

Kajian struktur morfologi, gugus fungsi, dan sifat adsorpsi dari karbon aktif kulit singkong (*manihot esculenta crantz*)

¹Siti Sarah Husna, ²Rahmawati*, ³Nirmala Sari, ⁴Fera Anisa

^{1,2,3}Program Studi Fisika Universitas Samudra
Kota Langsa, Aceh, Indonesia

⁴Program Studi Pendidikan Fisika UIN Ar-Raniry
Banda Aceh, Aceh, Indonesia

*rahmawati@unsam.ac.id

Abstrak – Kulit singkong (*Manihot esculenta Crantz*) merupakan limbah pertanian yang berpotensi tinggi sebagai bahan baku karbon aktif karena kandungan karbonnya yang tinggi dan keberadaan berbagai gugus fungsi aktif. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi temperatur karbonisasi terhadap struktur morfologi, gugus fungsi, dan sifat adsorpsi dari karbon aktif yang dihasilkan dari kulit singkong. Proses sintesis dilakukan melalui dua tahap utama: karbonisasi pada suhu 250°C, 300°C, dan 350°C, serta aktivasi kimia menggunakan larutan KOH 2% dan aktivasi fisika dengan pemanasan microwave. Karakterisasi dilakukan dengan metode SEM untuk mengamati morfologi, FTIR untuk identifikasi gugus fungsi, dan UV-VIS untuk mengukur daya adsorpsi. Hasil menunjukkan pada analisis morfologi bahwa suhu karbonisasi yang lebih tinggi meningkatkan pembentukan pori karena dekomposisi senyawa organik. Analisis gugus fungsi mengonfirmasi keberadaan ikatan O-H, C=C, C-H, dan C-O, yang menunjukkan komponen lignoselulosa dan hemiselulosa. Studi adsorpsi pada panjang gelombang 665 nm menunjukkan bahwa pemanasan berlebihan dapat menyebabkan degradasi struktural, sehingga mengurangi efisiensi adsorpsi. Peningkatan suhu karbonisasi secara umum dapat meningkatkan perkembangan pori dan luas permukaan, sehingga menaikkan kapasitas adsorpsi. Penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif dari kulit singkong berpotensi sebagai adsorben alternatif yang ramah lingkungan dan efisien untuk aplikasi pemurnian.

Kata kunci: karbon aktif, morfologi, gugus fungsi, adsorpsi.

Abstract – *Cassava peel (Manihot esculenta Crantz) is an agricultural waste that has high potential as a raw material for activated carbon due to its high carbon content and the presence of various active functional groups. This study aims to examine the effect of carbonization temperature variations on the morphological structure, functional groups, and adsorption properties of activated carbon produced from cassava peel. The synthesis process was carried out through two main stages: carbonization at temperatures of 250°C, 300°C, and 350°C, as well as chemical activation using 2% KOH solution and physical activation with microwave heating. Characterization was carried out using the SEM method to observe the morphology, FTIR to identify functional groups, and UV-VIS to measure the adsorption capacity. The results showed that the morphological analysis showed that higher carbonization temperatures increased pore formation due to the decomposition of organic compounds. Functional group analysis confirmed the presence of O-H, C=C, C-H, and C-O bonds, indicating lignocellulose and hemicellulose components. Adsorption studies at a wavelength of 665 nm showed that excessive heating could cause structural degradation, thereby reducing adsorption efficiency. Increasing the carbonization temperature can generally increase the pore development and surface area, thus increasing the adsorption capacity. This study shows that activated carbon from cassava peel has the potential as an environmentally friendly and efficient alternative adsorbent for purification applications.*

Key words: activated carbon, morphology, functional groups, adsorption.

PENDAHULUAN

Singkong merupakan salah satu hasil produksi hasil pertanian pangan terbesar di Indonesia. Singkong atau ubi kayu itu sendiri merupakan salah satu bahan pangan pengganti beras yang memiliki peranan cukup penting dalam menopang ketahanan pangan di suatu wilayah. Hampir semua bagian dari tanaman singkong

bisa dimanfaatkan, mulai dari daging singkong, daun hingga batangnya. Daging singkong berwarna putih atau kekuning-kuningan dan dilapisi oleh kulit berwarna putih kemerahan dan kulit luar berwarna coklat [1]. Kulit singkong memiliki unsur karbon cukup banyak dan kemampuan untuk proses penyerapan ion logam karena mengandung protein, selulosa nonreduksi, dan serat kasar yang tinggi asam

sianida. Sehingga banyak terdapat gugus fungsi -OH, -NH₂, -SH, dan -CN yang digunakan sebagai ligan. Kandungan yang dimiliki kulit singkong tersebut dapat digunakan sebagai bahan untuk pembuatan karbon aktif [2], [3], [4], [5]. Karbon aktif adalah suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon dengan proses pemanasan pada suhu tinggi, dengan menggunakan gas, uap air dan bahan-bahan kimia sehingga pori-porinya terbuka. Karbon aktif merupakan karbon yang memiliki luas permukaan yang luas yang terdiri dari unsur karbon bebas dan masing-masing berikatan secara kovalen [6], [7], [8].

Pemanfaatan biomassa sebagai adsorben telah lama diteliti [8]. Limbah kulit singkong yang berasal dari industri keripik mengandung 59,31% karbon, sehingga sangat cocok untuk diaplikasikan sebagai karbon aktif atau karbon aktif alami. Karakteristik karbon aktif yang berpori memiliki daya serap yang baik, maka dapat dimanfaatkan sebagai adsorben [9]. Sintesis karbon aktif melalui tahapan karbonisasi dan aktivasi. Proses aktivasi dapat dilakukan secara kimia yaitu dengan menggunakan bahan kimia sebagai aktivator agar membentuk karakteristik struktur pori, serta aktivasi melalui proses fisika yaitu dengan pemanasan menggunakan gelombang micro. Pengalihan proses pemanasan melalui furnace menjadi pemanasan dengan gelombang micro telah mulai digalakan dalam sintesis karbon aktif. Hal tersebut disebabkan dapat mengurangi pemakaian energi dan menghemat waktu karena pemanasan terjadi langsung pada biomassa dan aktivatornya. Paparan gelombang ultrasonik membentuk fenomena efek kavitasasi yaitu tersintesisnya gelembung-gelembung, kemudian gelembung bertambah besar dan pecah serta memberikan tenaga besar sehingga terbentuk banyak pori [10], [11], [12].

Berdasarkan latar belakang diatas, penelitian ini akan dilakukan dengan variasi temperatur karbonisasi terhadap karakteristik karbon aktif Dari Kulit Singkong yang diaktivasi kimia dengan larutan KOH dan aktivasi fisika dengan menggunakan microwave. Selanjutnya dikarakterisasi dengan pengujian SEM, FTIR dan UV-VIS untuk mengetahui nilai karakterisasinya.

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan utama yang digunakan untuk penelitian ini adalah oven, pH universal,

furnace, magnetic stirrer, mortar, ayakan 60 mesh, timbangan digital, hot plate, microwave, kertas saring, corong, gelas beaker, gelas ukur, erlenmeyer dan labu ukur 250 ml, kulit singkong, larutan KOH 2 %, alkohol 96% dan aquades. Kulit singkong yang diambil dibersihkan dahulu dari kotorannya, kemudian kulit singkong dicuci menggunakan air untuk menghilangkan kotoran yang tersisa, lalu kulit singkong dipotong-potong menjadi ukuran yang kecil. Setelah itu kulit singkong dikeringkan dengan menggunakan sinar matahari selama 5 hari. Kulit singkong yang telah kering, selanjutnya akan di proses melalui tahap karbonisasi menggunakan alat pemanas furnace dengan variasi temperatur 250°C, 300 °C, dan 350°C selama 1,5 jam. Lalu kulit singkong dihaluskan menggunakan mortar dan diayak dengan ayakan 60 mesh. Kemudian karbon aktif kulit singkong akan dilakukan aktivasi kimia dengan aktivator KOH dan aktivasi fisika melalui pemanasan microwave. Karbon aktif kulit singkong yang telah dimicrowave akan dinetralisasi untuk menetralkan pH menjadi 7. Kemudian karbon aktif kulit singkong diovenkan dengan suhu 110°C selama 2 jam untuk mengkeringkan karbon aktif kulit singkong [13]. Selanjutnya dilakukan karakterisasi SEM, FTIR dan UV-VIS sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Kadar Abu dan Zat Terbang

Nilai kadar abu mencerminkan sisa material anorganik yang tidak terbakar selama proses karbonisasi, yang terdiri dari mineral seperti silika, oksida logam, dan senyawa lainnya. Berdasarkan hasil penelitian, kadar abu berkisar antara 13,64% hingga 43,67%, di mana kadar abu semakin rendah dengan meningkatnya suhu pemanasan. Hal ini karena pada suhu tinggi, bahan organik dalam kulit singkong lebih banyak terbakar, menghasilkan karbon aktif dengan kandungan abu yang lebih sedikit. Penurunan kadar abu ini juga dilaporkan oleh Wahyuni dkk. (2022), yang menemukan bahwa karbonisasi bambu buluh pada suhu tinggi menghasilkan karbon aktif dengan kadar abu lebih rendah dan kualitas adsorpsi yang lebih baik [14]. Kadar abu yang rendah penting untuk kualitas karbon aktif karena kadar abu yang tinggi dapat menurunkan efisiensi adsorpsi zat dalam aplikasi seperti pemurnian air atau udara.

Kadar zat terbang menunjukkan persentase senyawa organik volatil yang dilepaskan selama proses karbonisasi. Penelitian menunjukkan kadar zat terbang pada karbon aktif dari kulit singkong berkisar antara 57,40% hingga 86,36%. Semakin tinggi suhu pemanasan, semakin besar kadar zat terbang yang dilepaskan, karena senyawa volatil seperti air, lemak, dan senyawa karbon organik mudah menguap pada suhu tinggi. Hal ini sejalan dengan temuan Khotimah dkk. (2024) yang menyatakan bahwa peningkatan suhu aktivasi fisika menyebabkan senyawa volatil lebih mudah terurai sehingga menghasilkan karbon aktif yang lebih stabil [15]. Kadar zat terbang yang rendah dalam karbon aktif menandakan bahwa bahan karbon telah stabil dan memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik.

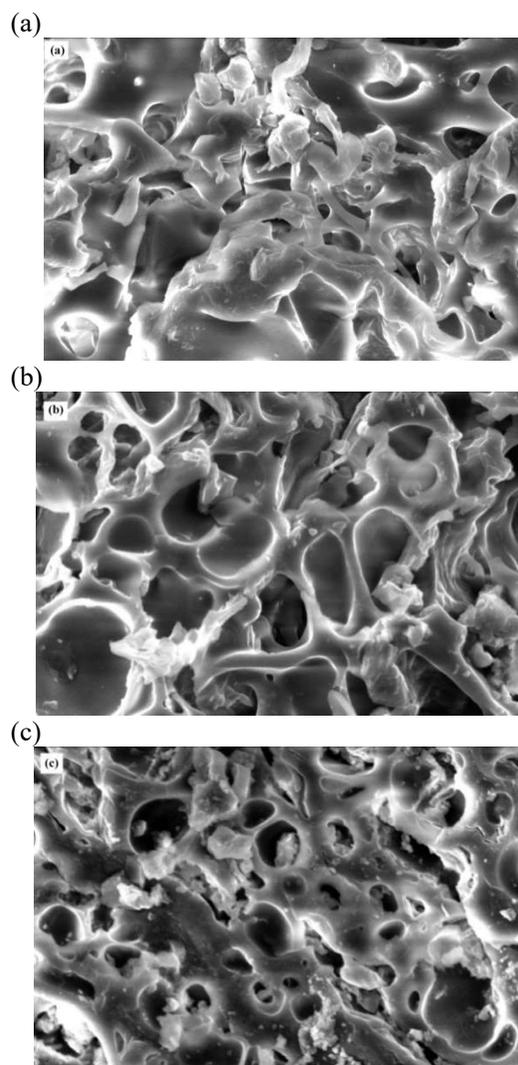
Proses karbonisasi memegang peran penting dalam menentukan kualitas karbon aktif. Suhu tinggi tidak hanya menurunkan kadar abu tetapi juga meningkatkan struktur pori pada karbon aktif, yang merupakan karakteristik utama dalam aplikasi adsorpsi. Namun, jika suhu terlalu tinggi, dapat menyebabkan kerusakan struktur karbon yang justru mengurangi efisiensi adsorpsi.

Analisis Karakterisasi Morfologi SEM

Pada suhu karbonisasi rendah 250°C ditunjukkan pada gambar 1(a), struktur pori pada karbon aktif belum terbentuk secara optimal. Hal ini disebabkan oleh dekomposisi senyawa organik seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang masih terbatas. Pori yang terlihat lebih kecil, dengan distribusi yang tidak seragam, menunjukkan awal pembentukan mikropori. Aktivasi kimia menggunakan KOH 2% membantu membuka struktur, tetapi efeknya terbatas pada suhu karbonisasi rendah. menunjukkan bahwa karbonisasi pada suhu rendah menghasilkan karbon dengan pori yang kurang berkembang dibandingkan suhu lebih tinggi [6], [16]. Hal serupa juga dikemukakan oleh Perdani et al. (2021), yang melaporkan bahwa karbon aktif dari kulit singkong yang dikarbonisasi pada suhu rendah memiliki struktur pori yang tidak merata dan luas permukaan yang rendah[5].

Kenaikan suhu karbonisasi menjadi 300°C, terjadi proses dekomposisi bahan organik meningkat, sehingga pori-pori mulai terbentuk lebih jelas. Pori yang lebih besar mulai muncul seperti terlihat pada gambar 1(b). Hal ini

menandakan terjadi transisi menuju pengembangan mesopori. Aktivasi fisika menggunakan microwave selama 10 menit meningkatkan energi termal, mempercepat reaksi antara karbon dan KOH, yang berkontribusi terhadap struktur pori yang lebih berkembang[6]. Hasil penelitian Gil dkk. (2019) juga menyatakan bahwa pemanasan microwave pada proses aktivasi karbon menghasilkan porositas yang lebih besar dan struktur internal yang lebih seragam, mendukung efisiensi adsorpsi [11].



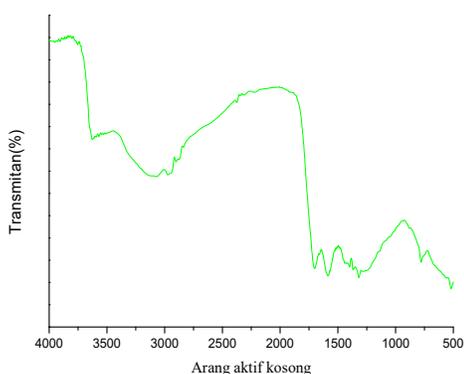
Gambar 1. Hasil analisis SEM pada pembesaran 5000x (a) Suhu 250°C, (b) Suhu 300°C, dan (c) Suhu 350°C.

Pada suhu 350°C, struktur pori terlihat paling berkembang dengan kombinasi mikropori dan mesopori yang lebih besar. Aktivasi KOH berkontribusi pada peningkatan jumlah pori aktif melalui reaksi kimia yang membentuk

saluran dalam struktur karbon. Aktivasi fisik dengan microwave juga mempercepat proses aromatisasi, menghasilkan struktur berpori tinggi. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa karbonisasi pada suhu 350°C atau lebih tinggi, diikuti oleh aktivasi kimia dengan KOH, menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang besar, ideal untuk aplikasi adsorpsi [16]. Besarnya ukuran rongga pori dikarenakan adanya pengaruh panas saat proses pemanasan yang menyebabkan terjadinya proses penguraian senyawa organik. Sehingga semakin tinggi suhu pemanasan maka semakin banyak rongga yang akan terbentuk [14].

Analisis Karakterisasi Menggunakan Metode FTIR

Hasil analisis gugus fungsi FTIR dari karbon aktif yang diperoleh dari kulit singkong menunjukkan beberapa pita serapan yang dapat mengindikasikan keberadaan gugus fungsi tertentu seperti pada terlihat pada gambar 2. Pada bilangan gelombang 3464,15 cm^{-1} , terdeteksi adanya serapan yang menunjukkan keberadaan gugus fungsi O-H, yang umumnya terkait dengan kelompok hidroksil, yang berfungsi dalam interaksi hidrogen dan kelembaban permukaan material [17]. Selanjutnya, pada bilangan gelombang 2972,31 cm^{-1} , terdapat serapan yang mengindikasikan adanya gugus fungsi C-H stretching, yang menunjukkan keberadaan kelompok alkil pada karbon aktif. Pada bilangan gelombang 2223,92 cm^{-1} , terdeteksi adanya serapan yang mengindikasikan gugus fungsi asetilen ($\text{C}\equiv\text{C}$), yang dapat menunjukkan adanya ikatan rangkap tiga yang berperan dalam proses adsorpsi molekul gas [18].

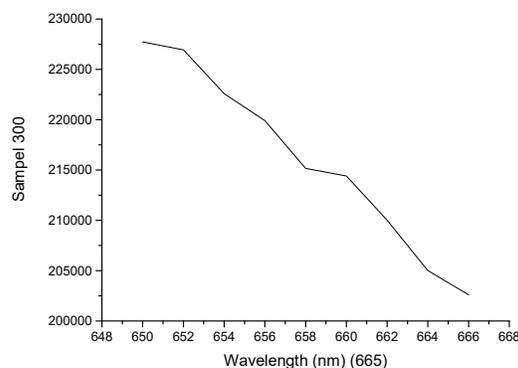


Gambar 2. Hasil analisis gugus fungsi FTIR karbon aktif kulit singkong.

Pada pita serapan bilangan gelombang 1664,57 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi $\text{C}=\text{C}$ stretching, yang berhubungan dengan adanya ikatan rangkap dua pada struktur karbon, yang memberikan sifat adsorptif pada permukaan karbon aktif. Selain itu, pada bilangan gelombang 1398,39 cm^{-1} , terdeteksi serapan gugus fungsi C-H bending, yang menunjukkan keberadaan ikatan C-H pada struktur hidrokarbon [18]. Terakhir, pada bilangan gelombang 1049,28 cm^{-1} , terdeteksi serapan yang mengindikasikan gugus fungsi C-O stretching, yang menunjukkan adanya gugus alkoksi atau fenol, yang berpotensi meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif terhadap berbagai polutan atau bahan kimia tertentu [17]. Secara keseluruhan, analisis FTIR ini menunjukkan bahwa karbon aktif dari kulit singkong memiliki struktur kimia yang kaya akan gugus fungsi hidroksil, alkil, fenol, dan karbon rangkap, yang berkontribusi pada peningkatan kapasitas adsorpsinya.

Analisis Karakterisasi Menggunakan Metode UV-VIS

Daya serap yang dihasilkan pada UV-VIS dengan panjang gelombang 665 nm pada karbon aktif seperti pada gambar 3 dikarbonisasikan pada suhu 300°C berkisaran antara 0,3073, 1,0489, dan 0,0606.



Gambar 3. Hasil analisis UV-VIS dengan panjang gelombang 665 nm.

Kapasitas tinggi rendahnya daya serap karbon aktif terhadap menunjukkan banyaknya diameter pori pada karbon aktif. Karbon aktif dengan kemampuan menyerap iodnya tinggi berarti memiliki luas permukaan yang lebih besar dan juga memiliki struktur mikro dan mesoporous yang lebih besar. Rendahnya daya

serap karbon aktif dapat disebabkan oleh kerusakan atau erosi dinding pori karbon dan juga menggambarkan sedikitnya struktur mikropori yang terbentuk dan kurang dalam [15]. Semakin tinggi suhu karbonisasi maka semakin luas permukaan karbon aktif, sehingga daya adsorpsinya juga besar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada kadar zat abu yang terkandung pada karbon aktif pada suhu 250 °C, 300 °C, 350 °C yaitu semakin tinggi pemanasan yang dilakukan maka semakin sedikit kadar abu yang dihasilkan. Sifat fisis kadar zat terbang yang dihasilkan adalah untuk mengetahui seberapa besar permukaan karbon aktif mengandung zat lain selain karbon sehingga mempengaruhi daya serapnya. Semakin tinggi suhu pemanasan yang dikarbonisasikan pada kadar zat terbang maka semakin besar pula kadar yang dihasilkan. Morfologi permukaan karbon aktif menunjukkan bahwa besarnya ukuran rongga pori dikarenakan adanya pengaruh panas saat proses pemanasan yang menyebabkan terjadinya proses penguraian senyawa organik. Sehingga semakin tinggi suhu pemanasan maka semakin banyak rongga yang akan terbentuk. Pada uji FTIR karbon aktif yang dibuat dari bahan baku kulit singkong teridentifikasi memiliki gugus fungsi O-H, C=C, C-H, dan C-O yang menunjukkan adanya kandungan lignoselulosa dan hemiselulosa. Penentuan zat penyerap adsorben menggunakan panjang gelombang 665 nm yaitu rendahnya daya serap karbon aktif dapat disebabkan oleh kerusakan atau erosi dinding pori karbon dan juga menggambarkan sedikitnya struktur mikropori yang terbentuk dan kurang dalam. Semakin tinggi suhu karbonisasi maka semakin luas permukaan karbon aktif, sehingga daya adsorpsinya juga besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Y. Purwaningsih, A. Budianto, A. A. Ningrum, and B. T. Kosagi, "Produksi Karbon Aktif Dari Kulit Singkong Dengan Aktivasi Kimia Fisika Menggunakan Gelombang Mikro", 2019.
- [2] I. Sailah, F. Mulyaningsih, A. Ismayana, T. Puspaningrum, A. Annisa, dan N.S. Indrasti, "Kinerja Karbon Aktif Dari Kulit Singkong Dalam Menurunkan Konsentrasi Fosfat Pada Air Limbah Laundry", *J. Teknol. Ind. Pertan.*, pp. 180–189, Sep. 2020, doi: 10.24961/j.tek.ind.pert.2020.30.2.180.
- [3] L. Maulinda, N. Za, and D. N. Sari, "Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Bahan Baku Karbon Aktif", p. 9, 2015.
- [4] D. R. Indah and F. Saumi, "Penerapan Teknologi Pada Pengolahan Arang Aktif Dari Limbah Kulit Singkong Sebagai Anti Bakteri Alami Pada Sabun Cair Pencuci Tangan", *Martabe: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, vol. 6, no. 10, 2023.
- [5] F. P. Perdani, C. A. Riyanto, and Y. Martono, "Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong (*Manihot esculenta* Crantz) Berdasarkan Variasi Konsentrasi H₃PO₄ dan Lama Waktu Aktivasi", *IJCA Indones. J. Chem. Anal.*, vol. 4, no. 2, pp. 72–81, Sep. 2021, doi: 10.20885/ijca.vol4.iss2.art4.
- [6] "Utilization of Activated Charcoal from Cassava Peel and Straw in Reducing Cadmium Levels in Putri Cempo Landfill Leachate | Hikari | Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan". Accessed: Feb. 13, 2025. [Online]. Available: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/presipitasi/article/view/58823>
- [7] L. Z. Chen, D. X. Miao, X. J. Feng, and J. Z. Xu, "Preparation and Characterization of Activated Carbon from Reedy Grass Leaves by Chemical Activation with Koh", *Adv Mater Res*, vol. 881–883, p. 579, 2014.
- [8] D. Dondi and Dhanalakshmi Vadivel, "Preparation of Catalysts from Renewable and Waste Materials", *Catalysts*, 2020.
- [9] N. Febrianti, V. Mauliana, dan R. Yorika, "Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Adsorben dalam Menurunkan Kadar BOD, COD di Air Waduk Manggar Kota Balikpapan", *Al-Ard J. Tek. Lingkung.*, vol. 8, no. 2, pp. 101–107, Mar. 2023, doi: 10.29080/alard.v8i2.1743.
- [10] K. Teawon, L. Jaegun, "Microwave heating of carbon-based solid materials", *Carbon Lett.*, vol. 15, no. 1, pp. 15–24, Jan. 2014, doi: 10.5714/CL.2014.15.1.015.

- [11] M. Gil, S. Pasieczna-Patkowska, and P. Nowicki, "Application of microwave heating in the preparation of functionalized activated carbons", *Adsorption*, vol. 25, no. 3, pp. 327–336, Apr. 2019, doi: 10.1007/s10450-019-00017-5.
- [12] J. A. Siregar, Nurlily, and Y. W. Sari, "The Impact of Mg Concentration, Microwave Irradiation Time, and Sintering on Magnesium-Hydroxyapatite Synthesis", *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1505, no. 1, p. 012059, Mar. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1505/1/012059.
- [13] R. Usman and P. Wahyuningsih, "Improving the quality of palm oil liquid waste using nanocomposite TiO₂/EPB activated carbon through adsorption-photodegradation", *J. Aceh Phys. Soc.*, vol. 11, no. 3, pp. 70–74, Aug. 2022, doi: 10.24815/jacps.v11i3.25626.
- [14] D. A. Wahyuni, M. Nurhanisa, A. Bahtiar, and R. Rutdiyanti, "Optimasi Sintesis Karbon Aktif dari Bambu Buluh (*Schizostachyum brachycladum*) dengan Variasi Suhu Karbonisasi untuk Penyerapan Besi pada Air Sumur Gambut", *J. Fis. Unand*, 2022, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:250995284>
- [15] N. Khotimah, A. Martin, and E. Taer, "Pengaruh Temperatur Aktivasi Fisika Terhadap Daya Serap Iodium Karbon Aktif Berbahan Dasar Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate (PET)", *Turbo J. Program Studi Tek. Mesin*, vol. 13, no. 1, Jun. 2024, doi: 10.24127/trb.v13i1.3314.
- [16] W. Xuyu, S. Wang, X. Yin, J. Chen, and L. Zhu, "Activated Carbon Preparation from Cassava Residue Using a Two-Step KOH Activation: Preparation, Micropore Structure and Adsorption Capacity", *J. Biobased Mater. Bioenergy*, vol. 8, pp. 35–42, Feb. 2014, doi: 10.1166/jbmb.2014.1408.
- [17] V. A. Tiwow, M. J. Rampe, H. L. Rampe, dan A. Apita, "Pola Inframerah Arang Tempurung Kelapa Hasil Pemurnian Menggunakan Asam", *Chem. Prog.*, vol. 14, no. 2, p. 116, Nov. 2021, doi: 10.35799/cp.14.2.2021.37191.
- [18] V. A. Mentari, G. Handika, and S. Maulina, "Perbandingan Gugus Fungsi Dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat (H₃PO₄) dan Asam Nitrat (HNO₃)", *Talenta Conference Series: Science and Technology* vol. 7, no. 1, 2018.