

PENGARUH PENGGUNAAN AKTIVATOR NATRIUM ASETAT 1 M TERHADAP HASIL KARAKTERISASI KARBON AKTIF DARI TKKS

Muhammad Fathur Rozi ^{a,1}, Nur Sepliana Harfika ^{a,2}, Ade Wahyu Yusariarta Putra Parmita ^{a,3*}, Gusti Umindya Nur Tajalla ^{a,4}

^a Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Kalimantan, Jl. Soekarno Hatta KM 15 Karang Joang, Balikpapan 76125, Indonesia

¹06221043@student.itk.ac.id*; ²06221024@student.itk.ac.id; ³adewahyu27@lecturer.itk.ac.id,

⁴gusti.unt@lecturer.itk.ac.id

* corresponding author

INFORMASI

Histori

Received: 2025-05-22
Revised: 2025-06-15
Accepted: 2025-06-24

Kata kunci

AAT
TKKS
Natrium Asetat
Adsorben
Karbon Aktif
BET
SEM
XRD
FTIR

ABSTRAK

Aktivitas penambangan dan penggalian memberikan dampak negatif terhadap lingkungan berupa lubang galian yang menyebabkan tergenangnya air. Air yang tergenang di bekas galian tambang tersebut dapat berpotensi menjadi Asam Tambang (AAT). AAT merupakan sebuah air yang tercemar oleh logam galian tambang seperti Fe, Mn, dll dan memiliki pH yang rendah (<6). Salah satu sumber biomassa yang melimpah di daerah Kalimantan timur adalah Tandan Kelapa Sawit (TKKS). Limbah ini merupakan sisa pengolahan industri kelapa sawit yang mengandung zat lignin dan selulosa. agar limbah TKKS tidak terbuang begitu saja, salah satu opsi pemanfaatannya adalah dengan menjadikannya karbon aktif. Karbon aktif merupakan padatan yang dihasilkan dari pembakaran dengan temperatur tinggi dan biasanya mempunyai khas berupa pori-pori pada bagian permukaannya. pori-pori ini dapat dimanfaatkan menjadi karbon aktif dengan cara karbonisasi dan aktivasi. Material ini memiliki kemampuan untuk menyerap (adsorb) zat-zat kontaminan, termasuk logam berat pada air. Dengan menggunakan Natrium Asetat sebagai aktivatornya, zat ini mampu menghasilkan pori yang akan digunakan nantinya dalam proses penjernihan air.

1. PENDAHULUAN

Air Asam Tambang (AAT) merupakan limbah bekas hasil proses penambangan yang yang tergenang di lubang bekas galian. Limbah ini terbentuk melalui oksidasi mineral logam sulfida yang bereaksi dengan air, sehingga menghasilkan air dengan keasaman tinggi (pH <6) dan memiliki konsentrasi kandungan logam berat yang tinggi (Nauli et al., 2024). Salah satu metode yang digunakan untuk mengurangi kandungan logam berat adalah dengan adsorpsi. Metode adsorpsi ini menggunakan material adsorben yang memiliki kemampuan

untuk menangkap atau menyerap kontaminan karena efek permukaannya. Selain itu, metode adsorpsi merupakan salah metode yang paling ekonomis dan dapat dikembangkan penggunaannya. Selain itu, media adsorben untuk metode ini dapat diolah dari hasil sisa-sisa limbah biomassa pertanian dan perkebunan (Shafira et al., 2023).

Kelapa sawit merupakan tanaman perkebunan terluas dan terbesar di indonesia, yang luasnya mencapai 15.763.738 Ha. Selain lahan kebun yang luas, produksi dan pengolahannya mencapai 31.730.961 Ton, dimana pengolahan kelapa sawit ini menghasilkan produk dua produk utama yakni berupa minyak (*palm oil*), produk minyak umumnya berasal dari buah kelapa sawit (*crude palm oil*) dan biji kelapa sawit (*palm kernel oil*) (Widarto, 2024). Proses pengolahan dan produksi minyak ini menghasilkan limbah beberapa limbah seperti Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang menjadi limbah padat terbesar dari kelapa sawit sebanyak 23% (Sindhuwati et al., 2021). TKKS merupakan limbah yang mengandung selulosa, lignin, dan hemiselulosa yang membuat biomassa ini mampu diolah sebagai karbon aktif yang dapat digunakan sebagai aplikasi reduksi kandungan limbah AAT (Wahyuningsih et al., 2017).

Tabel 1. Komposisi kimia dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) (Mentari et al., 2018)

No.	Kandungan	Komposisi (%)
1	Lignin	16.77 ± 0.30
2	Selulosa	36.33 ± 4.10
3	Hemiselulosa	30.34 ± 4.54
4	Komponen Lain	6.66

Secara garis besar, pembuatan karbon aktif terbagi menjadi 3 proses utama, yakni dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi. Sebelum memasuki tahap degradasi, TKKS harus dipreparasi terlebih dahulu dengan cara dipisahkan antara serat dan bagian kulit luarnya. Setelah itu, TKKS melalui tahap degradasi dengan cara dijemur di bawah sinar matahari hingga kering untuk menghilangkan kadar airnya (Foo & Hameed, 2012). Setelah serat TKKS kering, selanjutnya adalah tahap karbonisasi yang menggunakan *furnace* untuk dekomposisi kandungan serat TKKS, sehingga hanya menyisakan unsur karbon di dalamnya. terakhir yakni tahap Aktivasi secara kimia dan fisik yang bertujuan untuk memperbesar luas area permukaan, memperbesar pori-pori, dan membersihkan karbon aktif dari sisa-sisa pengotor (*impurities*) yang tidak terdekomposisi dari proses sebelumnya. Ketiga tahapan ini dilakukan untuk menghasilkan karbon aktif dengan performa akhir yang baik, khususnya daya adsorpsi (Mentari et al., 2018).

2. METODE

2.1 PREPARASI, DEHIDRASI, DAN KARBONISASI

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dipreparasi dengan cara dibersihkan dari kulit luarnya dan hanya menyisakan bagian seratnya saja. Serat TKKS kemudian dimasukkan ke dikeringkan dengan dijemur di bawah sinar matahari agar mengurangi kadar airnya. Setelah itu, TKKS dimasukkan ke dalam furnace dengan selama 1 jam dengan temperatur 357°C. Karbon yang dihasilkan dari pembakaran kemudian diayak dengan ukuran 80 mesh agar mendapatkan partikel yang homogen.

2.2 Aktivasi dan Karakterisasi

Karbon kemudian diaktifkan dengan aktivator natrium asetat konsentrasi 1M dengan perbandingan bobot karbon dan volume aktivator adalah 1:5 (b/v). Sampel karbon direndam dan diaduk selama 1 jam dengan temperatur 120°C menggunakan hot plate. Selanjutnya, karbon dinetralkan pH-nya menggunakan aquades dan dioven selama 1 jam. Setelah dilakukan dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi sampel karbon aktif selanjutnya dikarakterisasi menggunakan 4 instrumen, yakni XRD (*X-Ray Diffraction*), FTIR (*Fourier-transform Infrared*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*), dan BET (Brunauer Emmett and Teller). dalam pengujian ini, karbon aktif dibagi menjadi tiga variasi sampel, yakni sebelum proses aktivasi, setelah proses aktivasi, dan juga melakukan perbandingan dengan karbon aktif komersial merk 'middle'.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 HASIL KARBONISASI KARBON DARI TKKS

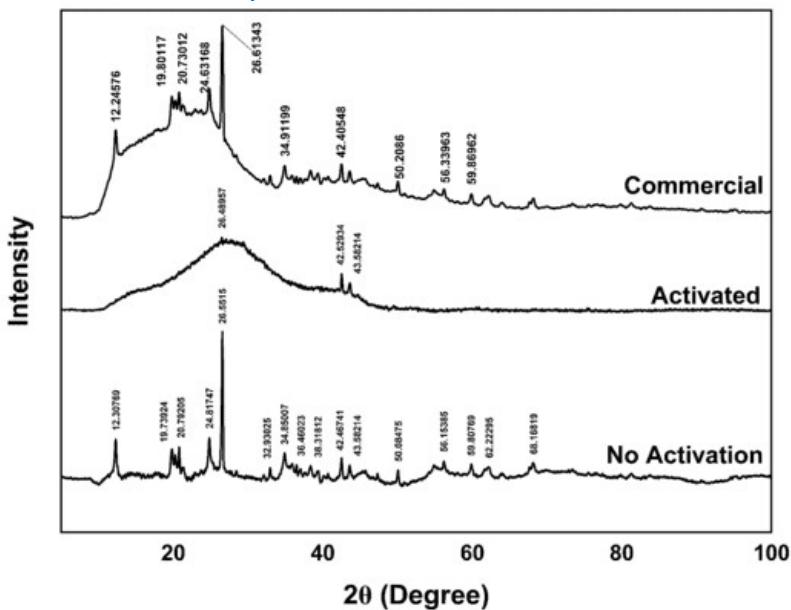


Gambar 1. (a) TKKS sebelum karbonisasi, (b) TKKS setelah karbonisasi

Setelah dilakukan proses karbonisasi dengan pemanasan furnace 350°C selama 1 jam, karbon aktif mengalami beberapa perubahan secara fisik yang dapat dianalisis secara visual. Sebelum dilakukan karbonasi, Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang telah dikeringkan dengan cara dijemur di bawah matahari agar mengurangi kadar air di dalamnya. TKKS sebelum dilakukan karbonasi memiliki kondisi yang kering, warna kuning kecoklatan yang tampak cerah dan segar, serta memiliki tekstur serat yang masih cukup kuat terikat. Setelah dilakukan pemanasan, warna TKKS berubah menjadi hitam, dengan tekstur yang rapuh dan lebih mudah terurai dibandingkan sebelum proses pemanasan. Proses karbonasi sampel karbon aktif menyebabkan terpecahnya ikatan hidrokarbon untuk memperbesar area

permukaan dengan cara memecah struktur lignoselulosa karbon aktif. Akibat adanya proses ini, ikatan polimer karbon aktif menjadi lebih sederhana dan sebagian bobot atau massanya ikut berkurang karena perlakuan yang diberikan (Rohmah & Redjeki, 2017).

3.2 XRD (X-RAY DIFFRACTION)



Gambar 2. Hasil karakterisasi XRD

Sampel karbon aktif yang telah dikarakterisasi dilakukan pengujian XRD dengan rentang sudut difraksi 5-100°, berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dapat diketahui bahwa sampel karbon aktif sebelum mendapatkan perlakuan karakterisasi kimia dan fisika, memiliki kemampuan untuk mendifraksikan pancaran sinar X lebih intens pada rentang tertentu, khususnya pada sudut difraksi 26.566°. Hal ini berarti bahwa material karbon aktif sebelum dilakukan aktivasi memiliki nilai kristalinitas yang lebih tinggi karena puncak difraksi cahaya inframerah yang tembakkan XRD lebih tajam dan tegas (Sandi & Astuti, 2014).

Selain puncak penyerapan yang lebih tajam, karbon aktif sebelum diberikan perlakuan aktivasi memiliki nilai derajat kristalinitas yang lebih tinggi yakni sebesar 10.88% sementara itu, sampel karbon aktif dengan perlakuan aktivasi memiliki nilai derajat kristalinitas sekitar 2.79%. Lalu, karbon aktif yang telah diaktifasi juga memiliki ukuran rata-rata kristal yang lebih kecil yakni sekitar 1.22 nm jika dibandingkan dengan karbon komersial dan tanpa aktivasi dengan ukuran kristal yang lebih besar yakni 8.80 nm dan 7.84 nm. Hal ini terjadi karena efek dari aktivator natrium asetat dan pemanasan secara fisik yang menghilangkan atau mengeliminasi struktur kristal karbonik (grafit) yang sudah terbentuk pada karbon aktif sebelumnya. Perhitungan nilai kristalinitas dilakukan menggunakan bantuan fitur perangkat lunak ORIGIN 2024, dengan formula rumus sebagai berikut:

$$\text{kristalinitas}(\%) = \frac{\text{luas area di bawah puncak kristalin}}{\text{Luas difraktogram}} \times 100\%$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta}$$

keterangan:

D: Ukuran kristal (nm)

K: ketetapan Scherrer (0.9)

λ : panjang gelombang sinar x (0.15406 nm)

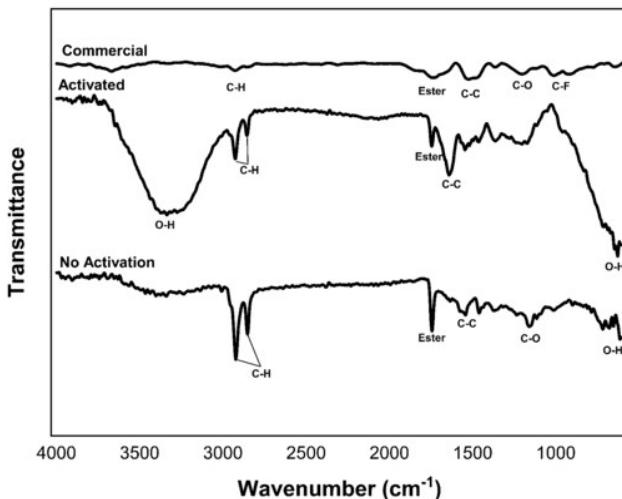
β : Full Width at Half Maximum (rad)

θ : sudut difraksi (rad)

Tabel 2. Perhitungan kristalinitas (%) Sampel

No.	Variasi sampel	Kristalinitas (%)	Rata-rata ukuran kristal (nm)
1	No Activation	10.88	7.84
2	Activated	2.79	1.22
3	Commercial (middle)	38	8.80

3.3 FTIR (FOURIER-TRANSFORM INFRARED)



Gambar 3. Hasil karakterisasi FTIR

Berdasarkan hasil pengujian FTIR pada sampel variasi dengan aktivasi, tanpa aktivasi, dan juga komersial. dapat dilihat pada gambar di atas terdapat perbedaan antara hasil sampel karbon aktif dengan perlakuan aktivasi memiliki lebih sedikit peak (puncak)

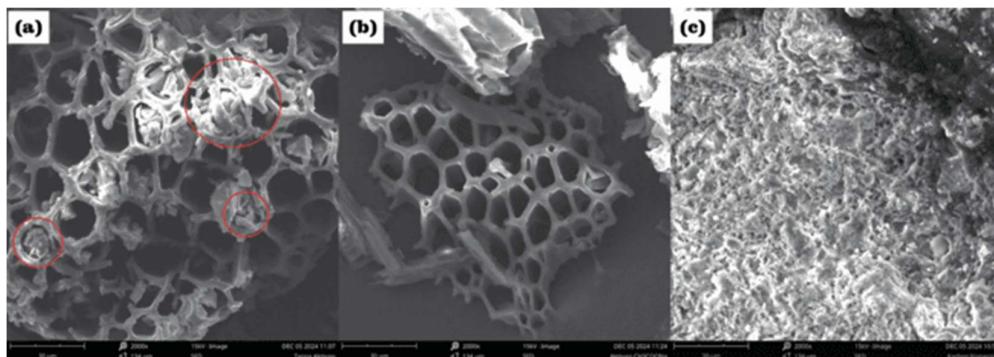
penyerapan cahaya inframerah jika dibandingkan dengan sampel karbon aktif tanpa perlakuan aktivasi. Menurut Mentari et al. (2018), pengurangan gugus fungsi dapat terjadi karena adanya proses aktivasi menggunakan bahan kimia dan temperatur secara fisik. Proses aktivasi ini mampu menghilangkan beberapa gugus atau ikatan kimia khususnya hidroksil dan air yang teradsorpsi. Gugus hidroksil menandakan adanya ikatan hidrogen yang kuat (karboksil, fenol, maupun alkohol).

Karbon aktif yang belum diberikan perlakuan aktivasi memiliki puncak penyerapan pada bilangan gelombang 1541, 1360, 1641, 2861, 2926, 3344. Sementara itu pada sampel karbon aktif dengan perlakuan memiliki puncak penyerapan cahaya yang serupa atau identik seperti sampel dengan perlakuan aktivasi hanya saja memiliki puncak penyerapan tambahan pada bilangan gelombang 714 cm^{-1} . Bilangan gelombang 714 cm^{-1} menginterpretasikan gugus fungsi alkohol (hidroksil) yang berarti gugus tersebut berhasil dieliminasi melalui proses aktivasi. Namun, dalam pengujian setelah aktivasi terdapat pula gugus fungsi alkohol pada bilangan gelombang 3344 cm^{-1} yang menandakan bahwa setelah aktivasi pun masih terdapat gugus alkohol ini, hanya saja absorbansi penyerapannya berbeda. Hal ini terjadi karena aktivator yang digunakan lebih berfokus untuk melarutkan pengotor dan memperbesar pori (Akhsanti et al., 2010). Selain itu dalam karbon aktif komersial merk middle yang dikarakterisasi, gugus karbon fungsi yang nampak pada puncak penyerapan cahaya merupakan gugus-gugus yang memiliki ikatan karbon di dalamnya. Gugus-gugus seperti alkil, cincin aromatik, dan juga karbonil merupakan contoh gugus yang memiliki ikatan karbon di dalamnya. Berdasarkan hasil karakterisasi FTIR ini, dapat diasumsikan bahwa dalam produksi karbon aktif komersial ini, proses karbonisasi dan aktivasinya berlangsung dengan ketelitian dan standar yang baik.

Tabel 3. Absorbansi sinar IR pada gugus fungsi tertentu (Nandiyanto et al., 2019)

No.	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Ikatan	Gugus Fungsi
1	3400-3200	O-H stretch	Alkohol
2	2900-2800	C-H stretch	Alkena/Alkil
3	1740–1725	Ester	Senyawa Karbonil
4	1600-1500	C-C stretch	Cincin aromatik
5	1300-1100	C-O bend	Alkohol/Hidroksil
6	1150–1000	C-F stretch	Alifatik
7	720–590	O-H bend	Alkohol (Hidroksil)

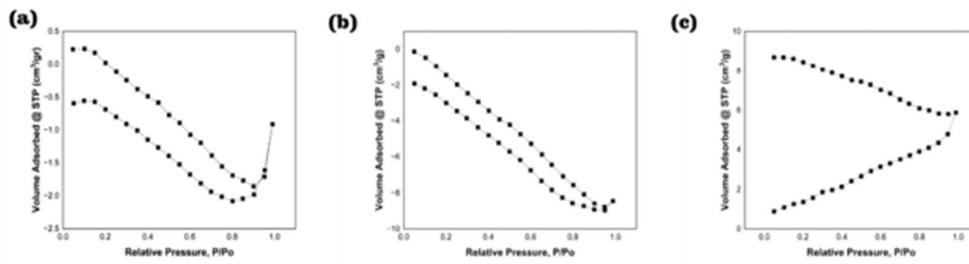
3.4. SEM (SCANNING ELECTRON MICROSCOPY)



Gambar 4. Hasil karakterisasi SEM a). Karbon sebelum aktivasi, b). Karbon setelah di aktivasi dengan Natrium Asetat (CH_3COONa), c)karbon aktif komersial (middle)

Setelah dilakukan pengujian secara mikro menggunakan instrumen SEM dengan perbesaran 2000x, terdapat perbedaan antara gambar 1 (a) Karbon sebelum aktivasi dengan gambar (b) Karbon setelah di aktivasi dengan Natrium Asetat (CH_3COONa), dimana pada gambar hasil Uji SEM, karbon yang belum di aktivasi terlihat pori-porinya yang masih tertutup dengan senyawa hidrokarbon dan abu, sedangkan yang sudah di aktivasi menggunakan CH_3COONa , terlihat pori-pori karbon yang lebih terbuka dan lebih bersih. Hal tersebut dikarenakan aktivasi dapat menyebabkan semakin banyaknya bahan mudah terbang (volatile) yang terlepas dari arang sehingga menyebabkan terbukanya struktur seluler yang tersisa sehingga dapat terjadi pembentukan pori (Lempang et al., 2011). Selain itu, menurut Alimah (2021) pembentukan dan pembesaran pori arang disebabkan oleh komponen yang terdegradasi dan lepasnya zat terbang. Dengan berkurangnya senyawa hidrokarbon pada zat terbang, maka pori pada permukaan arang aktif akan semakin jelas terlihat, dan juga semakin besar pori-porinya maka luas permukaan karbon aktif akan semakin bertambah sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsi dan kualitas karbon aktif semakin baik (Zulichatun et al., 2018). Pada gambar 4.3 (c) merupakan karbon aktif komersial yang berbeda dengan gambar 4.3 (a) dan (b) Permukaan karbon aktif komersial terlihat kecil dan tersebar secara merata di seluruh permukaan dan tidak membentuk rongga-rongga (*hollow*) (Rahayu et al., 2023) dan terlihat pori-pori yang rapat menunjukkan bahwa karbon ini mungkin memiliki tingkat aktivasi tinggi dan diproses secara industri untuk menghasilkan adsorpsi yang maksimal.

3.5. BET (BRUNAUER EMMETT-TELLER)



Gambar 5. Hasil karakterisasi BET (a). Karbon sebelum di aktivasi (b) Karbon aktivasi dengan Natrium Asetat (CH_3COONa), (c) karbon aktif komersial

Karbon aktif yang digunakan memiliki struktur berpori, dengan bentuk makropori, mesopori, dan mikropori dimana bentuk pori tersebut sesuai dengan aplikasi yang diharapkan. Oleh karena itu, distribusi ukuran dan bentuk pori harus dianalisis karena aksesibilitas pori-pori bergantung pada ukuran dan bentuk molekulnya. Dengan demikian, pengujian BET dilakukan untuk memperhitungkan luas dari pori untuk menyatakan luas permukaan yang dihasilkan oleh sampel. Berdasarkan ukuran pori, karbon aktif dapat dikelompokkan menjadi tiga tipe yaitu makropori, mesopori dan mikro pori. Porositas pada partikel karbon diklasifikasikan ke dalam ukurannya menjadi tiga jenis, yaitu makropori dengan ukuran lebih dari 50 nm, mesopori dengan ukuran pada rentang 2-50 nm, dan mikropori dengan ukuran tidak lebih dari 2 nm (Thommes et al., 2015).

TABEL 4. PERBANDINGAN HASIL UJI BET

No.	Variasi sampel	Radius Pori (nm)	Volume pori (cc/g)	Luas Permukaan (m ² /g)
1	No Activation	2.65	0.013	9.88
2	Activated	0.7	0.001	0.15
3	Commercial (middle)	3.04	0.009	5.98

Berdasarkan tabel diatas, didapatkan radius pori terkecil berturut turut adalah karbon non-aktivasi yaitu 0.7 nm, karbon dengan aktivasi 2.65 nm dan karbon komersial 3.04 nm yang dimana berdasarkan penjelasan Thommes et al. (2015), karbon dengan aktivasi dan komersial termasuk ke dalam jenis mesopori karena mempunyai diameter ukuran pada rentang 2-50 nm dengan grafik isotherm type IV, dan pada karbon non aktif termasuk ke dalam jenis mikropori karena ukuran pori tidak lebih dari 2 nm dengan grafik isotherm type 1. Dimana Menurunnya ukuran pori memberi dampak yang baik terhadap proses penyerapan dari karbon aktif, sehingga dapat diketahui penyerapan tertinggi berdasarkan radius pori yaitu karbon dengan non-aktivasi, karbon dengan aktivasi dan karbon komersial. Selanjutnya berdasarkan volume pori paling besar yaitu karbon aktivasi 0.013 cc/g, karbon komersial 0.009 cc/g dan karbon non-aktivasi 0.001 cc/g dan berdasarkan luas permukaan karbon dengan aktivasi mempunyai luas permukaan terbesar yaitu 9.88 m²/g, karbon komersial 5.98 m²/g dan karbon non aktif 0.15 m²/g, dimana semakin luas permukaan pori-pori dari karbon aktif, maka daya serapnya semakin tinggi (Khulik, 2016).

4. KESIMPULAN

Komposisi karbon cenderung menurun setelah aktivasi dan beberapa struktur kimia cenderung tereliminasi atau rusak akibat dari perlakuan aktivasi yang diberikan. lalu, Berdasarkan hasil pengujian SEM material karbon aktif sebelum aktivasi memiliki lebih banyak *impurities* dan pori-pori yang tertutup. setelah diaktivasi, karbon aktif memiliki

kandungan impurities yang lebih sedikit dan pori-pori yang lebih terbuka. Berdasarkan hasil pengujian BET didapatkan luas permukaan tertinggi berturut-turut yaitu karbon dengan aktivasi, karbon komersial dan karbon non-aktivasi. Berdasarkan empat karakterisasi di atas, maka dapat disimpulkan proses aktivasi karbon aktif ini berhasil

5. REFERENSI

- Akhsanti, R. Y., Lusiana, R. A., & Khabibi. (2010). Pemanfaatan Karbon Aktif Serbuk Gergaji Kayu Jati untuk Menurunkan Chemical Oxygen Demand (COD) Limbah Cair Industri Tekstil. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 13(2), 66-70.
- Alimah, D. (2021). Characterization of activated charcoal microstructure porosity of cashewnut shell (Anacardium occidentale L.). *Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Banjarbaru*.
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2012, 1 15). Porous structure and adsorptive properties of pineapple peel based activated carbons prepared via microwave assisted KOH and K₂CO₃ activation. *Microporous and Mesoporous Materials*, 148(1), 191-195. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2011.08.005>
- Khulik, R. H. (2016). PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KELAPA (Cocos nucifera L.) SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METILEN BIRU. *FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM UNIVERSITAS LAMPUNG*.
- Lempang, M., Syafii, W., & Pari, G. (2011). Structure and Components of Charcoal and Activated Charcoal from Candlenut Shell. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan*.
- Mentari, V. A., Handika, G., & Maulina, S. (2018, 3). PERBANDINGAN GUGUS FUNGSI DAN MORFOLOGI PERMUKAAN KARBON AKTIF DARI PELEPAH KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN AKTIVATOR ASAM FOSFAT (H₃PO₄) DAN ASAM NITRAT (HNO₃). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 7(1), 16-20.

- Nandyanto, A. B., & Oktiani, R. (2019). How to Read and Interpret FTIR Spectroscopic of Organic Material. *Indonesian Journal of Science & Technology*, 4(1), 98-118.
<http://dx.doi.org/10.17509/ijost.v4i1.xxxx>
- Nauli, F., Baharuddin, I. I., & Jannah, B. N. (2024, 10). PENANGANAN AIR ASAM TAMBANG PADA TAMBANG TERBUKA. *Jurnal Environmental Science*, 7(1), 90-98.
- Rahayu, T. E. P. S., Nurhilal, M., & Dwityaningsih, R. (2023). Analisis Porositas, Tekstur, dan Morfologi Karbon Tempurung Nipah Hasil Pirolisis Suhu Tinggi Untuk Anoda Baterai Sekunder. *Program Studi Sarjana Terapan Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap*, 14.
- Rohmah, P. M., & Redjeki, A. S. (2017, 4). Pengaruh Waktu Karbonisasi pada Pembuatan Karbon aktif Berbahan Baku Sekam Padi dengan Aktivator KOH. *Konversi*, 3(1), 19-27.
- Sandi, A. P., & Astuti. (2014, 4). PENGARUH WAKTU AKTIVASI MENGGUNAKAN H₃PO₄ TERHADAP STRUKTUR DAN UKURAN PORI KARBON BERBASIS ARANG TEMPURUNG KEMIRI (Aleurites moluccana). *Jurnal Fisika Unand*, 3(2), 115-120.
- Shafira, A., Rusdianasari, & Hajar, I. (2023, 10). PENYISIHAN LOGAM BERAT BESI (Fe) PADA AIR SUNGAI MUSI SECARA KONTINYU MENGGUNAKAN KARBON AKTIF TONGKOL JAGUNG TERAKTIVASI HCl. *Jurnal Teknologi*, 23(3), 84-90.
- Sindhuwati, C., Mustain, A., Rosly, Y. O., Aprijaya, A. S., Mufid, Suryandari, A. S., Hardjono, & Rulianah, S. (2021, 10). Review: Potensi Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol dengan Metode Fed Batch pada Proses Hidrolisis. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 5(2), 128 - 144.
- www.jtkl.polinema.ac.id

- Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., & Sing, K. S.W. (2015, 7 2). Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 9(10), 1051–1069.
<https://doi.org/10.1515/pac-2014-1117>
- Wahyuningsih, P., Rahmawati, & Yulius, N. (2017, 12). APLIKASI FOTODEGRADASI NANOKOMPOSIT ARANG AKTIF TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT/TIO2 TERHADAP LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT. *Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology*, 3(2).
- Widarto, H. T. (2024). *STATISTIK PERKEBUNAN JILID I 2022-2024* (1st ed.). Kementerian Pertanian.