Karakteristik Fisik dan Emisi Briket Arang Limbah Industri Sagu serta Kinerja Pembakaran pada Kompor Biomassa dan Gasifikasi TLUD

Hafidawati[1]*, Elvi Yenie[1], Gunadi Priyambada[1], Rizky Fahmi[1], M. Ikhwanul Fiqri[1]

[1] Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Riau 28293

*Korespondensi: hafidawati@lecturer.unri.ac.id

Abstrak. Arang dari pembakaran kulit batang sagu merupakan limbah samping dari pabrik pengolahan pati sagu hasil pembakaran di tungku bakar, yang belum dimanfaatkan secara optimal. Dengan nilai kalor tinggi sebesar 5.673,88 kal/gr, arang kulit batang sagu memiliki potensi sebagai bahan baku briket. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi perekat terhadap kualitas briket arang tungku industri sagu melalui uji proksimat dan nilai kalor, menganalisis konsentrasi gas CO dan NO_2 yang dihasilkan dari pembakaran briket menggunakan kompor biomassa dan kompor gasifikasi TLUD, serta menentukan jenis kompor hemat bahan bakar. Perekat yang digunakan adalah 5% dari berat serbuk arang dengan variasi BPTM (Briket Perekat Tepung Maizena), BPTT (Briket Perekat Tepung Tapioka), dan BPTS (Briket Perekat Tepung Sagu). Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi perekat mempengaruhi karakteristik fisik briket. Briket BPTM menghasilkan kualitas terbaik dan memenuhi SNI 01-6235-2000 tentang briket arang kayu dengan kadar air 4,14%, kadar abu 7,46%, zat terbang 12,69%, karbon terikat 75,71%, dan nilai kalor 7.278,43 kal/gr. Konsentrasi gas CO dan NO_2 dari pembakaran briket BPTM pada kompor biomassa masing-masing adalah 0,325 ppm dan 839,5 µg/m³, sedangkan pada kompor gasifikasi TLUD sebesar 0,457 ppm dan 1.150,1 µg/m³. Hasil uji menunjukkan konsentrasi CO memenuhi baku mutu, namun NO_2 melebihi standar Permenkes No. 2 Tahun 2023. Laju konsumsi bahan bakar pada kompor biomassa adalah 2,68 gr/menit sedangkan pada kompor gasifikasi TLUD 2,51 gr/menit, menunjukkan kompor TLUD lebih hemat bahan bakar sesuai SNI 7926-2013.

Kata Kunci: arang tungku sagu, briket biomassa, emisi gas, efisiensi kompor, energi terbarukan

1. PENDAHULUAN

Provinsi Riau, khususnya Kabupaten Kepulauan Meranti, merupakan salah satu penghasil sagu terbesar di Indonesia, dengan luas perkebunan sagu mencapai 64.729 hektar dan produksi sebanyak 272.228 ton (Direktorat Jendral Perkebunan, 2023). Limbah sagu, termasuk kulit batang dan ampas sagu, memiliki potensi besar sebagai bahan baku energi terbarukan. Afna dkk. (2021) mengungkapkan bahwa kulit batang sagu menyumbang 26% dan ampas sagu 14% dari total bobot balak sagu. Arang yang dihasilkan dari proses pengolahan tepung sagu memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar, namun kerap kali dibuang tanpa pemanfaatan yang optimal, mengakibatkan masalah lingkungan (Nurkholifah dkk., 2020).

Pembriketan arang dapat meningkatkan kualitas arang dengan meningkatkan densitas dan nilai kalor, serta menghasilkan waktu pembakaran yang lebih lama (Arhamsyah, 2010; Arifin dkk., 2019). Menurut Basu (2010), bahan baku dengan kandungan lignin dan selulosa yang tinggi meningkatkan kadar karbon terikat dan nilai kalor. Penggunaan perekat seperti pati dan tepung tapioka efektif menghasilkan briket yang tidak berasap dan tahan lama (Diasmaniar dkk., 2021). Penelitian Zahra (2022) dan Daniel (2023) mengonfirmasi bahwa briket ampas sagu dapat menghasilkan emisi CO yang memenuhi standar, meskipun kualitas fisik dan nilai kalor briket masih perlu ditingkatkan.

Arang tanur dari industri tepung sagu memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan, dengan karakteristik fisik yang mencakup kadar air 11,67%, kadar abu 12,73%, kadar zat terbang 26,3%, dan nilai kalor 5.673,88 kal/gr (Laboratorium ESDM, 2024). Gasifikasi arang menggunakan kompor gasifikasi TLUD dapat memanfaatkan zat terbang untuk menghasilkan gas yang mudah terbakar, yang kemudian digunakan untuk memasak (Pane dkk., 2014).

Oleh karena itu, penelitian tentang pemanfaatan arang tanur industri pengolahan tepung sagu sebagai bahan baku briket perlu dilakukan, dengan mempertimbangkan kualitas briket berdasarkan SNI 01-6235-2000 dan standar emisi gas berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 2 Tahun 2023, serta analisis konsumsi bahan bakar pada kompor biomassa dan kompor gasifikasi TLUD.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari :

1. Peralatan Pembuatan Briket
   Peralatan pembuatan briket dalam penelitian ini terdiri dari timbangan analitik, *furnace*, kompor biomassa dan kompor gasifikasi, tumbukan (lumpang alu), ayakan ukuran 60 mesh, gelas ukur, alat pencetak briket (*hydraulic press*), *oven*, alat tulis dan kotak penyimpanan untuk meletakkan briket yang sudah jadi.
2. Peralatan Pengujian Karakteristik Briket (kadar air, kadar abu, kadar zat terbang,kadar karbon terikat) dan Nilai Kalor Peralatan yang digunakan dalam pengujian karakteristik briket yaitu *furnace*, desikator, *bomb calorimeter*, oven, timbangan analitik, cawan porselen/cawan krusibel, penjepit kayu, alat tulis dan sarung tangan.
3. Peralatan Pengujian Konsentrasi Gas
   Peralatan pengujian konsentrasi emisi gas yang digunakan adalah sebagai berikut:
   a) *Air sampler impinger*
      Alat pengambil sampel udara (Gambar 1) dibutuhkan untuk menguji konsentrasi CO dan NO2 dari emisi gas yang dihasilkan dari penelitian.



Gambar 1. *Impinger*

b) Kompor Biomassa

Kompor biomassa adalah alat memasak yang menggunakan bahan bakar briket dapat dilihat pada Gambar 2, dengan dimensi :

a. Tinggi ruang bakar : 13 cm
b. Diameter dalam ruang bakar : 17 cm
c. Diameter lubang udara : 1 cm
d. Jarak antara lubang : 5 cm
e. Diameter total kompor : 27 cm
f. Tinggi total kompor : 23 cm



Gambar 2. Kompor Biomassa

c) Kompor Gasifikasi TLUD (*Top Lit Up Draft)*

Kompor gasifikasi merupakan salah satu solusi pemanfaatan biomassa untuk memasak pengganti tungku tradisional dapat dilihat pada Gambar 3, dengan dimensi:

a. Tinggi ruang bakar : 30 cm
b. Diameter dalam ruang bakar : 13 cm
c. Diameter lubang udara : 3 cm
d. Jarak antara lubang : 3 cm
e. Diameter total kompor : 30 cm
f. Tinggi total kompor : 46 cm



Gambar 3. Kompor Gasifikasi TLUD

d) *Stopwatch* sebagai alat untuk mengukur waktu pembakaran briket.

2.2 Bahan Penelitian

Bahan baku utama yang digunakan dalam pembuatan briket pada penelitian ini adalah arang kulit batang sagu (Gambar 4) dari tanur industri pengolahan tepung sagu, sedangkan bahan pendukung yang diperlukan yaitu air, tepung tapioka, tepung sagu dan tepung maizena sebagai perekat. Arang kulit batang sagu didapatkan dari sentra sagu yang terletak di Desa Maini Darul Aman, Kecamatan Tebing Tinggi Barat, Kabupaten Kepulauan Meranti, Riau.



Gambar 4. Arang Kulit Batang Sagu

2.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi jenis perekat terhadap kualitas fisik briket arang tanur industri tepung sagu melalui analisis proksimat, konsentrasi gas CO dan NO_2 yang dihasilkan dari proses pembakaran serta laju konsumsi bahan bakar pada kompor biomassa dan kompor gasifikasi TLUD.

2.3.1 Analisis Proksimat dan Nilai Kalor

Pengujian kualitas briket dilakukan dengan metode analisis proksimat sesuai SNI 06-3730-1995, yang mencakup penentuan kadar air, kadar abu, zat terbang dan karbon terikat. Selain itu dilakukan pengujian nilai kalor menggunakan alat *Bomb Calorimeter* berdasarkan SNI 01-6235-2000. Berikut persamaan dari masing- masing pengujian dalam analisis proksimat:

$$\text{Kadar Air} = \frac{W_1}{W_2} \times 100\% \quad (1)$$

W_1 = kehilangan bobot sampel (gram)
W_2 = bobot awal sampel (gram)

$$\text{Kadar Abu} = \frac{W_1}{W_2} \times 100\% \quad (2)$$

W_1 = sisa pijar (gram)
W_2 = bobot awal sampel (gram)

$$\text{Kadar Zat Terbang} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \quad (3)$$

W_1 = bobot sampel semula (gram)
W_2 = bobot setelah pemanasan (gram)

Karbon Terikat, KT (%) $= 100\% - (A + B + C)$ (4)
A = zat terbang (%)
B = kadar abu (%)
C = kadar air (%)

Nilai kalor dalam Hg (ca/g) $= \frac{tw - I_1 - I_2 - I_3}{M}$ (5)
Hg = nilai kalor per gram sampel
t = kenaikan temperatur termometer
w = 2426 kalori/˚C
I_1 = natrium karbonat yang terpakai untuk titrasi
I_2 = 13,7 × 1,02 × berat sampel
I_3 = 2,3 × panjang *fuse wire* yang terbakar
M = berat sampel (gram)

2.3.2 Pengujian Konsentrasi Gas CO dan NO_2

Pengujian konsentrasi gas CO dan NO2 melalui pembakaran briket pada kompor biomassa dan kompor gasifikasi TLUD. Briket disusun hingga 2/3 ruang pembakaran. Pengambilan sampel gas CO mengacu pada SNI 7119.10:2011, sedangkan NO_2 mengacu pada SNI 7119-2:2017. Proses sampling dilakukan selama 1 jam menggunakan impinger dengan metode penjerapan, dalam ruangan berventilasi 15% dari luas ruangan. Impinger ditempatkan 1 meter dari kompor dan 0,3 meter dari ventilasi. Hasil analisis dibandingkan dengan baku mutu udara dalam ruang sesuai Permenkes RI No. 2 Tahun 2023. Berikut persamaan untuk perhitungan konsentrasi Gas CO berdasarkan SNI 7119.10-2011.

C_2 $= C_1 \times \frac{28}{24,45} \times 1.000$ (6)
C_2 = konsentrasi CO dalam udara ambien ($\mu g/Nm^3$)
C_1 = konsentrasi CO dalam udara ambien (ppm)
28 = berat molekul CO
24,45 = volume gas pada kondisi normal 25˚C, 760 mmHg (L)

Sedangkan untuk perhitungan konsentrasi Gas NO_2 dilakukan dengan menggunakan persamaan berdasarkan SNI 7119-2:2017 sebagai berikut:

V $= \frac{F_1 + F_2}{2} \times t \times \frac{Pa}{Ta} \times \frac{298}{760}$ (7)
V = volume udara yang dihisap (L)
F_1 = laju alir awal (L/menit)
F_2 = laju alir akhir (L/menit)
t = durasi pengambilan contoh uji (menit)
Pa = tekanan barometer rata-rata selama pengambilan contoh uji (mmHg)
Ta = temperatur rata-rata selama pengambilan contoh (K)
298 = temperatur pada kondisi normal 25˚C (dalam Kelvin)
760 = tekanan pada kondisi normal 1 atm (dalam mmHg)

Setelah diketahui nilai dari kurva kalibrasi dan volume udara pada kondisi normal, maka dicari konsentrasi NO_2 dalam sampel yang diuji dengan persamaan berikut (SNI 19-7119.2-2017).

$$C = \frac{b}{v} \times \frac{10}{25} \times 1000 \quad (8)$$

C = konsentrasi NO_2 di udara ($\mu g/Nm^3$)
b = jumlah NO_2 berdasarkan kurva kalibrasi (µg)
v = volume udara dalam liter pada kondisi normal 25˚C, 760 mmHg
1.000 = konversi liter ke m_3
10/25 = faktor pengenceran

Untuk menyesuaikan dengan baku mutu dalam Permenkes No. 2 Tahun 2023, konsentrasi NO_2 dari satuan ppm dikonversi ke $\mu g/Nm^3$ menggunakan persamaan konversi standar suhu dan tekanan (STP) sebagai berikut (Pradana, 2018).

$$C_{NO_2}(\mu g/Nm^3) = C_{NO_2}(ppm) \times \frac{M_{NO_2}}{24{,}45} \times 1000 \quad (9)$$

C_{NO2} = konsentrasi NO_2 dalam ppm
M_{NO2} = massa molar konsentrasi NO_2 (46,01 g/mol)
24,45 = volume molar gas dalam kondisi standar
1000 = faktor pengali dari gram ke µgram

2.3.3 Perhitungan Laju Konsumsi Bahan Bakar

Laju konsumsi bahan bakar dihitung untuk mengetahui efisiensi pemakaian pada kompor biomassa dan gasifikasi TLUD. Parameter ini penting untuk menentukan kompor yang paling hemat bahan bakar. Perhitungan mengacu pada SNI 7926:2013 dengan persamaan sebagai berikut:

$$A = \frac{\Delta mt}{\Delta t} \quad (10)$$

Δmt = massa bahan bakar (kg)
Δt = lama waktu pengujian (jam)

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisis Proksimat Briket Arang Tanur

Hasil analisis proksimat terhadap briket arang tanur menunjukan bahwa jenis perekat memberikan pengaruh signifikan terhadap kualitas fisik briket. Hasil analisis proksimat briket arang tanur dapat dilihat pada Tabel 1.

3.2.1 Kadar air

Kadar air yang rendah penting untuk efisiensi pembakaran karena air menyerap energi laten sebelum bahan terbakar (Miharja, 2016). Briket perekat tepung sagu (BPTS) memiliki kadar air tertinggi (7,38%) akibat kandungan amilopektin yang higroskopis dan struktur pori yang menyerap lebih banyak air (Arifin dkk., 2019). Sebaliknya, briket perekat tepung meizena (BPTM) menunjukkan kadar air terendah (4,14%) karena sifat fisikokimia, meizena tidak mudah mengikat air, sehingga lebih cepat kering saat proses pengeringan (Cholilie & Larinda, 2021).

Tabel 1. Hasil Pengujian Proksimat Briket Arang Tanur

No	Parameter	Bahan Baku	Nilai Briket			SNI 01-6235-2000
			BPTM	BPTT	BPTS	
1	Kadar Air (%)	11,67*	4,14	6,54	7,38	Maks 8%
2	Kadar Abu (%)	12,73*	7,46	13,97	12,52	Maks 8%
3	*Volatile Matter* (%)	26,83*	12,69	16,06	15,03	Maks 15%
4	Kadar Karbon Terikat (%)	48,77*	75.71	63,42	65,08	Min 60%
5	Nilai Kalor (kal/g)	5673,88*	7.278,43**	6.984,68**	7.174,25**	Min 5000 kal/g

Keterangan: * Laboratorium ESDM, 2024
** Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan,ITS
BPTM = Briket Perekat Tepung Meizena
BPTT = Briket Perekat Tepung Tapioka
BPTS = Briket Perekat Tepung Sagu

3.2.2 Kadar Abu

Kadar abu merupakan residu anorganik hasil pembakaran dan mencerminkan kandungan mineral dalam briket (Karamoy, 2019). Hasil uji menunjukkan hanya briket BPTM yang memenuhi standar SNI 01-6235-2000 maksimal yaitu 8%, sementara kadar abu tertinggi terdapat pada BPTT. Jenis perekat memengaruhi kadar abu karena perekat dengan kandungan anorganik tinggi, seperti tapioka, menambah unsur non-karbon dalam briket (Maryono, 2013; Grace & Henry, 2020). Meizena memiliki kadar mineral terendah (0,1–0,2%), sehingga menghasilkan abu lebih sedikit. Abu yang tinggi dapat menurunkan nilai kalor dan karbon terikat karena menggantikan fraksi pembakar dalam bahan bakar (Abdillah & Indra, 2024).

3.2.3 Kadar Zat Terbang

Zat terbang merupakan senyawa mudah menguap yang terlepas dari briket saat dipanaskan tanpa oksigen eksternal (Abdillah & Indra, 2024). Hasil uji menunjukkan briket BPTM memiliki kadar zat terbang terendah dan memenuhi standar SNI 01-6235-2000, sementara BPTT dan BPTS memiliki kadar lebih tinggi. Jenis perekat memengaruhi kadar zat terbang; tepung meizena mengandung amilosa tinggi yang lebih stabil secara termal, sedangkan tapioka dan sagu mengandung amilopektin yang mudah terurai dan menghasilkan volatil lebih banyak saat pembakaran (Adam dkk., 2023). Zat terbang yang tinggi menurunkan kandungan karbon dan nilai kalor, serta meningkatkan emisi asap (Cholilie & Larinda, 2021).

3.2.4 Kadar Karbon Terikat

Karbon terikat adalah fraksi karbon dalam bahan bakar padat setelah dikurangi kadar air, abu, dan zat terbang (Qanitah dkk., 2023). Nilai karbon terikat pada bahan baku arang tanur sebesar 48,77%, dan meningkat dalam bentuk briket. Briket BPTM menunjukkan kadar karbon terikat tertinggi,

karena kadar air, abu, dan zat terbangnya rendah, serta kandungan selulosa tinggi dalam tepung meizena sebagai sumber karbon (Mulyati, 2016). Semua jenis briket memenuhi standar SNI 01-6235-2000, tetapi semakin tinggi zat abu dan zat terbang, maka kadar karbon terikat akan semakin rendah (Ristianingsih dkk., 2015; Abdillah & Indra, 2024).

3.2.5 Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan indikator utama kandungan energi dalam bahan bakar, dengan briket yang memiliki nilai kalor lebih tinggi menunjukkan kualitas yang lebih baik (Faijah dkk., 2020). Nilai kalor briket dipengaruhi oleh kadar air, abu, zat terbang, dan karbon terikat (Abdillah & Indra, 2024). Briket jenis BPTM memiliki nilai kalor tertinggi sebesar 7.278,43 cal/gr, Hal ini dikarenakan kemampuan tepung maizena yang rendah dalam mengikat air, sehingga air dalam pori-pori briket mudah menguap. Faktor lainnya, seperti rendahnya kadar air, abu, dan zat terbang, serta tingginya kadar karbon terikat, juga berkontribusi pada peningkatan nilai kalor briket (Mulyati, 2016).

3.2 Analisis Konsentrasi Gas CO dan NO2 dari Pembakaran Briket Arang Tanur Pada Kompor Biomassa dan Kompor Gasifikasi TLUD

Pengujian kondisi background bertujuan untuk memperoleh konsentrasi CO dan NO_2 sebelum pembakaran briket, guna menilai kualitas udara ruangan sebelum adanya perubahan akibat pembakaran (Hadi & Nurjaman, 2017). Widodo (2017) menyatakan bahwa udara bersih dalam ruangan memiliki konsentrasi CO dan NO_2 kurang dari 1 ppm. pembakaran briket BPTM pada kompor biomassa menghasilkan konsentrasi CO sebesar 0,325 ppm dan NO2 839,5 µg/m³, sedangkan pada kompor gasifikasi TLUD, CO adalah 0,457 ppm dan NO2 1150,1 µg/m³. Pembakaran pada kompor gasifikasi TLUD menghasilkan CO lebih tinggi karena oksigen terbatas yang menghambat pembakaran sempurna (Khlifi dkk., 2019), sedangkan kompor biomassa menyediakan lebih banyak oksigen, mengurangi CO. Meskipun konsentrasi CO tidak melebihi baku mutu, konsentrasi NO2 pada kompor gasifikasi TLUD lebih tinggi. Proses pirolisis dan oksidasi pada TLUD menghasilkan NO2 lebih banyak (Demisu dkk., 2023), dan suhu tinggi meningkatkan pembentukan NO2 (Djafar dkk., 2022; Nurhayati dkk., 2020). Faktor bahan baku dan suhu juga mempengaruhi konsentrasi NO2 (Setiani dkk., 2019; Qi dkk., 2021).

Tabel 2. Hasil Pengukuran Konsentrasi Gas CO dan NO_2

No	Variasi Kompor	Konsentrasi CO (ppm)*	Konsentrasi NO_2 (µg/m³)*	Baku Mutu CO (ppm)**	Baku Mutu NO_2 (µg/m³)**
1	Data *Background*	0,211	15,05		
2	Kompor Biomassa	0,325	839,5	9	200
3	Kompor Gasifikasi	0,457	1150,1		

Sumber : * Departemen Teknik Lingkungan Universitas Andalas, 2024

** Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023

3.3 Analisis Perbandingan Laju Konsumsi Bahan Bakar Pada Kompor Biomassa dan Kompor Gasifikasi TLUD

Pembakaran briket jenis BPTM dilakukan pada dua jenis kompor yaitu kompor biomassa dan kompor gasifikasi TLUD. Data pengujian laju konsumsi bahan bakar pada setiap variasi kompor. Laju konsumsi bahan bakar pada kompor biomassa adalah 2,68 gram/menit, sedangkan pada kompor TLUD sebesar 2,51 gram/menit. Hal ini menunjukkan bahwa kompor TLUD lebih efisien dalam penggunaan bahan bakar dibandingkan kompor biomassa. Kersten dkk. (2017) menjelaskan bahwa kompor gasifikasi TLUD mengurangi konsumsi bahan bakar hingga 50%, karena proses pembakaran melalui beberapa tahapan. Bahan bakar diubah menjadi gas (syngas) melalui pirolisis dan kemudian dibakar kembali, yang membuat pembakaran lebih efisien dan memperpanjang waktu pembakaran. Berikut hasil analisis laju konsumsi bahan bakar pada masing-masing kompor.

Tabel 3 Laju Konsumsi Bahan Bakar

Variasi Kompor	Berat Briket (gr)	Waktu Penyalaan (menit)	Waktu pembakaran (menit)	Berat Briket yang tidak terbakar (gr)	Suhu Pembakaran (℃)	Laju Konsumsi Bahan Bakar (gr/menit)	Persentase Pembakaran (%)
Kompor Biomassa 1	382	8	125	55	738	2,68	84,95
Kompor Biomassa 2	382	10	118	60			
Kompor TLUD 1	557	10	188	77	649	2,51	86,54
Kompor TLUD 2	557	12	195	73			

Sumber : Penulis, 2024

4. KESIMPULAN

Briket arang tanur dari industri tepung sagu dengan variasi jenis perekat menunjukkan bahwa briket dengan perekat tepung meizena (BPTM) memiliki kandungan terbaik (kadar air 4,14%, kadar abu 7,46%, kadar volatile matter 12,69%, kadar karbon terikat 75,71%, dan nilai kalor 7.278,43 kal/gr), dan memenuhi baku mutu SNI 01-6235- 2000. Nilai Konsentrasi gas CO dan gas NO2 pada kompor biomassa adalah 0,325 ppm dan 839,5 µg/m³, sedangkan pada kompor gasifikasi TLUD adalah 0,457 ppm dan 1150,1 µg/m³. Hanya konsentrasi gas CO pada kompor biomassa yang berada di bawah baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 2 Tahun 2023. Laju konsumsi bahan bakar pada kompor biomassa adalah 2,68 gram/menit, sedangkan pada kompor gasifikasi TLUD lebih efisien dengan konsumsi bahan bakar 2,51 gram/menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi melalui Universitas Riau atas dukungan pendanaan penelitian ini melalui Hibah DIPA Universitas Riau Skema Riset Program (RIPRO) Tahun Anggaran 2025, Nomor Kontrak: 29129/UN19.5.1.3/AL.04/2025. Terima kasih juga disampaikan kepada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Riau atas dukungan fasilitas dan analisis laboratorium, serta kepada Industri Sagu Kabupaten Kepulauan Meranti yang telah memfasilitasi pengambilan sampel.

REFERENSI

Abdillah, R., & Indra, M. (2024). Pengaruh sifat fisik perekat terhadap kualitas briket biomassa. *Jurnal Energi Terbarukan, 5*(2), 22–29.

Adam, A., Rahmat, A., & Darnita. (2023). Karakteristik briket dari limbah organik dengan variasi perekat. *Jurnal Teknik Lingkungan, 8*(1), 14–21.

Afna, R., Yanti, L., & Wulandari, T. (2021). Pemanfaatan limbah sagu sebagai bahan bakar alternatif. *Jurnal Energi dan Lingkungan, 7*(2), 90–98.

Arhamsyah, M. (2010). Teknologi pembriketan untuk pemanfaatan energi biomassa. *Jurnal Energi Alternatif, 2*(1), 11–17.

Arifin, Z., Putri, A. D., & Susanto, H. (2019). Kajian pembuatan briket dari limbah sagu. *Jurnal Teknologi Lingkungan, 20*(3), 167–172.

Basu, P. (2010). *Biomass gasification and pyrolysis: Practical design and theory*. Elsevier.

Cholilie, I. A., & Larinda, L. (2021). Pengaruh variasi jenis perekat terhadap kualitas biobriket. *Agro Bali: Agricultural Journal, 4*(3), 391–402.

Daniel, M. (2023). *Pengaruh variasi komposisi bahan baku briket dari limbah kulit batang dan ampas sagu terhadap kualitas dan emisi gas buang* [Skripsi, Universitas Riau].

Demisu, D. G., & Muluye, A. B. (2023). Faktor-faktor yang memengaruhi kualitas dan kinerja biobriket dari biomassa. *International Journal of Energy and Water Resources*, 1–14.

Departemen Teknik Lingkungan Universitas Andalas. (2024). *Hasil pengukuran konsentrasi gas CO dan NO_2*. Laboratorium Pengujian Kualitas Udara.

Direktorat Jenderal Perkebunan. (2023). *Statistik Perkebunan Indonesia: Komoditas Sagu 2022–2023*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

Djafar, Z., Suluh, S., Amaliyah, N., & Piarah, W. H. (2022). Perbandingan kinerja kompor briket terhadap material dinding tungku. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics, 17*(1), 145–149.

Faijah, M., Ismail, F., & Supriyanto, B. (2020). Pengaruh variasi perekat terhadap karakteristik briket arang. *Jurnal Rekayasa Mesin, 8*(1), 23–28.

Grace, E., & Henry, J. (2020). Ash content influence on biomass briquette combustion. *Renewable Fuel Journal, 10*(2), 45–52.

Hadi, S., & Nurjaman, F. (2017). Studi kualitas udara dalam ruang: Pendekatan gas CO dan NO_2. *Jurnal Teknik Lingkungan, 11*(2), 93–100.

Karamoy, A. R. (2019). Studi kualitas abu dalam briket bioenergi. *Jurnal Energi Tropis, 9*(2), 100–107.

Kersten, W., Mallett, A., & Lambe, F. (2017). Clean and efficient cooking: Gasifier stove performance. *Energy for Sustainable Development, 42*, 87–95.

Khlifi, R., Nasrallah, M. N., & Bouzid, M. (2019). Incomplete combustion of biomass in gasification stoves. *Journal of Environmental Science, 17*(4), 200–207.

Maryono, S., Sudding, & Rahmawati. (2013). Pembuatan dan analisis mutu briket arang tempurung kelapa. *Jurnal Chemical, 14*(1), 74–83.

Miharja, M. H. J. (2016). Analisis proksimat briket bioarang. *Teknoin, 5*(1), 15–21.

Mulyati, M. (2016). Analisis tekno-ekonomi briket dari sampah daun kering. *Teknoin, 22*(7), 505–513.

Nurhayati, A., Permadi, D. A., & Marganingrum, D. (2020). Studi emisi gas dari co-firing briket dan batubara. *Jurnal Teknologi, 23*, 1–11.

Pane, I., et al. (2014). *Pengembangan kompor gasifikasi arang biomassa tipe natural draft gasification*. Balai Besar Pulp dan Kertas.

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. (2023). *Peraturan Menteri Kesehatan No. 2 Tahun 2023 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Udara dalam Ruang*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.

Pradana, A. Y. (2018). Konversi konsentrasi gas NO_2 dari ppm ke µg/m³. *Jurnal Fisika dan Lingkungan, 6*(2), 34–41.

Qanitah, M., Rusyidi, I., & Santoso, W. (2023). Pengaruh parameter proksimat terhadap nilai kalor briket. *Jurnal Energi Alternatif, 12*(1), 67–75.

Qi, X., Zhao, Y., & Lin, L. (2021). Effect of temperature on NO_2 formation in biomass combustion. *Journal of Cleaner Combustion, 8*(1), 101–110.

Ristianingsih, R., Widyastuti, S., & Kurniawan, A. (2015). Kualitas briket ampas tebu dan tempurung kelapa. *Jurnal Teknologi Energi, 10*(3), 201–209.

Widodo, S., Amin, M. M., Sutrisman, A., & Putra, A. A. (2017). Rancang bangun alat monitoring gas CO dan NO_2 dalam ruangan. *Pseudocode, 4*(2), 105–119.

Zahra, H. (2022). *Analisis emisi gas karbon monoksida (CO) dari aktivitas pembakaran briket ampas sagu dengan variasi bentuk briket* [Skripsi, Universitas Riau].