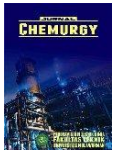
	<p>JURNAL CHEMURGY</p> <p>E-ISSN 2620-7435</p> <p>Available online at http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK</p>	 <p>SINTA Accreditation No. 152/E/KPT/2023</p>
---	--	---

PEMANFAATAN LIMBAH TONGKOL JAGUNG SEBAGAI BIOABSORBEN DALAM PROSES ADSORPSI BESI(II) DAN METILEN BIRU

UTILIZATION OF CORN COB WASTE AS AN ADSORBENT IN THE ADSORPTION PROCESS OF IRON(II) AND METHYLENE BLUE

Novi Eka M¹, Gumelar Muluk A¹, Ayu N¹, Tarikh Azis R^{2*}

¹Department of Waste Treatment Engineering, Marine Engineering, Shipbuilding Institute of Polytechnic Surabaya
Jl. Teknik Kimia Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, Indonesia

²Department of Piping Engineering, Marine Engineering, Shipbuilding Institute of Polytechnic Surabaya
Jl. Teknik Kimia Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, Indonesia

*email : tarikh@ppns.ac.id

(Received: 2023,05,26; Reviewed: 2023,09,21; Accepted: 2024, 05, 24)

Abstrak

Pertumbuhan industri akan menghasilkan efek samping, salah masalahnya adalah pencemaran limbah cair yang mengandung logam berat dan zat warna. Pencemaran tersebut dapat berdampak buruk bagi lingkungan sehingga perlu untuk diolah. Proses pengolahan limbah cair yang dapat dilakukan adalah dengan proses adsorpsi. Adsorpsi menggunakan karbon aktif berbahan dasar tongkol jagung yang sebelumnya dilakukan proses karbonasi pada 350°C selama 3 jam. Tongkol jagung yang telah menjadi karbon, dihaluskan hingga ukuran 20, 40, dan 60 mesh. Proses aktivasi dengan larutan ZnCl₂ 0,3 M. Proses adsorpsi ini berlangsung secara kontinu dengan debit 100 ml/menit. Karbon aktif yang dihasilkan telah memenuhi spesifikasi karbon aktif berdasarkan SNI. Proses adsorpsi secara kontinu ini berhasil menurunkan besi(II) hingga 99,55% dengan ukuran karbon aktif sebesar 40 mesh. Hal serupa juga berhasil dilakukan untuk menurunkan metilen biru hingga 97,565% dengan ukuran karbon aktif sebesar 60 mesh. Nilai penurunan ini dipengaruhi oleh penurunan ukuran partikel yang akan berdampak pada peningkatan besar kapasitas adsorpsi.

Kata Kunci: tongkol jagung, adsorpsi, karbon aktif, logam berat, zat warna

Abstract

Industrial growth will produce side effects, one of problems is the pollution of liquid waste containing heavy metals and dyes. This pollution can have a bad impact on the environment so it needs to be treated. The process of treating liquid waste that can be done is by adsorption process. The adsorption used activated carbon based on corn cob which was previously carbonated at 350°C for 3 hours. Corn cobs which had become carbon, were crushed to a size of 20, 40 and 60 mesh. The activation process was carried out with 0.3 M ZnCl₂ solution. This adsorption process took place continuously at a rate of 100 ml/minute. The activated carbon produced meets the specifications for activated carbon based on SNI. This continuous adsorption process succeeded in reducing iron(II) waste by up to 99.55% with an activated carbon size of 40 mesh. The same thing was also successfully done to reduce methylene blue up to 97.565% with an activated carbon size of 60 mesh. This

reduction value is affected by a decrease in particle size which will have an impact on increasing the adsorption capacity.

Keywords: *corn cobs, adsorption, activated carbon, heavy metals, dyes*

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan permintaan manusia akan suatu barang dan jasa akan selaras dengan pertumbuhan industri. Proses produksi akan menghasilkan efek samping salah satunya adalah pencemaran limbah cair yang memiliki kandungan logam berat dan zat warna. Hal tersebut akan berdampak buruk bagi ekosistem dan menciptakan kehidupan yang tidak berkelanjutan. Industri diwajibkan untuk mengolah limbah cair yang mereka hasilkan sebelum limbah tersebut dibuang ke badan air. Adsorpsi merupakan salah satu metode yang jamak digunakan guna memenuhi baku mutu lingkungan. Adsorpsi memiliki tingkat fleksibilitas dan dapat menggunakan berbagai macam adsorben guna menurunkan parameter pencemar (Dimpe dan Nomngongo, 2017). Adsorpsi merupakan fenomena perpindahan massa dimana terjadi penghilangan adsorbat oleh adsorben. Proses pemisahan tersebut terjadi dikarenakan adanya efek elektrostatis yang menciptakan gaya van der Waals. Adsorben yang umum digunakan adalah karbon aktif. Karbon aktif secara konvensional dapat terbuat dari batu bara atau arang namun pembuatan karbon aktif menggunakan sumber daya yang dapat diperbaharui seperti dari limbah pertanian dan perkebunan menjadi lebih menarik karena bersifat berkelanjutan. Jagung adalah salah satu tanaman pertanian yang berasal dari genus *zea* dan tanaman penghasil karbohidrat yang sering ditemui di Indonesia. Indonesia memproduksi jagung sebesar 22,59 juta ton pada tahun 2019 dan diestimasikan akan meningkat menjadi 24,34 juta ton pada tahun 2022 (Kementrian Pertanian RI, 2020). Produksi jagung yang meningkat diakibatkan permintaan pada sektor konsumsi rumah tangga dan konsumsi sebagai bahan pakan ternak. Peningkatan produksi jagung akan selaras dengan jumlah limbah biomassa yang dihasilkan yang berasal dari tongkol jagung. Limbah sektor pertanian sebagian besar dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan kompos maupun pakan ternak. Limbah tongkol jagung tidak dapat diaplikasikan secara optimal menjadi kompos dan pakan ternak karena minim akan unsur hara (He dkk, 2023). Hal tersebut mengakibatkan limbah tongkol jagung sering dibiarkan menumpuk dan mengakibatkan permasalahan lingkungan yaitu timbulan limbah padat. Limbah tongkol jagung merupakan sumber biomassa dan kaya akan kandungan karbon. Limbah tongkol jagung yang tersedia secara melimpah dapat digunakan sebagai bahan baku yang dapat diperbaharui untuk dijadikan karbon aktif (Gan, 2021).

Karbon aktif dapat dibuat melalui proses karbonasi dan aktivasi dengan metode fisik maupun kimia. Makhwedzha dkk (2022) telah melaksanakan penelitian mengenai pemanfaatan kulit jeruk dan lemon sebagai karbon aktif untuk menurunkan parameter pencemar metilen biru. Penelitian ini menghasilkan besar penyisihan hingga 98% menggunakan aktivator H_3PO_4 . Bergna dkk (2022) melakukan penelitian mengenai efek dari berbagai metode aktivasi yang berbeda untuk menghasilkan karbon aktif dari hidrolisis lignin. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan aktivasi kimia dengan $ZnCl_2$ dapat meningkatkan mesoporisitas. Bosch dkk (2022) telah melakukan penelitian mengenai penggunaan $ZnCl_2$ dalam proses pembuatan karbon aktif. Penelitian ini menghasilkan bahwa penggunaan $ZnCl_2$ dapat meningkatkan luas permukaan secara signifikan jika dibandingkan dengan sampel referensi. Alsulaili dkk (2023) telah meneliti mengenai penurunan limbah metilen biru menggunakan karbon aktif biji kurma. Karbon aktif biji kurma menghasilkan kapasitas adsorpsi sebesar 165,1 mg/g dengan aktivator H_3PO_4 .

Proses adsorpsi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor guna meningkatkan proses pemisahan zat pencemar. Salah satu faktor yang mempengaruhi adalah ukuran adsorben. Pan dkk (2017) melakukan investasi mengenai variasi ukuran partikel karbon aktif terhadap *equilibrium adsorption capacity*. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kapasitas adsorpsi melonjak seiring dengan penurunan ukuran partikel ketika adsorbat memiliki berat molekul yang tinggi. Takaesu dkk (2019) melakukan penelitian mengenai penggunaan *superfine powdered activated carbon* dalam proses adsorpsi. Penelitian ini menyimpulkan penurunan ukuran partikel hingga kisaran ukuran partikel submikron dapat mereduksi kapasitas adsorpsi. Musthofa dkk (2023) melakukan penelitian mengenai variasi ukuran karbon aktif dalam proses adsorpsi untuk limbah pencemar metilen biru. Penelitian ini

menghasilkan penurunan ukuran partikel adsorben akan mengakibatkan peningkatan luas permukaan, volume pori dan kapasitas adsorpsi.

Berdasarkan penelitian sebelumnya dapat diambil kesimpulan bahwa $ZnCl_2$ dapat digunakan menjadi salah satu aktivator dalam proses pembuatan karbon aktif. Penelitian ini menganalisa efektivitas penurunan parameter pencemar besi(II) dan metilen biru terhadap variasi ukuran adsorben dalam proses adsorpsi dengan sistem kontinu.

2. METODOLOGI

2.1. Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan sistem reaktor kontinu yang terdiri dari bak kontrol, *flow meter*, dan reaktor adsorpsi. Aliran dalam reaktor mengalir secara gravitasi. *Flow meter* digunakan untuk mengontrol debit pencemar. Gambar 1 merupakan penggambaran dari sistem reaktor kontinu untuk proses adsorpsi. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah tongkol jagung, $ZnCl_2$, metilen biru dan $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.



Gambar 1. Sistem Reaktor Adsorpsi secara Kontinu

2.2. Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Tongkol Jagung

Limbah tongkol jagung dikeringkan menggunakan oven hingga beratnya konstan guna mengurangi kandungan kadar air. Limbah tongkol jagung kemudian dipotong menjadi beberapa bagian sebelum dilakukan proses karbonasi di reaktor pirolisis. Proses pirolisis dilaksanakan selama 3 jam dan menggunakan suhu sebesar $350^\circ C$. Gambar 2 menunjukkan kondisi sampel sebelum dan sesudah dilaksanakan proses pirolisis. Karbon yang terbuat dari limbah tongkol jagung ditumpuk hingga berbentuk serbuk dan disaring menggunakan ayakan ukuran 20 mesh, 40 mesh dan 60 mesh. Serbuk karbon dilakukan proses aktivasi kimia menggunakan dengan $ZnCl_2$ konsentrasi 0,3 M.



Gambar 2. Kondisi Fisik Limbah Tongkol Jagung Sebelum Proses Pirolisis (a) dan Sesudah Proses Pirolisis (b)

2.3. Proses Adsorpsi Parameter Pencemar Besi(II) dan Metilen Biru

Serbuk karbon aktif dengan ukuran 20 mesh dimasukkan ke dalam reaktor adsorpsi dengan berat 300 gram. Air limbah yang mengandung parameter pencemar besi(II) dialirkan dengan debit 100 mL/menit. Pengambilan sampel dilaksanakan pada 5 menit setelah sampel pertama kali menetes dari reaktor adsorpsi. Langkah serupa dilaksanakan untuk parameter pencemar metilen biru dan variasi ukuran serbuk karbon aktif.

2.4. Uji Kualitas Karbon Aktif

Uji kualitas karbon aktif merujuk pada SNI 06-3730-1995 mengenai arang aktif teknis. Nilai kualitas karbon aktif ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Karbon Aktif

Komponen	Persyaratan Kualitas
Kadar zat menguap	Maks 25%
Kadar air	Maks 15%
Kadar karbon terikat	Min 65%
Kadar abu	Maks 10%
Daya Serap I ₂	Min 750 mg/g

Berikut merupakan langkah-langkah dalam menganalisa spesifikasi karbon aktif

2.4.1. Kadar Air

Sampel dengan berat 1 gram dikeringkan pada oven di suhu 110°C hingga beratnya konstan. Sampel didinginkan didalam desikator dan ditimbang.

2.4.2. Kadar Zat Menguap

Cawan krusibel ditimbang dalam keadaan kosong dan diisi dengan sampel dengan berat 1 gram. Cawan krusibel dimasukkan ke dalam *furnace* dengan suhu 950°C selama 6 menit. Sampel didinginkan didalam desikator dan ditimbang.

2.4.3. Kadar Abu

Cawan krusibel dipanaskan, didinginkan didalam desikator dan ditimbang. 1 gram sampel dimasukkan ke dalam cawan krusibel dan diletakkan di dalam *furnace* dengan suhu 600°C selama 6 jam. Sampel didinginkan didalam desikator dan ditimbang.

2.4.4. Kadar Karbon Terikat

Kadar karbon terikat merupakan kadar karbon yang terdapat dalam sampel selain kadar zat menguap dan kadar abu.

2.4.5. Daya Serap Terhadap Iodin

Dalam analisa daya serap terhadap iodin, sampel yang telah dikeringkan menggunakan oven, ditimbang sebanyak 0,25 gram dan dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer. Sampel diberi larutan iodin 0,1 N sebesar 25 ml, diaduk selama 15 menit dan disaring menggunakan kertas saring. Sampel dititrasi menggunakan larutan natrium tiosulfat 0,1 N dengan indikator pati hingga sampel mengalami perubahan warna menjadi tidak berwarna.

2.5. Pengukuran dan Efisiensi Penghilangan Parameter Pencemar Besi(II) dan Metilen Biru

Pengukuran parameter pencemar besi(II) dan metilen biru dilaksanakan untuk mengetahui konsentrasi parameter besi(II) dan metilen biru sebelum dilaksanakan proses adsorpsi dan sesudah dilaksanakan proses adsorpsi. Pengukuran parameter pencemar besi(II) merujuk pada SNI 6989.4:2009. Konsentrasi parameter besi(II) ditentukan menggunakan Spektrometer Serapan Atom (SSA). Pengukuran parameter ditentukan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 664 nm.

Besar efisiensi penghilangan parameter pencemar besi(II) dan metilen biru dilaksanakan untuk mendapatkan informasi tingkat keberhasilan penghilangan parameter pencemar menggunakan sistem adsorpsi. Besar efisiensi penghilangan didapatkan dari persamaan:

$$E(\%) = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana C_{awal} merujuk pada konsentrasi mula-mula dari parameter pencemar besi(II) dan metilen biru sedangkan C_{akhir} merujuk pada konsentrasi akhir dari parameter pencemar besi(II) dan metilen biru setelah proses adsorpsi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses adsorpsi dengan sistem kontinu digunakan pada penelitian ini guna menurunkan parameter pencemar besi(II) dan metilen biru. Limbah tongkol jagung yang diaktivasi menggunakan $ZnCl_2$ digunakan sebagai bahan baku karbon aktif. Variasi ukuran adsorben digunakan untuk menurunkan parameter pencemar. Konsentrasi awal parameter besi(II) dan metilen biru sebesar 15 ppm.

Tabel 2. Hasil Spesifikasi Karbon Aktif

Komponen	Ukuran Adsorben	Hasil Uji	Persyaratan Kualitas	Keterangan
Kadar zat menguap	20 mesh	19%	Maks 25%	Memenuhi
	40 mesh	15%		Memenuhi
	60 mesh	18%		Memenuhi
Kadar air	20 mesh	2%	Maks 15%	Memenuhi
	40 mesh	3%		Memenuhi
	60 mesh	2%		Memenuhi
Kadar karbon terikat	20 mesh	72,5%	Min 65%	Memenuhi
	40 mesh	81,5%		Memenuhi
	60 mesh	76%		Memenuhi
Kadar abu	20 mesh	8,5%	Maks 10%	Memenuhi
	40 mesh	3,5%		Memenuhi
	60 mesh	6%		Memenuhi
Daya Serap I_2	20 mesh	1167,48 mg/gr	Min 750 mg/gr	Memenuhi
	40 mesh	1192,86 mg/gr		Memenuhi
	60 mesh	1186,52 mg/gr		Memenuhi

Tabel 2 menunjukkan hasil spesifikasi karbon aktif dari limbah tongkol jagung berdasarkan SNI 06-3730-1995. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua spesifikasi karbon aktif memenuhi persyaratan kualitas. Penentuan kadar zat menguap digunakan untuk menganalisa komponen yang belum menguap pada proses karbonasi. Nilai kadar zat menguap memiliki rentang nilai 15-19%. Nilai ini lebih rendah jika dibandingkan dengan Dada dkk (2022) dengan nilai 58%.

Penentuan kadar air digunakan untuk menganalisa sifat higroskopis dan porositas karbon aktif. Nilai kadar air yang rendah akan berdampak pada peningkatan kemampuan absorpsi dari adsorben. Partikel yang memiliki ukuran besar akan mempunyai pori-pori yang lebih minim daripada partikel dengan ukuran kecil. Hal ini berakibat pada kandungan air yang memiliki nilai antara 2-3% dan telah menguap saat proses karbonasi (Erawati dan Fernando, 2018). Hasil ini lebih rendah jika dibandingkan dengan Prasad dkk (2015) dengan nilai 8,713%, Shamsuddin dkk (2016) dengan nilai 5,60% dan Erawati (2018) dengan nilai 3,69%.

Penentuan kadar karbon terikat digunakan untuk menganalisa kandungan karbon setelah proses karbonasi dan aktivasi. Nilai kadar karbon terikat memiliki rentang 72-83%. Hasil ini menyerupai dengan Maulina dan Iriansyah (2016) yang mendapatkan nilai tertinggi sebesar 77%.

Penentuan kadar abu digunakan untuk menganalisa kandungan oksida logam dalam karbon aktif. Nilai kadar abu merujuk pada banyaknya pengotor seperti mineral anorganik dan oksida logam yang berada pada pori-pori. Pengotor akan menyebabkan pori-pori tertutup yang berdampak pada pengurangan luas permukaan adsorben. Nilai kadar abu memiliki rentang antara 3,5-8,5%. Hasil ini hampir menyerupai jika dibandingkan dengan Shamsuddin dkk (2016) dengan nilai 6,90% dan Erawati (2018) dengan nilai 6,09%. Selain itu, hasil kadar abu lebih rendah jika dibandingkan dengan Prasad dkk (2015) dengan nilai 9,95%.

Penentuan daya serap iodine digunakan untuk menganalisa kemampuan karbon aktif dalam menyerap parameter pencemar. Nilai bilangan daya serap iodine yang semakin meningkat akan selaras dengan

kemampuan adsorben dalam mengabsorpsi parameter pencemar dan akan berkorelasi dengan *active site* dan luas permukaan adsorben. Nilai daya serap iodine memiliki rentang antara 1167-1193 mg/g. Nilai ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan Erawati (2018) dengan nilai 710,64 mg/g dan Dada dkk (2022) dengan nilai 660,4 mg/gr.

Proses adsorpsi dengan sistem reaktor kontinu digunakan pada penelitian ini guna menurunkan parameter besi(II) dan metilen biru. Limbah tongkol jagung merupakan bahan baku adsorben. Variasi ukuran adsorben dianalisa pengaruhnya terhadap penurunan parameter besi(II) dan metilen biru. Konsentrasi awal dari parameter besi(II) dan metilen biru adalah 15 ppm.

Tabel 3. Hasil Penurunan Parameter Besi(II) dan Metilen Biru terhadap Variasi Ukuran Adsorben

Parameter	Ukuran Adsorben	Penurunan (%)
Besi(II)	20 mesh	99,215
	40 mesh	99,55
	60 mesh	99,535
Metilen Biru	20 mesh	88,155
	40 mesh	93,445
	60 mesh	97,565

Tabel 3 menunjukkan besar penurunan parameter besi(II) dan metilen biru terhadap variasi ukuran adsorben. Berdasarkan Tabel 3, besar penurunan parameter besi(II) cenderung fluktuasi sejalan dengan penurunan ukuran adsorben. Nilai penurunan parameter besi(II) tertinggi didapatkan ketika ukuran adsorben sebesar 40 mesh dengan besar penurunan sebesar 99,55%. Hal serupa juga dijumpai pada penelitian yang dilaksanakan oleh Zega dkk (2021) yang menghasilkan nilai penurunan parameter besi(II) diatas 80%. Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai penurunan parameter besi(II) mengalami peningkatan sejalan dengan penambahan ukuran adsorben. Nilai penurunan parameter metilen biru tertinggi didapatkan ketika ukuran adsorben sebesar 60 mesh dengan besar penurunan sebesar 97,565%. Hal yang serupa juga ditemukan pada penelitian yang dilakukan oleh Musthofa dkk (2023).

Proses adsorpsi parameter besi(II) cenderung fluktuatif dan metilen biru cenderung meningkat seiring dengan penurunan ukuran adsorben. Nilai penurunan terbesar terjadi pada ukuran 40 mesh untuk parameter besi(II) dan 60 mesh untuk parameter metilen biru. Penurunan ukuran partikel akan berdampak pada peningkatan besar kapasitas adsorpsi. Hal tersebut disebabkan karena peningkatan *active site* adsorben sehingga semakin banyak polutan yang dihilangkan (Maryudi dkk, 2019). Fenomena yang serupa juga terjadi pada penelitian Zega dkk (2021) dan Musthofa dkk (2023). Proses tersebut tidak terjadi pada proses adsorpsi parameter besi(II). Hal tersebut dikarenakan kondisi adsorben yang sudah jenuh sehingga penurunan ukuran adsorben tidak berdampak signifikan terhadap proses adsorpsi parameter besi(II) (Maryudi dkk, 2019).

Mekanisme penurunan konsentrasi besi(II) dipengaruhi gaya tarik elektrostatis. Gaya tarik elektrostatis terjadi antara gugus fungsional yang memiliki muatan negatif pada permukaan adsorben dan molekul besi(II) yang memiliki muatan positif. Gaya ini akan mengikat parameter besi(II) pada permukaan karbon sehingga pemisahan via proses adsorpsi dapat berlangsung (Wang dkk, 2023). Sedangkan pada penurunan konsentrasi metilen biru dipengaruhi oleh gaya tarik elektrostatis, ikatan hidrogen dan interaksi π - π . Gaya tarik elektrostatis terjadi antara gugus fungsional yang memiliki muatan negatif pada permukaan adsorben dan metilen yang memiliki muatan positif (Khalil dkk, 2022). Ikatan hidrogen terjadi antara komponen nitrogen pada metilen biru dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen pada permukaan adsorben (Jawad dkk, 2021). Interaksi π - π muncul akibat interaksi antara gugus fungsi aromatik pada permukaan adsorben dengan ikatan aromatik, eter aromatik dan cincin benzena yang terdapat pada metilen biru (Giraldo dkk, 2021).

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan yaitu karbon aktif sesuai dengan spesifikasi karbon aktif berdasarkan SNI 06-3730-1995 dengan proses aktivasi menggunakan

larutan ZnCl₂ 0,3 M. Selain itu, proses adsorpsi secara kontinyu berhasil menurunkan logam berat besi(II) sebesar 99,55% dengan ukuran karbon aktif 40 mesh dan metilen biru sebesar 97,565% dengan ukuran karbon aktif 60 mesh. Penurunan ukuran partikel akan berdampak pada peningkatan besar kapasitas adsorpsi. Mekanisme penurunan konsentrasi besi(II) dipengaruhi gaya tarik elektrostatis, sedangkan pada penurunan konsentrasi metilen biru dipengaruhi oleh gaya tarik elektrostatis, ikatan hidrogen dan interaksi π - π .

DAFTAR PUSTAKA

- Alsulaili, A.D., Refaie, A.A., dan Garcia, H.A., (2023) 'Adsorption Capacity of Activated Carbon Derived from Date Seeds: Characterization, Optimization, Kinetic and Equilibrium Studies', *Chemosphere*, 313, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137554>.
- Bergna, D., Varila, T., Romar, H., dan Lassi, U., (2022) 'Activated carbon from hydrolysis lignin: Effect of Activation Method on Carbon Properties', *Biomass and Bioenergy*, 159, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106387>.
- Bosch, D., Back, J.O., Gurtner, D., Giberti, S., Hofmann, A., dan Bockreis, A., (2022) 'Alternative Feedstock for the Production of Activated Carbon with ZnCl₂: Forestry Residue Biomass and Waste Wood', *Carbon Resources Conversion*, 5, pp. 299-309. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2022.09.001>.
- Dada, A.O., Inyinbor, A.A., Tokula, B.E., Bello, O.S., dan Pal, U. (2022) 'Preparation and characterization of rice husk activated carbon-supported zinc oxide nanocomposite (RHAC-ZnO-NC)', *Heliyon*, 8, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10167>.
- Dimpe, K.M., dan Nomngongo, P.N. (2017) 'A Review on The Efficacy of The Application of Myriad Carbonaceous Materials for The Removal of Toxic Trace Elements in The Environment', *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 16, pp. 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2017.10.001>.
- Erawati, E. dan Fernando, A. (2018) 'Pengaruh Jenis Aktivator dan Ukuran Karbon Aktif Terhadap Pembuatan Adsorbent dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon (*Paraserianthes Falcataria*)', *Jurnal Integrasi Proses*, 7, pp. 58-66. <http://dx.doi.org/10.36055/jip.v7i2.3808>.
- Gan, Yong X. (2021) 'Activated Carbon from Biomass Sustainable Sources', *Journal of Carbon Research*, pp. 1-33. <https://doi.org/10.3390/c7020039>.
- Giraldo, S., Robles, I., Godínez, L.A., Acelas, N., dan Flórez, E. (2021) 'Experimental and Theoretical Insights on Methylene Blue Removal from Wastewater Using an Adsorbent Obtained from the Residues of the Orange Industry,' *Molecules*, 26, pp. 1-15. <https://doi.org/10.3390/molecules26154555>.
- He, X., Chen, X., Wang, X., dan Jiang, L. (2023) 'Optimization of Activated Carbon Production From Corn Cob Using Response Surface Methodology', *Frontier in Environmental Science*, pp. 1-11. doi: 10.3389/fenvs.2023.1105408.
- Jawad, A.H., Saud Abdulhameed, A., Wilson, L.D., Syed-Hassan, S.S.A., AlOthman, Z.A., dan

- Rizwan Khan, M. (2021) 'High Surface Area and Mesoporous Activated Carbon from KOH-Activated Dragon Fruit Peels for Methylene Blue Dye Adsorption: Optimization and Mechanism Study', *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 32, pp. 281–290. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.09.070>.
- Khalil, K.M.S., Elhamdy, W.A., Mohammed, K.M.H., dan Said, A.E.A.A. (2022) 'Nanostructured P-doped Activated Carbon with Improved Mesoporous Texture Derived from Biomass for Enhanced Adsorption of Industrial Cationic Dye Contaminants', *Materials Chemistry dan Physics*, 282, 125881. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.125881>
- Makhwedzha, R.D., Mavhungu, A., Moropeng, M.L., dan Mbaya, R. (2022) 'Activated carbon derived from waste orange and lemon peels for the adsorption of methyl orange and methylene blue dyes from wastewater', *Heliyon*, 8, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09930>.
- Maulina S., Iriansyah, M. (2018) 'Characteristics of activated carbon resulted from pyrolysis of the oil palm fronds powder', *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 309, pp. 1-7. [10.1088/1757-899X/309/1/012072](https://doi.org/10.1088/1757-899X/309/1/012072).
- Maryudi, M., Amelia, S., dan Salamah, S. (2019) 'Removal of Methylene Blue of Textile Industry Waste with Activated Carbon using Adsorption Method', *Reaktor*, 19, pp. 168-171. <https://doi.org/10.14710/reaktor.19.4.168-171>
- Musthofa, A.M.H., Syafila, M., dan Helmy, Q. (2023) 'Effect of Activated Carbon Particle Size on Methylene Blue Adsorption Process in Textile Wastewater', *Indonesian Journal of Chemistry*, 23, pp. 461-474. <https://doi.org/10.22146/ijc.79784>.
- Pan, L., Nishimura, Y., Takaesu, H., Matsui, Y., Matsushita, T., dan Shirasaki, N. (2017) 'Effects of Decreasing Activated Carbon Particle Diameter from 30 μm to 140 nm on Equilibrium Adsorption Capacity', *Water Research*, 124, pp. 425-434. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.075>.
- Prasad, A.L., Santhi, T., Manonmani, S. (2015) 'Recent developments in preparation of activated carbons by microwave: Study of residual errors', *Arabian Journal of Chemistry*, 8, pp. 343-354. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.01.020>.
- Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian. (2020). Outlook Jagung. Jakarta: Kementerian Pertanian.
- Shamsuddin, M.S., Yusoff, N.R.N., Sulaiman, M.A. (2016) 'Synthesis and Characterization of Activated Carbon Produced from Kenaf Core Fiber Using H_3PO_4 Activation', *Procedia Chemistry*, 19, pp. 558-565, <https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.03.053>.
- Takaesu, H., Matsui, Y., Nishimura, Y., Matsushita, T., dan Shirasaki, N. (2019) 'Micro-milling super-fine powdered activated carbon decreases Adsorption capacity by Introducing Oxygen/hydrogen-containing Functional Groups on Carbon Surface from Water', *Water Research*, 155, pp. 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.019>.

Wang, B., Lan, J., Bo, C., Gong, B., dan Ou, J. (2023) 'Adsorption of heavy metal onto biomass-derived activated carbon: review', *RSC Advances*, 13, pp. 4275–4302. 10.1039/d2ra07911a.

Zega, F.I., Selly, R., dan Zubir, M. (2021) 'Review of Adsorption of Fe Metal by Activated Carbon Adsorbent', *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*, 4, pp. 74-78. <https://doi.org/10.24114/ijcst.v4i2.27600>.