

Karakterisasi Struktur dan Gugus Fungsi Karbon Aktif Sabut Kelapa dengan Variasi Konsentrasi NaOH untuk Material Elektroda Superkapasitor

Vonni Liling Tasik^{1)*}, Heindrich Taunaumang¹⁾ , Farly Reynol Tumimomor¹⁾ 

¹Program Studi Fisika, Universitas Negeri Manado, Kabupaten Minahasa, 95618, Indonesia

*Corresponding author. E-mail: vonniling@gmail.com

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima: 25 April 2026

Direvisi : 29 April 2026

Disetujui: 30 April 2026

Kata Kunci:

Karbon aktif;
Superkapasitor;
FTIR;
XRD;
Sabut kelapa.

Keywords:

Activated carbon;
Supercapacitor;
FTIR;
XRD;
Coconut fiber.

ABSTRAK

Superkapasitor menjadi salah satu teknologi penyimpanan energi yang menjanjikan karena memiliki kerapatan daya tinggi. Penelitian ini bertujuan mengkarakterisasi karbon aktif berbahan sabut kelapa yang diaktivasi menggunakan NaOH 3 M dan 5 M sebagai kandidat elektroda superkapasitor. Karakterisasi dilakukan menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD) dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Hasil XRD menunjukkan karbon aktif bersifat amorf, ditandai dengan tidak adanya puncak difraksi tajam. Analisis FTIR pada sampel 3 M menunjukkan dominasi gugus oksigen C–O pada 1044 cm^{-1} dan puncak aromatik pada 1567 cm^{-1} yang mengindikasikan permukaan lebih polar. Sampel 5 M menunjukkan penurunan gugus C–O, peningkatan struktur aromatik terkonjugasi, serta indikasi porositas lebih tinggi. Sementara itu, arang sabut kelapa tanpa aktivasi masih didominasi komponen lignoselulosa. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi NaOH meningkatkan perkembangan pori dan derajat grafitisasi karbon aktif, sehingga berpotensi meningkatkan performa sebagai elektroda superkapasitor.

ABSTRACT

Supercapacitors have emerged as a promising energy storage technology due to their high power density. This study aims to characterize coconut coir-based activated carbon activated with 3 M and 5 M NaOH as a candidate electrode material for supercapacitors. Characterization was conducted using X-ray Diffraction (XRD) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). XRD results showed that the activated carbon exhibited an amorphous structure, indicated by the absence of sharp diffraction peaks. FTIR analysis of the 3 M sample revealed dominant oxygen-containing C–O functional groups at 1044 cm^{-1} and an aromatic peak at 1567 cm^{-1} , indicating a more polar surface. The 5 M sample showed reduced C–O functional groups, enhanced conjugated aromatic structure, and indications of higher porosity. Meanwhile, untreated coconut coir char remained dominated by lignocellulosic components. These results indicate that increasing NaOH concentration enhances pore development and graphitization degree of activated carbon, thereby improving its potential performance as a supercapacitor electrode material.

PENDAHULUAN

Sejauh ini telah terdapat minat yang besar di kalangan para peneliti untuk mengembangkan dan menyempurnakan perangkat penyimpanan energi yang lebih efisien. Salah satu perangkat tersebut adalah superkapasitor. Superkapasitor, juga dikenal sebagai ultrakapasitor atau kapasitor elektrokimia,

memanfaatkan permukaan elektroda larutan elektrolit dan dielektrik tipis untuk mencapai kapasitansi lebih besar dibandingkan kapasitor konvensional (Nurul Huda, 2022).

Superkapasitor atau *Electrochemical Double Layer Capacitor* (EDLC) merupakan generasi keempat teknologi kapasitor yang digunakan sebagai perangkat penyimpan energi listrik dengan nilai kapasitansi yang dapat mencapai 10^6 F. Salah satu faktor utama yang menentukan kinerja superkapasitor adalah pemilihan material elektroda, di mana karbon aktif menjadi komponen utama yang paling banyak digunakan karena memiliki luas permukaan tinggi, struktur berpori, serta konduktivitas yang baik (Tumimomor & Palilingan, 2018).

Karbon aktif adalah material berbasis karbon berpori yang dihasilkan melalui proses pemanasan pada suhu tinggi dalam kondisi tanpa oksidasi (Budianto et al., 2018). Proses pembuatannya meliputi tahapan dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi, baik secara fisika maupun kimia. Aktivasi kimia menggunakan basa kuat seperti NaOH diketahui mampu meningkatkan luas permukaan dan jumlah pori dengan membentuk struktur karbon yang lebih tipis dan reaktif. Luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan dapat mencapai 400–1400 m²/gram (Priambudi & Susanti, 2024).

Sabut kelapa merupakan limbah biomassa yang memiliki potensi besar sebagai bahan baku karbon aktif untuk aplikasi penyimpanan energi. Sabut kelapa menyumbang sekitar 35% dari berat buah kelapa dan tersusun atas serat serta gabus. Komponen serat merupakan bagian utama dengan kandungan sekitar 75% (± 525 gram per butir), sedangkan sisanya berupa gabus sekitar 25% (± 175 gram) (Ningtyas et al., 2022). Kandungan selulosa dan lignin yang tinggi pada sabut kelapa menjadikannya sumber karbon yang potensial untuk menghasilkan arang aktif dengan kualitas baik (Taunaumang et al., 2025). Pemanfaatan karbon aktif yang berasal dari biomassa sebagai material elektroda superkapasitor merupakan salah satu pendekatan yang potensial dalam menjawab kebutuhan penyimpanan energi yang berkelanjutan sekaligus menjaga keberlanjutan lingkungan. Biomassa yang dilaporkan oleh sejumlah peneliti diantaranya daun jeruk (Maulida et al., 2024), tempurung kelapa (Silaban, 2018), Kakao (Budianto et al., 2018), pelepah kelapa sawit (Taslim et al., 2017), sekam padi (Nurul Huda, 2022), bambu (Pongajow et al., 2023), dan kulit pisang (Kapantow et al., 2025). Dibandingkan dengan karbon yang berbasis bahan bakar fosil, karbon aktif dari biomassa memiliki keunggulan karena lebih ramah lingkungan, tersedia secara melimpah, serta relatif ekonomis. Selain itu, material ini juga menunjukkan kinerja elektrokimia yang baik, seperti nilai kapasitansi spesifik yang tinggi dan stabilitas siklus yang memadai (Muflihatun, 2025).

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji pemanfaatan sabut kelapa sebagai bahan baku karbon aktif, kajian mengenai pengaruh aktivasi kimia menggunakan NaOH terhadap karakteristik struktur (kristalinitas dan gugus fungsi) serta kaitannya dengan potensi aplikasi sebagai elektroda superkapasitor masih belum banyak dilaporkan secara komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada sintesis dan karakterisasi karbon aktif berbasis sabut kelapa menggunakan aktivator NaOH, serta analisis sifat strukturalnya menggunakan metode XRD dan FTIR untuk mendukung aplikasinya pada superkapasitor.

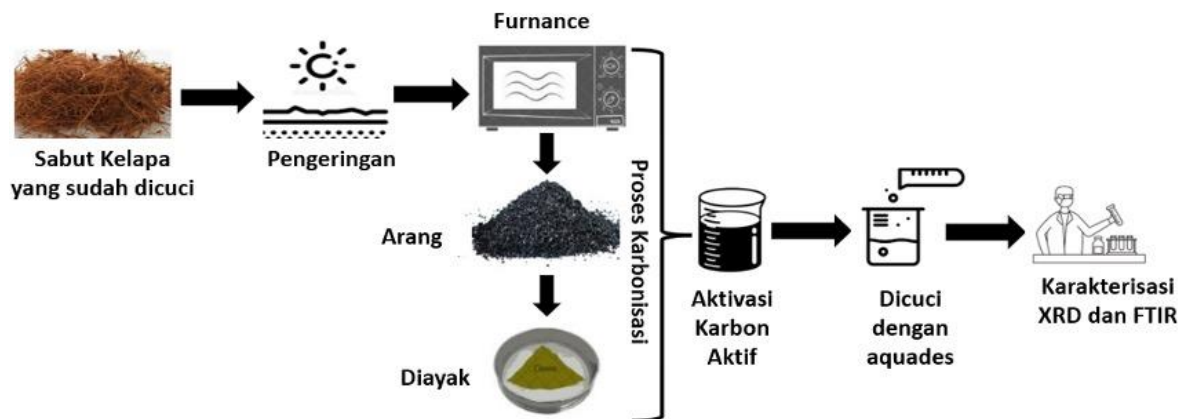
X-ray Diffraction (XRD) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) efektif untuk menguji karbon aktif. Kombinasi kedua teknik ini dapat memberikan gambaran komprehensif tentang karakteristik fisikokimia karbon aktif, yang penting untuk memahami dan mengoptimalkan fungsinya sebagai material elektroda superkapasitor. XRD digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristalin dan ukuran kristalit, serta mengamati perubahan struktur (Latupeirissa et al., 2016). Sementara itu, FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan struktur molekul melalui analisis spektrum vibrasi, dengan teknik seperti *Photoacoustic Spectroscopy* PAS, *Attenuated Total Reflectance* (ATR), dan *Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform* (DRIFT) yang memiliki karakteristik respon berbeda (Subamia et al., 2023).

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah arang sabut kelapa, larutan NaOH dengan variasi konsentrasi 3 M dan 5 M, serta akuades.

Tahapan penelitian meliputi sabut kelapa sebanyak 1 kg yang merupakan bahan utama dalam pembuatan karbon aktif. Sabut kelapa kemudian dicuci dan dijemur di bawah sinar matahari selama tiga hari untuk menghilangkan air yang terdapat pada sabut kelapa. Sabut kelapa yang telah bersih kemudian dikarbonisasi menggunakan *furnace* dengan suhu 600 °C selama 2 jam. Hasil dari karbon yang telah diaktivasi kemudian dihaluskan dengan mortar dan alu kemudian diayak dengan

menggunakan ayakan 100 mesh (Suastika & Sirait, 2023), karbon yang berukuran 100 mesh merupakan ukuran yang paling efektif (Erawati et al., 2018). Setelah sabut kelapa menjadi arang, kemudian ditimbang sebanyak 5 gram lalu dicampur dengan larutan NaOH dengan konsentrasi 3 M dan 5 M dengan waktu perendaman selama 24 jam. Selanjutnya sampel disaring menggunakan pompa vakum dan kertas saring yang selanjutnya dilakukan proses aktivasi fisika dengan cara sampel dimasukkan ke dalam *furnace* pada suhu 700° selama 2 jam. Kemudian sampel dibilas dengan menggunakan aquades sampai pH 7. Sampel dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 110° selama 12 jam. Selanjutnya karbon aktif yang sudah jadi diuji dengan FTIR dan XRD. Skematik tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skematik tahapan penelitian

Teknik Analisis Data

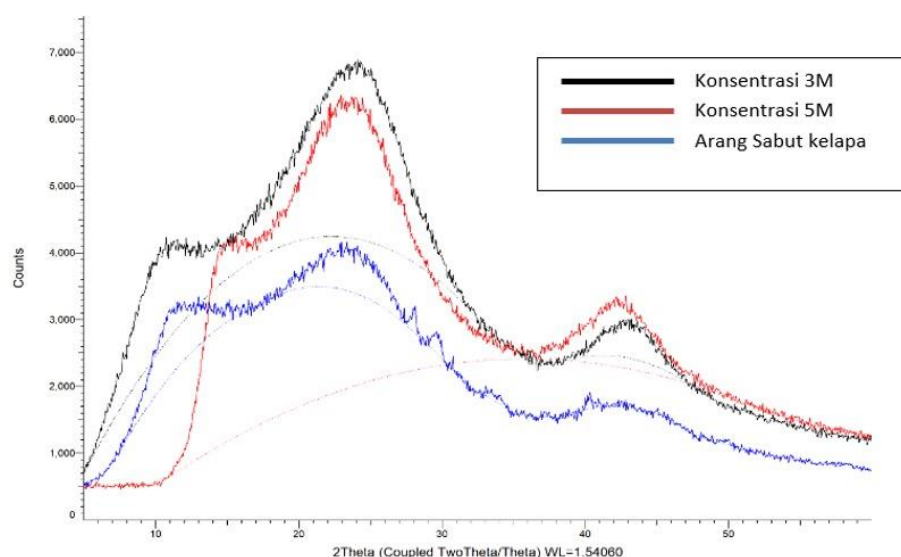
Dalam pengolahan data, dilakukan analisis terhadap hasil pengujian struktur material menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD) tipe D6 PHASER dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) tipe INVENIO Bruker, untuk mengidentifikasi fasa kristalin serta gugus fungsi dalam material. Pengujian XRD dilakukan pada rentang sudut 2θ pada 5° hingga 60° . Sementara itu, pengujian FTIR dilakukan pada rentang bilangan gelombang $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ untuk mendeteksi berbagai gugus fungsi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil Pengujian XRD

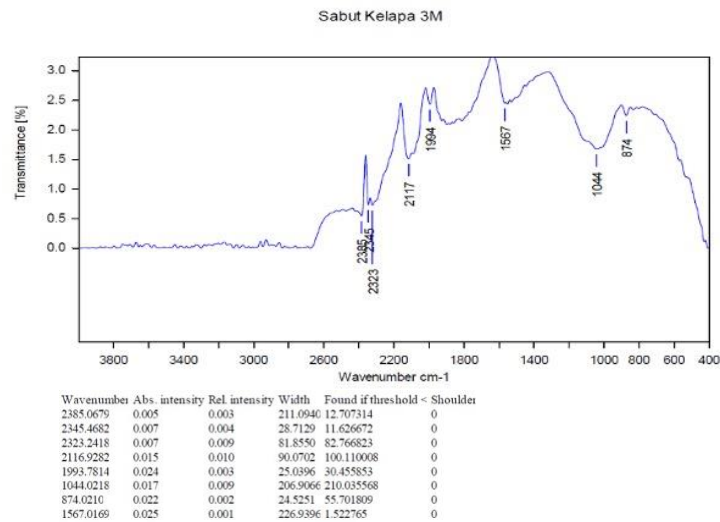
Hasil pengujian XRD karbon aktif dengan Aktivasi NaOH 3M dan 5M menunjukkan ciri khas karbon amorf seperti tampak pada Gambar 2.



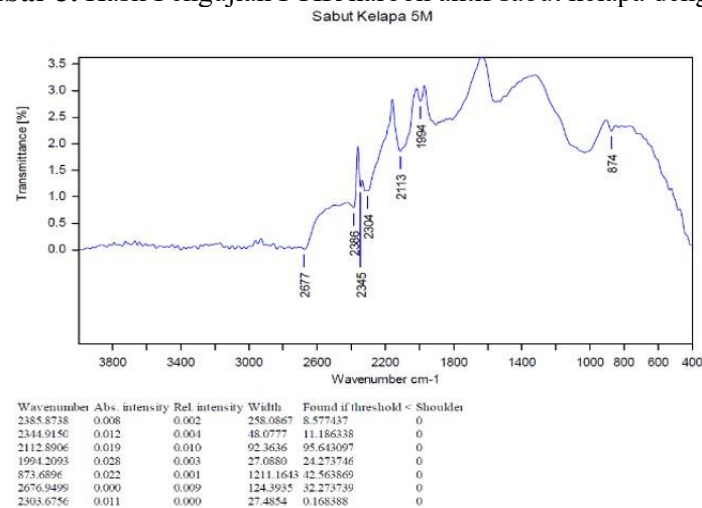
Gambar 2. Hasil pengujian XRD karbon aktif sabut kelapa dengan aktivasi 3 M dan 5 M

Hasil Pengujian FTIR

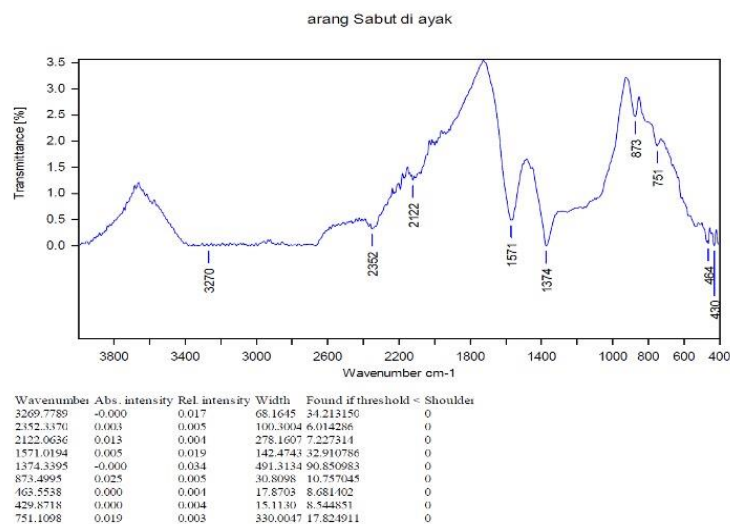
Dapat dilihat pada Gambar 3, 4 dan 5 yang merupakan hasil pengujian FTIR pada sampel karbon aktif sabut kelapa 3 M, 5 M dan arang aktif menunjukkan adanya beberapa puncak absorpsi utama yang mengindikasikan keberadaan gugus fungsi kimia tertentu.



Gambar 3. Hasil Pengujian FTIR karbon aktif sabut kelapa dengan aktivasi 3 M



Gambar 4. Hasil Pengujian FTIR karbon aktif sabut kelapa dengan aktivasi 5 M



Gambar 5. Hasil pengujian FTIR arang sabut kelapa tanpa aktivasi

Pembahasan

X-Ray Diffraction

Uji XRD digunakan untuk mengkarakterisasi struktur mikro karbon aktif melalui pola difraksi yang muncul pada sudut 2θ tertentu. Hasil pengujian menunjukkan adanya dua puncak utama pada rentang sekitar 2θ 20–30° dan sekitar 2θ 43° pada sampel karbon aktif 3 M, 5 M, serta arang sabut kelapa (kontrol). Puncak lebar pada rentang 2θ 20–30° berkaitan dengan bidang (002) yang mencerminkan struktur karbon amorf, sedangkan puncak di sekitar 2θ 43° berkaitan dengan bidang (100) yang mengindikasikan adanya sebagian kecil struktur grafitik. Lebarnya puncak difraksi pada rentang 2θ 20–30° menunjukkan rendahnya derajat kristalinitas, yang berarti karbon didominasi oleh struktur amorf dengan susunan atom yang tidak teratur. Struktur amorf ini umumnya berkontribusi terhadap luas permukaan yang tinggi dan jumlah pori yang besar, sehingga menguntungkan untuk aplikasi sebagai material elektroda superkapasitor karena mampu meningkatkan kapasitas penyimpanan muatan melalui mekanisme pembentukan lapisan ganda listrik (*electric double layer*). Namun, rendahnya keteraturan struktur juga dapat menyebabkan konduktivitas listrik yang relatif lebih rendah dibandingkan karbon dengan struktur grafitik yang lebih teratur. Sebaliknya, keberadaan puncak kecil di sekitar 2θ 43° menunjukkan adanya domain grafitik dalam jumlah terbatas. Struktur grafitik ini berperan penting dalam meningkatkan konduktivitas listrik karena memiliki sistem ikatan π terdelokalisasi yang memudahkan pergerakan elektron (Zhao et al., 2024). Oleh karena itu, keberadaan kombinasi struktur amorf dan grafitik pada karbon aktif menjadi faktor penting dalam menentukan keseimbangan antara kapasitas penyimpanan muatan dan konduktivitas elektroda.

Pada sampel arang sabut kelapa tanpa aktivasi, intensitas puncak di sekitar 2θ 20° cenderung lebih rendah dibandingkan sampel yang diaktivasi, yang menunjukkan derajat keteraturan struktur yang lebih rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa proses aktivasi berperan dalam meningkatkan reorganisasi struktur karbon, meskipun tidak sampai membentuk kristalinitas tinggi. Aktivasi juga berkontribusi terhadap pembentukan pori dan peningkatan luas permukaan. Dalam kondisi tersebut, distribusi elektron dalam karbon menjadi lebih acak sehingga menghasilkan ikatan yang relatif lebih lemah dan struktur yang kurang teratur (Peday & Sialana, 2025).

Perbedaan pola juga terlihat antara sampel 3 M dan 5 M, khususnya pada sudut sekitar 2θ 9°. Intensitas yang lebih tinggi pada sampel 3 M mengindikasikan struktur yang relatif lebih rapat atau kurang berkembangnya pori, sedangkan intensitas yang lebih rendah pada sampel 5 M menunjukkan struktur yang lebih terbuka dengan porositas yang lebih tinggi akibat efek aktivasi yang lebih kuat. Peningkatan porositas ini berpotensi meningkatkan luas permukaan aktif, namun dapat disertai penurunan keteraturan struktur karbon.

Secara keseluruhan, variasi konsentrasi aktivator NaOH mempengaruhi derajat kristalinitas dan struktur mikro karbon aktif. Sampel dengan konsentrasi 5 M cenderung memiliki struktur yang lebih amorf dan berpori, yang menguntungkan untuk peningkatan kapasitas, sedangkan keberadaan sebagian struktur grafitik tetap diperlukan untuk menjaga konduktivitas listrik. Kombinasi kedua karakteristik ini menjadi kunci dalam menentukan performa karbon aktif sebagai elektroda superkapasitor.

FTIR

Karbon Aktif Konsentrasi 3 M

Prinsip kerja FTIR didasarkan pada pengukuran absorbansi radiasi inframerah oleh material, di mana setiap gugus fungsi memiliki pola serapan yang khas dan dapat digunakan sebagai dasar untuk mengidentifikasi keberadaannya dalam suatu material (Elina et al., 2023).

Hasil spektrum karbon aktif sabut kelapa dengan konsentrasi 3M menunjukkan nilai transmittance terhadap *wavenumber* atau bilangan gelombang (cm^{-1}). Setiap puncak pada spektrum berhubungan dengan vibrasi molekul dari gugus fungsi tertentu. Pada 2385 cm^{-1} , 2345 cm^{-1} , 2323 cm^{-1} dengan intensitas absolut rendah yang menunjukkan indikasi C=N (Nitri) atau C=C (Alkuna). Selanjutnya pada sekitar 2117 cm^{-1} , berhubungan dengan gugus fungsi isosianat (-N=C=O). Sekitar 1994 cm^{-1} menunjukkan ikatan C=C, menunjukkan keberadaan struktur aromatik karbon aktif. Sekitar 1567 cm^{-1} dengan intensitas absolut tinggi yang menunjukkan ikatan C=C aromatik atau vibrasi N-H dari amina sekunder atau amida, karbon aktif masih memiliki sejumlah gugus aromatik-bagian dari struktur grafitik yang berfungsi dalam adsorpsi. Sekitar 1044 cm^{-1} dengan intensitas absolut sedang, yang menunjukkan ikatan gugus C=O, yang berarti karbon aktif memiliki gugus oksigen permukaan

yang membantu adsorpsi dan juga adanya gugus fungsi C=O yaitu karbonil yang lazim ditemukan dalam senyawa karbonil dan lignin ([Chang et al., 2023](#)). Sekitar 874 cm^{-1} dengan intensitas absolut rendah, menunjukkan vibrasi *stretching* dari C-H mengonfirmasi struktur cincin aromatik yang tetap dari lignin sabut kelapa setelah karbonisasi.

Karbon Aktif Konsentrasi 5 M

Puncak 2385.87 cm^{-1} , 2344.92 cm^{-1} , 2303.68 cm^{-1} adalah absorpsi CO₂ yang tertangkap di luar sampel, tidak menunjukkan gugus fungsional permukaan yang reaktif. Sekitar $2676\text{--}2677\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus fungsi C-H (formil)/*overtone aldehyd*, yang berarti intensitas sangat kecil atau sedikit gugus karbonil aldehyd tersisa. Selanjutnya pada puncak 2303 cm^{-1} , 2113 cm^{-1} , pada ikatan C=C (alkyne)/*stretching* tak umum, menunjukkan indikasi struktur karbon tak jenuh/residu dari pemecahan biomassa, intensitas kecil. Puncak 1994 cm^{-1} menunjukkan *overtone/kombinasi vibrasi* (aromatik *overtone*) yang mendukung keberadaan struktur aromatik (cincin) pada karbon aktif. Sementara pada puncak 874 menunjukkan ikatan C-H aromatik (*out-of-plan bending*), berarti struktur aromatik (sisa lignin/karbonisasi) tetap ada, ciri khas karbon aktif berbasis biomassa.

Hasil uji menggunakan alat spektrofotometer IR dapat disimpulkan bahwa ada beberapa kandungan gugus fungsi yang berada dalam karbon aktif dengan struktur tertentu yang menunjukkan adanya gugus cincin aromatik sederhana C=C, C-O karbonil, C-H *stretch* alkana, dan C-H *bend*. Gugus – gugus fungsional tersebut sebagai gugus aktif yang dipakai untuk proses adsorpsi ([Hartanto et al., 2023](#)).

Arang Sabut Kelapa (Tanpa Aktivasi)

Arang sabut kelapa kontrol yang diuji dengan FTIR menunjukkan puncak-puncak khas yang merepresentasikan gugus fungsi utama sabut kelapa. Sekitar 3270 cm^{-1} yang berarti puncak pada kisaran ini menunjukkan ikatan O-H (Gugus Hidroksil) yang mungkin berasal dari air atau gugus hidroksil dalam selulosa/hemiselulosa di sabut kelapa. Selanjutnya pada sekitar 2352 cm^{-1} dan 2122 cm^{-1} menunjukkan ikatan C=C (alkuna) atau segmen karbonil terikat kuat di matriks lignin/selulosa. Sekitar 1567 cm^{-1} dan 1374 cm^{-1} merujuk pada ikatan C=C aromatik dan C-H deformasi yang terkait dengan senyawa lignin dan senyawa organik lain dalam sabut. Sekitar 873 cm^{-1} dan 751 cm^{-1} menunjukkan gugus getah dan cincin aromatik. Puncak-puncak di bawah 500 cm^{-1} biasanya terkait dengan getaran rangka karbon. Jadi spektrum ini mengonfirmasi komponen kimia utama sabut kelapa, terutama selulosa, lignin dan hemiselulosa yang dominan.

Berdasarkan hasil karakterisasi XRD dan FTIR, struktur karbon aktif yang didominasi oleh fase amorf dengan keberadaan sebagian domain grafitik serta gugus fungsi oksigen menunjukkan potensi yang baik sebagai material elektroda superkapasitor. Struktur *amorf* dan porositas yang tinggi mendukung peningkatan luas permukaan untuk penyimpanan muatan, sementara keberadaan struktur aromatik/grafitik berperan dalam meningkatkan konduktivitas listrik, sehingga secara keseluruhan dapat meningkatkan kinerja kapasitansi dan efisiensi penyimpanan energi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa karbon aktif dari sabut kelapa, baik dengan aktivasi 3 M maupun 5 M, didominasi oleh struktur amorf yang ditandai dengan puncak lebar pada rentang $2\theta\text{ }20\text{--}30^\circ$ serta adanya sedikit struktur grafitik pada sekitar $2\theta\text{ }43^\circ$. Proses aktivasi mempengaruhi keteraturan struktur dan porositas karbon, di mana konsentrasi aktivator yang lebih tinggi (5 M) cenderung menghasilkan struktur yang lebih terbuka dan berpori. Sementara itu, hasil FTIR mengindikasikan adanya gugus fungsi utama seperti C=C aromatik, C–O, C=O, dan C–H yang berperan sebagai situs aktif dalam proses adsorpsi. Perbedaan konsentrasi aktivator juga mempengaruhi jumlah dan jenis gugus fungsi, di mana sampel 5 M menunjukkan tingkat deoksigenasi yang lebih tinggi dibandingkan 3 M.

Secara keseluruhan, kombinasi struktur amorf berpori, keberadaan sebagian domain grafitik, serta gugus fungsi aktif menunjukkan bahwa karbon aktif berbasis sabut kelapa memiliki karakteristik yang mendukung penggunaannya sebagai elektroda superkapasitor, terutama dalam meningkatkan kapasitas penyimpanan muatan dan konduktivitas listrik.

REFERENSI

- Budianto, A., Romiarto, & Fitrianingtyas. (2018). Pemanfaatan Limbah Kakao (*Theobroma cacao* L) sebagai Karbon Aktif dengan Aktivator Termal dan Kimia. *Jurnal Teknik Kimia*, (August), 207–212.
- Chang, L.-L., Hu, C., Huang, C.-C., Lin, C.-Y., Chung, P.-W., & Tung, K.-L. (2023). Potassium Citrate-Activated Porous Carbon Nanostructures for CO₂ Adsorption and Electroreduction. *ACS Applied Nano Materials*, 6(10), 8839–8848. <https://doi.org/10.1021/acsanm.3c01231>
- Elina, R., Rori, D. C., & Khair, M. (2023). Karakterisasi FTIR pada Karbon Aktif Terimpregnasi ZnO Program Studi Kimia, Universitas Negeri Padang. 7, 23827–23831.
- Erawati, E., Firdausi, E., & Afifah, N. (2018). *The 8 th University Research Colloquium 2018 Universitas Muhammadiyah Purwokerto PEMBUATAN KARBON AKTIF DARI GERGAJI KAYU JATI (*Tectona grandis* L , f) (UKURAN PARTIKEL DAN JENIS AKTIVATOR) MAKING ACTIVATED CARBON FROM TEAK WOOD SAWES (*Tectona grandis* L , f) (PARTICLE SIZE AND ACTIVATOR TYPE) The 8 th University Research Colloquium 2018 Universitas Muhammadiyah Purwokerto*. 97–104.
- Kapantow, K. E., Rampengan, A. M., Tumimomor, F. R., Taunaumang, H., & Umboh, S. I. (2025). Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca* L) Sebagai Elektroda Superkapasitor. In *Oktober* (Vol. 6, Number 2).
- Hartanto, D. A., Yuwita, P. E., Faila, R. N., Studi, P., Mesin, T., Nahdlatul, U., & Sunan, U. (2023). MENGGUNAKAN UJI FOURIER TRANSFORM INFRARED SEBAGAI BAHAN. 4(1).
- Latupeirissa, J., Tanasale, M. F. J. D. P., Dade, K., & Kemiri, G. T. (2016). *Jolantje Latupeirissa*, Matheis F.J.D.P. Tanasale, Kalam Dade*. 3(2), 324–328.
- Maulida, H., Elwina, E., & Fachraniah, F. (2024). Pembuatan Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Jeruk Manis (*Citrus sinensis* L) Sebagai Adsorben Ion Besi (Fe²⁺) Dalam Air Sumur. *Jurnal Riset, Inovasi, Teknologi & Terapan*, 2(1), 23. <https://doi.org/10.30811/ristera.v2i1.4970>
- Muflihatun. (2025). Pemanfaatan Karbon Aktif Berbasis Biomassa Lokal sebagai Material Elektroda Superkapasitor : Review. 6(1), 22–29.
- Ningtyas, K. R., Saron, Analiasari, Nugraha Agassi, T. N., Gina Putri, P., & Perdiansyah H, M. M. (2022). Pemanfaatan Limbah Sabut Kelapa Sebagai Produk Unggulan Lokal. *Jurnal Pengabdian Nasional*, 3(1), 1–6.
- Nurul Huda, A. (2022). Pemanfaatan Karbon Aktif dari Sekam Padi Sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 6(2), 102–113. <https://doi.org/10.24198/jiif.v6i2.39639>
- Peday, H. T. N., & Sialana, J. (2025). FT-UMSU FT-UMSU. 8(1), 146–154.
- Pongajow, M. S., Taunaumang, H., Tumimomor, F. R., & Rampengan, A. M. (2023). Pengaruh Suhu Proses Karbonasi Terhadap Konduktivitas Listrik Arang Bambu Sebagai Elektroda Superkapasitor. *Konstanta : Jurnal Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 2(1), 22–31. <https://doi.org/10.59581/konstanta.v2i1.1880>
- Priambudi, A., & Susanti, A. (2024). PROSES PEMBUATAN KARBON AKTIF DARI SERBUK GERGAJI KAYU DARI DAERAH MALANG, MENGGUNAKAN AKTIVATOR NaOH. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 10(1), 256–265. <https://doi.org/10.33795/distilat.v10i1.4885>
- Silaban, D. P. (2018). *SINTESIS KARBON AKTIF DARI ARANG TEMPURUNG KELAPA LIMBAH MESIN BOILER SEBAGAI BAHAN PENYERAP LOGAM Cd , Cu dan Pb ACTIVATED CARBON MADE OF COCONUT SHELL CHARCOAL FROM BOILER*.
- Suastika, R., & Sirait, R. (2023). Pengaruh Suhu Aktivasi Fisika Terhadap Uji Mikrostruktur Karbon Aktif Mangrove. 6, 262–271.
- Subamia, I. D. P., Widiasih, N. N., Sri Wahyuni, I. G. A. N., & Pratami Kristiyanti, P. L. (2023). Optimasi Kinerja Alat Fourier Transform Infrared (FTIR) Melalui Studi Perbandingan Komposisi dan Ketebalan Sampel-KBr. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 5(2), 58–69. <https://doi.org/10.14710/jplp.5.2.58-69>
- Taslim, R., Sari, M. N., & Taer, E. (2017). Studi Awal Pembuatan Karakteristik Elektroda Superkapasitor Dari Limbah Pelepah Kelapa Sawit. *Prosiding SNFUR*, 180–184.
- Taunaumang, H., Pawarangan, I., & Tumimomor, F. (2025). Efek Suhu Aktivasi terhadap Struktur Mikro Material Karbon Aktif Pelepah Enceng Gondok untuk Aplikasi Elektroda Superkapasitor.

- Jurnal Pendidikan Kimia, Fisika Dan Biologi*, 1(6), 09–19.
<https://doi.org/10.61132/jupenkifb.v1i6.686>
- Tumimomor, F. R., & Palilingan, S. C. (2018). Pemanfaatan karbon aktif dari sabut kelapa sebagai elektroda superkapasitor. *Fullerene Journal of Chemistry*, 3(1), 13.
<https://doi.org/10.37033/fjc.v3i1.29>
- Zhao, H., Zuo, H., Wang, J., & Jiao, S. (2024). Practical application of graphite in lithium-ion batteries: Modification, composite, and sustainable recycling. *Journal of Energy Storage*, 98, 113125.
<https://doi.org/10.1016/j.est.2024.113125>