

## Pengaruh Variasi Massa Tempurung Kelapa dan Waktu Karbonisasi Terhadap Kualitas Arang

Muhammad Daffa Fadlurrahman<sup>1)\*</sup>, Lusi Widiyanti<sup>1)</sup>, Irawan Rusnadi <sup>1)</sup>, Erlinawati <sup>1)</sup>,  
Indah Pratiwi<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup>Teknik Energi, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Sriwijaya

\*Corresponing email: daffafdlrrhmn@gmail.com

### Abstrak

Biomassa merupakan energi alternatif dari bahan organik seperti tempurung kelapa. Biasanya, biomassa dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif untuk memasak melalui pembakaran langsung. Namun, metode pembakaran langsung tidak efektif digunakan karena hanya menghasilkan bahan bakar dengan nilai kalor rendah dan banyak asap. Salah satu cara untuk meningkatkan mutu biomassa ialah dengan karbonisasi atau pengarangan. Karbonisasi adalah metode pembakaran dengan udara terbatas untuk menghasilkan arang dengan nilai kalor tinggi. Salah satu metode karbonisasi ialah *drum retort kiln* dengan prinsip pembakaran bahan baku melalui pemanasan ekstenal di dalam sebuah drum yang dapat diputar. Panas yang dihasilkan dari proses pembakaran tersebut akan disalurkan secara konveksi ke dalam drum untuk memanaskan bahan baku di dalamnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh lama waktu dan massa bahan baku dan menentukan kondisi operasi terbaik pada proses karbonisasi terhadap kualitas arang ditinjau dari jumlah rendemen yang dihasilkan dan nilai hasil uji *proximate* dan kemudian dibandingkan dengan nilai standar yang berlaku, yakni SNI 1-1683-1996 untuk kadar zat terbang, kadar air, kadar abu, dan kadar karbon tertambat. Dari penelitian ini, diketahui bahwa massa bahan baku dan waktu karbonisasi memengaruhi kualitas produk secara signifikan. Arang dengan massa bahan baku empat kg dan waktu karbonisasi 135 menit memiliki kadar karbon tertambat tertinggi dengan kadar air dan kadar abu yang memenuhi standar serta kadar zat terbang yang mendekati standar dengan jumlah rendemen 63.25% atau sebesar 2.53 kg

**Kata Kunci:** karbonisasi, biomassa, *retort, kiln*.

### PENDAHULUAN

Biomassa merupakan energi alternatif yang bersumber dari bahan atau limbah organik (Soolany, 2018). Biasanya, biomassa dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat alternatif oleh masyarakat pedesaan melalui proses pembakaran langsung. Namun, karena banyaknya zat pengotor pada biomassa mentah menyebabkan nilai kalor yang dihasilkan pada proses pembakaran masih cukup rendah. Salah satu cara yang digunakan untuk memanfaatkan biomassa menjadi sumber energi alternatif dengan nilai kalor tinggi ialah karbonisasi. Karbonisasi adalah teknik yang digunakan untuk menghilangkan unsur-unsur non-karbon melalui proses dekomposisi, mengurangi jumlah zat terbang dalam bahan baku, dan mengonversi arang agar memiliki kandungan karbon tetap yang lebih tinggi (Negara, et al., 2016). Karbonisasi merupakan proses pembakaran bahan organik seperti biomassa, limbah organik, dan batu bara dengan memanfaatkan sumber oksigen yang terkontrol pada temperatur tinggi dalam waktu tertentu (Afrinah, et al., 2022). Pembakaran dengan konsentrasi oksigen terkontrol akan mengurai selulosa, hemiselulosa, dan lignin pada biomassa (Wang, et al., 2009).

Karbonisasi merupakan bagian dari pirolisis yang mengubah bahan organik menjadi *biochar* atau arang, *syngas*, dan *crude biofuel* melalui proses dekomposisi termokimia dengan produk utama berupa biochar atau arang. Secara umum, reaksi karbonisasi adalah sebagai berikut:

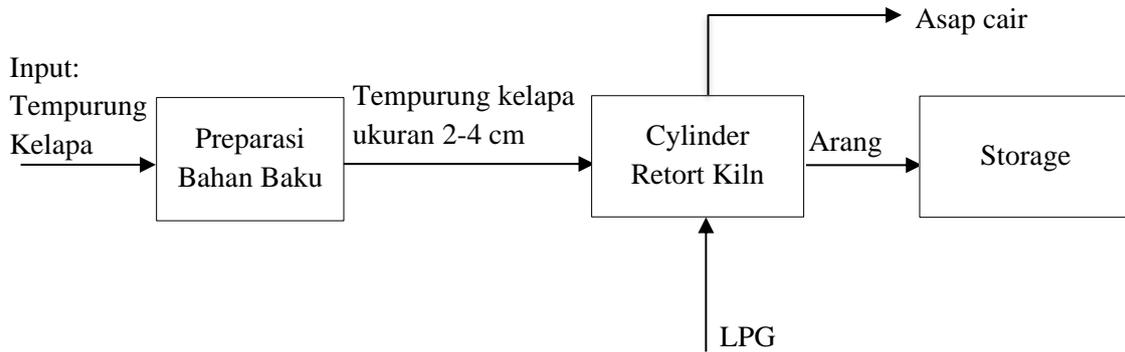


Proses karbonisasi dilakukan selama dua hingga lima jam tergantung pada kondisi operasi karbonisasi dan terbagi menjadi tiga tahap. Pertama merupakan tahap penguapan air antara suhu 100 – 105°C yang mana pada tahap ini, terjadi pelepasan kandungan air dari bahan organik karbonisasi. Setelah mengalami proses penguapan, akan terjadi proses penguraian selulosa dan hemiselulosa pada suhu 200°C hingga 240°C, serta penguraian lignin, pemutusan rantai polimer, dan pemutusan ikatan C-C dan C-O pada suhu 240°C hingga 400°C (Gobel & Arief, 2021). Lama waktu pemanasan dan tingginya temperatur pada proses karbonisasi berbeda-beda tergantung pada jenis bahan baku yang digunakan (Wirani, 2017). Semakin lama dan tinggi temperatur karbonisasi, akan semakin baik produk arang karbonisasi yang dihasilkan. Menurut Kong & Sii (2019), ada beberapa jenis kiln yang digunakan dalam produksi arang, termasuk *Earth Kiln*, *Adam Retort Kiln*, dan *Drum Retort Kiln*. Metode drum retort kiln menjadi yang paling umum digunakan pada proses karbonisasi karena biayanya yang lebih terjangkau dan proses pembuatannya yang lebih sederhana (Soolany & Fadly, 2020). *Drum retort kiln* merupakan pengembangan dari metode *drum kiln*, yang telah menggunakan konsep *gas recovery* sehingga dapat memanfaatkan panas secara lebih efisien.

Biomassa yang biasa digunakan pada proses karbonisasi ialah tempurung kelapa. Tempurung kelapa dipilih karena memiliki ketersediaan yang melimpah dan telah lama dimanfaatkan menjadi bahan bakar alternatif oleh masyarakat melalui pembakaran langsung tanpa pengolahan (Iskandar, et al., 2019). Namun, banyak proses karbonisasi masih menghasilkan produk arang dengan kadar abu tinggi. Seperti halnya studi yang dilakukan oleh Qistina, et al (2016) pada karakteristik kadar abu arang briket dari tempurung kelapa yang mencapai 11,99% dan kadar air 4,34% dengan waktu karbonisasi pada temperatur 75°C selama 50 menit. Kadar abu ini masih jauh dari SNI 01-6235-2000 mengenai kualitas briket arang. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa bahan bakar tanpa abu seperti gas dan minyak memiliki sifat pembakaran yang lebih baik daripada zat sisa pembakaran, kadar abu, yang merupakan faktor penting dalam pengujian kualitas arang (Christanty, 2014). Dari penelitian yang dilakukan oleh Surono (2010) Dalam hal kualitas bahan bakar alternatif yang dihasilkan melalui karbonisasi, kadar abu 4,14% dan kadar zat terbang 32,71%, keduanya masih tinggi, menghasilkan emisi gas CO yang signifikan. Oleh karena itu, akan dilakukan penelitian mengenai karbonisasi dari tempurung kelapa dengan variasi massa bahan baku dan lama waktu karbonisasi menggunakan metode *cylinder retort kiln* sebagai inovasi desain alat karbonisasi untuk menentukan kondisi optimal dalam pembuatan arang tempurung kelapa.

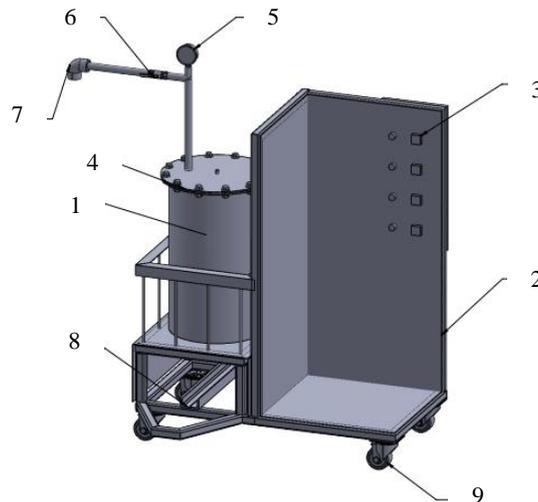
## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan selama lima bulan sejak Februari hingga Juli 2024 di Laboratorium Teknik Energi Politeknik Energi Sriwijaya. Tahap penelitian di mulai dari persiapan perancangan alat dan persiapan bahan baku, pelaksanaan karbonisasi, hingga analisa produk arang karbonisasi.



**Gambar 1.** Tahap Penelitian Karbonisasi

Alat yang digunakan pada penelitian ini ialah set alat karbonisasi *cylinder retort kiln* dengan desain sebagai berikut:



**Gambar 2.** Set Alat Karbonisasi Cylinder Retort Kiln

Keterangan:

- |                     |                   |                |
|---------------------|-------------------|----------------|
| 1. Ruang Pembakaran | 4. Tutup Tabung   | 7. Exhaust gas |
| 2. Tempat gas       | 5. Pressure Gauge | 8. Kompor      |
| 3. Control Panel    | 6. Valve Pressure | 9. Roda        |

Material yang digunakan pada penelitian ini ialah tempurung kelapa yang sebelumnya telah dipreparasi. Proses preparasi meliputi pembersihan dan pengecilkan ukuran tempurung kelapa. Kemudian gas LPG yang digunakan sebagai bahan bakar penelitian. Gas LPG dipilih pada penelitian ini untuk memudahkan kontrol pada proses pembakaran. Secara garis besar, alat ini terbagi menjadi tiga bagian, yakni ruang karbonisasi, ruang pembakaran, dan kontrol panel. Ruang karbonisasi merupakan tempat terjadinya proses karbonisasi bahan baku Ruang karbonisasi berada di dalam ruang pembakaran dan memiliki ukuran diameter 23,2 cm dengan tinggi 50 cm. Sedangkan, ruang pembakaran merupakan tabung bagian luar yang menutupi ruang karbonisasi dan ruang bakar yang menjadi satu ruang lingkup. Ruang pembakaran memiliki panjang 45 cm, tinggi 22 cm dan lebar 40,48 cm, jarak sisi kanan dan kiri ruang pembakaran dengan ruang karbonisasi masing-masing 5 cm. Pada bagian atas ruang pembakaran

terdapat termokopel dan *pressure gauge* untuk mengukur temperatur dan tekanan pembakaran. Kontrol panel merupakan bagian yang berfungsi untuk mematikan dan menyalakan alat. Selain itu, kontrol panel digunakan untuk menunjukkan temperatur pada empat zona pembakaran.

Setelah alat dan material penelitian siap, maka dilakukan proses karbonisasi yang disesuaikan dengan variasi kondisi operasi, yakni variasi pada massa bahan baku (4 kg dan 5 kg) serta variasi pada waktu karbonisasi (75 menit, 90 menit, 105 menit, 120 menit, dan 135 menit) pada temperatur konstan 300°C. Setelah didapatkan produk arang, maka hasil karbonisasi ditimbang untuk mendapatkan jumlah rendemen yang dihasilkan.

Setelah itu, analisis dilakukan berdasarkan standar khusus, yaitu SNI 1-1683-1996 untuk arang tempurung kelapa. Pengujian proximate meliputi : kadar air, abu, zat terbang, dan karbon tertambat.

Pengujian kadar zat terbang mengukur jumlah senyawa yang belum menguap selama proses karbonisasi, tetapi baru menguap pada suhu di atas karbonisasi, seperti hidrogen (H), CO, dan CH<sub>4</sub>. Ini juga mengukur kandungan gas yang dapat terkondensasi, seperti tar, pada sejumlah kecil gas yang tidak mudah terbakar, seperti CO<sub>2</sub> (Febryanti & Yulhendra). Untuk menghitung jumlah kadar zat terbang digunakan rumus:

$$\%Zat\ Terbang = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

- W<sub>1</sub> = Berat sampel sebelum pemanasan (gr)
- W<sub>2</sub> = Berat sampel setelah pemanasan (gr)

Kadar air adalah banyaknya kandungan air sampel pada kondisi lapangan. Pada proses pembuatan arang, kadar air dapat direduksi dengan proses pengeringan di bawah sinar matahari terlebih dahulu pada kondisi terik. Kadar air tinggi akan menunjukkan sifat arang yang semakin higroskopis (Hastuti, dkk., 2015). Untuk menentukan jumlah kadar air di arang tempurung kelapa, dilakukan perhitungan kehilangan berat sampel pada pemanasan 105°C – 110°C selama 2 jam. Kadar air dapat dihitung dengan rumus:

$$\%Air = \frac{W_1}{W_2} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

- W<sub>1</sub> = Kehilangan berat sampel (gr)
- W<sub>2</sub> = Berat sampel (gr)

Kadar abu dapat menyebabkan penurunan nilai kalor dan mutu arang. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa kalori yang dikeluarkan sebagai panas digunakan untuk menguraikan sisa mineral. Adanya abu menunjukkan bahwa ada senyawa yang tidak dapat terbakar selama proses pembakaran, seperti oksida-oksida logam yang tidak dapat menguap selama proses karbonisasi. Fraksi anorganik pada arang juga ditunjukkan pada kadar abu (Hastuti, dkk., 2015). Kadar abu dapat dihitung dengan rumus:

$$\%Abu = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

- W = Berat sampel sebelum diabukan (gr)
- W<sub>1</sub> = Berat sampel ditambah cawan sesudah diabukan (gr)
- W<sub>2</sub> = Berat cawan kosong (gr)

Karbon tetap atau *fixed carbon* adalah jumlah komposisi persentase karbon di dalam arang setelah semua zat mudah menguap. Karbon tetap adalah bagian dari fraksi karbon (C) pada semua material selain abu, air, dan zat yang mudah menguap. Semakin banyak karbon tetap yang ada, semakin banyak kalor yang

dihasilkan, sehingga meningkatkan kualitas bahan bakar (Iskandar, dkk., 2019). Kadar karbon tetap dapat dihitung dengan melakukan koreksi terhadap abu dan zat terbang. Untuk menghitung kadar karbon tetap, dilakukan perhitungan:

$$FC = 100 - (A + VM) \% \dots\dots\dots (4)$$

Dimana

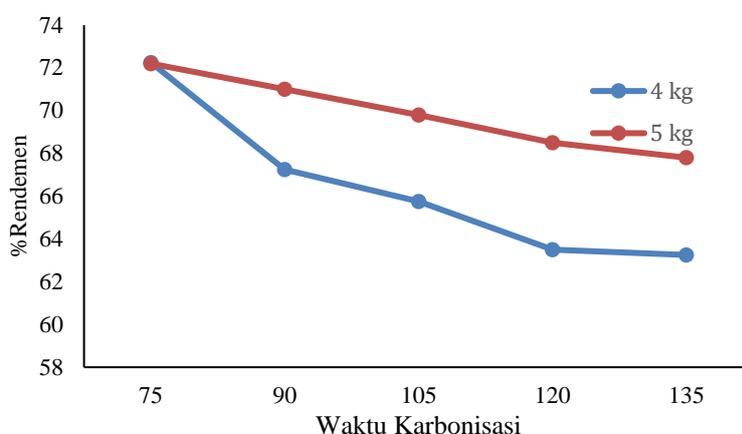
FC = Fixed Carbon (%)

A = Kadar abu (%)

VM = Kadar Zat Terbang/Volatile Matter (%)

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang telah dilakukan tabel 1. Hasil Analisa *Proximate* Produk.



**Gambar 3.** Persentase Rendemen Produk

Dari Gambar 3. Persentase Rendemen Produk diketahui jumlah rendemen terbesar didapatkan pada percobaan dengan massa bahan baku 4 kg dengan waktu karbonisasi 75 menit, yakni 72.25% atau sebesar 2.89 kg sedangkan jumlah rendemen terkecil didapatkan pada percobaan dengan massa bahan baku 4 kg dengan waktu karbonisasi 135 menit, yakni 63.25% atau sebesar 2.53 kg. Dari penelitian ini, menunjukkan bahwa nilai rendemen yang dihasilkan berkorelasi negatif dengan massa bahan baku dan waktu karbonisasi. Ini karena intensitas reaksi antara karbon dengan uap air meningkat selama proses karbonisasi. Akibatnya, jumlah karbon yang bereaksi menjadi H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> meningkat dan jumlah karbon yang dihasilkan menurun (Siahaan, et al., 2013). Dari penelitian yang dilakukan oleh Jaya dan Khair (2020) juga menunjukkan hal yang sama dari tiga variasi waktu pada karbonisasi dengan bahan baku berupa batang kelapa sawit dengan nilai rendemen terendah pada karbonisasi dengan temperatur 350°C dan lama 150 menit. Sedangkan, ukuran bahan baku akan memengaruhi kecepatan proses perpindahan panas. Semakin besar luas permukaan pada proses pemanasan, maka akan semakin cepat proses pemanasan terjadi dan semakin sedikit karbon murni yang tertinggal.

Tabel 1. Hasil Analisa *Proximate* Produk

Massa Bahan Baku Awal (kg)	Waktu Percobaan (menit)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Zat Terbang (%)	Kadar Fix Carbon (%)
<b>SNI 1-1683-1996</b>		<6	<3	<15	
4	75	5.04	1.63	35.58	62.78
4	90	4.81	1.7	33.12	65.17
4	105	4.53	1.94	31.55	66.51
4	120	4.29	2.24	29.79	67.96

Massa Bahan Baku Awal (kg)	Waktu Percobaan (menit)	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Zat Terbang (%)	Kadar Fix Carbon (%)
4	135	3.83	2.54	26.75	70.72
5	75	5.41	1.75	38.08	60.17
5	90	5.26	1.99	35.42	62.59
5	105	5.19	2.08	32.36	65.56
5	120	5.11	2.2	30.85	66.94
5	135	4.22	2.35	30.46	67.19

Dari tabel 1. Hasil Analisa *Proximate* Produk diketahui bahwa data P5 memiliki kadar air terendah 3.83% sedangkan data P6 memiliki nilai kadar air tertinggi 5.41%. Berdasarkan hasil penelitian, seluruh arang yang dihasilkan memenuhi standar kadar air maksimal yang ditetapkan oleh SNI No 1-1683-1996, yaitu tidak melebihi batas 6%. Kadar abu adalah jumlah residu yang tersisa setelah zat-zat yang mudah menguap dalam arang terbakar selama proses pengabuan. Abu yang tersisa bisa mengandung mineral seperti silika, magnesium, kalsium, oksida aluminium, dan oksida besi. Data P5 mengandung nilai abu tertinggi sedangkan P1 mengandung abu terendah. Peningkatan kadar abu ini selaras dengan semakin lama waktu karbonisasi dan semakin rendah massa bahan baku yang digunakan karena menyebabkan semakin banyaknya jumlah bahan baku yang terdekomposisi menjadi abu (Hilwatullisan, 2015). Selain itu, kadar abu juga dipengaruhi oleh jenis bahan baku yang digunakan dalam pembuatan arang (Iskandar, 2017). Mengacu pada SNI No. 1-1683-1996, batas maksimal kadar abu untuk arang tempurung kelapa adalah 3%. Seluruh arang hasil karbonisasi yang dihasilkan dalam penelitian telah memenuhi standar tersebut.

Kadar zat terbang didapatkan setelah melakukan pemanasan produk arang yang dihasilkan selama tujuh menit di suhu 950°C. Kadar zat terbang terendah didapatkan pada data P5 dengan nilai 26.75% dan kadar tertinggi pada data P6 dengan nilai 38.02%. Semakin lama waktu karbonisasi dan rendah massa bahan baku, semakin rendah nilai zat terbang yang dihasilkan. Kadar zat terbang akan menentukan kualitas produk karena berpengaruh pada jumlah asap yang dihasilkan pada proses pembakaran arang. Hal ini juga membuat arang lebih mudah terbakar dan menyala, sehingga laju pembakaran meningkat. Jika laju pembakaran meningkat, maka penggunaan bahan bakar akan menjadi lebih boros (Hasibuan & Pardede, 2023). Kadar zat terbang pada arang tempurung kelapa menurut SNI No 1-1683-1996 batas kadar zat terbang arang maksimal ialah 15%, sehingga seluruh produk arang yang dihasilkan masih belum memenuhi standar yang ditetapkan. Semakin tinggi nilai kadar karbon tertambat maka kualitas dari arang karbon akan semakin baik. Dari penelitian ini, diketahui bahwa nilai kadar karbon tertambat tertinggi ialah pada data P5 sebesar 70.72%, kadar zat terbang 26.75%, kadar air 3.83%, dan kadar abu 2.54%. Nilai kadar karbon arang berbanding terbalik dengan nilai kadar air, abu, dan zat terbang. Fraksi karbon dalam arang, bukan kadar abu, memengaruhi kadar karbon dalam arang. Ini karena kandungan zat ekstraktif pada biomassa berhubungan langsung dengan jumlah energi atau kalor yang dihasilkan (Iskandar, 2017).

## KESIMPULAN

Perubahan jumlah bahan baku selama proses karbonisasi secara signifikan memengaruhi kualitas dan kuantitas arang yang dihasilkan. Peningkatan jumlah bahan baku dan waktu karbonisasi akan menghasilkan lebih banyak arang berkualitas tinggi berdasarkan acuan SNI No. 01-1682-1996 berdasarkan analisa *proximate*. Kadar abu, kadar air, kadar zat terbang akan memengaruhi kualitas arang karena berpengaruh pada kondisi fisik arang saat digunakan/dibakar dan kadar karbon tertambat. Dari penelitian, diketahui bahwa karbonisasi dengan bahan baku terkecil dan waktu karbonisasi yang terlama, yakni pada percobaan dengan bahan baku empat kg dan waktu karbonisasi 135 menit menghasilkan

produk yang memiliki kualitas paling mendekati standard yang berlaku dengan nilai kadar karbon tertambat 70.72%, kadar zat terbang 26.75%, kadar air 3.83%, dan kadar abu 2.54% dengan jumlah rendemen yakni 63.25% atau 2.53 kg. Oleh karena itu, semakin kecil massa bahan baku yang digunakan dan semakin lama waktu karbonisasi, maka akan semakin baik produk arang yang dihasilkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Afrinah, N., Ruslan, R., Suryadi, H. R., Irmawati, Irsyad, A., Jasruddin, & Nurhayati. (2022). Pengaruh Temperatur Karbonisasi Terhadap Karakteristik Briket Berbasis Arang Sekam Padi dan Tempurung Kelapa. *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya*, 9(2), 138-147. doi:10.24252/jft.v9i2.25566
- Christanty, N. A. (2014). Biopellet Cangkang dan Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan.
- Febryanti., & Yulhendra, Dedi. Analisis Penentuan Kualitas Batubara Berdasarkan Uji Proksimat di PT. Pelabuhan Universal Sumatera Kabupaten Muaro Jambi, Provinsi Jambi. *Jurnal Bina Tambang*, 7 (3), 143-150.
- Gobel, A. P., & Arief, A. T. (2021). Pengaruh Karbonisasi Terhadap Karakteristik Tempurung Kelapa Berdasarkan Uji Proksimat dan Nilai Kalor. *Jurnal Mineral, Energi dan Lingkungan*, 5(1), 48-54. Diambil kembali dari <https://jurnal.upnvyk.c.id/index.php/JMEL>
- Hasibuan, R., & Pardede, H. M. (2023). Pengaruh Suhu dan Waktu Pirolisis terhadap Karakteristik Arang dari Tempurung Kelapa. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 12(1), 46-53. doi:10.32734/jtk.v12i1.8534
- Hastuti, N., Pari, G., Setiawan, D., Mahpudin, & Saepuloh. (2015, Desember). Kualitas Arang Enam Jenis Kayu Asal Jawa Barat sebagai Produk Destilasi Kering. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33(4), 337-346. doi:10.20886/jphh.v33i4.934.337-346
- Hilwatullisan. (2015, Juli). Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi dan Serbuk Gergaji Menjadi Briket Sebagai Sumber Energi Alternatif. *Jurnal Kinetika* (5), 1-5.
- Iskandar, N., Nugroho, S., & Feliyana, M. F. (2019, Oktober). Uji Kualitas Produk Briket Arang Tempurung Kelapa Berdasarkan Standar Mutu SNI. *Jurnal Ilmiah Momentum*, 15(2), 103-108.
- Iskandar, T., & Rofiatin, U. (2017, September). Karakteristik Biochar Berdasarkan Jenis Biomassa dan Parameter Proses Pyrolisis. *Jurnal Teknik Kimia*, 12(1), 28-34.
- Jaya, D. D., & Khair, M. (2020). Pembuatan Karbon Aktif melalui Karbonisasi Batang Kelapa Sawit. *Chemistry Journal of State University of Padang*, 9(1), 7-10.
- Negara, D. N., Nindhia, T. G., Surata, I. W., & Sucipta, M. (2016, Oktober). Potensi Bambu Swat (*Gigantochloa verticillata*) Sebagai Material Karbon Aktif untuk Absorbed Natural Gas (ANG). *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 9(2), 174-179. Diambil kembali dari <http://ojs.unud.ac.id/index.php/jem>

- Qistina, I., Sukandar, D., & Trilaksono. (2016, November). Kajian Kualitas Briket Biomassa dari Sekam Padi dan Tempurung Kelapa. *Jurnal Kimia VALENSI: Jurnal Penelitian dan Pembangan Ilmu Kimia*, 2(2), 136-142.
- Siahaan, S., Hutapea, M., & Hasibuan, R. (2013). Penentuan Kondisi Optimum Suhu dan Waktu Karbonisasi pada Pembuatan Arang dari Sekam Padi. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(1), 26-30.
- Siregar, B. (2017, Juli). Analisa Kadar C-Organik dan Perbandingan C/N Tanah di Lahan Tambak Kelurahan Sicanang Kecamatan Medan Belawan. *Jurnal Warta Edisi 53*.
- Soolany, C. (2018, November). Penerapan Teknologi Pembuatan Arang dari Cangkang Kakao Menggunakan Drum Kiln Sebagai Alternatif Bahan Bakar. *RATIH*, 3(2).
- Surono, U. B. (2010). Peningkatan Kualitas Pembakaran Biomassa Limbah Tongkol Jagung sebagai Bahan Bakar Alternatif dengan Proses Karbonisasi dan Pembriketan. *Jurnal Rekayasa Proses*, 4(1), 13-19.
- Wang, J., Dai, Y., & Gao, L. (2009). Exergy Analyses and Parametric Optimizations for Different Cogeneration Power Plants in Cement Industry. *Applied Energy*, 86(6), 941-948.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.09.001>