

The Effect of Single and Double Activation with Potassium Hydroxide 2N on Charcoal from Fir Wood (*Casuarina Junghuhniana*) Pyrolysis

Pengaruh Aktivasi (Single dan Double) Dengan Kalium Hidroksida (KOH) 2N Pada Arang Hasil Pirolisis Kayu Cemara

Siti Jamilatun ^{a,1,*}, Eva Nurdiana Putri ^{a,2}, Zulia Arifah ^{a,2}, Ilham Mufandi ^{b,4}

^a Universitas Ahmad Dahlan, Jl. Ringroad Selatan, Kragilan, Tamanan, Bantul, D. I. Yogyakarta, 55191

^b Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

¹ sitijamilatun@che.uad.ac.id*; ² evanurdianap@yahoo.co.id; ³ zulia.arifah@yahoo.co.id; ⁴ ilhammufandi@kkumail.com

* corresponding author

ARTICLE INFO

Article history

Received January 28, 2020

Revised March 26, 2020

Accepted June 09, 2020

Keywords

Carbon Active

KOH Activation

Pine Wood

Pyrolysis

ABSTRACT

The purpose of this study was to know the influence of the single and double activation by using calcium hydroxide (KOH) with a concentration of 2N. The activation of KOH 2N applied in the activated carbon from pine wood. The activated carbon made through the pyrolysis process with a temperature variation of 500-600 °C for about 180 minutes. The experiment performed in two ways: (i) single activation of KOH 2N and (ii) double activation of KOH 2N. The effects of ash content and Iod absorption content in activated carbon were studied. The results showed that the ash content about 8-30% and Iod absorption content about 317.25-507.60 mg Iod/gram carbon. The results of this study standardized by using the Indonesia National Standards (SNI) method. The result also indicated that the single activation was better than double activation of KOH.

This is an open access article under the CC-BY-SA license.



1. Pendahuluan

Daerah Bantul, Yogyakarta memiliki potensi pohon cemara yang tinggi, khususnya di daerah pantai seperti pantai Glagah, pantai Depok, pantai Parangtritis dan lain-lain. Potensi pohon cemara ini dapat dimanfaatkan sebagai pembuatan arang aktif yang dapat diaplikasikan untuk proses pengolahan limbah domestik dan penjernihan air untuk keperluan rumah tangga di masyarakat [1-2]. Arang aktif memiliki kemampuan menangkap senyawa-senyawa kimia melalui pori-porinya [3-4] dan mempunyai aplikasi yang luas untuk keperluan domestik, komersial, dan industri [5]. Manfaat lain arang aktif diantaranya adalah: (i) dalam industri makanan sebagai penghilang warna, penghilang bau dan penghilang rasa, (ii) dapat juga digunakan untuk menghilangkan logam berat dan kontaminan organik dari cairan, (iii) digunakan dalam de-klorinasi air dan pemrosesan makanan, (iv) digunakan dalam pengobatan untuk adsorpsi bahan kimia dan obat-obatan berbahaya, dan (v) dapat diaplikasikan dalam pembersihan gas dalam saringan udara pada umumnya dan untuk keperluan industri farmasi [6-7].

Ada dua macam proses untuk aktivasi karbon aktif, yaitu aktivasi fisik/*thermal* dan kimia [8-9]. Adapun langkah proses pembuatan arang aktif yakni, langkah pertama adalah karbonisasi bahan baku biomassa yang dilakukan pada kondisi bebas oksigen dengan suhu sekitar 700 °C. Karbonisasi dilakukan untuk mendapatkan arang dari bahan baku biomassa dan arang yang dihasilkan masih memiliki luas permukaan pori yang rendah. Selama proses karbonisasi komponen yang mudah menguap dihilangkan dan bahan sisa karbon atau arangnya dapat diaktivasi melalui dua (2) cara,

yang pertama dengan cara fisika yakni melalui hembusan udara, CO₂ atau steam pada arang dengan suhu lebih tinggi dari 800 °C. Cara yang kedua adalah cara kimia, yakni dengan perendaman zat pengaktif/zat kimia pada suhu yang lebih rendah [8-9].

Penjelasan tambahan untuk aktivasi arang aktif adalah tentang suhu yang digunakan, suhu aktivasi secara signifikan mempengaruhi jumlah produksi arang aktif dan juga luas permukaan karbon aktif [10]. Dalam aktivasi kimia, bahan baku atau arang direndam dengan zat pengaktif dan dipanaskan dalam tekanan atmosfer, selama proses aktivasi akan membentuk struktur berpori dengan luas permukaan internal yang besar, karakteristik karbon aktif tergantung pada sifat fisik dan kimia bahan baku serta metode aktivasi yang digunakan [11].

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Putra [12], aktivasi arang aktif menggunakan HCL, KOH, dan ZnCl₂ memperoleh hasil kadar air 1,72%, kadar abu 0,39%, dan kadar uap 10,78%. Arang aktif hasil perendaman ZnCl₂ 25% atau CaCl₂ 25% selama 24 jam dan pengovenan pada suhu 120 °C selama 3 jam kurang baik kualitasnya karena bilangan I₂ yang relatif rendah, (dibawah 200 mg/gr). Untuk perendaman dengan H₂SO₄ 25% selama 24 jam dengan suhu oven 500 °C selama 1 jam dengan ditutup cawan porselin bilangan Iod hampir 600 mg/gr diteliti oleh Jamilatun dan Salamah [13]. Bahan lain seperti H₃PO₄ dapat digunakan sebagai bahan aktivasi seperti yang dilakukan oleh Dwi Kurniati dkk. [14-15]. Proses aktivasi juga harus memperhatikan beberapa kondisi yang dapat mempengaruhi hasil aktivasi arang aktif seperti konsentrasi bahan aktivasi [16], waktu/lamanya aktivasi [8], dan suhu [17-18].

Secara ringkas proses produksi arang aktif dimulai dengan cara pirolisis biomassa kayu cemara yang akan menghasilkan tiga produk utama yaitu bio-oil, arang dan gas [19-20]. Pirolisis dari bahan baku rumput gajah dapat menghasilkan arang sekitar 10%-15% [21]. Semua biomassa mempunyai potensi menghasilkan arang yang dapat diolah menjadi arang aktif, seperti limbah tebu [22-23], tongkol jagung [24], limbah singkong [25-26], mikroalga [27], dan lain-lain. Selanjutnya aktivasi arang dapat dilakukan lebih dari satu kali dengan menggunakan macam-macam pengaktivasi.

Penelitian yang fokus menggunakan bahan aktivasi KOH dan pengaruh berapa kali jumlah aktivasi masih perlu dikembangkan, oleh sebab itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh satu kali (*single*) dan dua kali (*double*) aktivasi menggunakan KOH 2N dengan bahan baku biomassa kayu cemara. KOH adalah basa kuat yang dapat digunakan sebagai bahan pengaktivasi, selanjutnya arang aktif kayu cemara yang dihasilkan dengan aktivasi KOH 2N dianalisis bilangan Iod dan kadar abunya.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Bahan Baku

Bahan baku utama dalam penelitian ini adalah kayu cemara dan Kalium Hidroksida (KOH) dengan konsentrasi 2N. Kayu cemara yang digunakan adalah kayu Cemara Angin (*Casuarina Junghuhniana* atau *Casuarina Equisetifolia*) dari pantai Glagah, Bantul, Yogyakarta. Kayu cemara dipotong-potong terlebih dahulu berbentuk balok dengan ukuran panjang 5 cm, lebar 3 cm, dan tebal 2 cm. Sedangkan Kalium Hidroksida (KOH) diperoleh dari Laboratorium Satuan Proses Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta dengan konsentrasi 2N.

2.2. Prosedur

Arang aktif yang dibuat melalui proses pirolisis kayu cemara di dalam reaktor batch pada suhu 500-600 °C selama 180 menit dapat dilihat pada Gambar 1. Selanjutnya arang aktif diaktivasi dengan dua cara yaitu aktivasi satu kali (*single*) dan dua kali (*double*) dengan KOH 2N dengan variasi waktu perendaman 1, 2, 3, 4, dan 5 hari. Setelah itu dilakukan analisis arang aktif untuk mengetahui kadar air, kadar abu, dan bilangan Iod nya. Alat yang digunakan untuk menguji kadar abu dapat dilihat pada Gambar 2.

Penentuan kadar penyerapan Iod dengan aktivasi KOH 2N dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$\text{BilanganIod} = \frac{(V_{\text{blanko}} - V_{\text{sampel}}) \times N_{\text{Thio}} \times 126,9 \times 5}{W} \left(\frac{\text{mg}}{\text{gram}} \right) \quad (1)$$

Dimana V blanko adalah volume Thio yang digunakan untuk menitrasi blanko (ml), V sampel adalah volume Thio yang digunakan untuk menitrasi sampel (ml), N Thio adalah Normalitas larutan Thio (N), dan W adalah berat sampel (gram).



Gambar 1. Pembuatan arang dengan metode pirolisis.



Gambar 2. Alat analisis kadar abu.

Sedangkan penentuan kadar abu kayu cemara dengan aktivasi KOH 2N dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

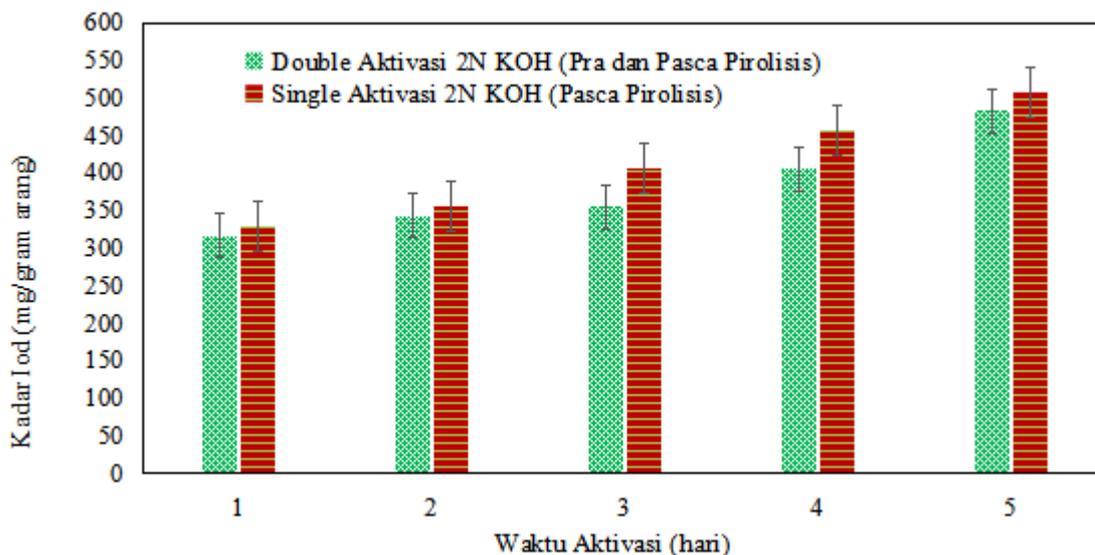
$$\text{Kadar Abu} = \frac{W_3 - W_4}{W_2 - W_1} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana W_1 adalah berat krus kosong dan tutup (gram), W_2 adalah berat krus + sampel + tutup (gram), W_3 adalah berat krus + Sampel setelah pengovenan + tutup (gram), dan W_4 adalah berat krus kosong dan tutup setelah pembakaran (gram).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh Aktivasi KOH 2N (satu dan dua kali aktivasi) terhadap kadar Iod

Penetapan daya serap arang aktif terhadap Iodine (Iod) merupakan persyaratan umum untuk mengetahui kualitas arang aktif. Berdasarkan (SNI 2015) [28] bahwa standar daya serap Iodine arang aktif minimal 700 mg/gram arang. Pada Gambar 3 menunjukkan pengaruh perlakuan satu (*single*) dan dua kali (*double*) aktivasi KOH 2N. *Single* aktivasi dilakukan sesudah (pasca) pirolisis, sedangkan *double* aktivasi dilakukan sebelum (pra) dan sesudah (pasca) pirolisis.



Gambar 3. Perbandingan pengaruh *single* dan *double* aktivasi dengan 2N terhadap kadar Iod.

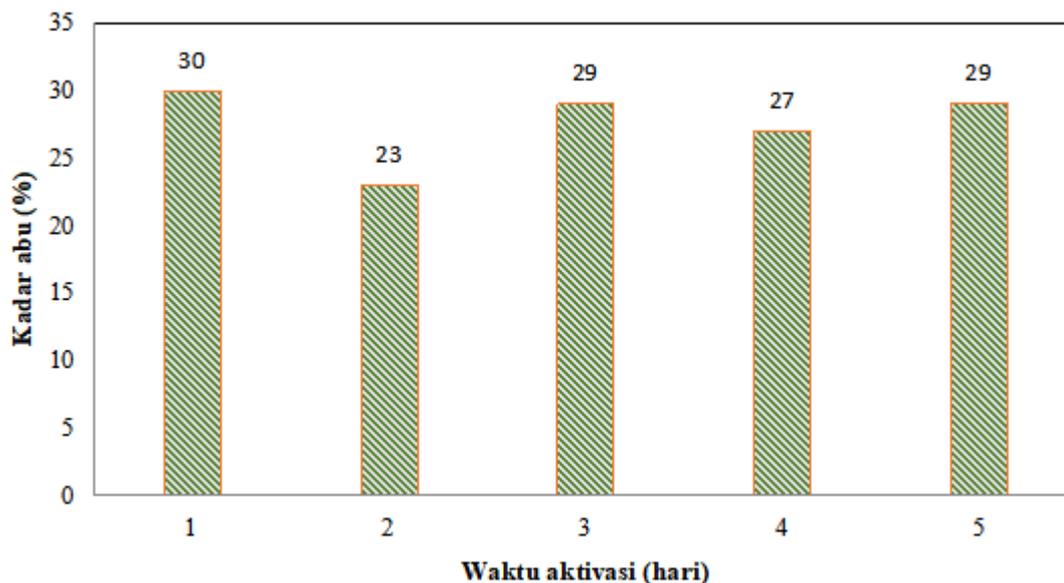
Dari Gambar 3 dapat diketahui bahwa semakin lama waktu perendaman semakin tinggi kadar Iod. Kadar penyerapan Iod pada perlakuan *double* aktivasi 2N KOH (pra dan pasca pirolisis) adalah 317,25; 342,63; 355,32; 406,08; dan 482,22 mg Iod/gram arang aktif dengan waktu perendaman 1, 2, 3, 4, dan 5 hari. Hasil perlakuan *single* aktivasi KOH 2N (pasca pirolisis) untuk waktu perendaman 1, 2, 3, 4, dan 5 hari berturut-turut kadar Iod adalah 329,94; 355,20; 406,08; 456,84; 507,60 mg Iod/gram arang aktif. Dari hasil *single* dan *double* jika dibandingkan kadar Iod nya maka *single* aktivasi lebih baik, terutama pada kondisi optimum yakni pada perendaman 5 hari untuk *single* aktivasi 507,60 mg/gram, sedangkan untuk *double* aktivasi sebesar 482,22 mg/gram.

Dari hasil penelitian ini dapat ditemukan bahwa perlakuan arang aktif secara *single* aktivasi memperoleh hasil yang lebih baik dan di atas standar SNI sedangkan perlakuan *double* aktivasi menunjukkan hasil yang lebih rendah dan kurang maksimal jika dibandingkan dengan *single* aktivasi. Hal ini disebabkan antara lain, pada perlakuan *double* aktivasi perendaman kayu cemara pra/sebelum pirolisis menyebabkan kadar air yang terkandung di dalam kayu cemara menjadi lebih tinggi dibandingkan kadar air kayu cemara mula-mula. Selanjutnya pori-pori kayu tertutup air sehingga proses pembakaran yang terjadi pada reaktor pirolisis kurang sempurna, arang yang dihasilkan masih banyak mengandung air. Meskipun dilanjutkan dengan aktivasi kedua pasca pirolisis namun dengan arang yang masih banyak mengandung air maka arang aktif yang dihasilkan volume pori relatif lebih rendah daripada *single* aktivasi. Hal ini dapat dilihat dari bilangan Iod lebih rendah dibandingkan dengan *single* aktivasi [13,14,28,30-31].

Menurut Pari, 2006 [13] semakin lama waktu aktivasi maka kadar penyerapan Iod (mg Iod/gr arang) yang didapat semakin tinggi, maka semakin tinggi kadar penyerapan Iod semakin baik digunakan sebagai adsorben. Dari hasil penelitian ini semakin lama waktu aktivasi semakin meningkat kadar Iod. Pada *single* aktivasi (507,60 mg/gram) lebih baik daripada *double* aktivasi (482,22 mg/gram) dengan kadar Iod yang lebih tinggi dengan waktu perendaman yang sama (5 hari, namun dengan kedua cara tersebut hasil bilangan Iod masih lebih rendah dari standar SNI.

3.2. Pengaruh *Single* Aktivasi 2N KOH pada Kadar Abu

Penetapan kadar abu bertujuan untuk menentukan kandungan oksida logam dalam arang aktif. Bahan kimia pengaktivasi berpengaruh terhadap kadar abu arang aktif. Pernyataan ini berdasarkan analisis yang menunjukkan bahwa konsentrasi aktivasi dan perlakuan aktivasi berpengaruh nyata dalam kadar abu arang aktif. Pada Gambar 4 menunjukkan hasil kadar abu pada perlakuan *single* aktivasi 2N KOH (Pasca Pirolisis).

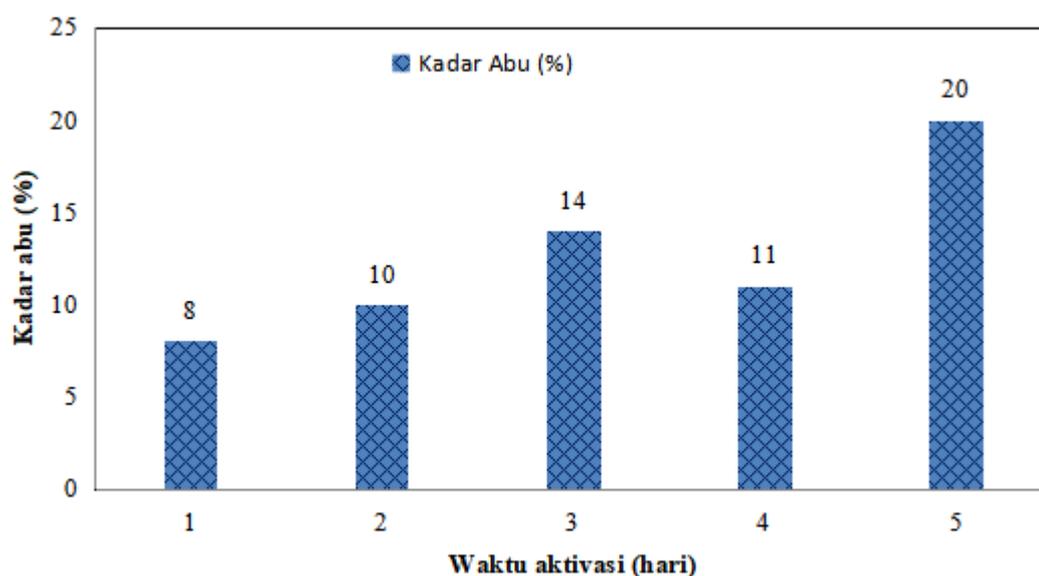


Gambar 4. Pengaruh *single* aktivasi 2N KOH (Pasca Pirolisis) pada kadar abu.

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa kadar abu mengalami kondisi naik turun dalam kisaran 23-30%, hal ini lebih dipengaruhi oleh lamanya waktu dan suhu pengovenan arang aktif sesudah perendaman. Pada prinsipnya proses pengovenan dilakukan untuk menguapkan air yang terdapat dalam arang aktif, sehingga perlu diperhatikan suhu dan lama proses pengovenan. Dalam penelitian ini suhu dan lama pengovenan tidak menjadi variabel yang diteliti dan dilakukan dengan kisaran suhu 200-300 °C dengan waktu sekitar 3-4 jam. Pada *single* aktivasi KOH 2N selama 1, 2, 3, 4, dan 5 hari diperoleh kadar abu secara berturut-turut adalah 30, 23, 29, 27, dan 29% atau kadar abu rata-rata 27,6%.

3.3. Pengaruh *Double* Aktivasi 2N KOH (Pra dan Pasca Pirolisis) terhadap Kadar Abu

Pada Gambar 5 menunjukkan hasil penelitian pada perlakuan *double* aktivasi 2N KOH (pra dan pasca pirolisis) terhadap kadar abu. Pada waktu aktivasi selama 1, 2, 3, 4, dan 5 hari diperoleh kadar abu arang aktif berturut-turut adalah 8, 10, 14, 11, dan 20% atau sekitar 12,6%. Pada perendaman 1 dan 2 hari kadar abu cukup rendah yakni 8 dan 10%.



Gambar 5. Pengaruh *double* aktivasi 2N KOH (Pra dan Pasca Pirolisis) pada kadar abu.

Dari data pengaruh perlakuan *single* dan *double* aktivasi dapat disimpulkan bahwa hasil kadar abu pada perlakuan *double* aktivasi KOH 2N juga mengalami kondisi yang naik turun seperti pada perlakuan *single* aktivasi KOH 2N. Namun hasil penelitian *single* aktivasi lebih tinggi daripada *double* aktivasi. Kadar abu arang aktif lebih dipengaruhi oleh suhu dan lama pengovenan arang sesudah dilakukan perendaman atau aktivasi. Jika kadar abu terlalu tinggi dapat diperkirakan bahwa suhu pengovenan terlalu tinggi atau pengovenan terlalu lama.

Berdasarkan SNI 2015 bahwa kadar abu maksimum adalah 10%, sedangkan kadar abu pada penelitian *single* dan *double* aktivasi KOH 2N melebihi 10% maka pengaturan suhu dan lamanya pengovenan arang aktif sesudah perendaman perlu diteliti.

4. Kesimpulan

Single aktivasi KOH 2N adalah perlakuan aktivasi pada kayu cemara yang dilakukan pada arang hasil pirolisis. Sedangkan *double* aktivasi KOH 2N adalah perlakuan aktivasi kayu cemara yang dilakukan 2 kali yaitu sebelum (pra) dilakukan pirolisis dan sesudah (pasca) proses pirolisis. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa perlakuan *single* dan *double* aktivasi KOH 2N dapat mempengaruhi bilangan Iod arang aktif dari kayu cemara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan perendaman dalam KOH 2N selama 1-5 hari kadar Iod yang diperoleh berkisar antara 317,25-507,60 mg/gram arang. Waktu aktivasi optimum adalah 5 hari dengan *single* aktivasi diperoleh kadar Iod maksimal 507,60 mg/gram lebih rendah standar SNI. Sedangkan kadar abu yang diperoleh pada penelitian ini masih belum sesuai dengan standar SNI yakni lebih dari 10%, hasilnya berkisar antara 8% – 30% untuk *single* dan *double* aktivasi. Dari hasil penelitian ini kadar abu tidak terlalu dipengaruhi oleh lama waktu aktivasi.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih atas bantuan pendanaan penelitian melalui skim Penelitian Hibah Bersaing dana internal melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta.

Daftar Pustaka

- [1] I. Suyata, "Optimasi penurunan nilai BOD, COD, dan TSS limbah cair industri tapioka menggunakan arang aktif dari ampas kopi", *J. Mol.*, vol. 5, no. 5, pp. 22–23, 2010.
- [2] S. Jamilatun dan Salamah, S., "Peningkatan Kualitas Asap Cair dengan Menggunakan Arang Aktif", SNTT FGDT 2015, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [3] K. Riyani, "Pengaruh karbon aktif terhadap aktivitas foto degradasi zat warna pada limbah cair industri tekstil menggunakan fotokatalis TiO₂", *J. Mol.*, vol. 6, no. 2, pp. 113–122.
- [4] S. Jamilatun, Intan Dwi, I., Elza Novita, P., "Karakteristik Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dengan Pengaktivasi H₂SO₄ Variasi Suhu dan Waktu", Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT) II 2014, Universitas Muhammadiyah Surakarta, ISSN: 2339-028X, 2015.
- [5] C. Nieto-Delgado, J. Gutiérrez-Martínez, and J. R. Rangel-Méndez, "Modified activated carbon with interconnected fibrils of iron-oxyhydroxides using Mn²⁺ as morphology regulator, for a superior arsenic removal from water," *J. Environ. Sci. (China)*, vol. 76, pp. 403–414, 2018, doi: 10.1016/j.jes.2018.06.002.
- [6] Y. S. Jeong, "Lab-scale and pilot-scale two-stage gasification of biomass using active carbon for production of hydrogen-rich and low-tar producer gas," *Fuel Process. Technol.*, vol. 198, no. October 2019, p. 106240, 2020, doi: 10.1016/j.fuproc.2019.106240.
- [7] T. A. Buscheck et al., "Integrated geothermal CO₂ reservoir systems: Reducing carbon intensity through sustainable energy production and secure CO₂ storage," *Energy Procedia*, vol. 37, pp. 6587–6594, 2013, doi: 10.1016/j.egypro.2013.06.591.
- [8] S. Jamilatun, Aslihati, L. dan Suminar, E.W., "Pengaruh perendaman ikan nila dengan asap cair (liquid smoke) terhadap daya simpan", *Prosiding Semnastek*, 2016.

- [9] P. Patandung, "Pengaruh jenis aktivator terhadap kualitas arang aktif dari tempurung kemiri (*aleuritis moluccana willd*) the effect of activator on the quality of activated charcoal for candlenut," J. Penelit. Teknol. Ind., vol. 9, no. 2, pp. 107–114, 2017.
- [10] G. Ravenni, O. H. Elhami, J. Ahrenfeldt, U. B. Henriksen, and Y. Neubauer, "Adsorption and decomposition of tar model compounds over the surface of gasification char and active carbon within the temperature range 250–800 °C," Appl. Energy, vol. 241, no. March, pp. 139–151, 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.03.032.
- [11] KB. Oyo, Igbokwe PK, "Production of activated carbon from coconut-shell". J. Chem.Soc. Nig., 26(1): 91-94, 2001.
- [12] A. Putra, 2019 "Preparation and Characterization of Activated Carbon from Waste of Jengkol Shell (*Pithecellobium jiringa*)," Int. J. Progress. Sci. Technol., vol. 15, no. 2, pp. 320–327.
- [13] S. Jamilatun dan S. Salamah, "Pemanfaatan Asap Cair Food Grade yang Dimurnikan dengan Arang Aktif sebagai Pengawet Ikan Nila", Eksergi, 14 (2), 29-34, 2017.
- [14] Y. Aprianis, 2012, "Karakteristik Arang Aktif dari Tungga *Accacia crassicarpa*," J. Penelit. Has. Hutan, vol. 30, no. 4, pp. 261–268, 2012.
- [15] F. Dwi Kurniati S. Podoyo, "Sintesis Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya Untuk Adsorpsi Asap Cair," J. Kim. Sains dan Apl., vol. 14, no. 3, pp. 72–76, 2011.
- [16] G. Pambayun, R. Y. E. Yulianto., M. Rachimoallah, E., M. M. Putri, "Pembuatan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan aktivator $ZnCl_2$ dan sebagai adsorben untuk mengurangi kadar fenol dalam air limbah," J. Tek. Pomits, vol. 2, no. 1, 2013.
- [17] S. Jayanti dan Sumarni, N., "Kajian Arang Aktif Biji Asam Jawa (*Tamarindus Indica* Linn) Menggunakan Aktivator H_3PO_4 Pada Penyerapan Logam Timbal," J. Ris. Kim., vol. 1, no. 1, pp. 13–19, 2015.
- [18] A. V. Bridgwater, "Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass," Chem. Eng. J., vol. 91, no. 2–3, pp. 87–102, 2003, doi: 10.1016/S1385-8947(02)00142-0.
- [19] T. Bhaskar, B. Bhavya, R. Singh, D. V. Naik, A. Kumar, and H. B. Goyal, "Thermochemical conversion of biomass to biofuels," Biofuels, pp. 51–77, 2011, doi: 10.1016/B978-0-12-385099-7.00003-6.
- [20] I. Mufandi, W. Treedet, P. Singbua, and R. Suntivarakorn, "Produksi bio-oil dari rumput gajah dengan fast pyrolysis menggunakan circulating fluidized bed reactor (CFBr) dengan kapasitas 45 kg/h," Chem. J. Tek. Kim., vol. 5, no. 2, p. 37, 2019, doi: 10.26555/chemica.v5i2.12484.
- [21] I. Mufandi, Treede, P. Singbua, and R. Suntivarakorn, "The Comparison of Bio-oil Production from Sugarcane Trash , Napier Grass , and Rubber Tree in The Circulating Fluidized Bed Reactor," TEST Eng. Manag. J., vol. 82, no. 4557, pp. 4557–4563, 2020.
- [22] W. Treedet and R. Suntivarakorn, "Design and operation of a low cost bio-oil fast pyrolysis from sugarcane bagasse on circulating fluidized bed reactor in a pilot plant," Fuel Process. Technol., vol. 179, no. March, pp. 17–31, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.fuproc.2018.06.006.
- [23] W. Treedet and R. Suntivarakorn, "Sugar Cane Trash Pyrolysis for Bio-oil Production in a Fluidized Bed Reactor," pp. 140–147, 2011, doi: 10.3384/ecp11057140.
- [24] J. L. Zheng, "Pyrolysis oil from fast pyrolysis of maize stalk," J. Anal. Appl. Pyrolysis, vol. 83, no. 2, pp. 205–212, 2008, doi: 10.1016/j.jaap.2008.08.005.
- [25] A. Pattiya, "Bio-oil production via fast pyrolysis of biomass residues from cassava plants in a fluidised-bed reactor," Bioresour. Technol., vol. 102, no. 2, pp. 1959–1967, 2011, doi: 10.1016/j.biortech.2010.08.117.
- [26] S. Jamilatun, M. Setyawan, S. Salamah, D.A., Ayu Purnama, R. Melani Putri, "Pembuatan Arang Aktif Dari Tempurung Kelapa Dengan Aktivasi Sebelum dan Susudah Pirolisis", Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2015, Universitas Muhammadiyah Jakarta, 2407-1846 (Print) 2460-8416 (Online), 2015.
- [27] Standar Nasional Indonesia, 2015 (SNI) 06-3730-2015:" Arang Aktif Teknis". Jakarta: Dewan Standarisasi Nasional.

-
- [28] L. M. Yuningsih, D. Mulyadi, and A. J. Kurnia, "Pengaruh Aktivasi Arang Aktif dari Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa Terhadap Luas Permukaan dan Daya Jerap Iodin," *J. Kim. Val.*, vol. 2, no. 1, pp. 30–34, 2016.
- [29] M. Paputungan dan H. Iyabu, "Pengaruh Aktivator HCl dan H₃PO₄ terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb)," *J. Entropi*, vol. 13, no. 1, pp. 67–75, 2018.
- [30] S. Jamilatun, D. Kusuma, ASS. Shakti dan F. Ferdiant, "Pembuatan Biocoal Sebagai Bahan Bakar Alternatif dari Batubara dengan Campuran Arang Serbuk Gergaji Kayu Jati, Glugu dan Sekam Padi", *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan", Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, ISSN 1693 – 4393, 2010.