



Korespondensi

Email : ayopianita01@gmail.com



Inovbook Publications

Wisma Monex 9th Floor

Jl. Asia Afrika No 133-137 Bandung,
40112



Karya ini dilisensikan di bawah
Lisensi Internasional Creative
Commons Atribusi Nonkomersial
sharelike 4.0.

STUDI LITERATUR PENGARUH PENAMBAHAN ARANG TEMPURUNG KELAPA TERHADAP INOVASI PEMANFAATAN CHAR GASIFIKASI BATUBARA SEBAGAI BAHAN BAKAR RAMAH LINGKUNGAN

Aria Yopianita^{1*}, Muhammad Yerizam^{2*}, Aida Syarif^{3*}

^{1,2,3} Politeknik Negeri Sriwijaya | Jl. Sriwijaya Negara, Palembang,
Sumatera Selatan 30139

Disetujui: 20 Januari 2022

Abstract

Coal reserves in Indonesia are estimated at around 26 billion tons and will still be primary energy until 2050. This makes the use of green coal and clean energy an urgent homework. One of the uses of coal is coal gasification. From the results of coal gasification, a by-product is obtained, namely char. In this char characterization, it is found that char has an increase in fixed carbon and GCV values as well as a significant decrease in sulfur content. This makes char potentially a raw material for environmentally friendly solid fuels (briquettes). The addition of biomass in the form of coconut shell charcoal is expected to increase the calorific value and allow ignition from low temperatures which can then save the time and energy needed for briquetting ignition and maintain the combustion rate. Therefore, as an initial study, it is necessary to study literature from previous studies as the basis for the initial hypothesis of the addition of coconut shell charcoal in the manufacture of briquettes with the main raw material of char from coal gasification.

Keywords: Biomass, Coconut Shell Charcoal, Char, Solid Fuel

Abstrak

Cadangan batubara di Indonesia diperkirakan sekitar 26 miliar ton dan masih akan menjadi energi primer sampai dengan tahun 2050, hal ini membuat pemanfaatan batubara menjadi energi bersih menjadi pekerjaan yang mendesak. Salah satu pemanfaatan batubara tersebut adalah dengan gasifikasi batubara. Dari hasil gasifikasi batubara, didapatkan suatu produk samping yaitu char. Dalam karakterisasi char ini didapatkan bahwa char mengalami peningkatan nilai fixed carbon dan GCV serta penurunan kadar sulfur yang signifikan. Hal ini, menjadikan char berpotensi menjadi bahan baku bahan bakar padat yang ramah lingkungan (briket). Penambahan biomassa berupa arang tempurung kelapa diharapkan dapat meningkatkan nilai kalor dan memungkinkan terjadinya penyalaan dari suhu rendah yang kemudian bisa menghemat waktu dan energi yang dibutuhkan untuk penyulutan briket, serta mempertahankan laju pembakaran. Karena itu sebagai studi awal, diperlukan studi kepustakaan dari penelitian sebelumnya sebagai dasar hipotesa awal dari penambahan arang tempurung kelapa dalam pembuatan briket dengan bahan baku utama char hasil gasifikasi batubara.

Kata Kunci: Biomassa, Arang Tempurung Kelapa, Char, Bahan Bakar Padat

I. PENDAHULUAN

Biomassa adalah bahan-bahan organik yang berasal dari jasad hidup, baik hewan maupun tumbuh-tumbuhan seperti daun, rumput, ranting, gulma, limbah pertanian, limbah peternakan, dan gambut. Selain digunakan untuk bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Saat ini, biomassa sebagai sumber energi, menyumbang sekitar 14% dari konsumsi energi dunia konsumsi, menempati urutan keempat setelah minyak bumi, gas, dan batubara (Hwangdee et al., 2021).

Ada beberapa metode mengubah biomassa menjadi energi seperti pembakaran langsung (Gebreegziabher et al., 2014), gasifikasi atau pirolisis (Basu, 2010), pencernaan an-aerobik (Beegle & Borole, 2018), hidrolisis (Quintero-Ramirez, 2014), hidrogenasi atau fermentasi (Abdullah, Bawadi; Muhammad, Syed Anuar Faua Ad Syed; Mahmood, 2012) dan pembuatan briket (Hwangdee et al., 2021). Pada umumnya yang digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya. Biomassa sangat beragam dan berbeda dalam hal sifat kimia, sifat fisis, kadar air, kekuatan mekanis dan sebagainya. Untuk menentukan sistem energi biomassa, dimana kandungan energi setiap jenisnya harus ditentukan terlebih dahulu. Nilai kalor seringkali digunakan sebagai indikator kandungan energi yang dimiliki setiap jenis biomassa, biasanya diukur dengan menggunakan panas pembakaran yang energinya akan dilepaskan sebagai panas ketika benar-benar terbakar dengan oksigen dalam kondisi standar (Hwangdee et al., 2021). Nilai kalor ditentukan melalui rasio komponen dan jenisnya serta rasio unsur di dalam biomassa itu sendiri (terutama kadar karbon) (Hasan et al., 2018).

Dalam proses gasifikasi, didapatkan produk samping yang disebut char, dari hasil karakterisasinya didapat bahwa char hasil gasifikasi tersebut mengalami peningkatan nilai karbon sehingga dapat menjadi hipotesis awal bahwa char masih mengandung potensi energi, serta terjadi penurunan kadar sulphur dalam jumlah yang cukup signifikan. Dengan hipotesis awal tersebut, maka hasil limbah

berupa char, dalam penelitian ini akan menjadi bahan baku yang potensial untuk pembuatan briket. Pembuatan briket dari batubara adalah salah satu bentuk pemanfaatan batubara menjadi energi yang ramah lingkungan dan penggunaan char dari proses gasifikasi adalah sebagai upaya untuk mengolah kembali/*recycle* limbah hasil gasifikasi yang telah dilakukan sebelumnya. Dimana industri gasifikasi dimasa yang akan datang akan menjadi salah satu program hilirisasi batubara sehingga pemanfaatan char hasil gasifikasi batubara ini dimasa yang akan datang akan menjadi salah pekerjaan rumah bagi industri tersebut.

Dalam usaha meningkatkan nilai tambah batubara dengan menjadikannya bahan bakar padat melalui briket, dengan hanya memfokuskan pada peningkatan nilai kalori ternyata tidaklah cukup, selain karena sifat batubara yang memiliki karbon padat yang banyak, secara bersamaan batubara juga memiliki volatile matter yang rendah. Kondisi tersebut berakibat pada suhu penyulutan yang tinggi (Jamilatun, 2012). Oleh karena itu, untuk mengantisipasi masalah tersebut, maka briket batubara akan ditambahkan dengan biomassa (limbah pertanian/perkebunan). Hal ini dikarenakan kandungan volatil matter dari biomassa sangat tinggi sehingga memungkinkan terjadinya penyalaan dari suhu rendah yang kemudian bisa menghemat waktu dan energi yang dibutuhkan untuk penyulutan (Riaza et al., 2017). Upaya pembuatan briket dengan mencampurkan batubara dengan biomassa disebut biobriket. Dikarenakan memiliki kalori senilai dengan nilai kalori batubara dan bahkan melebihi, tempurung kelapa dipilih sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan nilai bakar pada biobriket (Yerizam et al., 2013). Maka, dalam penelitian ini biomassa yang akan digunakan sebagai bahan pendukung adalah tempurung kelapa, dengan pertimbangan biomassa ini memiliki sifat difusi termal yang baik dan dapat menghasilkan kalor sekitar 6500-7600 kkal/kg (Triono, 2006). Berikut adalah Tabel analisa ultimate berbagai macam biomassa:

Tabel 3. Analisa Ultimate Berbagai Biomassa (% berat kering)

Biomass	Ash	C	H	O	N	S
Wheat straw	6,53	48,53	5,53	39,08	0,28	0,05
Barley straw	4,30	45,67	6,15	38,26	0,43	0,11
Maize straw	5,77	47,09	5,54	39,79	0,81	0,12
Rice straw	17,40	41,44	5,04	39,94	0,67	0,13

Biomass	Ash	C	H	O	N	S
Sugarcane bagasse	3,90	46,96	6,10	42,65	0,30	0,10
Coconut shell	1,80	51,05	5,70	41,00	0,35	0,10
Potato stalks	12,92	42,26	5,17	37,25	1,10	0,21
Beet leaves		40,72	5,46	39,59	2,28	0,21
Wheat chaff	7,57	47,31	5,12	39,35	1,36	0,14
Barley chaff	5,43	46,77	5,94	39,98	1,45	0,15

Sumber: (Yerizam et al., 2013)

TINJAUAN PUSTAKA

Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (CO, CH₄, dan H₂) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas (sekitar 20%-40% udara stoikiometri). Proses gasifikasi merupakan suatu proses kimia untuk mengubah material yang mengandung karbon menjadi gas mampu bakar, berdasarkan definisi tersebut, maka bahan bakar yang digunakan untuk proses gasifikasi menggunakan material yang mengandung hidrokarbon seperti batubara dan biomassa. Pirolisis adalah proses dekomposisi termokimia dari material organik, yang berlangsung tanpa udara atau oksigen. Pirolisis biomassa umumnya berlangsung pada rentang temperatur 300oC sampai dengan 600oC (Basu, 2010). Produk dari proses pirolisis ini tergantung dari beberapa faktor diantaranya temperatur pirolisis dan laju pemanasan. Secara umum produk pirolisis dapat diklasifikasi menjadi tiga jenis yaitu (Basu, 2010):

- Produk padat: berupa residu padat yang kaya kandungan karbon (char)
- Produk cair: berupa (tar, hidrokarbon, dan air)
- Produk gas (CO, H₂O, CO₂, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, C₆H₆ dll).

Kelapa (*Cocos Nucifera*) adalah anggota tunggal dalam marga Cocos dari suku aren-arenan atau Arecaceae. Tumbuhan ini dimanfaatkan hampir semua bagiannya sehingga dianggap sebagai tumbuhan serbaguna. Buah kelapa terdiri dari kulit luar, sabut, tempurung, kulit daging (*testa*), daging buah, air kelapa dan lembaga. Buah kelapa yang sudah tua memiliki bobot sabut (35%), tempurung (15-19%), endosperm (28%) dan air (25%) (Manongko, 2016).

Tempurung kelapa adalah salah satu bahan karbon aktif yang kualitasnya cukup baik dijadikan arang aktif. Secara fisiologis, bagian tempurung merupakan bagian yang

paling keras dibandingkan dengan bagian kelapa lainnya. Struktur yang keras disebabkan oleh silikat (SiO₂) yang cukup tinggi kadarnya pada tempurung kelapa tersebut. Berat dan tebal tempurung kelapa sangat ditentukan oleh jenis tanaman kelapa. Berat tempurung kelapa ini sekitar (15 – 19) % dari berat keseluruhan buah kelapa, sedangkan tebalnya sekitar (3–5) mm. Kandungan methoxyl dalam tempurung hampir sama dengan yang terdapat dalam kayu. Pada umumnya nilai kalor yang terkandung dalam tempurung kelapa adalah berkisar antara 18200 kJ/kg hingga 19338.05 kJ/kg (Jamilatun, 2012). Berikut adalah komposisi kimia tempurung kelapa.

Tabel 2. Komposisi Kimia Tempurung Kelapa

Komposisi	Persentase (%)
Lignin	29,40
Pentosan	27,00
Selulosa	16,60
Air	8,00
Solvent Ekstraktif	4,20
Uronat Anhidrat	3,50
Abu	0,60
Nitrogen	0,11

Sumber: (Jamilatun, 2012)

Briket adalah proses pencampuran satu atau beberapa bahan yang dihaluskan (seperti serbuk gergaji, tempurung kacang, sabut kelapa, kelapa sawit, sekam padi, tongkol jagung, bambu dan bahan mudah terbakar lainnya) menjadi bahan kompresi padat karena tekanan dan seringkali menggunakan bahan pengikat seperti singkong pati (Lawal et al., 2019). Berikut adalah tabel standar kualitas briket dengan bahan baku batubara.

Tabel 3. Standar Kualitas Briket Batubara

No	Jenis Briket Batubara	Air Lembab (%)	Zat Terbang (%)	Nilai Kalor (Kkal/Kg)	Total Sulfur (%)	Beban Pecah (Kg/Cm ²)
1	Briket batubara terkarbonisasi jenis batubara muda	Maks 20	Maks 15	Min 4000	Maks 1	Min 60
2	Briket batubara terkarbonisasi jenis batubara tapi bukan batubara muda	Maks 7,5	Maks 15	Min 5500	Maks 1	Min 60
3	Briket batubara tanpa karbonisasi tipe telur	Maks 12	Sesuai batubara asal	Min 4400	Maks 1	Min 65
4	Briket batubara tanpa karbonisasi tipe sarang tawan	Maks 12	Sesuai batubara asal	Min 4400	Maks 1	Min 10
5	Briket bio-batubara	Maks 15	Sesuai dengan bahan baku	Min 4400	Maks 1	Min 65

Sumber: (Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral, 2006)

II. METODE PENELITIAN

Metode analisis yang dilakukan adalah menggunakan metode analisis kepustakaan (*Library Research*), yaitu menganalisa kemungkinan pengaruh penambahan arang tempurung kelapa pada pembuatan biobriket dengan bahan baku utama char hasil gasifikasi batubara. Adapun kepustakaan yang menjadi dasar studi adalah penelitian yang dilakukan oleh Tina Mulya Gantina (2019) menunjukkan bahwa makin besar penambahan arang tempurung kelapa pada biobriket maka nilai kalor dan proses pembakaran semakin baik (Gantina, 2019), penelitian lainnya adalah Pengaruh Perbandingan Tempurung Kelapa dan Eceng Gondok serta Variasi Ukuran Partikel Terhadap Karakteristik Briket yang dilakukan oleh Iriany, dkk (2016) (Iriany et al., 2016) dan penelitian yang dilakukan oleh Edy Wibowo Kurniawan dengan Studi Karakteristik Briket Tempurung Kelapa dengan Berbagai Jenis Perekat Briket (2019) (Wibowo Kurniawan, 2019).

Pemilihan penelitian ini dilakukan agar didapatkan studi kepustakaan mengenai pengaruh penambahan arang tempurung kelapa pada briket dengan bahan baku batubara, briket dengan bahan baku biomassa dan karakterisasi briket tempurung kelapa, sehingga didapatkan suatu hipotesa pengaruh penambahan arang tempurung kelapa pada pembuatan briket dengan bahan baku char gasifikasi batubara.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan studi kepustakaan yang telah dilakukan, pada penelitian pertama yaitu pengaruh penambahan arang tempurung kelapa pada pembuatan briket batubara (Gantina, 2019), penelitian dilakukan dengan membuat Briket bio-batubara yang dibuat dari dua jenis campuran dengan dua variasi komposisi, yaitu biobriket dengan campuran batubara-arang tempurung kelapa (70%:30%) dan (80%:20%). Dari hasil karakterisasi Berdasarkan hasil uji proximate dan ultimate diperoleh bahwa kedua jenis biobriket sudah memenuhi standar Permen 047 tahun 2006 dan standar BEE India tahun 2010. Nilai kalor biobriket dengan komposisi batubara-arang tempurung kelapa, 70%:30% lebih tinggi (5.246 cal/gr) dibandingkan dengan komposisi 80%:20% (5.091 cal/gr). Sedangkan

temperatur pembakaran optimum dan laju pembakaran biobriket dengan komposisi batubara-tempurung kelapa 70%:30% lebih tinggi dan lama penyalaan lebih cepat yaitu berturut-turut 795,20C; 2,54 gr/menit dan 6,8 menit; dibandingkan biobriket dengan komposisi batubara-tempurung kelapa 80%:20% berturut-turut 7560C; 2,02 gr/menit dan 8,3 menit. Dengan demikian, makin besar penambahan arang tempurung kelapa pada biobriket maka nilai kalor dan proses pembakaran semakin baik.

Pada penelitian kedua yaitu pengaruh penambahan arang tempurung kelapa pada pembuatan biobriket dengan campuran arang tempurung kelapa dan eceng gondok (Iriany dkk, 2016) (Iriany et al., 2016), penelitian dilakukan dengan membuat biobriket dari campuran arang tempurung kelapa dan eceng gondok dengan perbandingan 1:1; 1:2; 1:3; dan 1:4 dan variasi ukuran partikel sebesar 10 mesh, 42 mesh, dan 60 mesh. Dari hasil didapatkan bahwa komposisi briket yang terbaik diperoleh pada campuran eceng gondok dan tempurung kelapa pada perbandingan 1:4 dengan ukuran partikel 60 mesh, dengan nilai kalor tertinggi sebesar 6.851,3311 kal/g, kadar abu terendah 8,1918%, kadar air terendah 1,0140%, kadar zat menguap 13,7890%, nilai kerapatan 0,9836 g/cm³, laju pembakaran 2,9x10⁻³ g/detik dan kuat tekan 11,3234 kg/cm².

Pada penelitian ketiga yaitu pembuatan briket tempurung kelapa murni tanpa campuran (EW. Kurniawan, 2019) (Wibowo Kurniawan, 2019), penelitian dilakukan dengan membuat briket dari arang tempurung kelapa dengan variasi pada perekat yang digunakan yaitu perekat tapioka, tanah liat dan bentonite. Kemudian masing-masing produk dianalisa kadar air, kadar abu, kadar zat volatil, kadar karbon terikat dan nilai kalori dengan metode ASTM D-3175. Dari hasil analisa tersebut didapatkan bahwa Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa briket dengan semua jenis perkat memenuhi standar mutu baik untuk kadar air, kadar abu, kadar karbon terikat dan nilai kalori. Kecuali untuk kadar zat volatil masih belum memenuhi standar. Adapun nilai kalori tertinggi ditunjukkan pada produk briket dengan perlakuan perekat tapioka dengan nilai 6314,46 kal/g.

Pada penelitian ini, bahan batu batubara yang digunakan dalam proses gasifikasi adalah

batubara yang didapatkan dari sampel di PT Bukit Asam, dari hasil karakterisasi didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Analisa Batubara dari PT Bukit Asam

No	Karakterisasi	Sampel Batubara			
		A1	A2	B1	B2
1	Moisture (% adb)	16.1	15.1	17.6	14.80
2	Total Ash (%adb)	1.30	1.10	2.60	1.30
3	Volatile Matter (% adb)	40.6	39.20	40.9	40.00
4	Carbon (% adb)	42.0	44.60	38.90	43.90
5	Sulphur (% adb)	1.18	0.41	1.12	1.19
6	Kalori (Cal/gr)	5,804	5,794	5,837	5,898

Setelah melalui proses gasifikasi, didapatkan residu berupa char. Dari hasil karakterisasi sampel char hasil gasifikasi batubara serta arang tempurung kelapa yang dilakukan pada penelitian awal, didapatkan karakterisasi seperti pada tabel seperti di bawah ini:

Tabel 5. Analisa Char Gasifikasi Batubara dan Arang Tempurung Kelapa

No	Karakterisasi	Sampel Batubara				Sampel tempurung kelapa
		A1	A2	B1	B2	
1	Moisture (% adb)	12,00	11,40	10,30	9,90	5,8
2	Volatile Matter (% adb)	40,00	41,50	42,70	41,70	18,2
3	Total Ash (% adb)	0,70	1,70	3,70	7,60	2,1
4	Sulfur (% adb)	0,38	0,30	0,59	0,69	0,04
5	Karbon (% adb)	47,30	45,40	43,30	40,80	73,9
6	Kalori (Cal/gr)	6,183	6,281	6,320	6,407	7,274

Dari tabel didapatkan hasil analisa arang tempurung kelapa, didapatkan kadar air, volatile matter dan kadar sulfur yang rendah dari sampel char. Serta kadar karbon dan kalori yang lebih tinggi.

Dalam proses gasifikasi, produk utama yang diinginkan adalah syngas (Benedetti et al., 2017). Di sisi lain, diperoleh produk sampingan yang disebut char. Pengelolaan pembuangan char sebagai residu dari suatu industri untuk pabrik gasifikasi masa depan sangat penting (Benedetti et al., 2017) karena akumulasi char dalam jangka waktu tertentu sebagai timbunan dapat berdampak pada lingkungan. Dari hasil karakterisasi diketahui bahwa hasil gasifikasi char dapat meningkatkan nilai karbon sehingga dapat menjadi hipotesis awal bahwa char masih mengandung potensi energi dan penurunan kadar sulfur yang signifikan. Dengan premis awal tersebut maka pada penelitian lanjutan, inovasi pemanfaatan hasil limbah berupa char dan limbah pertanian berupa arang tempurung kelapa dapat menjadi

bahan baku yang potensial untuk pembuatan briket.

Pembuatan briket dari batubara merupakan salah satu bentuk pemanfaatan batubara menjadi energi yang ramah lingkungan. Inovasi pemanfaatan char dari proses gasifikasi merupakan upaya untuk mengolah/mendaur ulang limbah gasifikasi yang telah dilakukan oleh industri. Dimana industri gasifikasi ke depan akan menjadi salah satu program hilirisasi batubara (Zulatama et al., 2021), sehingga inovasi penggunaan char hasil gasifikasi batubara ke depan akan menjadi salah satu proyek tambahan bagi industri tersebut.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil studi kepustakaan, didapatkan suatu hipotesa awal mengenai pengaruh penambahan arang tempurung kelapa pada pembuatan briket dari bahan baku utama char hasil gasifikasi batubara, antara lain:

1. Pada penelitian dengan penambahan arang tempurung kelapa pada briket dengan bahan baku batubara, didapatkan bahwa makin besar penambahan arang tempurung kelapa maka nilai kalor dan proses pembakaran semakin baik, hal ini ditandai dengan temperatur pembakaran yang optimum dan laju pembakaran biobriket yang lebih lama serta penyalaan lebih cepat.
2. Pada penelitian dengan penambahan arang tempurung kelapa pada briket dengan bahan baku biomassa enceng gondong, didapatkan bahwa semakin banyak tempurung kelapa di dalam briket maka akan semakin lama waktu pembakarannya sehingga laju pembakarannya semakin kecil. Memperkecil kadar air dan memperbesar nilai kalor
3. Dengan menganalisa tabel hasil analisa proximate dan ultimate dari sampel batubara PT Bukit Asam dan char gasifikasi batubara tersebut, dapat diberikan suatu hipotesa bahwa, proses gasifikasi batubara akan meningkatkan nilai kalor, meningkatkan nilai karbon dan memperkecil kadar air.
4. Dengan menganalisa tabel hasil analisa proximate dan ultimate dari bahan char dan arang tempurung kelapa, dapat diberikan suatu hipotesa bahwa, penambahan arang

tempurung kelapa akan meningkatkan nilai kalor, memperkecil kadar air, mempercepat laju penyalaan briket dan mempertahankan laju pembakaran briket.

5. Dengan pencaanangan pilot project gasifikasi batubara di PT Bukit Asam dan telah dikukuhkannya dalam undang-undang minerba nomor 3 tahun 2020, pasal 102 ayat 1 yang mewajibkan industri pertambangan untuk meningkatkan nilai tambah mineral dan batubara. Diharapkan hasil penelitian ini kelak dapat memberikan kontribusi pada industri pertambangan dalam hal ini PT Bukit Asam dengan melakukan konversi batubara menjadi bahan bakar gas dan memanfaatkan inovasi pengolahan limbah char sebagai daur ulang dari proses pabrik gasifikasi ke proyek berikutnya dengan membuat briket dengan tambahan biomassa arang tempurung kelapa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada PT Bukit Asam dan Laboratorium Energi Politeknik Negeri Sriwijaya serta seluruh pihak yang sudah membantu dan turut berpartisipasi dalam kegiatan ini.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Bawadi; Muhammad, Syed Anuar Faua Ad Syed; Mahmood, N. A. N. (2012). *Production of Biofuel via Hydrogenation of Lignin from Biomass*. Intech, 289–305. <http://dx.doi.org/10.1039/C7RA00172J> %0Ahttps://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics%0A <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.12.014>
- Basu, P. (2010). *Biomass gasification and pyrolysis Practical Design and Theory*. In Elsevier Press (Vol. 5). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00514-X>
- Beegle, J. R., & Borole, A. P. (2018). *Energy production from waste: Evaluation of anaerobic digestion and bioelectrochemical systems based on energy efficiency and economic factors*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96 (June 2017), 343–351. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.057>
- Benedetti, V., Patuzzi, F., & Baratieri, M. (2017). *Gasification Char as a Potential Substitute of Activated Carbon in Adsorption Applications*. *Energy Procedia*, 105(May), 712–717. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.380>
- Gantina, T. M. (2019). *Pengaruh Penambahan Arang Tempurung Kelapa terhadap Peningkatan Nilai Kalor dan Proses Pembakaran Briket Bio-Batubara*. *Jurnal Teknik Energi*, 9(November), 31–36. <https://jurnal.polban.ac.id/energi/article/view/1642%0Ahttps://jurnal.polban.ac.id/index.php/energi/article/download/1642/1322>
- Gebreegziabher, T., Oyedun, A. O., Yu, Z., Maojian, W., Yi, Z., Jin, L., & Hui, C. W. (2014). *Biomass Drying for an Integrated Power Plant: Effective Utilization of Waste Heat*. In *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 33). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63455-9.50094-5>
- Hasan, M., Haseli, Y., & Karadogan, E. (2018). *Correlations to Predict Elemental Compositions and Heating Value of Torrefied Biomass*. *Energies*, 11(9), 1–15. <https://doi.org/10.3390/en11092443>
- Hwangdee, P., Jansiri, C., Sudajan, S., & Laloon, K. (2021). *Physical Characteristics and Energy Content of Biomass Charcoal Powder*. *International Journal of Renewable Energy Research*, 11(1), 158–169.
- 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>
- Jamilatun, S. (2012). *Sifat-Sifat Penyalaan dan Pembakaran Briket Biomassa, Briket Batubara dan Arang Kayu*. *Jurnal Rekayasa Proses*, 2(2), 37–40. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.554>
- Lawal, O. J., Atanda, T. A., Ayanleye, S. O., & Iyiola, E. A. (2019). *Production of Biomass Briquettes Using Coconut Husk and Male Inflorescence of *Elaeis guineensis**. *Journal of Energy Research and Reviews*, July, 1–9. <https://doi.org/10.9734/jenrr/2019/v3i230093>

- Manongko, J. D. I. (2016). *Rancang Bangun Model Mesin Pengupas Kelapa untuk Petani Kelapa di Desa Wiau Kabupaten Minahasa Tenggara Provinsi Sulawesi Utara*. November, 1–8.
- Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral. (2006). Permen ESDM No 047 Tahun 2006. 2001.
- Quintero-Ramirez, R. (2014). *Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass. Sugarcane Bioethanol — R&D for Productivity and Sustainability*, 717–732. https://doi.org/10.5151/blucheroa-sugarcane-sugarcanebioethanol_60
- Riaza, J., Gibbins, J., & Chalmers, H. (2017). *Ignition and Combustion of Single Particles of Coal and Biomass*. *Fuel*, 202, 650–655. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.04.011>
- Triono, A. (2006). *Karakteristik Briket Arang dari Campuran Serbuk Gergajian Kayu Afrika*.
- Wibowo Kurniawan, E. (2019). *Studi Karakteristik Briket Tempurung Kelapa dengan Berbagai Jenis Perekat Briket*. *Buletin Loupe*, 15(01), 7. <https://doi.org/10.51967/buletinloupe.v15i01.24>
- Yerizam, M., Faizal, M. F., Marsi, M., & Novia, N. (2013). *Characteristics of Composite Rice Straw and Coconut Shell as Biomass Energy Resources (Briquette) (Case Study: Muara Telang Village, Banyuasin of South Sumatra)*. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 3(3), 232. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.3.3.326>
- Zulatama, A., Syarif, A., & Yerizam, M. (2021). *Effect of Oxygen Flow Rate on Combustion Time and Temperature of Underground Coal Gasification*. *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, 1(2), 27–33. <https://doi.org/10.53893/ijrvocas.v1i2.27>