JURNAL REDOKS: Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia Vol.9 No.2 Tahun 2026
https://jurnal.stkipbima.ac.id/index.php/RE/ e-ISSN:2614-7300 p- ISSN:2685-5402

Pengaruh Waktu terhadap Karakteristik Fisikokimia Arang Tempurung Kelapa Hasil Pirolisis

Melvin Emil Simanjuntak[1*], Jandri Fan H. T. Saragi[1], Prisca Caesa Moneteringtyas[2] Berta Br. Ginting[3] Positron Bangun[1]

[1]Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, 20155, Medan, Indonesia
[2]Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, 20155, Medan, Indonesia
[3]Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, 20155, Medan, Indonesia
E-mail: melvinsimanjuntak@polmed.ac.id

Article Info

Article History
Received: 2026-11-05
Revised: 2026-11-09
Published: 2026-11-14

Keywords:
coconut shell charcoal, pyrolysis, pyrolysis time, moisture content, ash content.

Abstract

ABSTRACT
Coconut shell is a biomass with potential as a raw material for charcoal production through pyrolysis. Pyrolysis time is one of the operating parameters that may influence the characteristics of the resulting product. This study aimed to analyze the effect of pyrolysis time on the physicochemical characteristics of coconut shell charcoal, particularly its moisture and ash contents. Pyrolysis was conducted at an operating temperature of 400 °C with variations in processing time of 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, and 300 minutes. The resulting charcoal was characterized based on its moisture and ash contents. The results showed that moisture content decreased from 3.5% at 30 minutes to 1.5% at 210 minutes and remained relatively constant up to 300 minutes. In contrast, ash content increased from 1.2% to 2.7% over the observation period. Both parameters exhibited relatively stable trends within the 210–300-minute range. The decrease in moisture content indicates a reduction in water retained in the charcoal, whereas the increase in ash content is associated with a higher relative proportion of inorganic residues as organic components decompose during pyrolysis. These findings indicate that pyrolysis time is associated with changes in the physicochemical characteristics of coconut shell charcoal, particularly its moisture and ash contents.

Artikel Info

Sejarah Artikel
Diterima: 2026-11-05
Direvisi: 2026-11-09
Dipublikasi: 2026-11-14

Kata kunci:
arang tempurung kelapa, pirolisis, waktu pirolisis, kadar air, kadar abu

Abstrak

ABSTRAK
Tempurung kelapa merupakan biomassa yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi arang melalui proses pirolisis. Waktu pirolisis menjadi salah satu parameter yang dapat memengaruhi karakteristik produk yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh waktu pirolisis terhadap karakteristik fisikokimia arang tempurung kelapa berdasarkan parameter kadar air dan kadar abu. Proses pirolisis dilakukan pada suhu operasi 400 °C dengan variasi waktu 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, dan 300 menit. Karakteristik produk dianalisis berdasarkan perubahan kadar air dan kadar abu pada setiap variasi waktu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air mengalami penurunan dari 3,5% pada waktu 30 menit menjadi 1,5% pada waktu 210 menit, kemudian relatif stabil hingga 300 menit. Sebaliknya, kadar abu meningkat dari 1,2% menjadi 2,7% selama rentang waktu pengamatan. Kecenderungan stabil pada kedua parameter mulai terlihat pada rentang waktu 210–300 menit. Penurunan kadar air menunjukkan berkurangnya kandungan air dalam produk, sedangkan peningkatan kadar abu berkaitan dengan meningkatnya proporsi residu anorganik akibat penguraian komponen organik selama proses pirolisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu pirolisis berkaitan dengan perubahan karakteristik fisikokimia arang tempurung kelapa, khususnya kadar air dan kadar abu.

PENDAHULUAN

1. PENDAHULUAN

Tempurung kelapa merupakan salah satu biomassa lignoselulosa yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan arang melalui proses termokimia (Kabir Ahmad et al., 2022) . Ketersediaan tempurung kelapa sebagai hasil samping kegiatan pengolahan kelapa memberikan peluang untuk meningkatkan nilai tambah biomassa yang sebelumnya belum dimanfaatkan secara optimal. Salah satu metode pengolahannya adalah pirolisis, yaitu proses dekomposisi termal bahan organik pada kondisi terbatas oksigen atau tanpa oksigen(Jiang et al., 2024) . Melalui proses tersebut, biomassa dapat dikonversi menjadi produk padat berupa arang, produk cair, dan gas yang memiliki potensi pemanfaatan lebih lanjut (Nair et al., 2022) .

Arang tempurung kelapa memiliki potensi penggunaan sebagai bahan bakar padat maupun bahan baku untuk pembuatan produk berbasis karbon (Yirijor & Bere, 2024) . Kualitas arang yang dihasilkan dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku dan kondisi operasi pirolisis, antara lain suhu, waktu tinggal, ukuran partikel, serta kondisi perpindahan panas selama proses berlangsung (Shahrun et al., 2024) . Pongsa et al., (2023) melaporkan bahwa perubahan suhu dan waktu pirolisis memengaruhi karakteristik arang tempurung kelapa, termasuk kadar air, kadar abu, dan nilai kalor. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa peningkatan waktu tinggal cenderung menurunkan kadar air dan meningkatkan kadar abu arang. Hal ini menunjukkan bahwa waktu pirolisis merupakan salah satu parameter penting yang perlu diperhatikan dalam proses produksi arang(Nisa et al., 2024) .

Dua parameter yang dapat digunakan untuk mengevaluasi karakteristik arang adalah kadar air dan kadar abu (Li et al., 2023) . Kadar air menggambarkan jumlah air yang terkandung dalam produk arang, sedangkan kadar abu menunjukkan fraksi residu anorganik yang tertinggal setelah pembakaran sampel pada kondisi pengujian tertentu. Kadar air yang rendah umumnya diharapkan pada produk arang karena kandungan air dapat memengaruhi karakteristik pembakaran dan kualitas penyimpanan. Sementara itu, kadar abu berkaitan dengan kandungan mineral dalam bahan dan dapat memengaruhi pemanfaatan arang, khususnya apabila digunakan sebagai bahan bakar (Rudiyanto et al., 2023) . Oleh karena itu, pengamatan terhadap kedua parameter tersebut diperlukan untuk memahami perubahan karakteristik arang selama proses pirolisis (Abubakar, 2023) .

Penelitian mengenai pengaruh waktu dan suhu pirolisis terhadap karakteristik arang tempurung kelapa telah dilakukan oleh Hasibuan & Pardede, (2023) . Penelitian tersebut mengevaluasi beberapa parameter kualitas arang, meliputi rendemen, kadar air, kadar abu, zat terbang, dan nilai kalor, serta menggunakan analisis regresi linear berganda dan interpolasi polinomial Lagrange. Pada kondisi 450 °C selama 3 jam, penelitian tersebut memperoleh kadar air sebesar 2,75% dan kadar abu sebesar 2,70%. Meskipun demikian, karakteristik produk arang juga dapat dipengaruhi oleh konfigurasi reaktor dan kondisi operasi yang digunakan (Alfiana Adhitasari et al., 2025) . Dengan demikian, pengamatan terhadap perubahan karakteristik produk pada kondisi operasi tertentu tetap diperlukan untuk memperoleh informasi yang relevan dengan sistem pirolisis yang digunakan.

Penelitian sebelumnya oleh Simanjuntak et al., (2024) telah membahas fabrikasi dan evaluasi eksperimental reaktor pirolisis skala kecil untuk produksi arang tempurung kelapa pada suhu operasi 400 °C dengan pengamatan waktu hingga 300 menit. Penelitian tersebut berfokus pada perubahan rendemen, densitas curah, dan karakteristik visual arang selama

proses pirolisis. Hasilnya menunjukkan adanya perubahan karakteristik produk seiring bertambahnya waktu proses, dengan kecenderungan stabil setelah 210 menit. Namun, pembahasan mengenai perubahan kadar air dan kadar abu sebagai parameter karakteristik fisikokimia produk belum menjadi fokus utama dalam artikel tersebut.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh waktu pirolisis terhadap karakteristik fisikokimia arang tempurung kelapa, khususnya berdasarkan parameter kadar air dan kadar abu. Pengamatan dilakukan pada rentang waktu 30–300 menit dengan interval 30 menit pada kondisi operasi yang digunakan dalam penelitian. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai perubahan kedua parameter tersebut selama proses pirolisis serta menjadi bahan pertimbangan dalam mengevaluasi karakteristik arang tempurung kelapa yang dihasilkan pada reaktor skala kecil.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu pirolisis terhadap karakteristik fisikokimia arang tempurung kelapa. Proses pirolisis dilakukan menggunakan reaktor skala kecil pada temperatur operasi sekitar 400 °C dengan variasi waktu 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, dan 300 menit.

Subjek penelitian berupa arang yang dihasilkan dari proses pirolisis tempurung kelapa pada masing-masing variasi waktu. Bahan baku yang digunakan adalah tempurung kelapa, sedangkan peralatan utama meliputi reaktor pirolisis skala kecil, sumber pemanas, termokopel, timbangan digital, oven pengering, furnace, desikator, dan peralatan pendukung untuk preparasi serta karakterisasi sampel.

Pengumpulan data dilakukan melalui proses pirolisis dan pengujian karakteristik produk arang. Proses pirolisis diawali dengan memasukkan tempurung kelapa ke dalam reaktor, kemudian dilakukan pemanasan hingga mencapai temperatur operasi sekitar 400 °C (Afrianah et al., 2023) . Proses karbonisasi dilakukan dengan variasi waktu 30–300 menit. Selama proses berlangsung, perubahan kondisi bahan baku diamati secara visual dan produk arang yang dihasilkan pada setiap variasi waktu digunakan sebagai sampel pengujian.

Karakteristik fisikokimia arang dianalisis berdasarkan beberapa parameter, yaitu rendemen, densitas curah (*bulk density*), kadar air, dan kadar abu. Rendemen ditentukan berdasarkan perbandingan massa arang yang dihasilkan terhadap massa awal bahan baku (Daffa Fadlurrahman et al., n.d.) . Densitas curah dihitung berdasarkan perbandingan massa arang terhadap volume curahnya. Kadar air ditentukan melalui metode gravimetri berdasarkan kehilangan massa sampel setelah proses pengeringan, sedangkan kadar abu ditentukan berdasarkan persentase residu anorganik yang tersisa setelah proses pengabuan sampel.

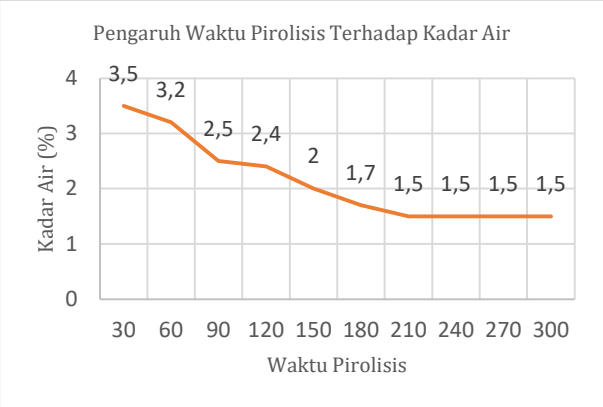
Data hasil penelitian dianalisis secara deskriptif dan kuantitatif untuk mengetahui perubahan karakteristik arang pada setiap variasi waktu pirolisis. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai masing-masing parameter terhadap waktu proses (Wijitkosum, 2023) . Data selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk menggambarkan kecenderungan perubahan kadar air, kadar abu, rendemen, dan densitas curah selama proses pirolisis. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan berdasarkan perubahan karakteristik bahan selama proses karbonisasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Waktu Pirolisis terhadap Kadar Air Arang Tempurung Kelapa

Kadar air merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan karakteristik arang karena berkaitan dengan jumlah air yang terkandung dalam produk hasil pirolisis. Kadar air yang lebih rendah menunjukkan bahwa sebagian besar kandungan air dalam bahan telah teruapkan selama proses pemanasan.

Berdasarkan hasil pengujian, kadar air arang tempurung kelapa mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu pirolisis, seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Kadar Air

Pada waktu 30 menit, kadar air tercatat sebesar 3,5%, kemudian menurun menjadi 3,2% pada 60 menit dan 2,5% pada 90 menit. Penurunan berlanjut hingga mencapai 1,7% pada waktu 180 menit. Selanjutnya, kadar air relatif konstan pada nilai 1,5% selama waktu pirolisis 210–300 menit.

Penurunan kadar air dari 3,5% menjadi 1,5% menunjukkan pengurangan sebesar 2,0 poin persentase atau sekitar 57,14% dari nilai awal. Perubahan tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan waktu pemanasan berkontribusi terhadap penurunan kandungan air dalam arang. Pada tahap awal, panas yang diberikan memungkinkan penguapan air yang masih tertahan dalam pori-pori bahan. Seiring berlangsungnya proses pirolisis, air dan senyawa volatil lainnya semakin banyak terlepas dari struktur biomassa (Jamilatun et al., 2021) .

Kecenderungan tersebut sejalan dengan penelitian (Ahmad & Sulaiman, (2021), yang melaporkan bahwa peningkatan waktu tinggal selama karbonisasi tempurung kelapa menyebabkan penurunan kadar air arang. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa kondisi operasi pirolisis memengaruhi karakteristik akhir arang yang dihasilkan.

Kadar air yang relatif stabil pada rentang 210–300 menit menunjukkan bahwa perubahan parameter ini semakin kecil setelah waktu pirolisis tertentu. Dalam kondisi penelitian ini, kestabilan tersebut mulai terlihat pada menit ke-210. Namun, kondisi tersebut belum dapat langsung diartikan bahwa seluruh proses pirolisis telah selesai karena kadar air hanya menggambarkan salah satu karakteristik produk (Ahmad et al., 2023) .

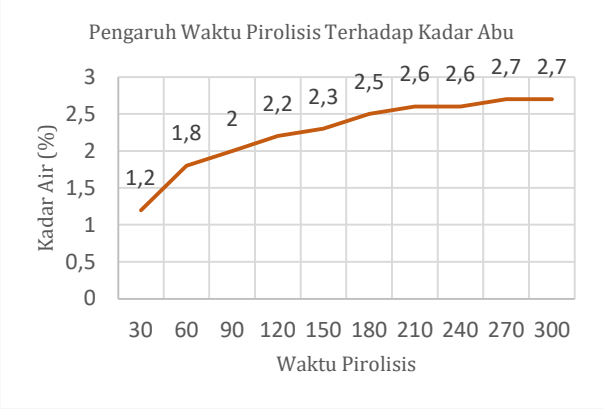
Pengaruh Waktu Pirolisis terhadap Kadar Abu Arang Tempurung Kelapa

Kadar abu menunjukkan fraksi residu anorganik yang tertinggal setelah sampel mengalami pembakaran pada kondisi pengujian tertentu(Agrizzi et al., 2024) . Parameter ini dapat digunakan untuk menggambarkan proporsi material mineral yang terdapat dalam arang.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar abu meningkat seiring dengan bertambahnya waktu pirolisis, seperti terlihat pada Gambar 2.

Pada waktu 30 menit, kadar abu tercatat sebesar 1,2%. Nilai tersebut meningkat menjadi 1,8% pada 60 menit, kemudian mencapai 2,0% pada 90 menit dan 2,5% pada 180 menit. Pada waktu 210 menit, kadar abu mencapai 2,6%, kemudian relatif stabil pada kisaran 2,6–2,7% hingga waktu 300 menit.

Secara keseluruhan, kadar abu meningkat sebesar 1,5 poin persentase, yaitu dari 1,2% menjadi 2,7%. Peningkatan persentase kadar abu tersebut dapat dijelaskan melalui perubahan komposisi relatif bahan selama proses pirolisis. Pemanasan menyebabkan sebagian komponen organik biomassa terurai dan terlepas dalam bentuk uap maupun gas. Akibatnya, fraksi residu anorganik menjadi lebih dominan secara proporsional dalam massa arang yang tersisa.



Gambar 2. Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Kadar Abu

Dengan demikian, peningkatan kadar abu tidak selalu menunjukkan bahwa jumlah absolut mineral dalam sampel bertambah. Peningkatan tersebut dapat terjadi karena massa komponen organik berkurang selama proses pirolisis, sehingga proporsi residu anorganik terhadap massa total arang menjadi lebih besar.

Hasil ini memiliki kecenderungan yang sama dengan penelitian Ahmad et al. (2020), yang melaporkan peningkatan kadar abu arang tempurung kelapa seiring bertambahnya waktu tinggal pirolisis. Hasibuan dan Pardede (2023) juga melaporkan kadar abu sebesar 2,70% pada arang tempurung kelapa yang diproduksi pada suhu 450 °C selama 3 jam. Meskipun demikian, perbandingan nilai tersebut perlu mempertimbangkan perbedaan suhu, waktu, dan kondisi proses yang digunakan dalam masing-masing penelitian.

Kadar abu mulai menunjukkan perubahan yang relatif kecil pada rentang waktu 210–300 menit. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan komposisi relatif residu anorganik pada produk semakin terbatas selama rentang waktu tersebut. Akan tetapi, diperlukan pengujian parameter lain, seperti zat terbang dan karbon terikat, untuk memperoleh gambaran yang lebih menyeluruh mengenai tingkat karbonisasi arang.

Hubungan Kadar Air dan Kadar Abu terhadap Waktu Pirolisis

Secara umum, hasil pengujian memperlihatkan hubungan yang berlawanan antara kadar air dan kadar abu selama proses pirolisis. Kadar air mengalami penurunan, sedangkan kadar abu menunjukkan peningkatan. Kedua parameter tersebut kemudian memperlihatkan kecenderungan stabil pada waktu pirolisis 210–300 menit.

Kecenderungan ini memperlihatkan bahwa waktu pirolisis berhubungan dengan perubahan karakteristik fisikokimia arang tempurung kelapa. Penurunan kadar air menunjukkan berkurangnya kandungan air dalam produk, sedangkan peningkatan kadar abu menunjukkan meningkatnya proporsi residu anorganik terhadap massa produk.

Berdasarkan kedua parameter tersebut, rentang waktu 210–300 menit dapat diidentifikasi sebagai rentang ketika perubahan kadar air dan kadar abu relatif kecil. Namun, penentuan waktu pirolisis optimum tidak dapat hanya didasarkan pada kedua parameter ini. Penentuan kondisi optimum perlu mempertimbangkan parameter lain, terutama rendemen arang, kadar zat terbang, karbon terikat, dan nilai kalor sesuai dengan tujuan pemanfaatan produk.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh waktu terhadap karakteristik fisikokimia arang tempurung kelapa hasil pirolisis, dapat disimpulkan bahwa waktu pirolisis menunjukkan kecenderungan memengaruhi kadar air arang tempurung kelapa. Kadar air menurun dari 3,5% pada waktu 30 menit menjadi 1,5% pada waktu 210 menit, kemudian relatif stabil hingga waktu 300 menit. Kadar abu arang tempurung kelapa mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu pirolisis, yaitu dari 1,2% pada waktu 30 menit menjadi 2,7% pada waktu 300 menit. Peningkatan ini menunjukkan bertambahnya proporsi residu anorganik dalam produk arang akibat berkurangnya komponen organik selama proses pirolisis. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa waktu pirolisis merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam pengendalian karakteristik fisikokimia arang tempurung kelapa.

DAFTAR PUSTAKA

Abubakar, I. (2023). Production and Characterization of Biochar Produced from Batch Slow Pyrolysis of Millet Straw. *International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology*, *16*(4). https://doi.org/10.30954/0974-1712.04.2023.4

Afrianah, N., Ruslan, R., Suryadi, H. R., Amir, I., Irsyad, A., Jasruddin, & Nurhayati. (2023). Pengaruh Temperatur Karbonisasi Terhadap Karakteristik Briket Berbasis Arang Sekam Padi Dan Tempurung Kelapa. *JFT: Jurnal Fisika Dan Terapannya*, *9*(2), 138–147. https://doi.org/10.24252/jft.v9i2.25566

Agrizzi, T., Oliveira, M. A., Faria, E. V., Santos, K. G., Xavier, T. P., & Lira, T. S. (2024). Assessing coconut shell pyrolysis: Biomass characterization, activation energy estimation, and statistical analysis of operating conditions. *Bioresource Technology Reports*, *26*. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2024.101831

Ahmad, R. K., & Sulaiman, S. A. (2021). Carbonization of Coconut Shell Biomass in a Downdraft Reactor: Effect of Temperature on the Charcoal Properties. *Sains Malaysiana*, *50*(12), 3705–3717. https://doi.org/10.17576/jsm-2021-5012-20

Ahmad, R. K., Sulaiman, S. A., Majid, A. M. B. A., Yusuf, S., Dol, S. S., Inayat, M., & Umar, H. A. (2023). Assessing the Technical and Environmental Potential of Coconut Shell Biomass: Experimental Study through Pyrolysis and Gasification. *Evergreen*, *10*(1), 585–593. https://doi.org/10.5109/6782165

Alfiana Adhitasari, Rintis Manfaati, Yusmardhany Yusuf, & Heni Anggorowati. (2025). The Effect of Carbonization Time on The Quality Coconut Shell and Melinjo Shell Briquettes. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, *14*(1), 15–22. https://doi.org/10.15294/jbat.v14i1.5460

Daffa Fadlurrahman, M., Widiyanti, L., Rusnadi, I., Pratiwi, I., Energi, T., Teknik, F., & Sriwijaya, P. N. (n.d.). Pengaruh Variasi Massa Tempurung Kelapa dan Waktu Karbonisasi Terhadap Kualitas Arang. *Jurnal Redoks PGRI Palembang*, *9*(2).

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. https://doi.org/10.32734/jtk.v12i1.8534

Jamilatun, S., Setyawan, M., Janah, L., Alfiyani, R., & Mufandi, I. (2021). Activation of Coconut Shell Charcoal and Application for Bleaching Used Cooking Oil. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, *8*(1), 56. https://doi.org/10.26555/chemica.v8i1.20085

Jiang, T. J., Morgan, H. M., & Tsai, W. T. (2024). Optimization of Vertical Fixed-Bed Pyrolysis for Enhanced Biochar Production from Diverse Agricultural Residues. *Materials*, *17*(12). https://doi.org/10.3390/ma17123030

Kabir Ahmad, R., Anwar Sulaiman, S., Yusup, S., Sham Dol, S., Inayat, M., & Aminu Umar, H. (2022). Exploring the potential of coconut shell biomass for charcoal production. *Ain*

Shams Engineering Journal, *13*(1). https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.05.013

Li, X., Liu, N., Zhang, J., Sun, Z., Fu, S., Zhan, X., Yang, J., Zhou, R., Zhang, H., Liu, H., & Han, X. (2023). Pyrolysis temperature had effects on the physicochemical properties of biochar. *Plant, Soil and Environment*, *69*(8), 363–373. https://doi.org/10.17221/444/2022-PSE

Nair, R. R., Mondal, M. M., Srinivasan, S. V., & Weichgrebe, D. (2022). Biochar Synthesis from Mineral-and Ash-Rich Waste Biomass, Part 1: Investigation of Thermal Decomposition Mechanism during Slow Pyrolysis. *Materials*, *15*(12). https://doi.org/10.3390/ma15124130

Nisa, Z. U., Chuan, L. K., Guan, B. H., Ahmad, F., & Ayub, S. (2024). Role of carbonization parameters on surface and microstructural and crystalline properties of mesoporous coconut shell char: Quantitative and structural study. *Journal of Molecular Structure*, *1300*. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2023.137243

Pongsa, U., Lumsakul, P., Jamesang, O., Saengkhiao, P., Sangrayub, P., & Pumchan, W. (2023). Feasibility study of coconut shell biochar production using community-scale biochar kiln. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, *33*(2), 128–138. https://doi.org/10.55713/jmmm.v33i2.1699

Rudiyanto, B., Agustina, I. R., Ulma, Z., Prasetyo, D. A., Hijriawan, M., Piluharto, B., & Prasetyo, T. (2023). Utilization of Cassava Peel (Manihot utilissima) Waste as an Adhesive in the Manufacture of Coconut Shell (Cocos nucifera) Charcoal Briquettes. *International Journal of Renewable Energy Development*, *12*(2), 270–276. https://doi.org/10.14710/ijred.2023.48432

Shahrun, M. S., Rahman, M. H. A., Baharom, N. A., Jumat, F., Saad, M. J., Mail, M. F., Zawawi, N. Z., & Suherman, F. H. S. (2024). Design of a pyrolysis system and the characterisation data of biochar produced from coconut shells, carambola pruning, and mango pruning using a low-temperature slow pyrolysis process. *Data in Brief*, *52*. https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109997

Simanjuntak, J. P., Abdul Aziz, M. S., & Zainon, M. Z. (2024). Biochar Production and Characterization from Pebble-Sized Feedstock Coconut Shells as an Alternative Solid Fuel. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, *25*(11), 251–259. https://doi.org/10.12912/27197050/192618

Wijitkosum, S. (2023). Influence of Pyrolysis Temperature and Time on Biochar Properties and Its Potential for Climate Change Mitigation. *Journal of Human, Earth, and Future*, *4*(4), 472–485. www.HEFJournal.org

Yirijor, J., & Bere, A. A. T. (2024). Production and Characterization of Coconut Shell Charcoal-Based Bio-Briquettes as an Alternative Energy Source for Rural Communities. *Heliyon*, *10*(16). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35717