

**EFEKTIVITAS KENAIKAN KONSENTRASI NaOH AKTIVASI *HYDROCHAR*
BATOK KELAPA TERHADAP KINETIKA MODEL DEKOMPOSISI CO-
FIRING BATUBARA SUB-BITUMINOUS**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana strata satu
(S-1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Malang*



Disusun Oleh:

KACUNG HARI SETIAWAN

22001052045

PROGRAM STUDI TEKNI KMESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM MALANG

2025

ABSTRAK

Biomassa batok kelapa merupakan limbah pertanian yang harus dimanfaatkan dan batok kelapa memiliki Sulfur rendah, kadar Oksigen yang lebih tinggi, serta kadar Nitrogen yang lebih rendah daripada batubara. Hydrothermal Carbonitation (HTC) merupakan metode konversi termokimia yang efektif untuk menghasilkan hydrochar dari biomassa dengan karakteristik termal yang menjadi lebih baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kenaikan konsentrasi NaOH aktivasi hydrochar batok kelapa terhadap kinetika dari biomassa batok kelapa hasil proses HTC serta menilai kelayakan nilai Energi aktivasi yang diperoleh dari aktivasi NaOH 0,5M, NaOH 1M. Hydrochar dijadikan sebagai bahan co-firing dengan batubara sub-bituminous. Proses HTC dilakukan dalam reaktor Autoclave selama 8 jam dengan suhu 210°C dengan aktivasi NaOH sebagai pelarut kimia. Analisa termal dilakukan menggunakan Thermogravimetri Analysis (TGA) dengan suhu maksimal 1000°C dalam atmosfer oksigen. Hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa proses HTC dengan menggunakan aktivasi NaOH dapat meningkatkan stabilitas termal hydrochar dengan mendapatkan nilai Energi aktivasi Stage 1 NaOH 0,5Molar sebesar 51.07345. sedangkan aktivasi NaOH 1Molar mempunyai Energi aktivasi sebesar 122.91852. dan Stage 2 Ea NaOH 0,5Molar sebesar 47.44636, sedangkan yang Ea NaOH 1Molar sebesar 46.83158. Energi aktivasi ini lebih rendah jika dibandingkan dengan biomassa non-aktivasi. Energi aktivasi pada Stage 1 lebih rendah jika dibandingkan dengan biomassa murni tanpa perlakuan HTC, dan. Energi aktivasi di Stage 2 lebih rendah lagi, jika dibandingkan dengan Stage 1. Hal ini menunjukkan aktivasi kimia NaOH dapat menurunkan Energi aktivasi, Artinya. HTC meningkatkan reaksi termal hydrochar, menjadikannya lebih cepat bereaksi saat pembakaran dengan Ea yang lebih rendah itu. artinya hydrochar batok kelapa dengan aktivasi NaOH sesuai untuk di jadikan metode Co-Firing di pembangkit listrik.

Kata kunci: Hydrothermal Carbonization, Batok Kelapa, Thermogravimetric Analysis, Energi aktivasi, aktivasi NaOH.

ABSTRACT

Coconut shell biomass is an agricultural waste that must be utilized and coconut shells have low sulfur, higher oxygen content, and lower nitrogen content than coal. Hydrothermal Carbonitation (HTC) is an effective thermochemical conversion method to produce hydrochar from biomass with better thermal characteristics. This study aims to determine the increase in NaOH concentration of coconut shell hydrochar activation on the kinetics of coconut shell biomass material from the HTC process and to assess the feasibility of the activation energy value obtained from 0.5M NaOH activation, 1M NaOH. Hydrochar is used as a co-firing material with sub-bituminous coal. The HTC process is carried out in an Autoclave reactor for 8 hours at a temperature of 210°C with NaOH activation as a chemical solvent. Thermal analysis is carried out using Thermogravimetric Analysis (TGA) with a maximum temperature of 1000°C in an oxygen atmosphere. The results of this study indicate that the HTC process using NaOH activation can increase the thermal stability of hydrochar by obtaining the activation energy value of Stage 1 NaOH 0.5 Molar of 51.07345. while NaOH activation 1 Molar has an activation energy of 122.91852. and Stage 2 Ea NaOH 0.5 Molar of 47.44636, while the Ea NaOH 1 Molar is 46.83158. This activation energy is lower when compared to non-activated biomass. The activation energy in Stage 1 is lower when compared to pure biomass without HTC treatment, and. The activation energy in Stage 2 is even lower when compared to Stage 1. This shows that NaOH chemical activation can reduce the activation energy. This means that HTC increases the thermal reaction of hydrochar, making it react faster during combustion with a lower Ea. This means that coconut shell hydrochar with NaOH activation is suitable for use as a Co-Firing method in power plants.

Keywords: Hydrothermal Carbonization, Coconut Shell, Thermogravimetric Analysis, Activation energy, NaOH activation.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan energi Indonesia saat ini masih didominasi oleh penggunaan energi fosil, khususnya batubara. Sejumlah data menunjukkan bahwa Indonesia berada dalam kondisi ketergantungan yang tinggi atas energi fosil, misalnya data dari badan pusat *statistic* (BPS) menunjukkan bahwa produksi energi primer masih didominasi oleh batubara sebesar 15.527.106 *terajoule*, gas alam sebesar 2.374.248 *terajoule*, serta minyak mentah dan kondensat sebesar 1.808.758 *terajoule*, dengan total produksi energi primer sebesar 20.600.280 *terajoule*. Pemanfaatan energi batubara juga masih didominasi untuk Pembangkit Listrik. Dewan Energi Nasional (DEN) mencatat pada tahun 2018 kapasitas pembangkit listrik di Indonesia sebesar 64,5 GW dan 56,4% dari pembangkit listrik batubara. Pembakaran ini dapat menimbulkan dampak yang buruk bagi udara serta memunculkan berbagai masalah kesehatan dikarenakan banyaknya polutan yang menyebabkan pencemaran, mulai dari SO₂, nitrogen, oksida dan CO₂. Pembakaran batubara juga merupakan salah satu kontributor terbesar polusi udara. Banyaknya dampak buruk dari pembangkit Listrik batubara dan ketersediaan energi fosil yang semakin berkurang menjadi urgensi untuk beralih kepada energi baru dan terbarukan (EBT). Upaya transisi energi di Indonesia mengamanatkan untuk berupaya mewujudkan pengelolaan energi yang berkeadilan, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan.

Co-firing merupakan suatu proses pembakaran dua material yang berbeda secara bersamaan, dalam konteks ini, hidrochar dari batok kelapa yang diaktivasi dengan NaOH dicampur dengan batubara *sub-bituminous* untuk dibakar bersama. Tujuannya adalah untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, meningkatkan efisiensi pembakaran, dan memanfaatkan sumber energi terbarukan. *Co-firing* biomassa batok kelapa merupakan metode dengan biaya yang rendah untuk menciptakan energi yang ramah lingkungan (Jalal Wisnu Widianoro *et al.*, 2023). Proses HTC menggunakan NaOH merupakan aktivasi yang menguntungkan karena kinerjanya yang tinggi, karbon mesopori yang lebih baik, efektivitas biaya, dosis rendah, korosi yang lemah, ramah lingkungan, dan pemulihan yang signifikan (Wu and Tseng, 2008). dalam persiapan AC konvensional, bahan baku kering dikarbonisasi secara termal (TC) pada suhu tinggi dan dalam atmosfer inert untuk menghasilkan arang, yang merupakan produk padat antara; arang kemudian mengalami aktivasi fisik, kimia, atau fisiokimia untuk membentuk karbon berpori (Nor

et al. 2013). Aktivasi melalui metode kimia lebih disukai daripada metode aktivasi fisik karena hasil yang lebih tinggi, produk yang lebih berpori, waktu reaksi yang lebih singkat, dan kebutuhan energi yang lebih rendah dari yang pertama daripada yang terakhir (Angin *et al.*, 2013).

Langkah karbonisasi juga telah dikembangkan untuk meningkatkan porositas karbon dan mengurangi biaya dengan melakukan langkah ini dalam media berair pada suhu reaksi sedang (180–250 °C) dan tekanan, yang sebagian besar disebabkan oleh uap (Kambo dan Dutta, 2015). Dikenal sebagai karbonisasi hidrotermal (HTC), proses modifikasi ini menghasilkan hidrokarbon padat dengan sifat-sifat yang menguntungkan, termasuk kandungan karbon tinggi, kandungan abu rendah, derajat aromatisasi rendah, dan banyak gugus fungsi teroksigenasi (Román *et al.*, 2013). Temperatur dalam penelitian proses karbonisasi ini sangat mempengaruhi kualitas arang yang dihasilkan, sehingga pemilihan temperatur yang tepat sangat penting untuk menentukan arang tersebut (Irbah *et al.*, 2022). Karbonisasi (pengarangan) adalah pembakaran tak sempurna dengan jumlah udara terbatas pada bahan yang mengandung karbon. Selama karbonisasi, terjadi penyusutan pada sampel karena pemanasan yang diberikan menghilangkan partikel-partikel dalam bahan, sehingga yang tersisa hanyalah arang (Hasanah, 2021)

Biomassa batok kelapa merupakan bahan baik yang dapat dibuat menjadi karbon aktif dengan aktivator NaOH karena karbon aktif yang terbuat dari batok kelapa memiliki mikropori yang banyak, kadar abu yang rendah, kelarutan dalam air yang tinggi dan reaktivitas yang tinggi (Pambayun dkk., 2013). Biomassa sebagai sumber energi alternatif terbarukan yang berasal dari tanaman dan limbah. Biomassa dapat diolah menjadi arang melalui proses karbonisasi (Kurniawan *et al.*, 2022). Selain itu energi biomassa juga merupakan sumber energi “Carbon-Neutral” yang memegang peran penting dalam penanggulangan krisis iklim (Hardhi, 2022). Batok kelapa juga mempunyai kandungan helmi selulosa 0,15-0,25%, selulosa 32-43%, lignin 40-45% dan abu 3,8% (Lismeri *et al* 2028; Mahmud *et al* 2021). Batok kelapa yang pada awalnya dianggap sebagai limbah sisa pemanfaatan buah kelapa kini telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam industri pembuatan arang aktif atau karbon aktif dan tepung tempurung (Pugersari 2013).

Analisis termogravimetri (TGA) adalah teknik yang paling umum digunakan untuk menyelidiki perilaku dekomposisi suatu zat terhadap suhu dan tidak memiliki keterbatasan dalam perpindahan panas dan massa pada laju pemanasan rendah (Kovfopanos *et al.*, 1989, Muller-Hagedorn *et al.*, 2003, Mansaray dan Ghaly, 1998).

TGA lebih disukai karena merupakan metode yang sederhana dan sangat tepat untuk mempelajari kinetika biomassa tempurung kelapa. Langkah-langkah yang terlibat dalam degradasi termal biomassa menjadi komponen-komponennya adalah (i) evolusi kelembaban (ii) degradasi hemiselulosa (iii) degradasi selulosa (iv) degradasi lignin (Raveendran *et al.*, 1996). Akibatnya, biomassa tempurung kelapa dianggap sebagai salah satu sumber daya energi terbarukan yang paling menarik dan menjanjikan. Biomassa dapat dikonversi untuk menghasilkan bahan bakar cair, gas, dan padat tidak seperti sumber energi terbarukan lainnya melalui dua rute konversi utama yaitu, (i) biokimia dan (ii) termokimia (Van de Velden *et al.*, 2010). Antara rute-rute termokimia, menjadi sangat penting karena dapat menghasilkan produk cair, gas, dan padat tergantung pada parameter konversi dan juga memiliki potensi menghasilkan bahan bakar energi pada rasio bahan bakar terhadap umpan yang tinggi (Bridgwater *et al.*, 1999, Shuping *et al.*, 2010). Menarik dan keminatan untuk *upgrade* telah tumbuh baru-baru ini, dengan sektor publik dan korporat bersatu untuk mendorong penelitian dan pengembangan ilmiah dalam biofuel karena ini sekarang sangat diprioritaskan dalam perspektif masalah yang terkait dengan krisis energi, keamanan energi, dan perlindungan lingkungan.

Berdasarkan data dari latar belakang diatas, penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan limbah batok kelapa kedalam proses *co-firing* hidrokarbon (*hydrochar*) batok kelapa dan batubara bituminous menggunakan *activator* NaOH, topik ini sebagai alternatif pemanfaatan biomassa lokal sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap batubara konvensional. Batok kelapa, sebagai salah satu jenis biomassa dengan kandungan karbon yang tinggi, berpotensi menjadi bahan bakar pendamping yang efektif dalam sistem pembakaran batubara. Melalui proses *co-firing*, diharapkan efisiensi termal dapat meningkat dengan baik, emisi gas berbahaya seperti SO₂ dan NO_x dapat ditekan, serta dampak lingkungan dari pembangkit listrik berbasis batubara dapat diminimalkan. Penelitian ini juga ditujukan untuk mengkaji karakteristik pembakaran dan energi aktivasi dari campuran bahan bakar tersebut, guna memahami dinamika termokimia dalam pembakaran campuran hidrokarbon batok kelapa dan batubara bituminous, yang memiliki nilai kalor dan komposisi berbeda, penelitian ini akan mengalami proses HTC menggunakan *activator* NaOH, karbonisasi lalu menjadi karbon padat atau *hidrochar* dan dilanjutkan dengan aktivasi dengan menstabilkan pH asam basa hingga pH 7.

1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, permasalahan yang dibahas dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *hydrochar* batok kelapa dengan variasi konsentrasi NaOH aktivasi 0.5M dan 1M terhadap profil degradasi massa *co-firing* batu bara *sub-bituminous*?
2. Bagaimana pengaruh *hydrochar* batok kelapa dengan variasi konsentrasi NaOH aktivasi 0.5M dan 1M terhadap model dekomposisi *co-firing* batu bara *sub-bituminous*?
3. Bagaimana pengaruh *hydrochar* batok kelapa dengan variasi konsentrasi NaOH aktivasi 0.5M dan 1M terhadap energi aktivasi *co-firing* batu bara *sub-bituminous*?

1.2 Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak terlalu luas dan tidak menyimpang, maka perlu adanya batasan masalah dalam menyelesaikan analisis ini. Maka batasan masalah ini adalah:

1. Batubara yang digunakan hanya jenis batubara *sub-bituminous*
2. Penelitian ini tidak membahas mengenai output PLTU
3. Penelitian ini tidak membahas mengenai emisi gas yang dihasilkan
4. Penelitian ini tidak membahas mengenai metode lain selain konsentrasi NaOH pada *hydrochar*
5. Penelitian ini tidak membahas metode lain selain *Coats Redfern*

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, tujuan penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut

1. Mengetahui bagaimana pengaruh 3 variasi campuran *co-firing hidrochar* biomassa batok kelapa dan batubara *sub-bituminous* terhadap profil degradasi massa
2. Mengetahui bagaimana pengaruh *hidrochar* terhadap model dekomposisi bahan bakar
3. Mengetahui bagaimana pengaruh perbandingan konsentrasi 1M NaOH dengan 0,5M NaOH terhadap energi aktivasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1 Penelitian ini mampu menambah pengetahuan tentang mengatasi limbah biomassa batok kelapa di proses menjadi hidrochar dan dicampurkan ke batubara *sub-bituminous* sehingga disebut sebagai metode *co-firing hidrochar*, selain itu. Penelitian ini memanfaatkan biomassa batok kelapa sebagai bahan alternatif



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian pengaruh campuran biomassa pada *co-firing* batubara terhadap profil degradasi massa, model dekomposisi, serta energi aktivasi. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Profil Degradasi Massa

Hasil uji termogravimetri (TGA) menunjukkan bahwasanya material *co-firing* mengalami dua stage degradasi massa yaitu terdiri dari stage 1 dan stage 2 yang jelas. Campuran *hidrochar* BK:BB 0%:100% menunjukkan degradasi massa yang paling rendah, yaitu 5,42%, sedangkan *hidrochar* dengan aktivasi NaOH 0.5M memiliki degradasi sebesar 94,94. sedangkan *hidrochar* dengan aktivasi NaOH 1M memiliki degradasi tertinggi sebesar 95,32%. Hal ini membuktikan bahwa penambahan *hidrochar* yang diaktivasi NaOH dapat meningkatkan laju pembakaran dikarenakan pada struktur karbon menjadi lebih reaktif akibat terbentuknya pori-pori dan permukaan aktif baru selama proses aktivasi kimia. Jadi, secara teoritis semakin banyak rasio biomassa dibandingkan dengan batubara, maka semakin banyak massa yang hilang pada saat terjadinya laju reaksi pembakaran.

2. Model Dekomposisi

Berdasarkan hasil perbandingan model kinetika menggunakan metode *Coats-Redfern*, diketahui bahwasanya mekanisme dekomposisi terbaik untuk batubara *sub-bituminous* 100%:0% NaOH adalah model D1 (*diffusion*) dengan nilai R^2 sebesar 0,96577 pada stage II, sedangkan untuk *hidrochar* BK:BB 20%:80% NaOH 0,5M, model D1, yang diaktivasi juga menunjukkan kecocokan tertinggi dengan nilai R^2 0,99761 pada stage II. sedangkan untuk *hidrochar* BK-BB 20%:80% NaOH 1M Stage 2, model D2, yang diaktivasi mendapatkan nilai R^2 sebesar 0.99563. Ini mengindikasikan bahwa proses dekomposisi pada ketiga bahan dikendalikan oleh *difusi* partikel padat, dan kehadiran aktivator NaOH mempercepat mekanisme *difusi* termal.

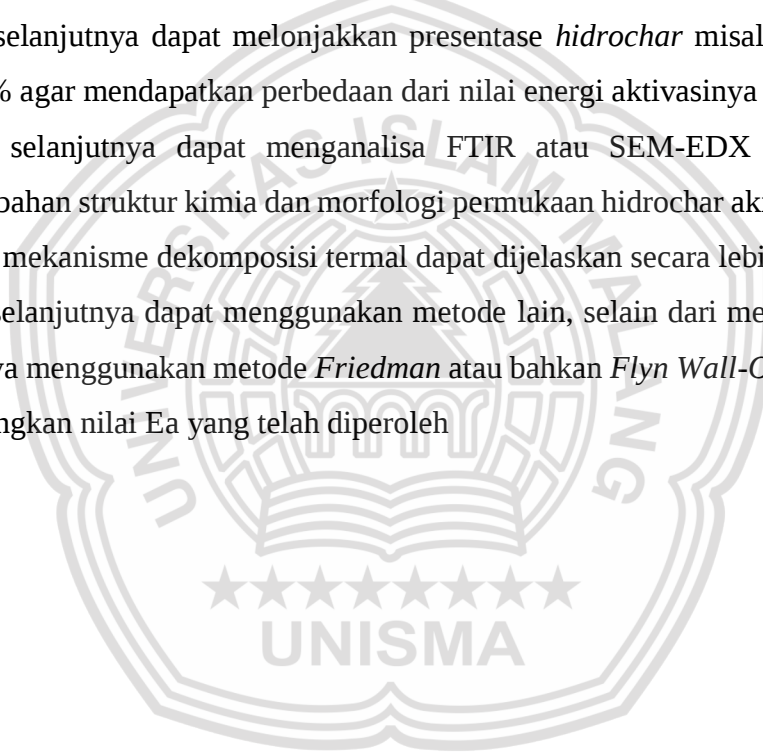
3. Energi Aktivasi

Penurunan energi aktivasi ini membuktikan bahwa penambahan *hidrochar* mampu menurunkan kebutuhan energi minimum untuk memulai reaksi pembakaran, sehingga reaksi pembakaran menjadi lebih mudah terjadi dan lebih efisien secara termal. Akan tetapi jika NaOH berlebih bisa melarutkan sebagian besar komponen volatil dalam

biomassa (hemiselulosa dan selulosa). Hal ini menyebabkan kandungan zat yang mudah terbakar berkurang, dan pembakaran menjadi kurang reaktif di suhu rendah. Akibatnya, energi aktivasi (E_a) untuk memulai pembakaran dapat meningkat. Oleh karena itu, pemilihan konsentrasi NaOH yang tepat sangat penting untuk mengoptimalkan performa pembakaran hidrochar dalam aplikasi *co-firing* ini.

5.2 Saran

1. penelitian selanjutnya dapat menggunakan biomassa yang berbeda jenis misalnya menggunakan biomassa sekam padi, karena. Sekam padi jumlahnya melimpah.
2. penelitian selanjutnya dapat menggunakan presentase NaOH lebih sedikit besar dibandingkan yang telah dipakai dalam penelitian ini.
3. penelitian selanjutnya dapat melonjakkan presentase *hidrochar* misalnya sebesar BK:BB 25%:75% agar mendapatkan perbedaan dari nilai energi aktivasinya
4. penelitian selanjutnya dapat menganalisa FTIR atau SEM-EDX agar dapat mengetahui perubahan struktur kimia dan morfologi permukaan hidrochar akibat aktivasi NaOH, sehingga mekanisme dekomposisi termal dapat dijelaskan secara lebih detail.
5. penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode lain, selain dari metode *Coats-Redfern*. Misalnya menggunakan metode *Friedman* atau bahkan *Flyn Wall-Ozawa*. Agar dapat membandingkan nilai E_a yang telah diperoleh



DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Qodir, M., & Faruq Alhikami, A. (n.d.). *Analisis profil degradasi massa pada hydrochar menggunakan teknik Hydrothermal Carbonization dari limbah tandan kosong sawit*.
- Adewole, B. Z., Adeboye, B. S., Malomo, B. O., Obayopo, S. O., Mamuru, S. A., & Asere, A. A. (2020). CO-pyrolysis of bituminous coal and coconut shell blends via thermogravimetric analysis. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1798567>
- Alimah, G. N., Khuzaimah, S., & Ramadhani, A. (2024). *PENGARUH AKTIVATOR NAOH PADA ARANG TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI MEDIA ADSORBEN PADA LIMBAH CAIR TAHU THE EFFECT OF NAOH ACTIVATOR ON COCONUT SHELL CHARCOAL AS AN ADSORBENT MEDIA IN TOFU LIQUID WASTE*. 202–211. <https://doi.org/10.566655/jid.v3i2.248>
- Brillianti, E., Yuwanto, S. H., Hendra Bahar, D., Pertambangan, T., Industri, T., Adhi, T., & Surabaya, T. (n.d.-a). *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan V (SENASTITAN V) Surabaya*.
- Brillianti, E., Yuwanto, S. H., Hendra Bahar, D., Pertambangan, T., Industri, T., Adhi, T., & Surabaya, T. (n.d.-b). *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan V (SENASTITAN V) Surabaya*.
- Chavan Professor, P. (2017). *A Review on Preparation of Activated Carbon from Coconut Shell*. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2017.0604197>
- Chutia, R. S., Kataki, R., & Bhaskar, T. (2013). Thermogravimetric and decomposition kinetic studies of Mesua ferrea L. deoiled cake. *Bioresource Technology*, 139, 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.03.191>
- coats refern Full_paper_JTD_Vol_15_No_2_Desember_2017*. (n.d.).
- Datta, S., Antos, J., & Stoczek, R. (2017). Characterisation of ground tyre rubber by using combination of FT-IR numerical parameter and DTG analysis to determine the composition of ternary rubber blend. *Polymer Testing*, 59, 308–315. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2017.02.019>
- Eka, H., Riset, M. B., Standardisasi, D., Surabaya, I., Perindustrian, K., Yanuar, A., & Riset, W. B. (2019). *Karakteristik dan Kinetika Dekomposisi Termal Komposit CR/NR dengan Substitusi Bahan Pengisi The Characteristics and Thermal Decomposition Kinetics of CR/NR Composite with the Filler Substitution* (Vol. 4, Issue 2).
- Escalante, J., Chen, W. H., Tabatabaei, M., Hoang, A. T., Kwon, E. E., Andrew Lin, K. Y., & Saravanakumar, A. (2022). Pyrolysis of lignocellulosic, algal, plastic, and other biomass wastes for biofuel production and circular bioeconomy: A review of thermogravimetric analysis (TGA) approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112914>

- Garcia, E., Ejim, I. F., & Liu, H. (2022). Thermogravimetric analysis of co-combustion of a bituminous coal and coffee industry by-products. *Thermochimica Acta*, 715. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2022.179296>
- Hazman, N., Mat Isa, N., Nasir, N. F., Hussein, M., & D.S., A. (2024). The Proximate and Ultimate Composition of Pulverised Coconut Shell. *International Journal of Integrated Engineering*, 16(2). <https://doi.org/10.30880/ijie.2024.16.02.028>
- Kaur, R., Gera, P., Jha, M. K., & Bhaskar, T. (2018). Pyrolysis kinetics and thermodynamic parameters of castor (*Ricinus communis*) residue using thermogravimetric analysis. *Bioresource Technology*, 250, 422–428. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.077>
- Komposisi, P., Ukuran, D., Briket, S., Terbuat, Y., Batubara, D., Padi, D. J., Karakteristik, T., Sudiro, P., & Suroto, S. (2014). (). In *Jurnal Sainstech Politeknik Indonusa Surakarta* (Vol. 2).
- Li, B., Wang, H., & Wei, Y. G. (2012). Kinetic analysis for non-isothermal solid state reduction of nickel laterite ore by carbon monoxide. *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section C: Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 121(3), 178–184. <https://doi.org/10.1179/1743285512Y.0000000014>
- mac Domhnaill, C., & Ryan, L. (2020). Towards renewable electricity in Europe: Revisiting the determinants of renewable electricity in the European Union. *Renewable Energy*, 154, 955–965. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.084>
- Marangwanda, G. T., & Madyira, D. M. (2025). Evaluating Combustion Ignition, Burnout, Stability, and Intensity of Coal–Biomass Blends Within a Drop Tube Furnace Through Modelling. *Energies*, 18(6). <https://doi.org/10.3390/en18061322>
- paragraf 3. (n.d.).
- Pasymi, dan, Teknik Kimia, J., & Teknologi Industri, F. (n.d.). *UJI KUALITAS KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KELAPA MENGGUNAKAN AKTIVATOR NaOH*.
- Poray, V., Raut, S., Hegde, S., & Purohit, S. J. (2022). Production of Activated Carbon from Coconut Shells. *IARJSET International Advanced Research Journal in Science*, 4. <https://doi.org/10.17148/IARJSET.2022.9440>
- proses aktivasi. (n.d.).
- Rangka Memenuhi Persyaratan untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Doktor Filsafat, D. (2018). *NAHRUL HAYAWIN BINTI ZAINAL Tesis Diserahkan ke Sekolah Pascasarjana, Universiti Putra* © HAK CIPTA UPM Machine Translated by Google.
- Rocío Morales, C., Manoel, P., Eduardo, F., & Moreira, A. (n.d.). *DETERMINATION OF ACTIVATION ENERGY IN THE COMBUSTION PROCESS BY THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS*.

- Saad, M. J., Hua, C. C., Misran, S., Zakaria, S., Sajab, M. S., & Abdul Rahman, M. H. (2020). Rice husk activated carbon with naoh activation: Physical and chemical properties. *Sains Malaysiana*, 49(9), 2261–2267. <https://doi.org/10.17576/jsm-2020-4909-23>
- Sari, S. P. (2023). Preparasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Menggunakan Gabungan Aktivasi Kimia Dan Fisika. *CHEDS: Journal of Chemistry, Education, and Science*, 7(2). <https://doi.org/10.30743/cheds.v7i1.8046>
- Siagian, A. W., Daffa Alghazali, M. S., & Alify, R. F. (2023). Menuju Transisi Energi 2050: Quo Vadis Energi Baru dan Terbarukan. *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 9(1), 187–202. <https://doi.org/10.38011/jhli.v9i1.471>
- Siswanto, & Panjaitan, K. N. W. R. (2021). Charcoal fuel from the mixture of coconut shell waste and coal: Effect of carbonization temperature and the amount of coal mass in the mixture. *E3S Web of Conferences*, 328. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132801019>
- Tan, Y. L., Islam, M. A., Asif, M., & Hameed, B. H. (2014). Adsorption of carbon dioxide by sodium hydroxide-modified granular coconut shell activated carbon in a fixed bed. *Energy*, 77, 926–931. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.079>
- Wang, T., Zhai, Y., Zhu, Y., Peng, C., Xu, B., Wang, T., Li, C., & Zeng, G. (2017). *Acetic acid and sodium hydroxide-aided hydrothermal carbonization (HTC) of woody biomass for enhanced pelletization and fuel properties*. <http://pubs.acs.org>
- Yaumi, A. L., Mustafa, B. G., Isah, U. A., & Gutti, B. (2015). The effectiveness of coconut shell activated carbon on the adsorption of heavy metal using different activating agents. In *Article in The Pharmaceutical and Chemical Journal*. www.tpcj.org
- Yuliansyah, A. T., Putri, C. O., Clarasinta, B. D., & Nonaka, M. (2019). TGA investigation of CO₂ gasification of hydrothermally treated biomass (corn cob-coconut shell mixture). *International Journal of Technology*, 10(6), 1166–1173. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i6.3641>
- Zhuikov, A., Pyanykh, T., Grishina, I., Chicherin, S., & Zhuikova, Y. (2024). Thermogravimetric Analysis of Combustion of Semi-Coke Obtained from Coniferous Wood and Mixtures on Their Basis. *Fire*, 7(11). <https://doi.org/10.3390/fire7110385>

