

Karakterisasi Biochar dari Tandan Kosong Kelapa Sawit

Wetri Febrina¹, Amir Awaluddin², Saryono², Zuchra Helwani³

¹)Program Studi Doktor Kimia, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Riau

²)Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Riau

³)Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya, Jl. HR Subrantas KM 12.5 Pekanbaru, Riau

Email: wetri.febrina@gmail.com¹, amir.awaluddin01@gmail.com²,

saryono@leturer.unri.ac.id³, zuchra.helwani@lecturer.ac.id⁴

ABSTRAK

Pada awalnya teknologi biochar berkembang pesat karena manfaatnya dalam meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki struktur tanah, meningkatkan hasil panen dan memperbaiki kondisi tanaman.. Penggunaan biochar saat ini meluas diluar bidang pertanian, diantaranya sebagai bahan bakar alternatif, dan sebagai adsorben dalam pengolahan air limbah. Pemanfaatan limbah pertanian dan perkebunan menjadikan pemanfaatan biochar bermanfaat dalam usaha untuk memperbaiki kondisi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis karakteristik fisikokimia biochar dari tandan kosong kelapa sawit, dan potensinya sebagai adsorben pengolahan limbah cair. Biochar diaktifkan menggunakan kalium hidroksida (KOH) pada berbagai konsentrasi. EFB yang diaktivasi dengan KOH 3M menunjukkan kapasitas adsorpsi tertinggi dibandingkan dengan yang diaktivasi dengan KOH 2M dan 1M. Hasil ini didukung oleh data tentang gugus fungsi dan struktur pori, yang diamati menggunakan spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR) dan metode Brunauer-Emmett-Teller (BET).

Kata kunci: Biochar, Tandan Kosong Kelapa Sawit, Adsorben, Limbah Cair, Karakterisasi.

ABSTRACT

Initially, biochar technology developed rapidly because of its benefits in increasing soil fertility, improving soil structure, increasing crop yields and improving plant conditions. The use of biochar is currently expanding outside the agricultural sector, including as an alternative fuel, and as an adsorbent in wastewater treatment. The use of agricultural and plantation waste makes the use of biochar useful in efforts to improve environmental conditions. This study aims to determine and analyze the physicochemical characteristics of biochar from empty oil palm bunches, and its potential as an adsorbent for liquid waste treatment. Biochar was activated using potassium hydroxide (KOH) at various concentrations. EFB activated with 3M KOH showed the highest adsorption capacity compared to those activated with 2M and 1M KOH. These results are supported by data on functional groups and pore structures, which were observed using Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy and the Brunauer-Emmett-Teller (BET) method.

Keywords: *Biochar, Empty Fruit Bunches, Adsorbent, Wastewater, Characterization*

Pendahuluan

Biochar merupakan bentuk arang yang dihasilkan melalui proses pembakaran biomassa dalam kondisi oksigen terbatas (Abdulrazzaq et al., 2014; Gai et al., 2014). Material ini telah dikenal luas memiliki manfaat signifikan, terutama dalam meningkatkan kesuburan dan struktur tanah, yang pada akhirnya dapat meningkatkan hasil panen. Selain peranannya dalam bidang ilmu tanah dan pertanian, biochar juga dimanfaatkan di berbagai sektor lainnya, seperti bahan bakar alternatif, pengolahan air limbah, serta mitigasi perubahan iklim (Ahmad et al., 2020).

Beragamnya bahan baku yang digunakan dalam produksi biochar menghasilkan karakteristik fisik dan kimia yang berbeda-beda. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian mendalam terhadap faktor-faktor utama yang memengaruhi sifat-sifat biochar (Claoston et al., 2014; Febrina, 2018; Gai et al., 2014). Dalam konteks pengolahan air, biochar menunjukkan potensi besar sebagai penyerap efektif untuk polutan organik, pewarna, serta logam berat (Wafti et al., 2017). Meskipun memiliki kesamaan dengan arang dan arang aktif, biochar lebih sering digunakan untuk keperluan penyerapan dan perbaikan kualitas tanah. Berbeda dengan biochar, arang aktif memiliki luas permukaan dan kapasitas pori yang lebih tinggi, namun membutuhkan energi produksi yang lebih besar (Inyang et al., 2016).

Secara umum, penyerap konvensional yang digunakan dalam berbagai aplikasi meliputi karbon aktif, zeolit, silika, dan alumina. Namun, dalam beberapa tahun terakhir, material alami seperti biochar semakin mendapat perhatian sebagai alternatif penyerap yang efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan (Kamarudin et al., 2022). Hal ini membuka peluang besar untuk mengembangkan aplikasi biochar yang lebih luas, terutama dalam pengelolaan limbah industri.

Industri minyak kelapa sawit, salah satu sektor industri terbesar di Indonesia, menghasilkan limbah dalam jumlah yang signifikan, baik dalam bentuk padat maupun cair. Tandan kosong kelapa sawit merupakan salah satu limbah padat yang sering kali belum dimanfaatkan secara optimal (Dewanti, 2018; Nadia et al., 2017). Di sisi lain, limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit mengandung bahan organik yang kaya, sehingga cocok untuk digunakan sebagai bahan baku produksi biogas. Namun, volume limbah cair yang sangat besar memerlukan pengolahan yang efisien agar dapat memenuhi standar lingkungan yang berlaku (Bala et al., 2014; Mahmud et al., 2021), dalam upaya meningkatkan nilai tambah limbah tandan kosong kelapa sawit, penelitian ini dilakukan sebagai studi awal untuk mengeksplorasi pemanfaatan biochar yang dihasilkan dari limbah tersebut. Biochar dari tandan kosong kelapa sawit memiliki potensi sebagai adsorben yang efektif untuk pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit. Penggunaan biochar sebagai adsorben dapat menjadi solusi yang menjanjikan untuk mengurangi dampak lingkungan dari limbah cair sekaligus memberikan manfaat ekonomi melalui pengelolaan limbah yang lebih efisien.

Salah satu langkah awal dalam penelitian ini adalah pengukuran luas permukaan adsorpsi biochar menggunakan metode Methylene Blue. Pengujian ini penting untuk menentukan efektivitas biochar dalam menyerap polutan sebelum diaplikasikan pada limbah industri. Meningkatnya penggunaan pewarna sintetis,

seperti Methylene Blue, oleh industri tekstil menimbulkan ancaman serius terhadap lingkungan, sehingga diperlukan metode pengolahan limbah yang inovatif dan berkelanjutan (Awaluddin et al., 2021; Savitri et al., 2022). Dengan pendekatan ini, biochar diharapkan tidak hanya menjadi solusi untuk limbah cair pabrik kelapa sawit, tetapi juga dapat diaplikasikan lebih luas dalam pengelolaan limbah industri lainnya.

Metode Penelitian

Bahan baku untuk biochar adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang diperoleh dari perkebunan di provinsi Riau, Indonesia. TKKS diperkecil ukurannya dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Biochar kemudian diproses menggunakan metode pirolisis pada suhu 450°C selama 4 jam. Pirolisis dilakukan tanpa oksigen menggunakan *furnace*. Pasca-pirolisis, biochar disimpan dalam desikator selama 6 jam dan kemudian ditimbang. Biochar disimpan dalam wadah kering dan tertutup hingga digunakan sebagai adsorben. Gambar 1 merupakan bentuk dari tandan kosong kelapa sawit.



Gambar 1. Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tahap awal produksi biochar meliputi pencucian dan pembersihan bahan baku untuk menghilangkan kotoran. Bahan yang telah dibersihkan kemudian dikeringkan dengan aerasi di area yang teduh, terhindar dari sinar matahari langsung. Bahan baku dipotong dan disaring menggunakan saringan 80 mesh. Untuk menghilangkan kelembapan, bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam. Biochar diproduksi melalui proses pirolisis dan karbonisasi. Pirolisis, yang terjadi dalam kondisi oksigen terbatas atau tanpa oksigen, melibatkan pembakaran biomassa pada suhu 400-600°C dalam *furnace*. Proses pirolisis untuk penelitian ini dilakukan pada suhu 450°C.

Proses aktivasi menggunakan kalium hidroksida (KOH) pada konsentrasi 1M, 2M, dan 3M. Sampel biochar direndam dalam larutan KOH selama 4 jam kemudian dicuci dan dikeringkan, lalu disimpan dalam desikator (Wafti et al., 2017; Windiastuti et al., 2023).

Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian sifat fisik dan kimia biochar dari tandan kosong kelapa sawit. Penelitian ini menggunakan suhu pirolisis 450°C. Sifat kimia yang diuji meliputi pH, kadar air, kadar abu, zat volatil, dan karbon tetap, dengan hasil yang disajikan pada Tabel 1.

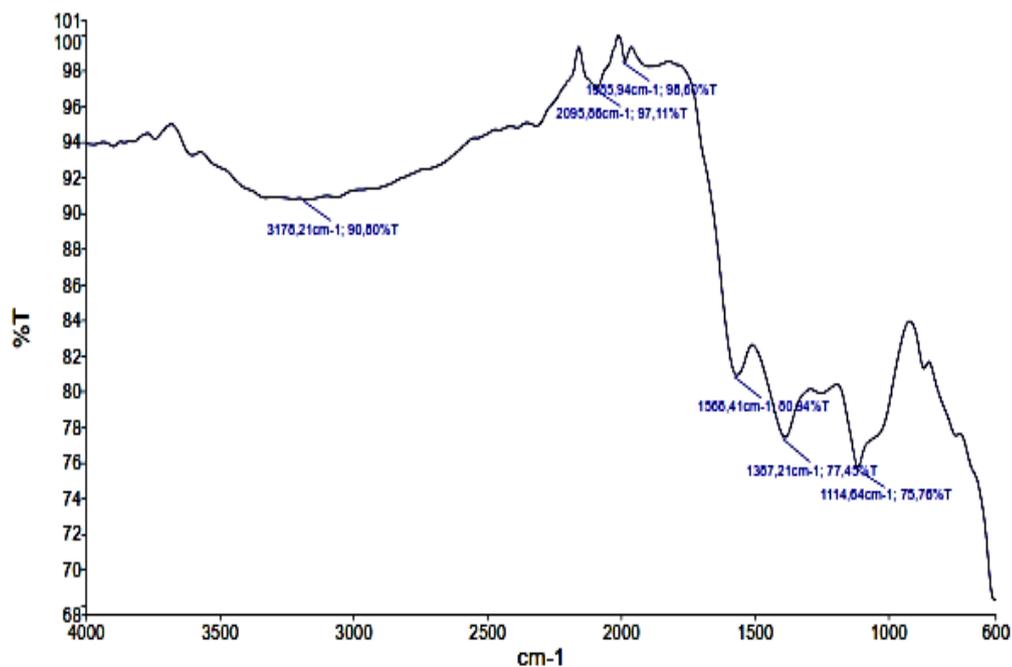
Tabel 1. Karakteristik Fisikokimia Biochar Tandan Kosong Kelapa Sawit

Parameter	Biochar tandan kosong kelapa sawit
pH	7.9
Kadar air (%)	8.1207
Kadar zat volatil (%)	78.1636
Kadar abu (%)	4.5034
Karbon tetap (%)	3.6164

Hasil analisis proksimat ini sejalan dengan temuan peneliti sebelumnya (Bakhtiar et al., 2019; Hadi & Norazlina, 2021)

Identifikasi Gugur Fungsi Biochar

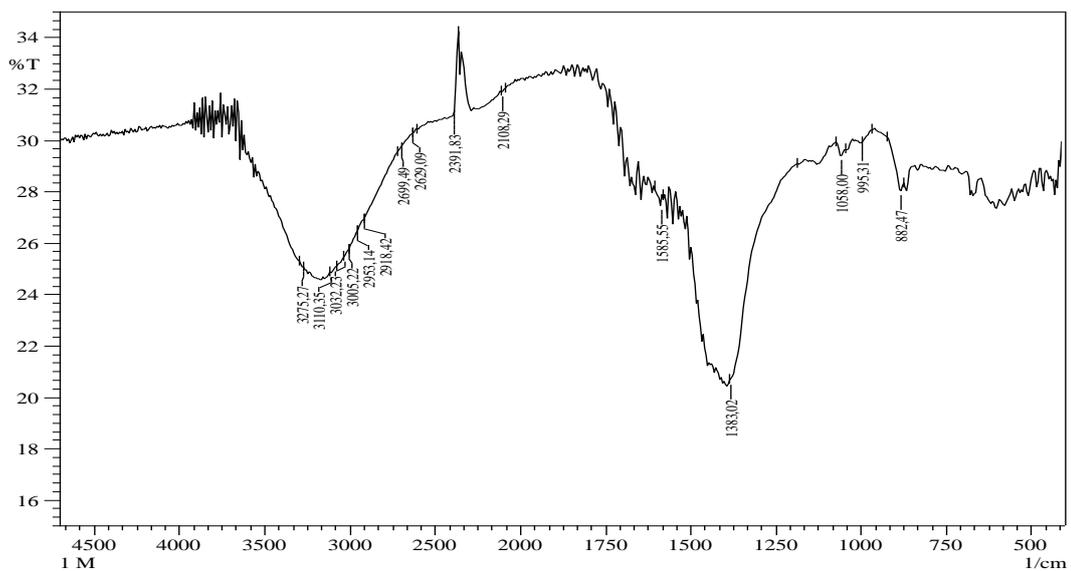
Identifikasi gugus fungsi biochar dilakukan baik pada biochar yang tidak diaktivasi maupun biochar yang diaktivasi dengan larutan KOH 0,1 M, 0,2 M, dan 0,3 M. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Identifikasi Gugur Fungsi Biochar Tandan Kosong Kelapa Sawit Tanpa Aktivasi

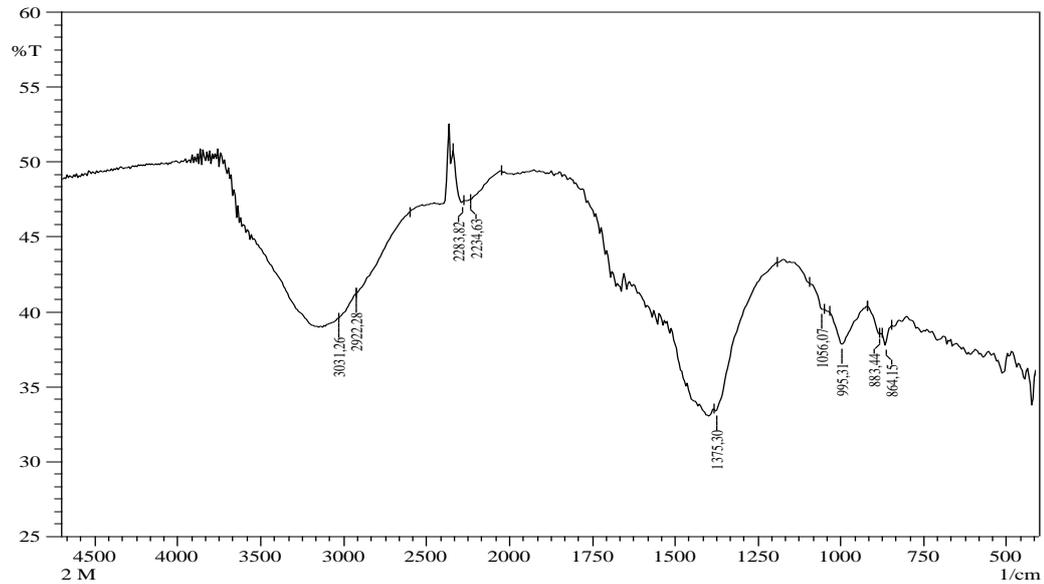
Gambar 2 menunjukkan spektrum FTIR untuk biochar tanpa aktivasi yang berasal dari tandan kosong kelapa sawit. Puncak yang menonjol dalam spektrum Fourier Transform Infra-Red (FTIR) biochar tanpa aktivasi berhubungan dengan beberapa gugus fungsi. Puncak yang diamati sekitar 3410 cm^{-1} menunjukkan keberadaan getaran peregangan O-H, yang merupakan ciri khas gugus hidroksil dan air yang teradsorpsi. Puncak di dekat 2920 cm^{-1} dan 2850 cm^{-1} berhubungan dengan getaran peregangan C-H dari gugus alifatik -CH₂. Selain itu, puncak di sekitar 1650 cm^{-1} menunjukkan getaran peregangan C=O dari gugus karbonil, yang menunjukkan keberadaan asam karboksilat, keton, atau aldehida.

Keberadaan getaran peregangan C-O dikonfirmasi oleh puncak di sekitar 1050 cm^{-1} , yang merupakan ciri khas alkohol, eter, atau ester. Kelompok fungsional ini umumnya ditemukan dalam biochar yang diproduksi dari biomassa lignoselulosa, yang mencerminkan sifat kompleks kimia permukaan biochar. Kelompok fungsional yang teridentifikasi memainkan peran penting dalam kapasitas penyerapan biochar, karena mereka dapat berinteraksi dengan berbagai kontaminan dalam air limbah, dan memfasilitasi pembuangannya. Hal ini dapat dilihat pada gambar 3 berikut.

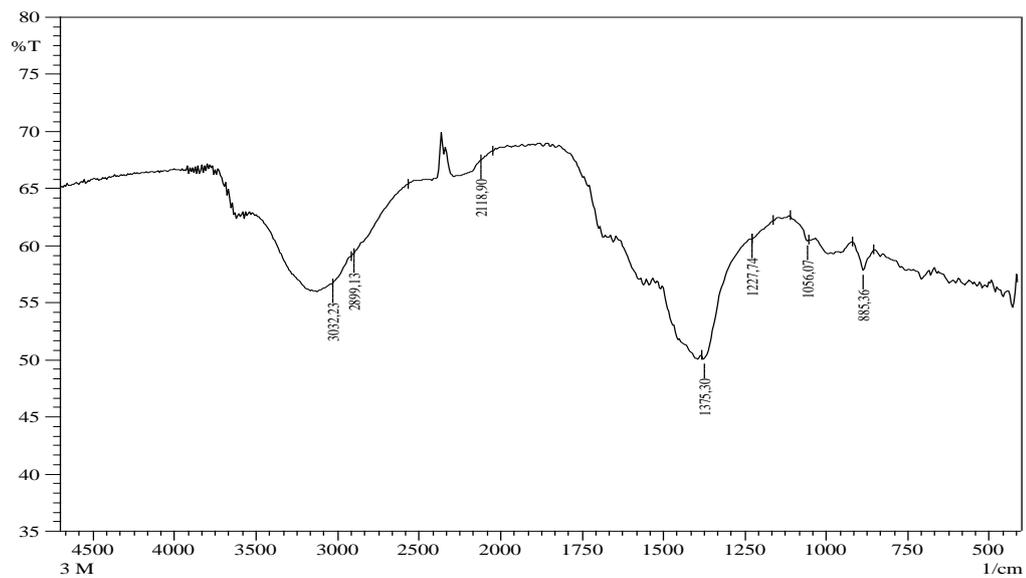


Gambar 3. Pembacaan FTIR untuk Biochar Teraktivasi dengan Larutan KOH 0,1 M

Biochar Teraktivasi dengan menggunakan Larutan KOH 0,2 M dapat dilihat pada gambar 4 berikut



Gambar 4. Pembacaan FTIR untuk Biochar Teraktivasi dengan Larutan KOH 0,2 M



Gambar 5. Pembacaan FTIR untuk Biochar Teraktivasi dengan Larutan KOH 0,3 M

Ketiga gambar diatas mengilustrasikan spektrum FTIR biochar TKKS yang diaktivasi dengan berbagai konsentrasi kalium hidroksida (KOH). Perbedaan signifikan diamati antara gugus fungsi biochar yang tidak diaktivasi dan yang diaktivasi KOH. Aktivasi dengan KOH meningkatkan intensitas dan keberadaan gugus fungsi tertentu, yang penting untuk kinerja adsorpsi.

Getaran peregangan O-H, yang ditunjukkan oleh puncak lebar sekitar 3410 cm^{-1} , menjadi lebih jelas dalam biochar yang diaktivasi, yang menunjukkan peningkatan keberadaan gugus hidroksil. Peningkatan ini kemungkinan besar disebabkan oleh proses aktivasi kimia yang memperkenalkan lebih banyak gugus fungsi permukaan. Selain itu,

getaran peregangan C-H sekitar 2920 cm^{-1} dan 2850 cm^{-1} tetap menonjol, yang menunjukkan retensi gugus alifatik.

Getaran peregangan karbonil (C=O) sekitar 1650 cm^{-1} juga lebih intens dalam biochar yang diaktivasi, yang mencerminkan peningkatan gugus karboksil atau keton. Puncak yang sesuai dengan vibrasi peregangan C-O sekitar 1050 cm^{-1} lebih jelas terlihat pada biochar yang diaktifkan, yang mengonfirmasi pembentukan lebih banyak gugus alkohol, eter, atau ester.

Pengamatan ini menunjukkan bahwa aktivasi KOH secara signifikan mengubah kimia permukaan biochar EFB, meningkatkan gugus fungsionalnya yang bermanfaat untuk aplikasi adsorpsi. Meningkatnya keberadaan gugus hidroksil, karbonil, dan C-O menunjukkan peningkatan interaksi dengan kontaminan, yang membuat biochar yang diaktifkan lebih efektif sebagai absorbent.

Luas Permukaan Biochar

Luas permukaan biochar dihitung secara semi-kuantitatif menggunakan data adsorpsi metilen biru. Tabel 2 menyajikan pengukuran luas permukaan untuk biochar yang non aktivasi dan yang diaktivasi dengan KOH.

Table 2. Luas Permukaan Biochar

Sampel	X_m (mg/g)	S (cm^2/g)
Kontrol	0.238	0.882
B-KOH 1M	0.248	0.918
B-KOH 2M	0.245	0.909
B-KOH 3M	0.246	0.912

Data yang disajikan dalam Tabel 3 menyoroti dampak aktivasi KOH pada luas permukaan biochar yang berasal dari tandan kosong kelapa sawit. Luas permukaan biochar merupakan faktor penting yang memengaruhi kapasitas penyerapannya, yang pada gilirannya memengaruhi efektivitasnya dalam aplikasi pengolahan air limbah.

Biochar kontrol, yang tidak diaktivasi dengan KOH, menunjukkan luas permukaan terendah sebesar $0,882\text{ cm}^2/\text{g}$. Luas permukaan yang relatif rendah ini merupakan ciri khas biochar yang tidak diaktivasi, karena tidak adanya aktivasi kimia berarti lebih sedikit pori dan lebih sedikit fungsionalitas permukaan yang terbentuk. Nilai X_m untuk biochar kontrol adalah $0,238\text{ mg/g}$, yang menunjukkan berat metilen biru yang teradsorpsi, yang secara langsung berkorelasi dengan luas permukaan yang tersedia untuk penyerapan.

Sampel biochar yang diaktivasi KOH menunjukkan peningkatan luas permukaan yang signifikan dibandingkan dengan sampel kontrol, yang mencerminkan efektivitas aktivasi kimia dalam meningkatkan porositas dan fungsionalitas permukaan biochar. Biochar yang diaktivasi dengan KOH 1M memiliki luas permukaan tertinggi sebesar $0,918\text{ cm}^2/\text{g}$. Nilai X_m untuk sampel ini adalah $0,248\text{ mg/g}$, sedikit lebih tinggi daripada kontrol. Peningkatan luas permukaan dapat dikaitkan dengan pengenalan lebih banyak gugus fungsi permukaan dan pembentukan pori-pori tambahan selama proses aktivasi. Peningkatan ini memfasilitasi kapasitas adsorpsi yang lebih baik, membuat B-KOH 1M lebih efisien dalam menangkap kontaminan.

Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses aktivasi meningkatkan luas permukaan dan memperkenalkan gugus fungsi yang bermanfaat, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi biochar. Suhu pirolisis optimal untuk memproduksi biochar dengan kinerja adsorpsi tinggi ditemukan pada 450°C. Di antara sampel yang diaktivasi KOH, biochar yang diaktivasi dengan KOH 1M menunjukkan luas permukaan tertinggi, diikuti oleh yang diaktivasi dengan KOH 2M dan 3M. Hal ini menunjukkan bahwa KOH 1M cukup untuk mencapai peningkatan substansial dalam sifat biochar, dengan konsentrasi yang lebih tinggi hanya menawarkan manfaat tambahan yang marjinal.

Analisis FTIR mengungkapkan perbedaan yang signifikan dalam gugus fungsi yang ada pada permukaan biochar yang tidak diaktivasi dan yang diaktivasi KOH. Kehadiran gugus hidroksil, karbonil, dan C-O ditingkatkan melalui aktivasi KOH, yang berkontribusi pada peningkatan kemampuan adsorpsi. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa biochar TKKS, khususnya ketika diaktifkan dengan KOH, memiliki potensi besar sebagai penyerap yang murah dan efisien untuk menghilangkan kontaminan dari air limbah. Temuan ini memberikan dasar untuk pengoptimalan lebih lanjut dari produksi biochar dan proses aktivasi untuk memaksimalkan manfaat lingkungannya.

Daftar Pustaka

- Abdulrazzaq, H., Jol, H., Husni, A., & Abu-Bakr, R. (2014). Characterization and Stabilisation of Biochars Obtained from Empty Fruit Bunch, Wood, and Rice Husk. *BioResources*, 9(2), 2888–2898. <https://doi.org/10.15376/biores.9.2.2888-2898>
- Ahmad, A., Khan, N., Giri, B. S., Chowdhary, P., & Chaturvedi, P. (2020). Removal of methylene blue dye using rice husk, cow dung and sludge biochar: Characterization, application, and kinetic studies. *Bioresource Technology*, 306(January), 123202. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123202>
- Awaluddin, A., Sonia, O., Amilia, M., & Siti, L. (2021). Preliminary Study on COD Removal on the Treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Birnessite-Type Manganese Oxide via a Solvent-Free Method. 528(Icriems 2020), 148–152.
- Bakhtiar, M. H. A. B. M., Sari, N. B. A., Yaacob, A. Bin, Yunus, M. F. B. M., & Ismail, K. Bin. (2019). Characterization of oil palm Empty Fruit Bunch (EFB) biochar activated with potassium hydroxide under different pyrolysis temperature. *Journal of Engineering Science and Technology*, 14(5), 2792–2807.
- Bala, J. D., Lalung, J., & Ismail, N. (2014). Biodegradation of Palm Oil Mill Effluent. *British Microbiology Research Journal*, 4(12), 1440–1450. <https://doi.org/10.9734/bmrj/2014/12008>
- Claoston, N., Samsuri, A. W., Ahmad Husni, M. H., & Mohd Amran, M. S. (2014). Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of empty fruit bunch and rice husk biochars. *Waste Management and Research*, 32(4), 331–339. <https://doi.org/10.1177/0734242X14525822>
- Febrina, W. (2018). Potensi Sampah Organik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Briket Bio Arang. *Jurnal Unitek*, 11(1), 40–50. ejurnal.sttdumai.ac.id

- Gai, X., Wang, H., Liu, J., Zhai, L., Liu, S., Ren, T., & Liu, H. (2014). Effects of feedstock and pyrolysis temperature on biochar adsorption of ammonium and nitrate. *PLoS ONE*, *9*(12), 574–578. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113888>
- Hadi, A. R. A., & Norazlina, A. S. (2021). The effects of pyrolysis temperature on chemical properties of empty fruit bunch and palm kernel shell biochars. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *757*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/757/1/012029>
- Inyang, M. I., Gao, B., Yao, Y., Xue, Y., Zimmerman, A., Mosa, A., Pullammanappallil, P., Ok, Y. S., & Cao, X. (2016). A review of biochar as a low-cost adsorbent for aqueous heavy metal removal. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *46*(4), 406–433. <https://doi.org/10.1080/10643389.2015.1096880>
- Kamarudin, N. S., Dahalan, F. A., Hasan, M., An, O. S., Parmin, N. A., Ibrahim, N., Hamdzah, M., Zain, N. A. M., Muda, K., & Wikurendra, E. A. (2022). Biochar: A review of its history, characteristics, factors that influence its yield, methods of production, application in wastewater treatment and recent development. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, *12*(6), 7914–7926. <https://doi.org/10.33263/BRIAC126.79147926>
- Mahmod, S. S., Arisht, S. N., Jahim, J. M., Takriff, M. S., Tan, J. P., Luthfi, A. A. I., & Abdul, P. M. (2021). Enhancement of biohydrogen production from palm oil mill effluent (POME): A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, *xxxx*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.07.225>
- Savitri, K., Andrio, D., Helwani, Z., Riau, U., Riau, U., Riau, U., Andrio, D., & Helwani, Z. (2022). *Study Of Kinetics And Adsorption Isotherm Modeling of POME Final Discharge Using Magnetic Biochars*. *7*(2), 55–62. <https://doi.org/10.33579/krvtk.v7i2.3210>
- Wafti, N. S. A., Lau, H. L. N., Loh, S. K., Aziz, A. A., Rahman, Z. A., & May, C. Y. (2017). Activated carbon from oil palm biomass as potential adsorbent for palm oil mill effluent treatment. *Journal of Oil Palm Research*, *29*(2), 278–290. <https://doi.org/10.21894/jopr.2017.2902.12>
- Windiastuti, E., Indrasti, N. S., Hasanudin, U., Bindar, Y., & Suprihatin. (2023). The Influence of Pretreatment and Post Treatment with Alkaline Activators on the Adsorption Ability of Biochar from Palm Oil Empty Fruit. *Journal of Ecological Engineering*, *24*(10), 242–251. <https://doi.org/10.12911/22998993/170719>