

Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Posfat (H_3PO_4) dan Waktu Perendaman Karbon terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Kulit Durian

Study of Phosphoric Acid (H_3PO_4) Concentration Effect and Carbon Soaking Time on Activated Carbon Characteristics from Durian Shell

Amir Husin*, Asmiah Hasibuan

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Jalan Almamater, Kota Medan, Kode pos 20155, Indonesia

*Email: amirhusinika@yahoo.com

Abstrak

Kulit durian merupakan salah satu limbah pertanian yang berpotensi menjadi produk yang bernilai oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan kulit durian dalam pembuatan karbon aktif serta mengkaji pengaruh variasi konsentrasi asam posfat (H_3PO_4) dan waktu perendaman karbon terhadap karakteristik karbon aktif. Kulit durian dipirolisis pada suhu $400^\circ C$ selama 2 jam, selanjutnya dihaluskan di dalam *ball mill*, kemudian diayak dengan ayakan 100 *mesh*, dan karbon diaktifkan menggunakan asam posfat (H_3PO_4) dengan variasi konsentrasi 30, 40, 50, 60, dan 70% (v/v) serta lama perendaman 3 jam, 6 jam, 9 jam, 12 jam, dan 15 jam. Pengaruh variasi konsentrasi dan waktu perendaman karbon menghasilkan karakteristik karbon aktif yang fluktuatif. Karbon aktif dengan nilai bilangan iodin tertinggi 1.080,1728 mg/g diperoleh pada konsentrasi perendaman aktivator 30% (v/v) selama 9 jam. Hasil analisa SEM-EDX karbon aktif termasuk golongan mesopori, BET sebesar $44,372 \text{ m}^2/\text{g}$ menunjukkan luas permukaan.

Kata kunci : karbon aktif, perendaman, kulit durian, pirolisis, asam posfat

Abstract

Durian shell is one of the agricultural wastes has the potency to valuable product therefore this study aims to utilize durian shells in activated carbon production and examine effect of variations phosphoric acid (H_3PO_4) concentration and carbon soaking time to characteristics of activated carbon. Durian shell pyrolyzed at $400^\circ C$ for 2 hours, milled using ball mill, sifted with a 100 mesh sieve, and carbon is activated with soaking using phosphoric acid (H_3PO_4) with various concentrations of 30, 40, 50, 60 and 70% (v/v) and soaking time of 3 hours, 6 hours, 9 hours, 12 hours, and 15 hours. Effect of variation concentration and soaking time shows the characterization of activated carbon are fluctuating. Activated carbon with the highest iodine number of 1,080,1728 mg/g obtains at activator concentration 30% (v/v) for 9 hours. Results of the SEM-EDX analysis of activated carbon show that mesoporous group, BET analysis shows $44,372 \text{ m}^2/\text{g}$ of surface area.

Keyword: activated carbon, soaking, durian shell, pyrolysis, phosphoric acid

Pendahuluan

Karbon aktif merupakan padatan *amorf* berbentuk heksagonal dengan sebuah atom C pada setiap sudutnya yang telah diaktifkan dengan proses aktivasi, memiliki pori yang banyak dengan kemampuan mengadsorpsi gas dan uap yang terdispersi dalam cairan [1], [2]. Kemampuan adsorpsi karbon aktif tidak hanya ditentukan oleh struktur pori tetapi juga dipengaruhi oleh sifat kimia permukaannya. Sifat kimia permukaan karbon aktif dapat dimodifikasi untuk lebih meningkatkan kapasitas adsorpsi [3]. Berbagai metode modifikasi untuk mengembangkan luas permukaan karbon aktif seperti *impregnation treatment*, *ozone treatment*, *surfactant treatment*,

plasma treatment, *microwave treatment*, dan lainnya [4]. Aktivasi kimia dengan metode impregnasi tergolong metode yang mudah dan sederhana serta mampu memperbesar pori karbon aktif sehingga kemampuan daya serap meningkat [5]. Faktor yang mempengaruhi pembuatan karbon aktif seperti konsentrasi aktivator dan waktu impregnasi [6], [7]. Impregnasi dilakukan dengan mengontakkan sejumlah larutan tertentu yang mengandung prekursor fase aktif dengan fase padat, selanjutnya dikeringkan untuk menghilangkan pelarut organik [8].

Indonesia memiliki sumber daya alam melimpah sehingga banyak sekali sumber bahan baku yang dapat digunakan dalam pembuatan

karbon aktif. Salah satunya diperoleh dari sektor pertanian atau limbah pertanian seperti kulit durian.

Dari berbagai penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa proses pembuatan karbon aktif sudah sering dilakukan. Namun terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan atau dikembangkan dalam bidang ini, seperti limbah yang memiliki potensi untuk menghasilkan karbon aktif, aktivator yang paling baik untuk material lignoselulosa, konsentrasi aktivator dan lama perendaman. Berdasarkan hal tersebut, maka fokus dalam penelitian ini ditujukan untuk mempelajari proses modifikasi karbon aktif untuk meningkatkan kualitas karbon aktif dengan perendaman menggunakan aktivator asam posfat (H_3PO_4) bahan baku berupa kulit durian dimana pemanfaatannya masih terbatas oleh masyarakat dengan variabel konsentrasi aktivator dan lama perendaman.

Teori

Konsumsi buah durian di Indonesia relatif cukup tinggi dan mencakup semua golongan baik golongan menengah ke atas maupun menengah ke bawah [6]. Bagian buah yang dapat dimakan tergolong rendah yaitu hanya 20,52%. Berarti 79,48% merupakan bagian yang tidak termanfaatkan untuk dikonsumsi seperti kulit dan biji durian [9]. Kulit durian secara proposional mengandung unsur selulosa yang tinggi (50-60 %), lignin (5%) serta pati yang rendah (5%) [10]

Kualitas karbon berdasarkan persyaratan (SNI) 06-3730-1995.

Tabel 1. Kualitas Karbon Aktif (SNI)

Jenis persyaratan	Parameter
Kadar Air	Maksimum 15%
Kadar Abu	Maksimum 10 %
Kadar zat menguap	Maksimum 25%
Kadar karbon	Minimum 65 %
Bilangan iodin	Minimum 750 mg/g

Ket :

SNI (Standar Nasional Indonesia)

Aktivasi cara kimia pada prinsipnya adalah perendaman arang dengan senyawa kimia [11]. Aktivasi menggunakan asam fosfat telah diterapkan pada berbagai bahan yang mengandung lignoselulosa seperti bahan-bahan kayu, kulit buah dan limbah pertanian [12]. Asam Posfat

(H_3PO_4) di pilih sebagai aktivator karena tidak mencemari lingkungan dan proses penetralan produk karbon aktif yang mudah yaitu hanya dengan pencucian menggunakan air [13].

Metodologi Penelitian

Bahan dan Alat : Bahan yang digunakan adalah kulit durian, *asam posfat* (H_3PO_4), *aquadest* (H_2O), indikator amilum, iodin, natrium thiosulfat, dan karbon aktif komersial. Peralatan yang digunakan adalah *hot plate*, oven, tangki pirolisis, stopwatch, ayakan, kertas saring whatman, desikator dan peralatan analisa lainnya.

Persiapan Bahan Baku: Kulit durian dipotong kecil dan dicuci hingga bersih. Lalu dikeringkan dengan sinar matahari selama 72 jam untuk mengurangi kadar air pada kulit durian agar tidak busuk [14]. Dilakukan analisa kadar air terhadap kulit durian.

Karbonisasi: Kulit durian yang sudah dikeringkan dimasukkan kedalam tangki pirolisis selama 2 jam pada suhu $400^{\circ}C$, diperoleh arang hasil karbonisasi kemudian didinginkan pada desikator selama 30 menit lalu digerus dan diayak dengan ukuran 100 *mesh*.

Perendaman Karbon: 6 g arang kulit durian direndam dalam larutan *asam posfat* (H_3PO_4) 30% sebanyak 50 ml selama 3 jam dengan suhu perendaman $80^{\circ}C$. Kemudian disaring menggunakan kertas saring whatman. Netralisasi arang, dibilas dengan air hangat sampai pH arang netral. Dikeringkan pada oven suhu $105^{\circ}C$ selama 3 jam [15]. Diulangi prosedur percobaan berdasarkan variasi konsentrasi aktivator dan lama perendaman.

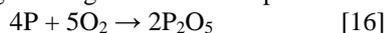
Analisa : Analisa kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, kadar karbon dan bilangan iodin sesuai SNI. Analisa SEM-EDX dan BET.

Hasil dan Pembahasan

1. Perbandingan karakteristik kulit durian dan karbon aktif dari kulit durian dengan analisa SEM-EDX

Karakteristik bahan baku kulit durian sebelum perendaman (Tabel 1) dan karbon aktif dari kulit durian (Tabel 2) mengalami proses pembentukan zat baru yaitu terbentuknya fosfor pentaoksida (P_2O_5) sebanyak 0,44 %. Pada proses pencucian arang yang sudah direndam dengan asam posfat (H_3PO_4) bahwa masih terdapat 1-2% posfor pada lapisan karbon aktif yang tidak dapat dihilangkan

pada proses pencucian, sehingga posfor bereaksi dengan oksigen menghasilkan fosfor pentaoksida.



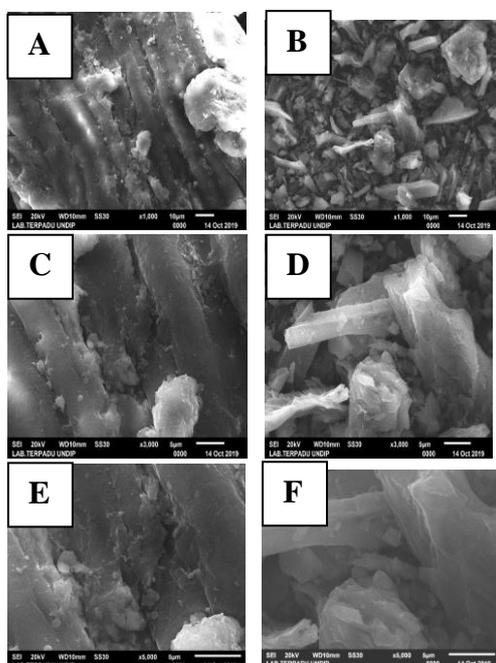
Fenomena perendaman arang menggunakan asam posfat Menurut [17] menunjukkan bahwa selama proses aktivasi pelat-pelat karbon kristalit yang tidak teratur mengalami pergeseran sehingga permukaan kristalit menjadi terbuka terhadap pengaktif yang dapat mendorong residu-residu hidrokarbon.

Tabel 2. karakteristik kulit durian dengan analisa SEM EDX

Komponen	Satuan Berat (%)	Nilai Hasil Analisis
C	% berat	95,86
K ₂ O		1,76
FeO		1,15
ZrO ₂		1,24

Tabel 3. karakteristik karbon aktif dengan analisa SEM EDX

Komponen	Satuan Berat (%)	Nilai Hasil Analisis
C	% berat	98,27
MgO		0,27
P ₂ O ₅		0,44
CaO		0,31
ZrO ₂		0,71



Gambar 1. Analisa SEM (A) Kulit Durian dan (B) Karbon Aktif setelah perbesaran 1.000 kali; (C) Kulit Durian dan (D) Karbon Aktif setelah perbesaran 3.000 kali; (E) Kulit Durian dan (F) Karbon Aktif setelah perbesaran 5.000 kali;

Bahan baku sebelum diaktivasi akan menunjukkan distribusi partikel tidak terisi, permukaan arang kasar, dan pori tidak terlihat. Ini karena permukaan arang yang belum diaktifkan ada kotoran dalam bentuk hidrokarbon, tar dan senyawa lainnya terbentuk pada saat karbonisasi sehingga permukaan arang menjadi kasar dan menyebabkan pori-pori arang tertutup [18]. Karbon aktif setelah perendaman, distribusi partikel yang hampir seragam, permukaan halus dan pori terlihat dipermukaan arang. Hal ini karena kotoran yang ditemukan pada permukaan arang telah hilang selama proses aktivasi.

2. Karakteristik Karbon tanpa perlakuan dan karbon aktif komersial

Pada Tabel 4 dapat dilihat karakteristik karbon tanpa perlakuan dan karbon aktif komersial

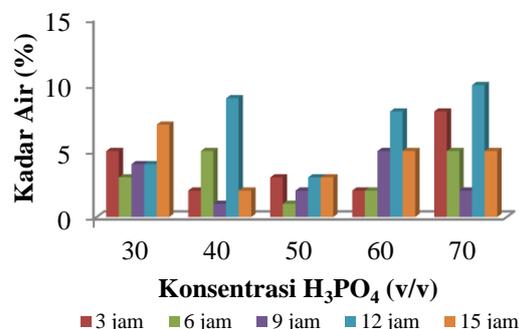
Tabel 4. karakteristik karbon tanpa perlakuan dan karbon aktif komersial

KP	KTP	KAK
Kadar Air	7	7
Kadar Abu	16	3
Zat Menguap	60	53
Karbon	17	37
Bilangan Iodin	406,08	446,69

Keterangan :
 KP (Kontrol Penelitian)
 KTP (Karbon tanpa Perlakuan)
 KAK (Karbon Aktif Komersial)

3. Karakteristik karbon aktif dari kulit durian

1. Kadar air



Gambar 2. Kadar Air Karbon Aktif

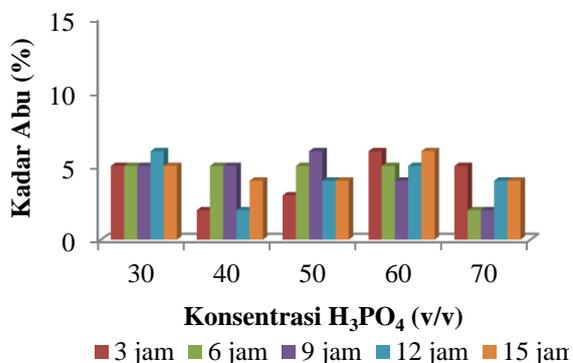
Gambar 2 menunjukkan bahwa kadar air karbon aktif dari kulit durian mengalami fluktuasi seiring bertambahnya konsentrasi asam posfat (H_3PO_4) dengan berbagai lama perendaman. Hasil ini menyimpulkan bahwa tinggi rendahnya kadar air disebabkan oleh sifat higroskopis arang dan jumlah uap air pada udara, penggilingan, pengayakan dan penetralan yang terkandung oleh karbon aktif [19], [20].

Pengaruh konsentrasi aktivator dan waktu perendaman yang semakin bertambah menyebabkan kadar air mengalami fluktuasi karena semakin pekat konsentrasi maka proses penetralan akan berlangsung lama sesuai besarnya konsentrasi dan waktu perendaman sehingga kontak antara karbon aktif terhadap udara semakin lama menyebabkan karbon aktif akan menyerap air yang ada pada udara sekitar dan dapat memengaruhi nilai kadar air karbon aktif.

Secara keseluruhan apabila kadar air karbon aktif penelitian ini dibandingkan dengan kadar air karbon tanpa perlakuan, karbon aktif komersial dan karbon aktif berdasarkan SNI maka kadar air hasil penelitian ini masih lebih rendah.

2. Kadar Abu

Gambar 3 menunjukkan bahwa kadar abu karbon aktif dari kulit durian mengalami fluktuasi seiring bertambahnya konsentrasi asam posfat (H_3PO_4) dengan berbagai lama waktu perendaman. Dengan adanya aktivator seperti H_3PO_4 dapat mempengaruhi tinggi rendahnya nilai kadar abu dalam melarutkan mineral-mineral anorganik yang terkandung dalam arang aktif, kandungan abu dapat berupa kalium, magnesium dan natrium yang dapat menghalangi pori-pori karbon aktif [21].



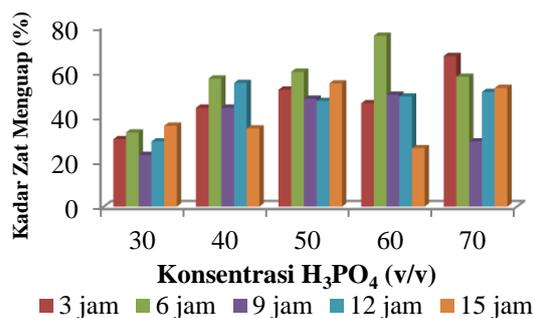
Gambar 3. Kadar Abu Karbon Aktif

Pengaruh konsentrasi aktivator dan waktu perendaman yang semakin bertambah menyebabkan kadar abu mengalami fluktuasi karena semakin banyak dan lamanya aktivator yang terjebak dalam permukaan karbon aktif akan menyerap air pada udara dan menambah kadar air sehingga masih terdapat sisa mineral yang tidak dapat menguap pada proses pengabuan.

Secara keseluruhan apabila dibandingkan kadar abu karbon aktif hasil penelitian ini masih lebih rendah dari karbon tanpa perlakuan dan karbon aktif berdasarkan SNI tetapi lebih tinggi dari karbon aktif komersial.

3. Kadar zat menguap

Gambar 4 menunjukkan bahwa kadar zat menguap karbon aktif dari kulit durian mengalami fluktuasi dan cenderung mengalami peningkatan seiring bertambahnya konsentrasi asam posfat (H_3PO_4) dengan berbagai lama waktu perendaman. Hasil bahwa tingginya kadar zat menguap dikarenakan tingginya konsentrasi zat aktivator sehingga nitrogen dan sulfur yang terbakar pada temperatur $950^\circ C$ sedikit. Sedangkan penurunan kadar zat menguap berdasarkan variasi waktu perendaman menunjukkan bahwa residu-residu senyawa hidrokarbon yang menempel pada permukaan karbon aktif mampu terekstraksi dengan peningkatan aktivator [22].

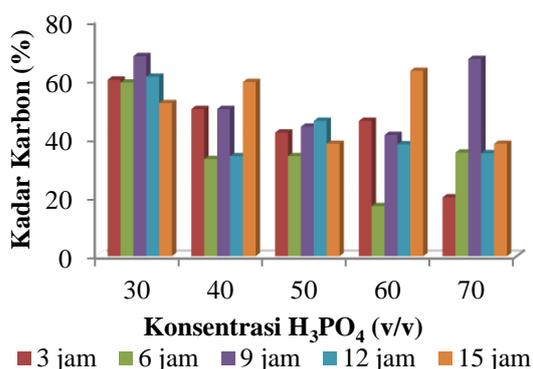


Gambar 4. Kadar zat menguap karbon aktif

Secara keseluruhan apabila dibandingkan kadar zat menguap karbon aktif hasil penelitian ini masih lebih rendah dari karbon aktif tanpa perlakuan dan karbon aktif komersial tetapi lebih tinggi dari karbon aktif berdasarkan SNI.

4. Kadar Karbon

Gambar 5 menunjukkan hasil kadar karbon pada karbon aktif dari kulit durian mengalami fluktuasi dan cenderung mengalami penurunan seiring bertambahnya konsentrasi asam posfat (H_3PO_4) dengan berbagai waktu perendaman. Kadar karbon murni pada karbon aktif sangat dipengaruhi oleh bahan baku arang kayu [23]. Penurunan kadar karbon yang drastis seperti pada konsentrasi 30% dan 60% dengan masing-masing perendaman 6 jam terjadi kehilangan karbon sebanyak 42%, hal ini dapat disebabkan karena proses karbonisasi yang kurang sempurna sehingga aktivator lebih banyak mengikat garam-garam mineral dan aktivator mampu mendesak keluar kandungan utama [24]. Dapat dilihat pada tabel 2 pada uji SEM-EDX bahwa terbentuknya magnesium oksida dan kalsium oksida yang merupakan senyawa oksida logam. Selain kemungkinan komponen karbon larut dalam aktivator yang pekat seiring dengan waktu perendaman.



Gambar 5. Kadar karbon karbon aktif

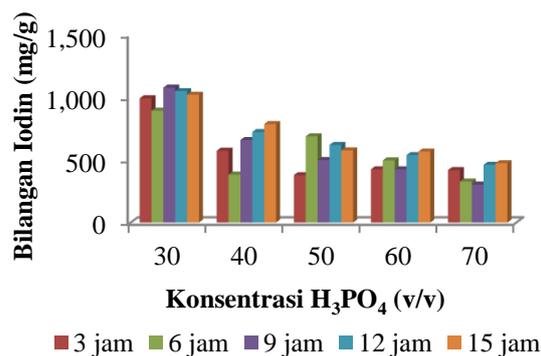
Pengaruh variasi konsentrasi aktivator dan waktu perendaman yang semakin bertambah menyebabkan tinggi rendahnya kadar karbon terikat yang dihasilkan hal ini mungkin dikarenakan pemilihan jenis durian yang tidak seragam diolah secara bersamaan sehingga kandungan karbon yang awalnya tidak seragam pada bahan baku terjadi pencampuran sehingga menghasilkan kadar karbon sesuai gambar 5. Tinggi rendahnya kadar karbon pada karbon aktif juga dapat dipengaruhi oleh tinggi rendahnya kadar air, abu dan zat menguap karbon aktif.

Secara keseluruhan apabila dibandingkan kadar karbon hasil penelitian ini masih lebih tinggi dari karbon aktif tanpa perlakuan dan karbon aktif

komersial tetapi lebih rendah dari karbon aktif berdasarkan SNI.

5. Bilangan iodin

Gambar 6 diatas menunjukkan bahwa bilangan iodin pada karbon aktif dari kulit durian mengalami fluktuasi dan cenderung mengalami penurunan seiring bertambahnya konsentrasi asam posfat (H_3PO_4) dengan berbagai lama waktu perendaman. Hal ini sesuai menurut [25] menyimpulkan bahwa penurunan bilangan iodin disebabkan oleh banyaknya aktivator yang terjebak dalam pori karbon dan pori karbon aktif mengalami kerusakan dengan adanya aktivator yang lebih besar, sehingga volume pori semakin kecil. Sedangkan iodin berdasarkan lama aktivasi cenderung mengalami peningkatan, menurut [26] semakin lama waktu aktivasi maka semakin banyak zat inert dipermukaan partikel karbon yang terlepas dari permukaan sehingga pori-pori permukaan partikel karbon aktif semakin banyak menyebabkan luas permukaan semakin besar dan daya serap tinggi.



Gambar 6. Bilangan iodin karbon aktif

Tinggi rendahnya bilangan iodin juga dapat disebabkan oleh ketidakjenuhan komponen penyusun karbon aktif, pemilihan bahan baku yang tidak seragam baik dari segi jenis durian serta keutuhan kulit durian. Sehingga pada proses preparasi semua bahan baku yang tidak sejenis tercampur. Secara keseluruhan apabila dibandingkan bilangan iodin karbon aktif hasil penelitian ini lebih tinggi dari karbon aktif tanpa perlakuan dan karbon aktif komersial tetapi lebih rendah dari karbon aktif berdasarkan SNI.

6. Analisa BET

Analisa luas permukaan karbon aktif dengan serapan gas nitrogen [27]. Karbon aktif yang di uji merupakan karbon aktif terbaik berdasarkan analisa proksimat yaitu karbon aktif dengan variasi

konsentrasi 30% perendaman selama 9 jam menggunakan asam posfat (H_3PO_4) dengan ukuran lolos ayakan 100 mesh dengan luas permukaan pori 44,472 m^2/g . Luas permukaan pori hasil penelitian lebih rendah dibandingkan dengan luas permukaan karbon aktif dari batubara bituminus yang diaktivasi dengan H_3PO_4 yaitu 86,213 m^2/g . Hal ini disebabkan batubara bituminus memiliki kandungan *fixed* karbon yang cukup tinggi. Luas permukaan penelitian ini lebih tinggi dari serbuk gergaji kayu dengan luas permukaan karbon aktif sebesar 0,534 m^2/g [28].

Kesimpulan

1. Konsentrasi dan lama perendaman aktivator yang mengalami peningkatan menyebabkan kadar air dan kadar zat menguap cenderung meningkat. Sedangkan kadar abu, kadar karbon dan bilangan iodin cenderung rendah.
2. Secara keseluruhan analisa proksimat karbon aktif dari kulit durian lebih baik dari arang tanpa perlakuan dan karbon aktif komersial.
3. Hasil karbon aktif dari kulit durian yang terbaik yaitu variasi perendaman asam posfat (H_3PO_4) 30% selama 9 jam.

Daftar Pustaka

- [1] R. Idrus, B. P. Lapanporo, and Y. S. Putra, "Pengaruh suhu aktivasi terhadap kualitas karbon aktif berbahan dasar tempurung kelapa," *Prism. Fis.*, vol. 1, no. 1, pp. 50–55, 2013.
- [2] Ariyani, A. R. Putri, R. P. Eka, and R. Fathoni, "Pemanfaatan kulit singkong sebagai bahan baku arang aktif dengan variasi konsentrasi NaOH Dan Suhu," *Konversi*, vol. 6, no. 1, pp. 7–11, 2017.
- [3] L. Setyadhi, D. Wibowo, and S. Ismadji, "Modifikasi sifat kimia permukaan karbon aktif dengan asam oksidator dan non oksidator serta aplikasinya terhadap adsorpsi methylene blue," *The 4th National Conference: Design and Application of Technology*, 2005, no. 1, pp. 69–76.
- [4] A. Bhatnagar, W. Hogland, M. Marques, and M. Sillanpää, "An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications," *Chem. Eng. J.*, vol. 219, pp. 499–511, 2013.
- [5] T. K. Dewi, Mahdi, and T. Novriyansyah, "Pengaruh rasio reaktan pada impregnasi dan suhu reduksi terhadap karakter katalis kobalt/zeolit alam aktif," *J. Tek. Kim.*, vol. 22, no. 3, pp. 34–42, 2016.
- [6] S. Noer, R. D. Pratiwi, and E. Gresinta, "Pemanfaatan kulit durian sebagai adsorben biodegradable limbah domestik cair," *Fakt. Exacta*, vol. 8, no. 1, pp. 75–78, 2015.
- [7] D. A. Suryani, F. Hamzah, and V. S. Johan, "Variasi waktu aktivasi terhadap kualitas karbon aktif tempurung kelapa," *Jom Faperta UR*, vol. 5, no. 1, pp. 1–10, 2018.
- [8] N. M. Deraz, "The comparative jurisprudence of catalysts preparation methods: i. Precipitation and impregnati" *J. Ind. Environ. Chem.*, vol. 2, no. 1, pp. 19–21, 2018.
- [9] Supiati, H. M. Yudi, and S. Chadijah, "Pengaruh konsentrasi aktivator asam klorida (HCl) Terhadap Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Kulit Durian (Durio zibethinus) pada zat warna methanil yellow," *Al-Kimia*, vol. 1, no. 1, p. 2013, 2013.
- [10] R. Basaltico and C. Okik Hendriyanto, "Pemanfaatan kulit durian sebagai adsorben logam berat Pb pada limbah cair elektroplating," *J. Ilm. Tek. Lingkung.*, vol. 8, no. 1, pp. 10–18.
- [11] M. Lempang, W. Syafii, and G. Pari, "Struktur dan komponen arang serta arang aktif tempurung kemiri," *J. Penelit. Has. Hutan*, vol. 29, no. 3, pp. 278–294, 2011.
- [12] S. Yorgun and D. Yildiz, "Preparation and characterization of activated carbons from Paulownia wood by chemical activation with H_3PO_4 ," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 53, no. December 2017, pp. 122–131, 2015.
- [13] P. Foo and L. Lee, "Preparation of activated carbon from Parkia Speciosa Pod by chemical activation," in *Proceedings of the World Congress on Engineering ...*, 2010, vol. II, pp. 1–17.
- [14] Marlinawati, B. Yusuf, and Alimuddin, "Pemanfaatan arang aktif dari kulit durian (Durio zibethinus L.) sebagai adsorben ion logam kadmium (II)," *J. Kim. Mulawarman*, vol. 13, no. 1, pp. 23–27, 2015.
- [15] E. Setiawati and Suroto, "Pengaruh bahan aktivator pada pembuatan karbon aktif tempurung kelapa," *J. Ris. Ind. Has. Hutan*, vol. 2, no. 1, p. 21, 2010.
- [16] Z. Yue, C. L. Mangun, and J. Economy, "Preparation of fibrous porous materials by chemical activation: 1. $ZnCl_2$ activation of polymer-coated fibers," *Carbon N. Y.*, vol. 40, no. 8, pp. 1181–1191, 2002.
- [17] A. P. Sandi and Astuti, "Pengaruh waktu aktivasi menggunakan H_3PO_4 terhadap struktur dan ukuran pori karbon berbasis arang tempurung kemiri (Aleurites moluccana)," *J. Fis. Unand*, vol. 3, no. 2, pp. 115–120, 2014.

- [18] M. J. Rampe and V. A. Tiwow, "Fabrication and characterization of activated carbon from charcoal coconut shell Minahasa, Indonesia," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1028, no. 1, pp. 1–6.
- [19] J. A. P. Budiman, I. M. Yulianti, and W. N. Jati, "Potensi arang aktif dari kulit buah durian (*Durio Zibethinus Murr.*) dengan aktivator NaOH sebagai penjernih air sumur," *Biota*, vol. 3, no. 3, pp. 117–124, 2018.
- [20] A. G. Haji, G. Pari, M. Nazar, and Habibati, "Characterization of activated carbon produced from urban organic waste," *Int. J. Sci. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 89–94, 2013.
- [21] M. N. Setyawan, S. Wardani, and E. Kusumastuti, "Arang kulit kacang tanah teraktivasi H_3PO_4 sebagai Adsorben Ion logam Cu(II) dan diimobilisasi dalam bata beton," *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 262–269, 2018.
- [22] Muhammad Zulfadhli and Iriany, "Pembuatan karbon aktif dari cangkang buah karet dengan aktivator H_3PO_4 dan aplikasinya sebagai penjerap Pb(II)," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 6, no. 1, pp. 23–28, 2017.
- [23] F. F. Polii, "Pengaruh suhu dan lama aktivasi terhadap mutu arang aktif dari kayu kelapa," *J. Ind. Has. Perkeb.*, vol. 12, no. 2, pp. 21–28, 2017.
- [24] Y. Hendrawan, S. M. Sutan, and R. K. Y.R, "Pengaruh variasi suhu karbonisasi dan konsentrasi aktivator terhadap karakteristik karbon aktif dari ampas tebu (*Bagasse*) menggunakan activating agent NaCl," *J. Keteknikan Pertan. Trop. dan Biosist.*, vol. 5, no. 3, pp. 200–207, 2017.
- [25] I. S. Anggraeni and L. E. Yuliana, "Pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung siwalan (*Borassus flabellifer* L.) dengan menggunakan aktivator seng klorida ($ZnCl_2$) dan natrium karbonat (Na_2CO_3)," Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [26] I. M. Listyana, "Pengaruh waktu aktivasi dan diameter partikel pada karbon aktif dari pelepah aren (*Arenga pinnata*) dengan aktivator H_3PO_4 ," Skripsi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2019.
- [27] J. Abdulsalam, J. Mulopo, B. Oboirien, S. Bada, and R. Falcon, "Experimental evaluation of activated carbon derived from South Africa discard coal for natural gas storage," *Int. J. Coal Sci. Technol.*, vol. 6, no. 3, pp. 459–477, 2019.
- [28] E. Erawati and A. Fernando, "Pengaruh jenis aktivator dan ukuran karbon aktif terhadap pembuatan adsorbent dari serbuk gergaji kayu sengon (*Paraserianthes Falcataria*)," *J. Integr. Proses*, vol. 7, no. 2, pp. 58–66, 2018.