8-10	16,4	75	5.870
USA	6	16	19-28	60	4.000-6.500

- 4) Kemudahan saat dibakar, efisiensi energi dan pembakaran stabil.

Tabel 2 menampilkan standar sifat briket dari beberapa sumber data diantaranya Permen ESDM No. 47 Tahun 2006, SNI No.1/6235/2000, data negara Jepang, Inggris dan USA dengan sifat briket yang dijadikan standar adalah kadar *moisture, ash, volatile matter, fixed carbon* dan nilai kalor.

### Pembuatan Briket Pelepah Kelapa Sawit

Langkah awal pembuatan briket pelepah kelapa sawit, yaitu: menyediakan bahan baku pelepah kelapa sawit dan membersihkan bagian tepi berduri serta daun dengan menggunakan parang. Pelepah yang telah bersih dipotong/dicacah sekitar  $\pm 5$  cm, lalu keringkan hasil cacahan pelepah pada panas matahari selama 2-3 hari, kemudian dilanjutkan dengan mengeringkan dalam oven dengan suhu  $105^{\circ}\text{C}$  selama 12 jam. Pelepah yang telah kering, dimasukkan ke dalam ruang pirolisis dan dilakukan pembakaran. Pembakaran pelepah menggunakan piroliris pada temepratuur  $200\text{-}300^{\circ}\text{C}$  selama 3 jam.

Bahan baku pelepah dikeluarkan dari ruang tabung pirolisis, selanjutnya dilakukan penumbukan arang sehingga halus, maka dilakukan penyaringan dengan saringan mesh 60. Setelah arang pelepah halus, maka ditambahkan bahan perekat tepung tapioka. Penambahan tepung tapioka sebesar 10 gr dari arang pelepah sebanyak 20 gr dan ditambahkan air sampai menyatu. Selanjutnya dilakukan penekanan (pencetakan) bahan briket dengan mesin hidrolis dengan ukuran diameter  $2,54\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ . setelah dilakukan pencetakan briket, keluarkan briket dari pencetak serta dipanaskan pada sinar matahari. Tahapan pembuatan briket pelepah kelapa sawit dapat dilihat pada gambar 1.

### Proses Pengujian Briket Pelepah kelapa Sawit

#### Kandungan Air

Kandungan air yang tinggi menyulitkan penyalaan dan mengurangi temperatur pembakaran. Moisture dalam bahan bakar padat terdapat dalam dua bentuk, yaitu sebagai air bebas (free water) yang mengisi rongga pori-pori di dalam bahan bakar dan sebagai air terikat (bound water) yang terserap di permukaan ruang dalam struktur bahan bakar (Syamsiro dan Saptoadi, 2007). Soeparno (1993) menyatakan bahwa kadar air sangat menentukan kualitas arang yang dihasilkan.



Gambar 1. Tahapan pembuatan briket pelepah kelapa sawit

Arang dengan kadar air rendah akan memiliki nilai kalor tinggi. Makin tinggi kadar air maka akan makin banyak kalor yang dibutuhkan untuk mengeluarkan air agar menjadi uap sehingga energi yang tersisa dalam arang akan menjadi lebih kecil. Proses pengujian untuk mengetahui kandungan air yang berada dalam briket pelepah kelapa sawit, yaitu mempergunakan digital moisture meter dengan standar ASTM D 1762 84. Dalam proses ini, briket ditempatkan dalam unit moisture meter sebanyak 50 gram dan tampil hasil kandungan air briket pelepah kelapa sawit. Kadar air (%) dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{b-c}{b-a} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

- a = Berat cawan kosong (g)
- b = Berat cawan + sampel briket (g)
- c = Berat cawan + sampel setelah dioven (g)

#### Nilai Kalori

Nilai kalori merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah panas atau kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara. Nilai bakar adalah panas yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna kilogram atau satuan berat bahan bakar padat atau cair atau satu meter kubik atau satu satuan volume bahan bakar gas, keadaan standar. Nilai bakar atas atau "gross heating value" atau "higher heating value" (HHV) adalah panas yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna satu satuan berat bahan bakar padat atau cair, atau satu satuan volume bahan bakar gas, pada tekanan tetap, suhu 25 °C, apabila semua air yang mula-mula berwujud cair setelah pembakaran mengembun menjadi cair kembali. Prinsip perhitungan nilai kalor dalam kalorimeter adalah proses adiabatik seperti didalam termos air, dimana panas tidak terserap dipengaruhi oleh luar,  $P$  dan  $T$  tetap, di dalam bom kalorimeter tempat terjadinya proses pembakaran. Di dalam kalorimeter terjadi perubahan suhu dimana air dingin akan menjadi hangat karena terjadi proses pembakaran dari bom kalorimeter hingga terjadi asap Black

didalam kalorimeter (Atkins, P.W, 1990). Pada pengujian karakteristik nilai kalor briket pelepah kelapa sawit mempergunakan alat ukur kalorimeter dengan standar ASTM D5856-19.

Persamaan yang dipergunakan untuk gross calorific value adalah :

$$\text{Gross Calorific Value} = Q_{\text{gross}} = \frac{(E \times t) - e1 - e2 - e3}{m} \quad (2)$$

Keterangan :

- m = Berat briket (g)
- t = Kenaikan suhu (g)
- E = Kapasitas panas (Energy Equivalent)
- e1 = Koreksi asam nitrat
- e2 = Koreksi penghantar dan benang pembakar
- e3 = Koreksi asam sulfat dari penetapan kadar sulfur

#### Kadar Abu

Penetapan kadar abu dilakukan untuk mengetahui kandungan oksida logam dalam arang aktif. Abu sebagai jumlah sisa setelah bahan organik dibakar, yang komponen utamanya berupa zat mineral, kalsium kalium, magnesium dan silika. Abu yang terkandung dalam bahan bakar padat adalah mineral yang tak dapat terbakar dan tertinggal setelah proses pembakaran atau reaksi-reaksi yang menyertainya selesai. Abu berperan menurunkan mutu bahan bakar karena menurunkan nilai kalor (Yuwono, 2009). Proses untuk mengetahui kadar abu yang terdapat pada briket pelepah, yaitu : bahan baku (briket) terlebih dahulu ditimbang. Kemudian dimasukkan ke dalam furnace (Nabertherm) pada suhu  $\pm 1000^{\circ}\text{C}$  dengan waktu  $\pm 10$  menit sehingga menjadi abu. Selanjutnya abu yang telah terbentuk, ditempatkan dalam cawan dan ditimbang Kembali. Proses untuk mengetahui kadar abu menggunakan ASTM D1762-84. Dalam mendapatkan kadar abu dapat dipergunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{M3 - M1}{M2 - M1} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan :

- M1 = Berat krus kosong (g)
- M2 = Berat krus + sampel briket (g)
- M3 = Berat krus + Abu (g)



### Waktu Bakar

Pembakaran adalah suatu reaksi atau perubahan kimia apabila bahan mudah terbakar (*combustible material*) bereaksi dengan oksigen atau bahan pengoksidasi lain secara eksotermik. Masalah yang berhubungan dengan pembakaran adalah kadar air, berat jenis (*bulk density*), kadar abu dan kadar *volatile matter*. Kadar air yang tinggi dapat menyulitkan penyalaan dan mengurangi temperatur pembakaran.

Kadar *volatile matter* yang tinggi pada limbah pertanian mengindikasikan bahwa limbah pertanian mudah menyala dan terbakar, walaupun pembakaran lebih cepat dan sulit dikontrol (Himawanto, 2003).

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembakaran bahan padat, antara lain sebagai berikut (Sulistiyanto, 2006):

- 1) Partikel yang lebih kecil ukurannya akan lebih cepat terbakar.
- 2) Kecepatan aliran udara laju pembakaran biobriket akan naik dengan adanya kenaikan kecepatan aliran udara dan kenaikan temperatur.
- 3) Jenis bahan bakar akan menentukan karakteristik bahan bakar, dimana karakteristik tersebut antara lain kandungan *volatile matter* dan kandungan moisture.
- 4) Kenaikan temperatur udara pembakaran menyebabkan semakin pendeknya waktu pembakaran.

Untuk mengetahui waktu bakar, yaitu: bahan baku briket ditempatkan dalam wadah, dan selanjutnya diberi starter bahan spiritus untuk dimulai pembakaran. Pembakaran dilakukan dengan suhu ruang dan tanpa diberi oksigen tambahan. Bahan baku dibiarkan menyala sampai habis, dan dihitung waktu yang diperlukan penyalaan dari awal sampai menjadi abu keseluruhan briket tersebut.

### Kadar Karbon (Fixed Carbon)

Kadar karbon terikat merupakan fraksi karbon yang terikat di dalam arang selain fraksi air, zat mudah menguap dan abu (Abidin, 1973; Triono, 2006). Menurut Wijayanti (2009) adanya kadar zat menguap

yang menurun mampu menaikkan nilai kadar karbon terikat briket, selain itu nilai kadar air yang rendah mempengaruhi nilai kadar karbon terikat briket, sehingga mengalami peningkatan juga.

Semakin tinggi kadar karbon maka semakin baik kualitas briket. Standar nilai kalor yang ditetapkan SNI No. 1/6235/2000 adalah  $\geq 77\%$ . Tingginya nilai karbon terikat dipengaruhi oleh kadar abu dan kadar zat volatil pada briket. Semakin tinggi nilai karbon terikat maka kadar abu dan zat volatil pada briket semakin rendah. Selain itu kadar karbon terikat juga berpengaruh terhadap nilai kalor bakar briket arang (Faizal, dkk., 2014). Karbon terikat (*fixed carbon*) adalah fraksi karbon (C) yang terikat di dalam arang selain kadar air, zat menguap dan abu. Keberadaan karbon terikat di dalam briket arang dipengaruhi oleh kadar air, kadar abu dan kadar zat menguap. Kadarnya akan bernilai tinggi apabila kadar air, kadar abu dan kadar zat menguap pada briket rendah. Karbon terikat berpengaruh terhadap nilai kalor pembakaran briket arang. Nilai kalor briket arang akan tinggi jika nilai karbon terikatnya juga tinggi. Kadar karbon terikat atau *fixed carbon* menunjukkan banyaknya kandungan unsur karbon yang tertambat dalam briket dan memiliki pengaruh terhadap zat menguap dan suhu karbonisasi. Semakin tinggi kadar *fixed carbon* maka semakin rendah kadar zat menguap (Sudiyani dkk., 1999). Proses untuk mengetahui *fixed carbon* menggunakan persamaan kadar karbon, yaitu:

$$FC + VM + KA + Kab = 100 \%$$

$$FC = 100\% - (KA + Kab + VM) \quad (4)$$

Keterangan :

FC = Kadar karbon terikat (Fixed Carbon)  
(%)

KA = Kadar Air (Inherent Moisture) (%)

Kab = Kadar Abu (Ash) (%)

VM = Kadar zat terbang (Volatile Matter)  
(%)

### Kadar Zat Menguap (Volatile Matter)

Kadar zat menguap adalah zat yang menguap sebagai hasil dekomposisi senyawa-

senyawa yang masih terdapat di dalam arang selain air. Tinggi rendahnya kadar zat mudah menguap pada briket disebabkan oleh kesempurnaan proses karbonisasi, waktu dan suhu. Semakin lama waktu pembakaran dan semakin tinggi suhu karbonisasi maka semakin banyak zat menguap yang terbuang sehingga pada saat pengujian kadar zat menguap akan diperoleh hasil yang rendah. Kadar zat menguap adalah zat (*volatile matter*) yang dapat menguap sebagai dekomposisi senyawa-senyawa yang masih terdapat di dalam arang selain air. Kandungan kadar zat menguap yang tinggi di dalam briket arang akan menyebabkan asap yang lebih banyak pada saat dinyalakan, apabila CO bernilai tinggi hal ini tidak baik untuk kesehatan dan lingkungan sekitar (Miskah, dkk., 2014). Tingginya kadar zat terbang yang terdapat pada briket hasil penelitian ini dipengaruhi oleh kadar air. Kadar air yang tinggi akan menghasilkan nilai zat terbang yang tinggi pula. Kandungan kadar zat terbang yang tinggi di dalam briket akan menyebabkan asap yang lebih banyak pada saat dinyalakan. Didapatkan juga informasi bahwa tingginya kadar zat terbang banyak dipengaruhi oleh komponen kimia dari arang seperti adanya zat pengotor dari bahan baku arang (Ristianingsih, dkk. 2015).

Proses *Volatile Matter* menggunakan alat proximate analysis dengan standar ASTM D 1762-84. Persamaan yang dipergunakan untuk mengetahui Kadar Zat Terbang:

$$\text{Volatile Matter} = \frac{M2-M3}{M2-M1} \times 100\% - Mad \quad (5)$$

Keterangan :

M1 = Berat cawan silika + tutup kosong (g)

M2 = Berat cawan silika + tutup + sampel briket (g) miskah

M3 = Berat cawan silika + tutup + sampel briket setelah dipanaskan (g)

Mad = % Kadar air

### Bahan Perekat

Bahan perekat yang digunakan untuk merekatkan partikel-partikel zat dalam bahan baku pada proses pembriketan, maka diperlukan zat perekat sehingga dihasilkan

briket yang kompak (Suradi, dkk., 2020). Berdasarkan fungsi dari perekat dan kualitas perekat itu sendiri, pemilihan bahan perekat dapat dibagi sebagai berikut (Paranita, 2020).

- a. Berdasarkan sifat atau bahan baku perekatan briket.

Adapun karakteristik bahan baku perekatan untuk pembuatan briket adalah sebagai berikut.

- 1) Mudah terbakar dan tidak berasap.
- 2) Mudah didapat dalam jumlah banyak dan murah harganya.
- 3) Tidak mengeluarkan bau, tidak beracun dan tidak berbahaya.

- b. Berdasarkan jenis.

Jenis bahan baku yang umum dipakai sebagai pengikat untuk pembuatan briket, yaitu:

- 1) Pengikat Anorganik

Pengikat anorganik dapat menjaga ketahanan briket selama proses pembakaran sehingga dasar permeabilitas bahan bakar tidak terganggu. Pengikat anorganik ini mempunyai kelemahan yaitu adanya tambahan abu yang berasal dari bahan pengikat sehingga dapat menghambat pembakaran dan menurunkan nilai kalor.

- 2) Pengikat Organik

Pengikat organik menghasilkan abu yang relatif sedikit setelah pembakaran briket dan umumnya merupakan bahan perekat yang efektif. Contoh dari pengikat organik diantaranya kanji, tar, aspal, amilum, molase dan parafin. Bahan perekat organik yang umumnya digunakan dalam pembuatan briket, yaitu : Tepung Tapioka.

Pembuatan biobriket diperlukan perekat ataupun pengikat yang berfungsi untuk merekatkan partikel-partikel zat dalam bahan baku (bioarang) pada proses pembuatan briket. Tepung tapioka termasuk merupakan salah satu jenis bahan perekat organik dan umumnya merupakan bahan perekat yang efektif karena menghasilkan

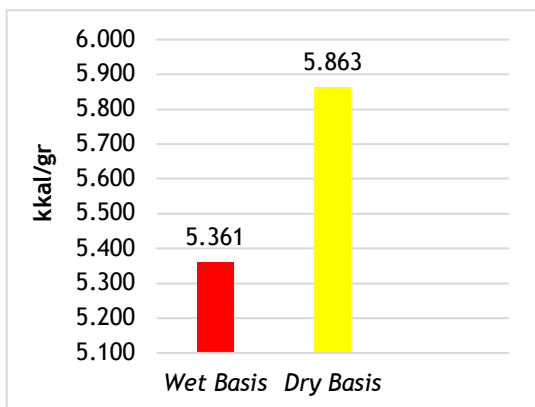
kekuatan rekat yang tinggi. Dipilihnya perekat tepung tapioka ini dikarenakan harganya murah serta mudah didapat (Lestari, dkk., 2010).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Nilai Kalor

Pengujian nilai kalor yang dilakukan pada briket pelepah kelapa sawit mempunyai tujuan untuk mengetahui energi panas yang ditunjukkan pada alat ukur kalorimeter. Dalam pengujian ini, peneliti melakukan mempergunakan alat ukur kalorimeter dengan standar ASTM D5856-19.

Dalam data penelitian diperoleh wet basis dan dry basis. Kondisi ini dilakukan untuk mengetahui kondisi basah dan kering briket yang akan diteliti. Dalam hasil penelitian dengan wet basis dan dry basis memperoleh nilai kalor sebesar 5,361 kkal/gr dan 5,863 kkal/gr. Data nilai kalor dalam wet basis dan dry basis dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Nilai kalor briket pelepah kelapa sawit

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Aziz dkk. (Aziz dkk, 2019) dengan menggunakan beberapa perekat yang berbeda pada bahan baku cangkang kelapa sawit sebagai bahan baku briket memberikan nilai kalor yang cukup tinggi sebesar 6.328 kkal/gr dengan perekat tepung tapioka. Perbandingan yang dilakukan dalam penelitiannya adalah perekat sagu aren, serta arpus. Pada penelitian yang dilakukan oleh Amin, 2017 terhadap pengaruh variasi perekat tepung tapioka yang dipergunakan sebagai perekat pada briket arang tempung

kelapa mendapatkan nilai kalor sebesar 76.652,64 kal/gr dengan pencampuran perekat 7%. Jumlah perekat akan berpengaruh terhadap nilai kalor, kadar air, dan shatter index. Berdasarkan dari standar SNI terhadap nilai kalor, masih sesuai dengan angka standar  $\geq 5000$  kkal/gr.

#### Kadar Air

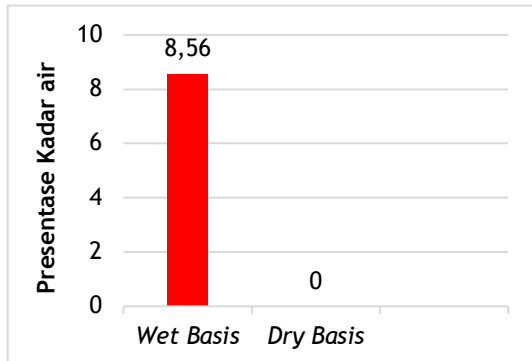
Kadar air dalam proses pembentukan briket tidak boleh basah (wet) yang mengakibatkan akan terjadinya tidak terbakarnya briket yang dibentuk. Proses pengujian untuk mengetahui kadar air yang terkandung dalam briket, dilakukan pengujian kadar air (moisture) mempergunakan digital moisture meter dengan standar ASTM D 1762 84. Standar Permen ESDM no 47 tahun 2006 moisture yang diperkenankan sebesar  $\leq 15\%$  dan SNI no 1/6235/20002006 moisture yang diperkenankan sebesar  $\leq 8\%$ .

Tujuan dilakukannya uji kadar air dalam briket ini adalah untuk mengetahui presentase kadar air (moisture) yang terkandung di dalamnya. Dalam proses pengujian diperoleh dua bagian, yaitu wet basis dan dry basis. Wet basis merupakan presentase moisture yang masih terkandung di dalam briket pada kondisi basah, untuk dry basis adalah presentase kadar air dalam briket dalam keadaan kering. Hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh kadar air perekat tepung tapioka pada wet basis adalah 8,56% dan dry basis sebesar 0%. Dari hasil uji kadar air menunjukkan bahwa masih tinggi dari nilai SNI kadar air yang diijinkan, yaitu dengan standar  $\leq 8\%$ .

Peneliti lain yang mempergunakan bahan tapioka (Aziz dkk, 2019) menyebutkan bahwa kadar air yang terbentuk dalam briket cangkang kelapa sawit dengan perekat tapioka adalah 6%. Sedangkan untuk perekat sagu aren dan arpus sebesar 6,7% dan 5,5%. Menurut Amin, 2017 dalam penelitiannya menjelaskan bahwa perekat tapioka yang dipergunakan sebesar 5%, 7%, 9%, memperoleh hasil terbaik dalam perolehan kadar air adalah pada presentase perekat tapioka 5% dengan kadar air 3,10333%.



Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan semakin banyaknya perekat yang diberikan akan memberikan kadar air yang semakin tinggi dan akan memberikan pengaruh terhadap nilai kalor yang akan dihasilkan. Gambar kadar air dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Kadar air briket pelepah kelapa sawit

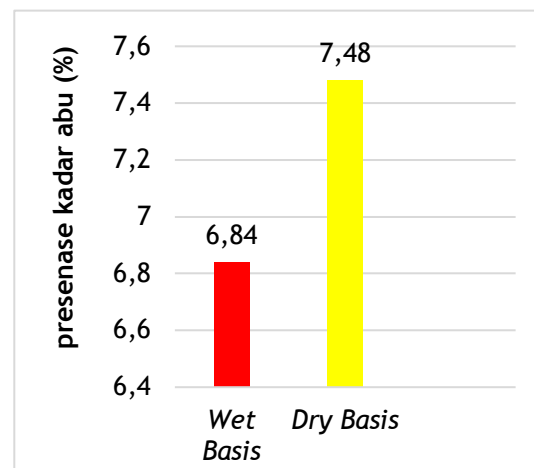
Menurut Elfianto, dkk (Elfianto, dkk., 2014) menyatakan kandungan air yang berada di dalam briket berasal dari pencampuran perekat dan air yang dipergunakan untuk merekatkannya. Perekat dalam hal merekatkan briket sangat membutuhkan air dan membentuk perekat yang sempurna dengan kadar air yang dibutuhkan. Semakin banyak air yang diberikan akan semakin banyak kadar air pada briket dan semakin sedikit air yang dipergunakan, akan terjadi tidak sempurnanya perekatan briket. Sehingga dapat dinyatakan bahwa jenis perekat dapat menentukan kadar air yang dihasilkan.

Briket yang mengandung kadar air yang tinggi akan mudah hancur, sulit dinyalakan dan mudah ditumbuhi jamur. Pada penambahan perekat yang semakin tinggi menyebabkan air yang terkandung dalam perekat akan masuk dan terikat dalam pori arang, selain itu penambahan perekat yang semakin tinggi akan menyebabkan briket mempunyai kerapatan yang semakin tinggi pula sehingga pori-pori briket semakin kecil dan pada saat dikeringkan air yang terperangkap di dalam pori briket suka menguap (Ramadiah, 2016).

### Kadar Abu

Abu (*ash content*) merupakan hasil produk akhir dari pelepasan kalor/energi panas yang dimiliki oleh bahan briket sebagai nilai kalor. Abu briket secara umum memiliki warna umum abu-abu (*grey*) dan terdapat bahan sulfur. Semakin ringan abu yang dimiliki, maka akan terjadi pembakaran dan nilai kalor sempurna pada briket tersebut. Sebaliknya dengan nilai kalor yang tidak sempurna pada briket, maka terjadi pembakaran yang tidak baik dan menghasilkan produk abu (*ash*) semakin banyak dan berat.

Proses pengujian yang dilakukan untuk ash content dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D1762-84. Proses pengujian ini menghasilkan *wet* basis dan *dry* basis. *Wet* basis merupakan kondisi briket yang masih memiliki kondisi basah dalam briket, sedangkan *dry* basis menunjukkan kondisi briket kering. Hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh kadar abu perekat tepung tapioka yaitu: 6,84% *wet* basis dan 7,48% *dry* basis. Dari hasil uji kadar abu menunjukkan bahwa jenis perekat ini sesuai dengan SNI No 1/66235/2000 yaitu dengan standar abu  $\leq 8\%$ . Gambar grafik kadar abu dari briket pelepah kelapa sawit dapat dilihat pada gambar 4.



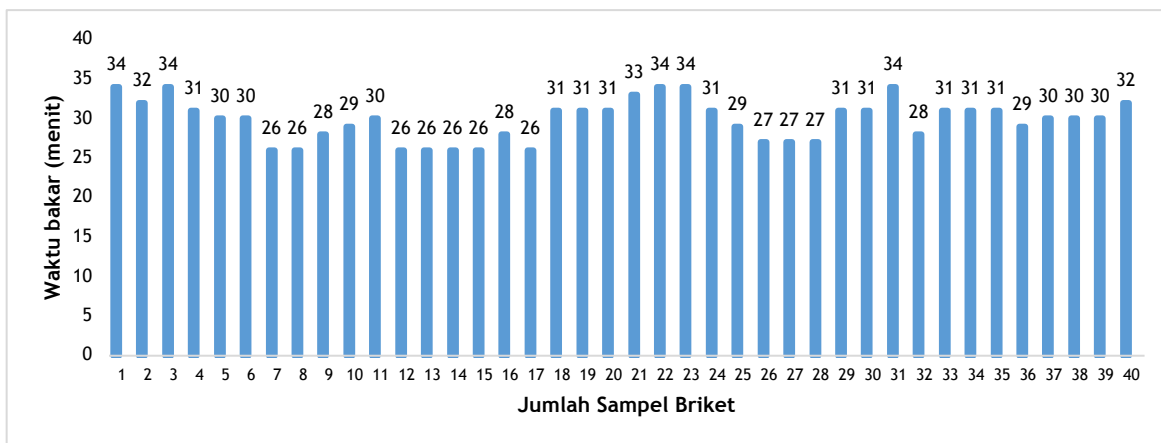
Gambar 4. Kadar abu briket pelepah kelapa sawit

Hasil penelitian yang dilakukan Aziz, dkk (Aziz, dkk., 2019) dalam membuat briket dengan perekat tapioka, sagu aren, dan arpus memberikan kadar abu briket sebesar 7,7 %, 6,74 %, dan 7,11%. Nilai kadar abu ini masih di bawah dari standar abu SNI 2000, yaitu sebesar  $\leq 8$  %. Menurut Purwanto (2015), beliau menyatakan bahwa semakin besar kadar abu yang terjadi pada briket hasil pembakaran, maka nilai kalor yang dihasilkan akan semakin kecil. Menurut hasil penelitian Karim, dkk (Karim, dkk., 2015) menyatakan bahwa laju pembakaran briket akan berpengaruh terhadap kadar abu yang dihasilkan, dimana rendahnya transfer panas ke bagian lain dan difusi oksigen pada saat pembakaran serta tingginya kadar abu akan menghasilkan emisi abu yang menghasilkan polusi udara semakin jelek dan volume pembakaran tidak sempurna.

### Waktu Bakar

Briket pelepah kelapa sawit yang dilakukan sampel sebanyak 40 buah, dengan berat setiap sampel adalah 30 gr. Pembakaran sampel dilakukan satu per satu dan dihitung waktu bakarnya dimulai dari api menyala sampai briket pelepah kelapa sawit padam. Data hasil pengujian waktu bakar dapat dilihat pada gambar 5.

Data pengujian briket pelepah kelapa sawit diantara waktu bakar 34 menit untuk yang tertinggi dan yang terendah adalah 26 menit. Hasil rata-rata dari seluruh pengujian waktu pembakaran briket pelepah kelapa sawit sebanyak 40 buah, yaitu 30 menit. Sehingga waktu bakar untuk setiap gram briket adalah rata-rata 1 menit/gr.



Gambar 5. Waktu bakar briket pelepah kelapa sawit

Berdasarkan penelitian Aziz, dkk (Azid, dkk., 2019) menyatakan bahwa perekat pada briket cangkang kelapa sawit, yaitu: tapioka, sagu aren, dan arpus memberikan waktu bakar sebesar 78 menit, 74 menit, 92,3 menit dengan massa briket 112 gr. Sehingga untuk waktu bakar briket dengan bahan perekat tapioka adalah 78 menit/ 112 gr (0,69 menit/gr) lebih pendek dari waktu bakar yang dihasilkan oleh briket pelepah kelapa sawit sebesar 1 menit/gr.

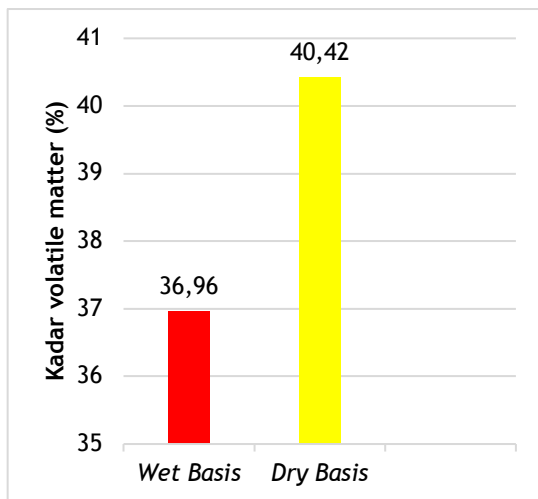
Penelitian Jamilatun (Jamilatun, 2008) menyebutkan waktu bakar dalam briket yang terjadi semakin lama/Panjang, maka memberikan kualitas dan efisiensi

pembakaran briket semakin baik, serta ditandai pula semakin lama menyala api pada briket. Menurut Karim, dkk (Karim, 2015) menyatakan bahwa semakin lama laju pembakaran briket, akan menghasilkan kadar abu yang semakin sedikit dan terbakar secara sempurna.

### Volatile Matter

Nilai volatile matter adalah bahan yang mudah menguap saat terjadinya pemanasan. Pengujian briket pelepah kelapa sawit untuk mendapatkan nilai Volatile Matter menggunakan alat proximate analysis dengan standar ASTM D 1762-84.

Proses *volatile matter* dalam keadaan *wet basis* dan *dry basis*. Keadaan ini menentukan nilai *volatile matter* yang terjadi, yaitu dengan kondisi *wet basis* akan semakin rendah bahan yang menguap dibandingkan dengan kondisi *dry basis* pada briket pelepah kelapa sawit. Adapun hasil dari briket pelepah sawit dalam *wet basis* sebesar 36,96% dan *dry basis* sebesar 40,42%. Gambar kadar *volatile matter* dapat dilihat pada gambar 6.



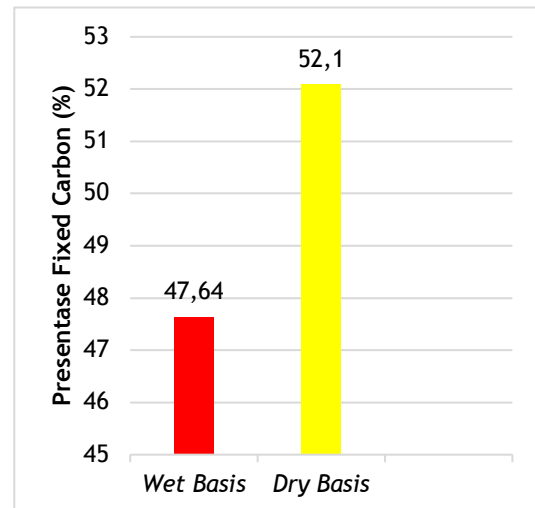
Gambar 6. Nilai *volatile matter*

Penelitian menurut Patabang (Patabang, 2012), menyatakan bahwa kandungan *volatile matter* (zat terbang) dengan variasi perekat tapioka 5%, 7%, 15% pada briket arang sekam padi menghasilkan *volatile matter* sebesar 42,92%, 44,43%, dan 46,86%. Semakin tinggi bahan perekat yang dipergunakan, maka semakin meningkat nilai *volatile matter* yang terjadi. Tingginya nilai kandungan *volatile matter* ini disebabkan oleh proses karbonisasi yang dilakukan belum sempurna. Artinya bahan baku belum benar-benar terbakar sempurna menjadi arang yang memiliki kandungan karbon yang besar (Widya, 2016)

#### Fixed Carbon

Data pengujian *fixed carbon* yang terdapat dalam briket pelepah kelapa sawit dibedakan dalam *wet basis* dan *dry basis*. Nilai *fixed carbon* *dry basis* lebih besar dari *wet basis*, yaitu : 52,1% untuk *wet basis* dan 47,64% adalah *wet basis*. Gambar grafik

kadar karbon briket dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Kadar *fixed carbon* briket

Menurut penelitian Patabang (Patabang, 2012) bahwa *fixed carbon* yang akan terbentuk dari briket dengan variasi perekat tapioka akan semakin menurun. Variasi yang dilakukan untuk perekat tapioka sebesar 7 %, 10%, dan 15% memperoleh nilai *fixed carbon* sebesar 15,35%, 15,23%, dan 14,41%.

Banyaknya perekat yang digunakan juga sangat berpengaruh terhadap nilai dari *fixed karbonnya*. Semakin sedikit jumlah perekat yang digunakan maka akan semakin besar atau banyak unsur (carbon) yang dapat dibakar, sehingga nilai *fixed carbon* akan semakin tinggi pula. Karena jika terlalu banyak perekat yang digunakan, maka kandungan air yang terkandung akan semakin banyak dan dapat menurunkan nilai *fixed karbonnya* (Widya, 2016).

#### 4. SIMPULAN

Penggunaan jenis perekat yaitu tepung tapioka dengan komposisi perekat 50% pada briket pelepah kelapa sawit menunjukkan bahwa diperoleh rata-rata lama waktu bakar 1 menit/gr, nilai kalor yaitu 5,361 kkal/kg *wet basis* dan 5,863 kkal/kg *dry basis*, kadar air yaitu 8,56%, kadar abu yaitu 6,84% *wet basis* dan 7,48% *dry basis*, *volatile matter* yaitu 36,96% *wet basis* dan 40,42% *dry basis* dan *fixed karbon* 47,64% *wet basis* dan 52,10% *dry basis*.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan jenis perekat tepung tapioka pada briket mempengaruhi standar kualitas briket.

Dari penggunaan jenis perekat yaitu tepung tapioka pada briket dengan hasil kadar air, *volatile matter*, dan *fixed karbon* yang dihasilkan masih dalam standar SNI No. 01-6235-2000.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, A. dan Simanjuntak, D., 1973. Briket dari Limbah Sawit. Direktorat Jendral Perkebunan, Jakarta.
- Amin A.Z., 2017. Pengaruh Variasi Jumlah Perekat Tepung Tapioka Terhadap Karakteristik Briket Arang Tempurung Kelapa. *Skripsi*, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- Atkins, P.W., 1990. *Kimia Fisika edisi ke IV*. Erlangga, Jakarta.
- Aziz M.R., Siregar A.L., Rantawi A.B., dan Rahardja I.B., 2019. 'Pengaruh Jenis Perekat Pada Briket Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Waktu Bakar, *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2019*, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta , 16 Oktober 2019, hal. 1-10.
- Elfianto, E., Subekti, P., dan Sadil, A. 2014. Analisa Proximate dan Nilai Kalor pada Briket BioArang Limbah Ampas Tebu dan Arang Kayu. *Skripsi*, Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
- Faizal M., Andynaprawati I., dan Putri P.D.A., 2014. Pengaruh Komposisi Arang Dan Perekat Terhadap Kualitas Biobriket Dari Kayu Kare', *Jurnal Teknik Kimia*, Vol.20, No.2, April 2014, hal. 36-44.
- Hanafi, D.N. 2004. Perlakuan silase dan amoniasi daun kelapa sawit sebagai bahan baku pakan domba, *Laporan Penelitian*, Fakultas Pertanian-Program Studi Produksi Ternak Universitas Sumatera Utara.
- Himawanto, D.A., 2003. Pengolahan Limbah Pertanian Menjadi Biobriket Sebagai Salah Satu Bahan Bakar Alternatif. *Laporan Penelitian*. UNS.
- Jamilatun, S. 2008. Sifat-sifat penyalaan dan pembakaran briket biomassa, briket batubara dan arang kayu. *Jurnal Rekayasa Proses*. 2 (2), hal 65-72
- Karim, M.A., Ariyanto, E., dan Firmansyah, A., 2015. Studi Biobriket Enceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) sebagai Bahan Bakar Energi Terbarukan. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*. ISSN 1693-4393
- Lestari, L., Aripin, Yanti, Zainudin, Sukmawati, dan Marlioni. 2010. Analisis Kualitas Briket Arang Tongkol Jagung yang Menggunakan Bahan Perekat Sagu dan Kanji. *Jurnal Aplikasi Fisika*, vol. 6 no.2, hal. 93-96
- Lontoh, J.H., Rumbayan, M. dan Mangindaan, G.M.C., 2017. Analisa Ekonomis Pemanfaatan Limbah Organik Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Pada Pasar Tradisional. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 6(1), hal. 48-56.
- Miskah, S., Suhirman, L. dan Ramadhona, H.R., 2014. Pembuatan Biobriket dari Campuran Arang Kulit Kacang Tanah dan Arang Ampas Tebu dengan Aditif KMnO<sub>4</sub>. *Jurnal Teknik Kimia*, 20(3), hal. 58-61.
- Widya N., 2016. Pemanfaatan Pelepeh Kelapa Sawit (*Elaeis Guenensis Jacq*) Sebagai Bahan Pembuatan Briket Arang. *Skripsi*. Fakultas Teknik UMP.
- Ni'mah, L. 2020. Pembuatan Briket Dari Kulit Buah Langsung. *Buletin Profesional Insinyur*, Vol.3, No.2, hal.103-108.
- Nuryanto, E. 2000. Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Sumber Bahan Kimia. *Warta PPKS*, Vol 8(3), hal. 137-144
- Paranita D., 2020. Kombinasi Campuran Pelepeh Kelapa Sawit Dan Kulit Kacang Tanah Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biobriket, *Al Ulum Seri Saintek*, Vol. VIII, No.2, hal. 84-91.
- Patabang D., 2012. Karakteristik Termal Briket Arang Sekam Padi Dengan Variasi Bahan Perekat, *Jurnal Mekanikal*, Vol. 3 No. 2, Juli 2012, hal. 286-292.
- Purwanto, D., 2015. Pengaruh ukuran partikel tempurung sawit dan tekanan kempa terhadap kualitas biobriket. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33(4), hal. 303-313.
- Rahardja I.B., Aji D.F., Sukarman, Rahdiana N., Khoirudin, Safril, dan Ramadhan A.I. 2020. Heat Analysis of Palm Oil Mesocarp Brick (Fiber *Elaeis Guineensis Jacq*) Using Adhesives From Tapioca, Sagu, Arpus, *Journal of Critical Reviews*, 7(13), hal. 968-980.
- Rahardja, I.B, Hasibuan, C.E, Dermawan, Y., dan Kristono, S.N. 2021. Pembuatan Briket dari Fiber Kelapa Sawit Berperekat Tepung Tapioka dengan Metode Pembakaran Biasa (Karbonisasi), *Jurnal Citra Widya Edukasi*, Vol.13, No.1 (2021), p.45-52.
- Ristianingsih Y., Ulfa A., dan Rachmi Syafitri K.S, 2015. Pengaruh Suhu Dan Konsentrasi Perekat Terhadap Karakteristik Briket

- Bioarang Berbahan Baku Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Proses Pirolisis, *Konversi*, Vol. 4, No. 2, Oktober 2015, hal. 16-22.
- Saptoadi H., dan Syamsiro M., 2007. Pembakaran Briket Biomassa CangkangKakao: Pengaruh Temperatur Udara Preheat. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi (SNT)*, Yogyakarta.
- Saswono. 2010 dalam Riztamala, D. dkk. 2013. Pembuatan Briket Arang dari Tempurung Buah Nyamplung. *Skripsi*, Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Satria B.J., 2018. Peranan OPEC Kaitannya Dalam Fluktuasi Harga Minyak Dunia Dan Kebijakan Pemerintah Indonesia Mengenai Harga Bbm Dalam Negeri. *Skripsi*, Universitas Pasundan, Bandung, Jawa Barat.
- Soeparno, 1993. Pengaruh Tekanan Waktu Kempa dan Jenis Serbuk pada Pembuatan Briket Arang Gergajian terhadap Rendemen dan Nilai Panas. *Laporan Penelitian*, Fakultas Kehutanan UGM Yogyakarta.
- Sudiyani, Y., Nurhayati, M. Gopar, H. Udin, dan Sdijono. 1999. Pengujian Kualitas Arang dan Briket Arang dari Tempurung Kelapa. *Proceding Seminar Nasional II Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia*. Buku I. Yogyakarta
- Sulistyanto, A. 2006. Karakteristik Pembakaran Biobriket Campuran Batubara dan Sabut Kelapa, *Media Mesin*, Vol. 7, No 2, Juli 2006, hal. 77-84.
- Suradi I., M. Abrar, dan A. Imal Adrinur, 2020. Studi Penggunaan Getah Kayu Sebagai Bahan Perikat Pada Pembuatan Briket Dari Ampas Tebu (*Saccharum Officinarum L*) Sebagai Energi Alternatif Terbarukan, *ILTEK : Jurnal teknologi*, Vp. 15, No.1, April 2020, hal. 28-31.
- Widodo, I.G, Sutriyatna, dan Widagdo, E. 2010. Upaya Penerapan Teknologi Pengolahan Arang Tempurung Kelapa untuk Meningkatkan Nilai Tambah Petani Di Kecamatan Sei Raya Kabupaten Bengkayang. *Jurnal IPREKAS Ilmu Pengetahuan dan Rekayasa*, Edisi Mei 2020, hal.8-13.
- Wijayanti, D.S. 2009. Karakteristik Briket Arang dari Serbuk Gergaji dengan Penambahan Arang Cangkang Kelapa Sawit. *Skripsi*. Teknologi Hasil Hutan. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Yuwono, J., 2009. Pengaruh Penambahan Bahan Penyala Pada Briket Arang dari Limbah Serbuk Kayu Jati. *Tesis*, Magister Sistem Teknik, UGM.



