



# Pengaruh Variasi *Temperature* dan Ukuran Bahan Baku Pada Proses Karbonisasi Menggunakan Metode *Cylinder Retort Kiln* Terhadap Kualitas Arang Tempurung Kelapa

Nabila Eka Putri <sup>a, \*</sup>, Intan Loeniani Putri <sup>a</sup>, Irawan Rusnadi <sup>a</sup>, Ahmad Zikri <sup>a</sup>, Agus manggala <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Teknik Energi, Politeknik Negeri Sriwijaya, Jln Srijaya Negara Bukit Besar, Palembang, 30139, Indonesia

## INFO ARTIKEL

### Riwayat Artikel:

Diterima 2 September 2024

Diterima setelah direvisi 7 Desember 2024

Disetujui 8 Desember 2024

### Kata kunci:

Karbonisasi

*Cylinder Retort Kiln*

Tempurung Kelapa

Arang

Analisa Proksimat

**Abstract-** Biomass is an important renewable energy to be developed in order to overcome the decreasing supply of fossil energy. Charcoal is the result of incomplete combustion of a raw material that can be used as alternative energy. This study aims to develop a charcoal kiln using the cylinder retort kiln method to produce high-quality charcoal with high combustion value and low ash content. Experiments were conducted 10 times with temperature levels of 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, and 400°C and variations in raw materials, namely, 2-4 cm and 4-6 cm. The quality of the resulting product was analyzed based on SNI 1-1682-1996 standards. The best product was **obtained** at a temperature of 400°C and a combustion time of 120 minutes with a variation of raw material size of 2-4 cm, resulting in a water content of 3.17%, ash of 2.74%, fly matter of 22.17%, and carbon tethered 75.08%. The quality of coconut shell charcoal is influenced by the treatment in the carbonization process, the increase in temperature and combustion time for 120 minutes and the size of the raw material affect the proximate analysis of charcoal products. Good quality charcoal can be produced if the water content, ash content, and fly ash content are low, while the tethered carbon content is high.

**Intisari-** Biomassa merupakan energi terbarukan yang penting untuk dikembangkan guna mengatasi berkurangnya persediaan energi fosil. Arang merupakan hasil dari pembakaran tidak sempurna dari suatu bahan baku yang dapat digunakan sebagai energi alternatif. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan tungku bakar arang menggunakan metode *cylinder retort kiln* untuk menghasilkan arang berkualitas tinggi dengan nilai bakar tinggi dan kadar abu rendah. Percobaan dilakukan sebanyak 10 kali dengan tingkat temperatur yaitu 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, dan 400°C serta variasi bahan baku yaitu, 2-4 cm dan 4-6 cm. Kualitas produk yang dihasilkan dianalisis berdasarkan standar SNI 1-1682-1996. Produk terbaik didapat pada temperatur 400°C dan lama waktu pembakaran 120 menit dengan variasi ukuran bahan baku 2-4 cm, menghasilkan kandungan air 3,17%, abu 2,74%, zat terbang 22,17%, dan karbon tertambat 75,08%. Kualitas arang tempurung kelapa dipengaruhi oleh perlakuan dalam proses karbonisasi, kenaikan suhu dan waktu pembakaran selama 120 menit serta ukuran bahan baku memengaruhi analisa proksimat terhadap produk arang. Arang berkualitas baik dapat dihasilkan jika kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbangnya rendah, sementara kadar karbon tertambatnya tinggi.

## 1. Pendahuluan

Penggunaan energi terus meningkat sehingga diperlukan alternatif sumber energi selain bahan bakar fosil. Kenaikan penggunaan energi non-

*renewable* secara terus-menerus menyebabkan kekurangan pasokan energi. Untuk mengatasi masalah ini, pemerintah telah menerapkan kebijakan pengendalian dan pengembangan minyak bumi yang ekstensif serta dorongan untuk inovasi dalam energi alternatif yang dapat diperbarui

\* Corresponding Author:

E-mail: [nabilaekaputri647@gmail.com](mailto:nabilaekaputri647@gmail.com) (Nabila Eka Putri)

[1]. Alternatif yang sering digunakan adalah arang dari tempurung kelapa, yang memiliki beberapa keunggulan. Keunggulan ini meliputi produksi asap yang minim, suhu pembakaran yang tinggi, harga yang relatif murah, serta ketersediaan tempurung kelapa yang melimpah. Di Indonesia, tempurung kelapa merupakan limbah industri dengan nilai jual rendah dan menjadi masalah lingkungan. Namun, tempurung kelapa yang melalui proses karbonisasi dapat diolah menjadi produk bernilai tinggi, seperti karbon aktif dan arang aktif.

Kandungan lignin dan selulosa sangat tinggi sehingga kemampuan perpindahan panasnya juga baik dan sangat cocok dijadikan sebagai bahan bakar. Selain itu, tempurung kelapa tersedia dalam jumlah besar, baik dari hasil pembuangan pertanian maupun dari pembuangan rumah tangga dan sisa industri, namun tidak digunakan dengan optimal. Tempurung kelapa mengandung komponen kimia, antara lain selulosa sebanyak 26,6%; pentosan 27,7%; dan lignin 29,4% [2]. Pemanfaatan arang tempurung kelapa sangat luas. Arang tempurung kelapa sebagai bentuk pengembangan dan pemanfaatan biomassa yang merupakan bahan bakar alternatif atau substitusi (co-firing), dengan kadar carbon tinggi, struktur berpori dan tingginya nilai kalor arang.

Karbonisasi merupakan suatu proses yang menghasilkan karbon hitam dari suatu bahan baku melalui pembakaran tanpa atau minim oksigen [3]. Selama proses ini, zat yang mudah terbakar seperti metana, hidrogen, karbon oksida, asam asetat, formaldehid, dan asamformat, serta zat yang tidak mudah terbakar seperti karbon dioksida dan air akan dilepaskan dari bahan organik. Gas-gas yang dihasilkan selama karbonisasi memiliki nilai kalor tinggi dan dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi dalam proses tersebut [4].

Proses pengarangan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *cylinder retort kiln* yaitu bejana tertutup yang kedap udara sehingga proses pembakaran dilakukan dengan minim oksigen sampai menghasilkan produk berupa padatan karbon. Penggunaan metode ini dianggap lebih efisien dibanding pembuatan arang dengan metode tradisional. Penelitian ini merupakan pengembangan pembuatan tungku bakar arang dengan menggunakan *cylinder retort kiln* yang diharapkan mampu menghasilkan arang dengan kualitas pembakaran yang efisien dengan rendahnya kandungan abu dan tingginya nilai kalor. Sejauh ini, alat pembakaran yang digunakan pada pembuatan arang masih sangat sederhana dengan hanya mementingkan bahan baku terbakar secara keseluruhan tanpa memikirkan banyaknya residu yang dihasilkan. Untuk itu dikembangkan lagi tungku bakar arang yang ramah lingkungan dan tidak banyak menghasilkan residu sehingga jumlah produk yang dihasilkan dapat lebih tinggi dari proses pembakaran dari alat yang sebelumnya.

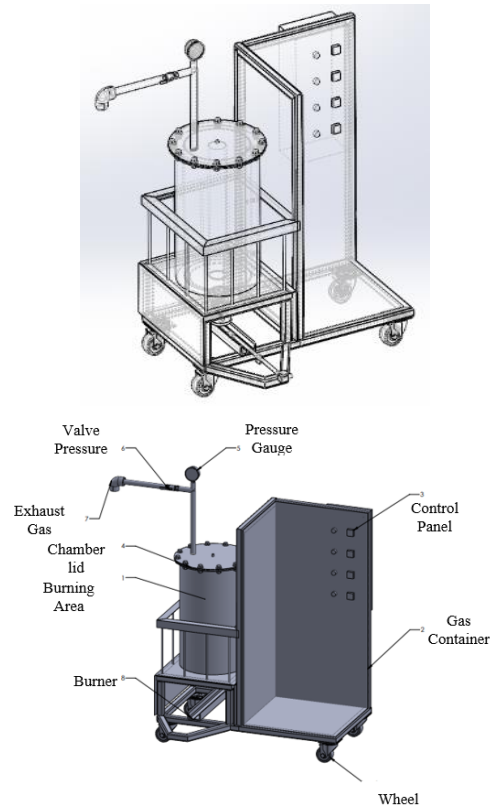
## 2. Metodologi

Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan tungku bakar pembuatan arang dengan pembakaran yang minim oksigen menggunakan sebuah silinder yang disebut retort kiln. Persiapan dan pelaksanaan penelitian dilakukan selama lima bulan, dimulai pada bulan februari 2024 dan berakhir pada juli 2024. Luaran dari penelitian ini adalah sebuah alat karbonisasi dengan metode silinder retort kiln yang dapat diaplikasikan untuk tujuan pembelajaran dan pengembangan ide lainnya.

### 2.1 Material

Bahan baku yang digunakan untuk percobaan ini sebanyak 40 kg tempurung kelapa yang digunakan untuk 10 kali percobaan, setiap satu kali

percobaan menggunakan 4 kg tempurung kelapa. Bahan bakar yang digunakan gas LPG (*liquid petroleum gas*). Satu set alat karbonisasi dengan metode *cylinder retort kiln* yang berkapasitas 7 kg digunakan untuk penelitian ini.



Gambar 1. Set Alat Karbonisasi

### 2.2 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa parameter yang diukur adalah karakteristik produk yang dihasilkan berdasarkan variasi waktu, temperatur dan ukuran bahan baku yang digunakan pada saat produksi. Perlakuan percobaan terhadap temperatur terdiri dari lima tingkatan yaitu 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, dan 400°C serta variasi ukuran bahan baku yaitu 2-4cm dan 4-6cm. Variabel proses yang diamati dan diukur adalah pengaruh tingkat temperatur, lamanya waktu proses pembakaran, dan ukuran bahan baku yang digunakan. Data mentah dari hasil pengukuran dan pengamatan kemudian disusun dalam bentuk tabel dan dianalisis untuk mengetahui kualitas produk arang berdasarkan analisa proksimat sesuai SNI 1-1682-1996.

#### 1. Proses Karbonisasi

Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan arang tempurung kelapa melalui proses pembakaran dengan sedikit udara. Karbonisasi dilakukan menggunakan drum besi yang telah dimodifikasi sebagai tungku karbonisasi, dengan durasi 2-3 jam hingga tempurung kelapa berubah menjadi arang. Durasi 2-3 jam ini ditentukan berdasarkan jumlah tempurung kelapa yang digunakan dalam satu kali proses, yaitu sekitar 4 kg, serta penerapan metode karbonisasi konvensional. Dengan waktu tersebut, proses pembakaran dapat mencapai suhu yang merata, menghasilkan arang tempurung yang memiliki kualitas fisik yang baik.

Arang yang terbentuk berwarna hitam mengkilap dan tetap kokoh secara keseluruhan. Setelah proses 13 karbonisasi selesai, arang didinginkan selama 10-15 menit sebelum sampel siap untuk tahap pengujian di laboratorium.

2. *Moisture Content*

*Moisture* adalah banyaknya air yang terkandung di suatu produk atau bahan baku. Biasanya komposisi kandungan air arang dan briket arang yaitu antara 6-8% dari total keseluruhan komposisi material

$$\%Moisture = \frac{W_1}{W_2} \times 100\% \tag{1}$$

Dimana:

$W_1$  = Massa sampel yang hilang (gr)

$W_2$  = Massa Sampel (gr)

3. *Ash Content*

*Ash content* adalah gabungan komponen anorganik atau mineral yang tersisa dalam suatu produk setelah proses pembakaran. Ini mencakup semua unsur non-organik dalam bahan tersebut. Sumber pangan umumnya mencakup 96% bahan anorganik dan H<sub>2</sub>O, sementara bagian lainnya adalah unsur mineral, yang sering disebut dengan zat organik atau kadar abu [5]

$$\%Ash = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100\% \tag{2}$$

Dimana:

$W_1$  = Massa sampel ditambah cawan sesudah diabukan (gr)

$W_2$  = Massa cawan kosong (gr)

$W$  = Massa sampel sebelum diabukan (gr)

4. *Volatile Matter*

Selain kelembapan, banyak komposisi lainnya yang dapat menguap saat proses dekomposisi berlangsung. Setiap bahan baku arang, memiliki zat volatil yang berbeda-beda, yang dapat menimbulkan lebih banyak asap selama proses pembakaran. Dengan kata lain, asap dari arang ini merupakan gas CO yang tidak diinginkan. Cara lain untuk mengurangi zat volatil ini adalah salah satunya dari kualitas proses karbonisasi. Semakin tinggi suhu di dalam oven atau klin selama karbonisasi, zat yang mudah menguap ini akan semakin rendah [5]. Untuk Standar Nasional Indonesia (SNI), nilai zat volatil maksimum adalah 15%.

$$\%VM = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \tag{3}$$

Keterangan:

$W_1$  = Massa sebelum pemanasan (gr)

$W_2$  = Massa setelah pemanasan (gr)

5. *Karbon Tetap*

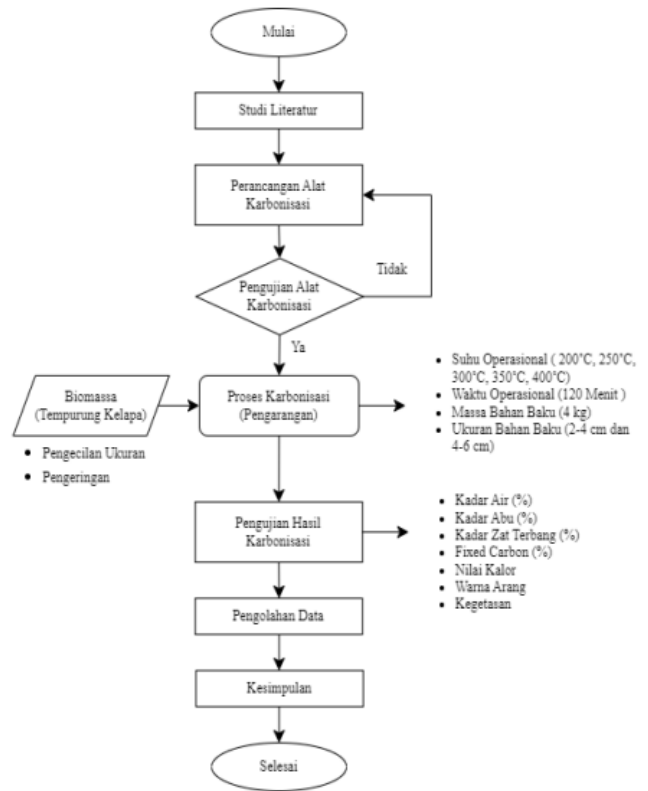
Karbon tetap mengacu pada persentase karbon dalam arang setelah semua zat yang mudah menguap dihilangkan. Kandungan karbon tetap yang lebih tinggi menghasilkan nilai kalori yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan kualitas bahan bakar [6].

$$\%FC = 100 - (A + VM) \% \tag{4}$$

6. *Analisa Fisik Arang*

Pada umumnya, arang dianggap berkualitas tinggi jika memiliki warna hitam merata dan mengkilap serta bebas dari sisa abu. Ujung arang jika dipecahkan harus bersinar, dan ketika arang dijatuhkan di lantai akan berbunyi dentingan [7].

2.3 *Flowchart Penelitian*



Gambar 2. *Flowchart Penelitian*

3. *Analisa*

Hasil penelitian yang telah dilakukan maka didapat jumlah dan persentase rendemen arang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Arang dan Persentase Rendemen Arang

Ukuran Bahan Baku (cm)	Temperatur (°C)	Arang (kg)	Arang Setengah Matang (kg)	Rendemen Arang (%)	Rendemen Total (%)
2-4	200	1.49	1.41	37.25	72.50
	250	1.69	1.06	42.25	68.75
	300	1.83	0.71	45.75	63.50
	350	1.86	0.64	46.50	62.50
	400	1.90	0.54	47.50	61.00
4-6	200	1.43	1.56	35.75	74.75
	250	1.56	1.31	39	71.75
	300	1.64	1.07	41	67.75
	350	1.75	0.93	43.75	67.00
	400	1.79	0.73	44.75	63.00

Dapat dilihat bahwa persentase rendemen arang tertinggi didapat pada percobaan dengan temperatur 400°C dengan ukuran bahan baku 2-4 cm, mencapai 47.5%, sedangkan rendemen terendah didapat pada temperatur 200°C dengan ukuran bahan baku 4-6 cm, yaitu 35.75% dengan durasi pembakaran 120 menit. Semakin tinggi temperatur dan semakin kecil ukuran bahan baku, akan meningkatkan nilai rendemen arang yang dihasilkan. Penyebabnya adalah karena reaksi antara karbon dengan uap air meningkat seiring dengan kenaikan temperatur dan waktu karbonisasi, yang mengakibatkan produksi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> yang lebih besar, sementara jumlah karbon yang bereaksi menjadi lebih sedikit [8]

3.1. Pengaruh Temperatur dan Ukuran Bahan Baku Terhadap Kualitas Arang Berdasarkan Analisis Proksimat



Gambar 3. Analisa Proksimat Arang Tempurung Kelapa

Kandungan air pada produk arang ini cenderung menurun seiring dengan peningkatan suhu dan penggunaan bahan baku yang lebih kecil ukurannya. Semakin kecil kadar air yang tersisa menunjukkan kemampuan alat set karbonisasi dalam melakukan proses pemanasan dan menguapkan air yang ada pada bahan baku [9]. Kadar air tertinggi didapat pada percobaan dengan ukuran bahan baku 4-6 cm dan temperatur 200°C sebesar 6.03% dan terendah pada percobaan dengan ukuran bahan baku 2-4 cm dan temperatur 400°C sebesar 3.17%. Berdasarkan hasil penelitian, maka seluruh arang karbonisasi yang dihasilkan telah memenuhi kadar maksimal %air menurut SNI 01-1682-1996 dengan nilai maksimal 6%.

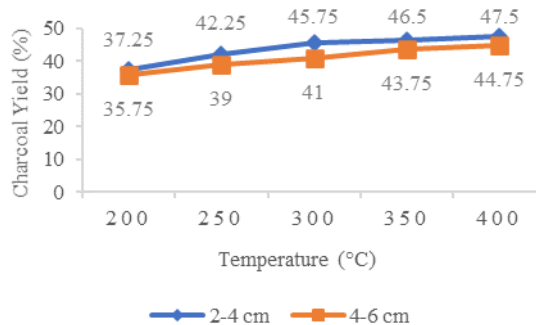
Kadar abu merupakan banyaknya residu yang tersisa setelah bahan yang mengandung arang terbakar pada proses pembakaran. Abu ini bisa terdiri dari mineral seperti silika, oksida aluminium, oksida besi, magnesium, serta kalsium. Dari gambar 3 diketahui bahwa kadar abu tertinggi ditemukan pada percobaan dengan ukuran bahan baku 2-4 cm dan suhu 400°C selama 120 menit, mencapai 2,74%, sementara kadar abu terendah terjadi pada percobaan dengan ukuran bahan baku yang sama namun suhu 200°C, dengan kadar 1,68%. Menurut Standar Nasional Indonesia No 1-1682-1996, batas maksimum kadar abu yang diperbolehkan untuk arang tempurung kelapa adalah 3%. Hasil karbonisasi semua arang dalam penelitian ini memenuhi SNI yang ditetapkan. Selain temperatur dan ukuran bahan baku, jenis dan

kandungan bahan baku yang digunakan juga mempengaruhi kadar abu yang dihasilkan [10].

Nilai kadar zat terbang dari arang yang dihasilkan dapat ditentukan dengan memanaskan produk arang pada suhu 950°C selama 7 menit. Pengujian ini penting untuk mengevaluasi kualitas proses karbonisasi. Semakin tinggi suhu dan semakin kecil ukuran bahan baku, jumlah zat yang mudah menguap yang terbang akan bertambah. Oleh karena itu, nilai kadar zat terbang akan semakin kecil ketika suhu dan ukuran bahan baku ditingkatkan [11]. Kadar zat terbang juga berfungsi sebagai indikator jumlah asap yang dihasilkan selama pembakaran. Semakin tinggi kadar zat terbang dalam bahan bakar, semakin banyak asap yang dihasilkan [12]. Kadar zat terbang terendah terjadi pada percobaan dengan ukuran bahan baku 2-4 cm dan suhu 400°C selama 120 menit, yaitu sebesar 22.17%, sementara kadar tertinggi ditemukan pada percobaan dengan ukuran bahan baku 4-6 cm dan suhu 200°C selama 120 menit, mencapai 42.02%. Menurut Standar Nasional Indonesia No 1-1682-1996, batas maksimum kadar zat terbang yang diizinkan untuk arang tempurung kelapa adalah 15%. Dan dapat disimpulkan bahwa produk arang yang dihasilkan belum memenuhi SNI.

Semakin tinggi kadar karbon tertambat dalam arang karbon, semakin baik kualitasnya. Nilai kadar karbon tertinggi tercatat pada percobaan dengan ukuran bahan baku 2-4 cm dan suhu 400°C, mencapai 75.08%. Kadar karbon ini akan berkurang seiring dengan peningkatan *moisture content*, *volatile matter*, dan *ash content*. *Fixed carbon* mengacu pada jumlah fraksi karbon yang ada dalam biochar, yang tidak termasuk dalam kadar abu. Oleh karena itu, biomassa yang mengandung zat ekstraktif akan mempengaruhi kandungan karbon pada arang [10].

3.2. Pengaruh Temperatur dan Ukuran Bahan Baku Terhadap Rendemen Arang yang Dihasilkan



Gambar 4. Rendemen Arang

Persentase rendemen arang tertinggi didapat pada percobaan dengan temperatur 400°C dengan ukuran bahan baku 2-4 cm, mencapai 47.5%, sedangkan rendemen terendah didapat pada temperatur 200°C dengan ukuran bahan baku 4-6 cm, yaitu 35.75%. Dari grafik dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur dan semakin kecil ukuran bahan baku dalam pembakaran selama 120 menit, akan meningkatkan nilai rendemen arang yang dihasilkan. Penyebabnya adalah karena reaksi antara karbon dengan uap air meningkat seiring dengan kenaikan temperatur dan waktu karbonisasi, yang mengakibatkan produksi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> yang lebih besar, sementara jumlah karbon yang bereaksi menjadi lebih sedikit [8].

4. Simpulan

1. Penurunan temperatur karbonisasi berpengaruh signifikan terhadap kualitas arang tempurung kelapa sesuai dengan standar SNI No 1-1682-1996. Semakin tinggi suhu, kualitas arang yang dihasilkan semakin baik. Ini disebabkan oleh peningkatan nilai karbon tertambat yang terjadi seiring dengan penurunan kadar zat terbang dan kadar air dalam arang.

2. Ukuran partikel bahan baku juga merupakan faktor penting dalam proses karbonisasi. Variasi ukuran bahan baku yang digunakan dalam penelitian, yaitu 2-4 cm dan 4-6 cm, menunjukkan bahwa penggunaan bahan baku dengan ukuran lebih kecil menghasilkan arang dengan kualitas lebih baik dan rendemen yang lebih tinggi dibandingkan dengan ukuran bahan baku yang lebih besar
3. Pada proses karbonisasi yang dilakukan, didapatkan hasil terbaik pada percobaan adalah di ukuran bahan baku 2-4 cm dengan waktu pemanasan 120 menit pada temperatur 400°C, rendemen arang yang dihasilkan sebesar 47.5%. Analisa proksimat produk yaitu nilai kadar air yang dihasilkan 3,17%, kadar abu 2,74%, kadar zat terbang 22,17%, dan kadar karbon tertambat 75,08%, Arang berwarna hitam mengkilap dan getas ketika dipatahkan. Arang yang dihasilkan telah memenuhi SNI 01-1682-1996, hanya kadar volatile matternya yang masih terlalu tinggi jika dibandingkan dengan standar nasional Indonesia yang maksimal 15%

Pyrolysis terhadap Karakteristik Arang dari Tempurung Kelapa Effect of Pyrolysis Temperature and Time on Characteristics of Coconut Shell Charcoal," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 12, no. 1, pp. 46–53, 2023.

## Referensi

- [1] C. Soolany and F. Fadly, "Rancang Bangun Dan Uji Kinerja Tungku Drum Kiln Pada Proses Produksi Arang Kulit Durian Sebagai Alternatif Bahan Bakar," *AME (Aplikasi Mek. dan Energi) J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, p. 34, 2020, doi: 10.32832/ame.v6i2.3259.
- [2] N. Tumbel, A. K. Makalalag, and S. Manurung, "Proses Pengolahan Arang Tempurung Kelapa Menggunakan Tungku Pembakaran Termodifikasi," *J. Penelit. Teknol. Ind.*, vol. 11, no. 2, pp. 83–92, 2019.
- [3] A. P. Gobel and A. T. Arief, "Pengaruh Karbonisasi Terhadap Karakteristik Tempurung Kelapa Berdasarkan Uji Proksimat Dan Nilai Kalor," *J. Miner. Energi, dan Lingkungan.*, vol. 5, no. 1, p. 48, 2022, doi: 10.31315/jmel.v5i1.5370.
- [4] A. Y. Nasution, F. Hiro, and L. Tarigan, "Analisa Desain Kompor Biomassa Berbahan Bakar Tempurung Kelapa Menggunakan Ansys," *Dinamis*, vol. 10, no. 1, pp. 22–29, 2022, doi: 10.32734/dinamis.v10i1.9072.
- [5] N. Afrianah *et al.*, "Pengaruh Temperatur Karbonisasi Terhadap Karakteristik Briket Berbasis Arang Sekam Padi Dan Tempurung Kelapa," *JFT J. Fis. dan Ter.*, vol. 9, no. 2, pp. 138–147, 2023, doi: 10.24252/jft.v9i2.25566.
- [6] N. Iskandar, S. Nugroho, and M. F. Feliyana, "Uji Kualitas Produk Briket Arang Tempurung Kelapa Berdasarkan Standar Mutu Sni," *J. Ilm. Momentum*, vol. 15, no. 2, 2019, doi: 10.36499/jim.v15i2.3073.
- [7] D. Suharlani, B. Dharma, S. Suherman, and M. Harahap, "Analisa Pengaruh Waktu Inisiasi Pembakaran Terhadap Karakteristik Arang Tempurung Kelapa Menggunakan Alat Tungku Minim Asap dengan Sistem Konsentrasi Asap," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 18, no. 2, p. 253, 2023, doi: 10.32497/jrm.v18i2.4704.
- [8] Satriyani Siahaan, Melvha Hutapea, and Rosdanelli Hasibuan, "Penentuan Kondisi Optimum Suhu Dan Waktu Karbonisasi Pada Pembuatan Arang Dari Sekam Padi," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 2, no. 1, pp. 26–30, 2013, doi: 10.32734/jtk.v2i1.1423.
- [9] Y. B. Yokasing, E. T. Kosat, A. Abdullah, and A. Pangalinan, "Rancang Bangun Teknologi Pembuatan Arang Tempurung Kelapa Cacahan Design And Technology Development To Made Shredded The Chopped of Coconut Shell," vol. 3, no. 2, pp. 6–11, 2020.
- [10] T. Iskandar and U. Rofiatin, "Karakteristik Biochar Berdasarkan Jenis Biomassa Dan Parameter Proses Pyrolysis," *J. Tek. Kim.*, vol. 12, no. 1, pp. 28–34, 2017, doi: 10.33005/tekkim.v12i1.843.
- [11] L. G. G. Mulyana Utami, N. L. Yulianti, and I. P. S. Wirawan, "Karakteristik Briket Berbahan Baku Kulit Kopi dengan Variasi Suhu dan Lama Waktu Pengarangan yang Berbeda," *J. BETA (Biosistem dan Tek. Pertanian)*, vol. 10, no. 2, p. 364, 2021, doi: 10.24843/jbeta.2022.v10.i02.p19.
- [12] R. Hasibuan and H. M. Pardede, "Pengaruh Suhu dan Waktu