

Efektivitas Karbon Aktif Dari Tongkol Jagung (*Zea Mays* L.) Sebagai Adsorben Zat Warna *Methylene Blue*

Henry Fonda Aritonang^{1*)}, Fajar Saut Hamonangan Sitinjak¹⁾, Audy Denny Wuntu¹⁾,
Harry Julius Koleangan¹⁾, Widya Astudi Lolo²⁾,

¹⁾Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences,
Sam Ratulangi University, Manado, Indonesia

²⁾Pharmacy Study Program, Faculty of Mathematics and Natural Sciences,
Sam Ratulangi University, Manado, Indonesia

*Corresponding author: henryaritonang@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Pengolahan air limbah adalah salah satu metode untuk mengurangi tingkat pencemaran serta dampak berbahaya yang ditimbulkan oleh air limbah terhadap lingkungan dan manusia. Limbah yang mengandung bahan pewarna juga berpotensi membunuh organisme yang hidup di sekitarnya. Salah satu solusi dalam menangani air limbah sintesis adalah melalui proses adsorpsi. Adsorben yang digunakan berasal dari limbah tongkol jagung (*Zea mays* L.) sehingga tujuan penelitian ini adalah mensintesis dan mengevaluasi karbon aktif dari tongkol jagung sebagai adsorben *methylene blue* (MB). Untuk itu, metode yang digunakan adalah pirolisis dengan memasukkan tongkol jagung ke dalam tanur yang dipanaskan pada suhu 600 °C selama 3 jam. Karbon aktif yang dihasilkan diaktivasi dengan masing-masing H₂SO₄ dan NaOH. Karbon aktif yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), and *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometry* (SEM-EDS) untuk menganalisis struktur kristal, gugus fungsi, serta morfologi dan komposisi unsur. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa karbon aktif memiliki ukuran kristalit kecil serta pori-pori yang tidak beraturan. Uji adsorpsi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa karbon aktif dari tongkol jagung mampu menyerap MB dengan efisiensi tinggi. Adsorpsi terbaik terjadi pada waktu kontak 90 menit (99,03%), pH 7 (99,01%), dan konsentrasi 50 ppm (99,17%) dengan 0,1 gram adsorben. Analisis isoterm adsorpsi menunjukkan bahwa proses ini lebih sesuai dengan model isoterm Freundlich, yang mengindikasikan adsorpsi berlangsung secara multilayer pada permukaan adsorben yang heterogen.

Kata kunci: Adsorben; karbon aktif; *methylene blue*; natrium hidroksida; tongkol jagung

Effectiveness of Activated Carbon from Corn Cobs (*Zea mays* L.) as an Adsorbent for *Methylene Blue* Dyes

ABSTRACT

Wastewater treatment is one of the methods used to reduce pollution levels and the harmful effects of wastewater on the environment and human health. Wastewater containing dye substances also has the potential to kill organisms living in the surrounding environment. One solution for treating synthetic wastewater is through the adsorption process. The adsorbent used is derived from corn cobs (*Zea mays* L.), so the aim of this study is to synthesize and evaluate activated carbon from corn cobs as an adsorbent for methylene blue (MB). To achieve this, the pyrolysis method was employed by placing corn cobs in a furnace heated to 600 °C for 3 hours. The resulting activated carbon was then treated with either H₂SO₄ or NaOH for activation. The produced activated carbon was characterized using X-ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), and Scanning

Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS) to analyze its crystal structure, functional groups, morphology, and elemental composition. Characterization results revealed that the activated carbon had a small crystallite size and irregular pores. Adsorption tests using a UV-Vis Spectrophotometer demonstrated that corn cob-based activated carbon efficiently adsorbed MB. The highest adsorption efficiency was achieved at a contact time of 90 minutes (99.03%), pH 7 (99.01%), and a concentration of 50 ppm (99.17%) using 0.1 grams of adsorbent. Adsorption isotherm analysis indicated that the process followed the Freundlich isotherm model, suggesting multilayer adsorption on a heterogeneous adsorbent surface.

Keywords: Adsorbent; activated carbon; methylene blue; sodium hydroxide; corn cobs

(Article History: Received 09-04-2025; Accepted 26-08-2025; Published 02-09-2025)

PENDAHULUAN

Limbah cair yang dihasilkan oleh industri tekstil mengandung berbagai zat berbahaya, seperti senyawa organik, partikel padat terlarut, fenol, pewarna buatan, serta logam beracun seperti kromium, timbal, dan lainnya (Ristianingsih et al., 2020). Pencemaran lingkungan akibat limbah pewarna semakin meningkat belakangan ini, disebabkan oleh kurangnya pengelolaan limbah yang baik di industri tekstil. Limbah pewarna yang dihasilkan umumnya terdiri dari senyawa organik yang tidak dapat terurai, yang berpotensi mencemari lingkungan, khususnya lingkungan perairan. Dalam proses pencelupan, hanya sebagian pewarna yang diserap oleh kain, sementara sisa pewarna (sekitar 2-50%) akan tertinggal dalam cairan pembilas (efluen), dan jika konsentrasinya cukup tinggi, dapat menyebabkan pencemaran. Salah satu pewarna yang digunakan di industri tekstil adalah *Methylene Blue* (MB) (Maria et al., 2021).

Methylene Blue (MB) adalah pewarna jenis thiazine yang banyak digunakan karena mudah didapat dan harganya terjangkau. MB adalah salah satu bahan pewarna untuk kain. Senyawa ini mengandung gugus benzena, yang membuatnya sulit terurai dan memerlukan waktu yang lama untuk proses dekomposisi (Ernawati et al., 2021). MB merupakan salah satu jenis pewarna yang dapat larut dalam air. Jika dikonsumsi dalam jumlah besar, senyawa ini dapat menimbulkan efek seperti mual, muntah, nyeri di area perut dan dada, sakit kepala, keringat berlebih, serta peningkatan tekanan darah. Selain itu, MB dapat menyebabkan iritasi pada saluran pencernaan jika tertelan, mengakibatkan sianosis jika terhirup, dan menimbulkan iritasi pada kulit saat terjadi kontak langsung (Maria et al., 2021).

Pencemaran lingkungan akibat penggunaan zat warna MB sangat berbahaya sehingga perlu dilakukan pengolahan limbah cair dari industri tekstil sebelum dibuang. Salah satu metode yang efektif dan ekonomis untuk mengurangi pencemaran dari zat warna MB adalah proses adsorpsi. Adsorpsi adalah proses di mana molekul-molekul gas atau cairan diserap atau ditarik ke permukaan bahan adsorben. Adsorben adalah bahan padat yang dapat mengadsorpsi zat yang ingin dihilangkan (Megasari et al., 2020); (Aritonang et al., 2024); (Pauner et al., 2024). Proses adsorpsi dapat berlangsung secara optimal sehingga diperlukan jenis adsorben yang tepat, seperti karbon aktif. Salah satu adsorben yang berpotensi untuk dikembangkan adalah karbon aktif yang berasal dari tongkol jagung (Ristianingsih et al., 2020). Di Sulawesi Utara, khususnya di Desa Tetey, Kecamatan Dimembe, Kabupaten Minahasa Utara, terdapat varietas jagung lokal unggul, salah satunya adalah jagung Manado

kuning. Meskipun produksi jagung ini relatif lebih rendah dibandingkan dengan varietas lainnya, masyarakat setempat masih gemar membudidayakannya. Rendahnya tingkat produksi ini disebabkan oleh keterbatasan penggunaan jagung Manado kuning sebagai bahan pangan karena teksturnya yang keras, sehingga lebih sering dimanfaatkan sebagai pakan ternak (Pangemanan et al., 2020). Menurut data Kementerian Pertanian, 2021 Provinsi Sulawesi Utara luas panen 235.5 ribu ha dan menghasilkan 0.92 juta ton jagung.

Tingginya kandungan karbon dalam tongkol jagung menjadikannya berpotensi sebagai bahan baku untuk pembuatan karbon aktif. Selain itu, komposisi lainnya seperti 45% selulosa, 35% hemiselulosa, dan 15% lignin memungkinkan tongkol jagung digunakan sebagai sumber bahan dasar karbon aktif. Tongkol jagung juga memiliki kadar abu yang rendah, yaitu 0,91%. Karbon aktif yang dihasilkan dari tongkol ini memiliki sejumlah keunggulan, antara lain potensi yang baik sebagai adsorben karena kandungan karbonnya lebih tinggi dibandingkan kadar abunya, mudah diproduksi, murah, bahan bakunya mudah diperoleh dan melimpah, serta mudah digunakan, aman, dan tahan lama (Meilianti, 2020).

Karbon aktif merupakan bahan yang sebagian besar terdiri dari atom karbon bebas dengan permukaan berpori, sehingga memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi. Karbon aktif dapat mengadsorpsi anion, kation, dan molekul, baik senyawa organik maupun anorganik, dalam bentuk gas maupun larutan. Sifat karbon aktif dipengaruhi oleh luas permukaan dan proses aktivasinya (Maria et al., 2021). Kemampuan adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti luas permukaan adsorben, struktur dan jenis molekul adsorbat, konsentrasi adsorbat, suhu, tingkat keasaman, serta waktu kontak (Wahyuni et al., 2023).

Material yang sering digunakan sebagai adsorben dalam pembuatan karbon aktif meliputi tempurung kelapa, kayu, dan gambut. Namun, banyak penelitian yang lebih menitikberatkan pada pemanfaatan limbah pertanian, seperti kulit pisang, kulit kacang tanah, kulit jeruk, kulit durian, dan kulit jagung (Hayu et al., 2022). Pada penelitian ini, sumber adsorben yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif adalah tongkol jagung Manado kuning. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan kemampuan tongkol jagung Manado kuning yang disintesis menjadi karbon aktif melalui proses aktivasi kimia menggunakan natrium hidroksida (NaOH) dengan variasi konsentrasi 0,1 M, 0,5 M, 1,0 M, 1,5 M, dan 2 M untuk meningkatkan serta menganalisis pengaruh yang dihasilkan karbon aktif tongkol jagung Manado kuning sebagai adsorben zat warna MB. Hingga kini, informasi penggunaan karbon aktif dari tongkol jagung Manado Kuning sebagai adsorben MB masih terbatas sehingga peneliti merasa penting agar penelitian ini dilakukan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Dasar Jurusan Kimia dan karbonisasi dilakukan di Laboratorium Forensik Polda Sulawesi Utara. Pengujian *Methylene Blue* (MB) dilakukan di Laboratorium Kimia Lanjut Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sam Ratulangi Manado. Sementara itu, karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dilakukan di Laboratorium Mineral dan Material Maju Universitas Negeri Malang. Karakterisasi

Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometry (SEM-EDS) dilakukan di Laboratorium Mikroskop Elektron Institut Teknologi Bandung.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan antara lain tongkol jagung Manado kuning yang berasal dari Desa Tetey, Kec. Dimembe Kab. Minahasa Utara, Sulawesi Utara, akuades, kertas saring, aluminium foil, pH Indikator, asam sulfat (H_2SO_4), natrium hidroksida (NaOH), asam klorida (HCl), dan *methylene blue*. Alat yang digunakan antara lain adalah gunting, *herb grinder* (FCT-Z100), ayakan 200 mesh, oven, timbangan analitik, cawan krusibel, tanur, seperangkat alat gelas, mikro pipet, *magnetic stirrer*, XRD (PANalytical X'Pert PRO), FTIR (Shimadzu IR Prestige 21), SEM-EDS (SEM SU3500), dan Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1800).

Preparasi Sampel dari Tongkol Jagung (TJ)

Preparasi sampel tongkol jagung (TJ) mengikuti prosedur dari Wahyuni et al. (2023) yang dimodifikasi. Tongkol jagung Manado kuning yang dijadikan sebagai adsorben diambil dari limbah tongkol jagung Manado kuning yang ada di Desa Tetey. Tongkol jagung Manado kuning yang telah diambil, dicuci dan dikeringkan di dalam oven pada suhu $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 5 jam untuk menghilangkan kandungan air pada tongkol jagung Manado kuning. Tongkol jagung Manado kuning yang telah kering kemudian dicacah dan digrinder.

Pembuatan Karbon Aktif Tongkol Jagung (KTJ)

Pembuatan karbon mengikuti prosedur dari Sengkey et al. (2025) dan Wahyuni et al. (2023) yang dimodifikasi. Tongkol jagung Manado kuning yang telah digrinder kemudian diayak menggunakan ayakan 200 mesh. Serbuk yang dihasilkan, ditimbang lalu dikarbonisasi menggunakan tanur pada suhu $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 3 jam. Selanjutnya, karbon ditimbang untuk menentukan rendemen karbon yang terbentuk.

Aktivitas Karbon dari Tongkol Jagung

Aktivasi karbon mengikuti prosedur dari Sengkey et al. (2025) dan Wahyuni et al. (2023) yang dimodifikasi. Sebanyak 3 gram karbon dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 250 mL, kemudian ke dalam masing-masing Erlenmeyer tersebut ditambahkan aktivator NaOH sebanyak 30 mL dengan variasi konsentrasi sebesar 0,1 M; 0,5 M; 1 M; 1,5 M; dan 2 M kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Setelah pengadukan, campuran didiamkan selama 24 jam. Hasil dari perendaman tersebut kemudian disaring dan residunya dicuci dengan akuades hingga pH 7. Setelah itu, karbon yang telah dicuci dikeringkan dalam oven pada suhu $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 6 jam. Hasil karbon tongkol jagung teraktivasi asam (KTJAB) diberikan kode sesuai konsentrasi sebagai berikut KTJAB-0,1; KTJAB-0,5; KTJAB-1; KTJAB-1,5; dan KTJAB-2. Kemudian KTJAB-1 dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR, dan SEM-EDS.

Pembuatan Kurva Standar Larutan Methylene Blue (MB)

Pembuatan kurva standar larutan MB mengikuti prosedur dari Baunsele et al. (2023). Padatan MB diambil dan ditimbang sebanyak 100 mg dilarutkan dengan akuades dalam labu 1000 mL sambil ditambahkan akuades hingga tanda batas. Larutan kemudian diguncangkan agar homogen. Larutan MB 100 ppm siap digunakan. Penentuan panjang gelombang dilakukan dengan membuat larutan MB 5 ppm yang diencerkan dari larutan baku 100 ppm.

Larutan diambil lalu diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400-800 nm. Kurva kalibrasi diperoleh dengan menyiapkan larutan MB berkonsentrasi masing-masing 1, 1,5, 2, 2,5 dan 3 ppm. Lalu masing-masing larutan diukur absorbansinya menggunakan panjang gelombang maksimum yang telah diperoleh. Nilai data absorbansi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan persamaan garis lurus.

Penentuan Waktu Kontak Optimum

Penentuan waktu kontak optimum mengikuti prosedur dari Ernawati et al. (2021). Sebanyak 25 mL larutan MB dengan konsentrasi 25 ppm dimasukkan ke dalam gelas beaker. Setelah diisi dengan larutan MB kemudian dimasukkan dengan masing-masing sampel TJ, KTJ dan KTJAB sebanyak 0,1 gram. Campuran ini diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan variasi waktu kontak 0, 30, 60, 90, dan 120 menit. Campuran yang telah diaduk, disaring dengan kertas saring untuk memisahkan filtrat dari residunya. Larutan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum yang diperoleh.

Penentuan pH Optimum

Penentuan pH optimum mengikuti prosedur dari Ernawati et al. (2021). Sebanyak 25 mL larutan MB 25 ppm dimasukkan ke dalam gelas beaker. Setelah diisi dengan larutan MB kemudian dimasukkan dengan masing-masing sampel TJ, KTJ dan KTJAB sebanyak 0,1 gram dengan variasi pH larutan masing-masing 4, 7, dan 10 diatur pH nya dengan penambahan HCl 0,1 M atau NaOH 0,1 M. Campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* berdasarkan waktu kontak optimum yang telah diperoleh. Campuran yang telah diaduk, disaring dengan kertas saring untuk memisahkan filtrat dari residunya. Absorbansi filtrat diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui besarnya kapasitas adsorpsi MB.

Penentuan Konsentrasi Optimum

Penentuan konsentrasi optimum mengikuti prosedur dari Ernawati et al. (2021). Masing-masing sampel TJ, KTJ dan KTJAB sebanyak 0,1 gram ditambahkan kedalam larutan MB dengan variasi konsentrasi masing-masing 25, 50, 75 dan 100 ppm sebanyak 25 mL. Larutan ini diatur pH-nya sesuai pH optimum yang telah diperoleh dan campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* berdasarkan waktu kontak optimum yang sudah diperoleh. Larutan disaring dengan kertas saring untuk memisahkan filtrat dari residunya. Filtratnya diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui besarnya kapasitas adsorpsi MB. Banyaknya MB yang teradsorpsi dihitung dengan Persamaan 1:

$$\text{Serapan (\%)} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \quad \text{.....} \quad (1)$$

dengan C_0 merupakan konsentrasi sebelum teradsorpsi dan C_e adalah konsentrasi setelah teradsorpsi. Selain dalam bentuk % teradsorpsi, konsentrasi zat warna MB yang terserap oleh adsorben juga dapat dinyatakan seperti Persamaan 2:

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad \text{.....} \quad (2)$$

Keterangan:

Q_e = Jumlah adsorbat terserap per massa padatan pada kesetimbangan, mg/g

C_0 = Konsentrasi awal larutan, mg/L; m = massa karbon aktif, g; V = Volume larutan pada percobaan, L

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Karbon Tongkol Jagung (KTJ)

Warna yang dihasilkan oleh KTJ adalah hitam. Menurut Paranita (2020), proses karbonisasi ini juga membentuk uap air, metanol, uap-uap asam asetat dan hidrokarbon. Karbonisasi dilakukan dengan membakar sampel serbuk tongkol jagung Manado kuning untuk menghilangkan kandungan air material yang tidak dibutuhkan oleh karbon. Gambar 1 menunjukkan hasil karbonisasi TJ.



Gambar 1. Hasil Karbonisasi TJ

Aktivasi Karbon Tongkol Jagung (KTJ)

Menurut Mentari et al. (2018), proses aktivasi bertujuan untuk membuka pori-pori, memperbesar luas permukaan dan meningkatkan porositas yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon yang berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Adapun proses aktivasi KTJ menjadi karbon aktif tersaji pada Gambar 2.

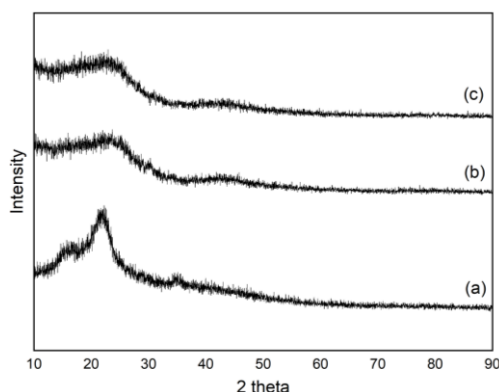


Gambar 2. Proses aktivasi KTJ menjadi karbon aktif menggunakan aktivator di atas hotplate stirrer

Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon yang diperoleh berwarna hitam akibat proses karbonisasi menggunakan tanur dan hasilnya berbentuk serbuk.

Karakterisasi TJ, KTJ dan KTJAB-1

Karakterisasi XRD pada penelitian ini dilakukan untuk membuktikan telah terbentuknya partikel-partikel karbon dan ukuran kristalit dari TJ, KTJ dan KTJAB-1. Hasil karakterisasi diperoleh pola difraktogram yang menunjukkan nilai intensitas terhadap sudut 2θ . Hasil dari karakterisasi XRD dapat dilihat pada Gambar 3 dan data 2θ dirangkum pada Tabel 1.



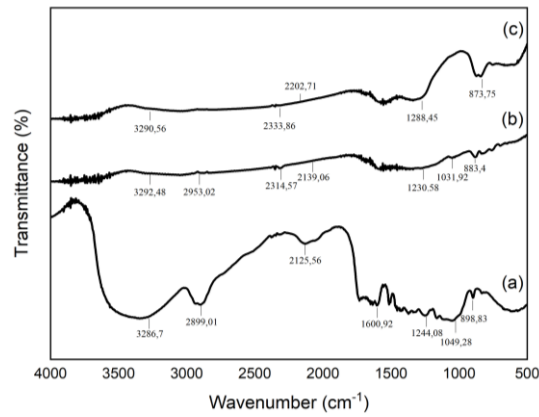
Gambar 3. Difraktogram a) TJ, b) KTJ dan c) KTJAB-1

Tabel 1. Perbandingan daerah 2θ ($^{\circ}$)

Sampel		
TJ	KTJ	KTJAB-1
16,71227	22,23894	22,98678
22,23894	41,77383	42,83174
34,55084		

Difraktogram XRD yang dihasilkan dalam penelitian ini dibandingkan dengan data standar dari *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD). Pada rentang 2θ , sampel TJ menunjukkan tiga puncak dominan pada $16,71227^{\circ}$; $22,23894^{\circ}$; dan $34,55084^{\circ}$. Pola difraktogram ini juga memiliki kemiripan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Wang et al. (2020). Kemudian hasil 2θ untuk sampel KTJ yaitu pada daerah 2θ $22,23894^{\circ}$ dan $41,77383^{\circ}$. Pada daerah 2θ KTJAB-1 menunjukkan 2 puncak dominan yaitu pada daerah 2θ $22,98678^{\circ}$ dan $42,83174^{\circ}$. Berdasarkan pola difraktogram dari KTJ dan KTJAB-1, terdapat dua puncak lebar pada rentang sudut 20 - 30 derajat serta 40 - 45 derajat. Pola ini menunjukkan bahwa KTJ dan KTJAB-1 membentuk puncak yang melebar tanpa adanya puncak tajam, yang mengindikasikan struktur amorf yang dominan. Hasil ini juga sejalan dengan temuan yang telah dilaporkan oleh Saban et al. (2023). Pola difraksi pada puncak menghasilkan data *Full Width at Half Maximum* (FWHM), yang dapat dimanfaatkan untuk menentukan ukuran kristalit dari TJ, KTJ, dan KTJAB-1 dengan menerapkan persamaan *Scherrer*.

Karakterisasi FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsional yang terkandung di dalam sampel TJ, KTJ dan KTJAB-1. Analisis FTIR dilakukan pada sampel KTJ dan KTJAB-1, seperti pada Gambar 4.



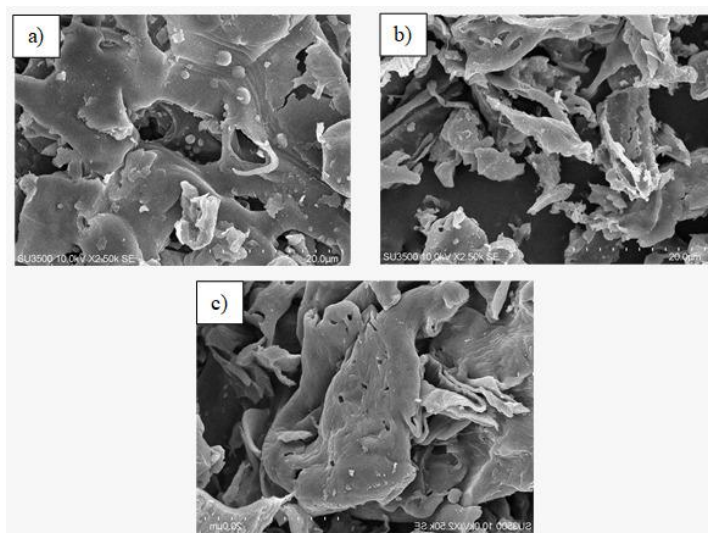
Gambar 4. Spektrum FTIR a) TJ, b) KTJ dan c) KTJAB-1

Tabel 2. Interpretasi Serapan FTIR TJ, KTJ dan KTJAB-1

Bilangan Gelombang (Cm ⁻¹)			Gugus Fungsi	Referensi
TJ	KTJ	KTJAB-1		
3286,7	3292,48	3290,56	O-H	(Zhu et al., 2018)
2899,01	2953,02		C-H	(Zhu et al., 2018)
1730,28	1692,57	1691,86	C=O	(Amri et al., 2017)
2125,56	1691,20	2202,71	C=C	(Rohmah & Yuwita, 2023)
1600,92			C=O	(Liu et al., 2018)
1244,08	1230,58	1288,45	C-O	(Harahap et al., 2018)
1049,28	1031,92		C-O	(Rohmah & Yuwita, 2023)
898,83	883,4	873,75	C-H	(Rohmah & Yuwita, 2023)

Pada spektrum FTIR TJ, KTJ dan KTJAB-1 memperlihatkan adanya puncak serapan pada daerah bilangan gelombang 3286,7 cm⁻¹; 3292,48 cm⁻¹ dan 3290,56 cm⁻¹ yang menunjukkan adanya *stretching* dari gugus hidroksil O-H dari lignin, selulosa dan hemiselulosa (Zhu et al., 2018). Daerah pada puncak 2899,01 cm⁻¹ dan 2953,02 cm⁻¹ menunjukkan adanya *stretching* C-H jenuh untuk gugus alkana (Zhu et al., 2018). Serapan pada bilangan gelombang 16,92,57 cm⁻¹ dan 16,91,86 cm⁻¹ dengan adanya gugus C=O *stretching* karboksil (Amri et al., 2017). Pada bilangan gelombang 2125,56 cm⁻¹; 2139,06 cm⁻¹; 2121,7 cm⁻¹ dan 2202,71 cm⁻¹ mengindikasikan adanya gugus C=C dari cincin aromatik yang merupakan senyawa khas karbon aktif (Rohmah & Yuwita, 2023). Serapan dengan bilangan 1692,57 cm⁻¹ dapat diindikasikan dengan *stretching* gugus C=O. Terjadi serapan dengan bilangan gelombang 1244,08 cm⁻¹; 1230,58 cm⁻¹ dan 1288,45 cm⁻¹ yang mengindikasikan adanya gugus C-O eter yang menunjukkan adanya *stretching* lignin dan hemiselulosa pada tongkol jagung (Harahap et al., 2018). Pada daerah bilangan gelombang 1049,28 cm⁻¹ dan 1031,92 cm⁻¹ *stretching* C-O. Sedangkan pada daerah 898,83 cm⁻¹; 883,4 cm⁻¹ dan 873,75 cm⁻¹ munculnya gugus C-H *stretching* alkena (Rohmah & Yuwita, 2023).

Analisis SEM digunakan untuk mengamati morfologi permukaan TJ, KTJ, dan KTJAB-1, sementara EDS dimanfaatkan untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang terdapat dalam sampel tersebut. Adapun morfologinya tersaji pada Gambar 5 dengan skala 2500 kali.



Gambar 5. Morfologi SEM a) TJ, b) KTJ dan c) KTJAB-1 dengan perbesaran 2500 kali

Berdasarkan Gambar 5, menunjukkan bahwa morfologi sampel TJ memiliki struktur lignoselulosa dan terdiri dari sel-sel padat yang tersebar. Setelah dikarbonisasi dan diaktivasi sampel KTJ dan KTJAB-1 terdapat pori-pori dengan pola tidak teratur serta menghasilkan luas permukaan yang lebih besar. Morfologi SEM KTJ dan KTJAB-1 morfologi yang hampir sama, seperti yang dilaporkan oleh (Gupta et al., 2018).

Adapun unsur-unsur yang terkandung dalam sampel hasil penelitian tersaji pada Tabel 3.

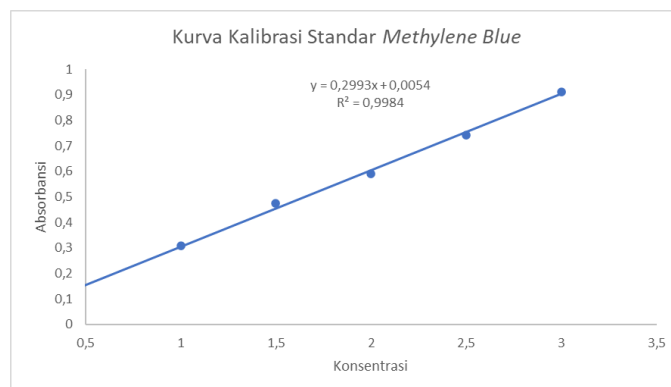
Tabel 3. Elemen pada TJ, KTJ dan KTJAB-1

TJ		KTJ		KTJAB-1	
Elemen	Weight (%)	Elemen	Weight (%)	Elemen	Weight (%)
C	55,6	C	87,54	C	95,41
O	42,22	O	6,29	O	4,32
Na	0	Na	0	Na	0,01
Cl	0,45	Cl	0,5	Cl	0,1
K	1,72	K	5,67	K	0,16

Berdasarkan Tabel 3, pada sampel TJ, KTJ dan KTJAB-1 terdeteksi tiga unsur utama yaitu karbon (C), oksigen (O) dan kalium (K).

Penentuan Kurva Standar Larutan *Methylene Blue* (MB)

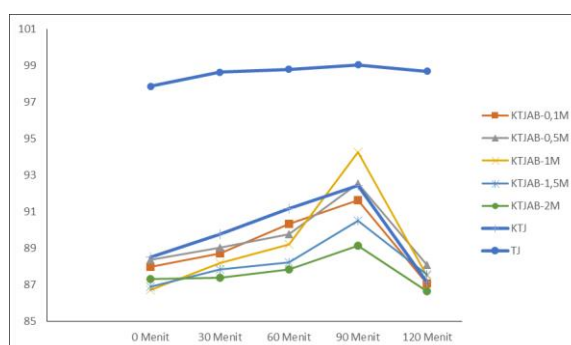
Pengujian diawali dengan pembuatan larutan kurva standar, larutan induk MB 100 ppm diencerkan menjadi menjadi 5 konsentrasi yang kemudian dipakai untuk membuat larutan standar MB konsentrasi masing-masing 1, 1,5 2, 2,5 dan 3 ppm dengan memakai rumus satuan pengenceran. Larutan standar MB dilakukan pengukuran absorbansi pada masing-masing larutan standar, kemudian dibuat kurva kalibrasi standar dan ditentukan persamaan garis lurus nya. Dari hasil data terhadap hubungan antara absorbansi dan konsentrasi dalam persamaan garis $y = 0,2993x + 0,0054$ (Gambar 6). Menurut hukum Lambert- Beer, di mana intensitas yang diteruskan oleh suatu larutan (zat) berbanding lurus dengan konsentrasi larutan tersebut (Huang et al., 2021). Hal ini membuktikan bahwa harga koefisien korelasi (R^2) yang diperoleh mendekati 1 dari kurva kalibrasi menunjukkan korelasi yang kuat.



Gambar 6. Kurva Kalibrasi Standar MB

Penentuan Waktu Kontak Optimum

Penentuan waktu kontak optimum bertujuan untuk mengetahui seberapa lama waktu yang dibutuhkan masing-masing adsorben TJ, KTJ dan KTJAB dalam menjerap 25 mL larutan MB dengan konsentrasi 25 ppm secara optimum. Pengaruh waktu optimum TJ, KTJ dan KTJAB terhadap larutan MB dapat dilihat pada Gambar 7.



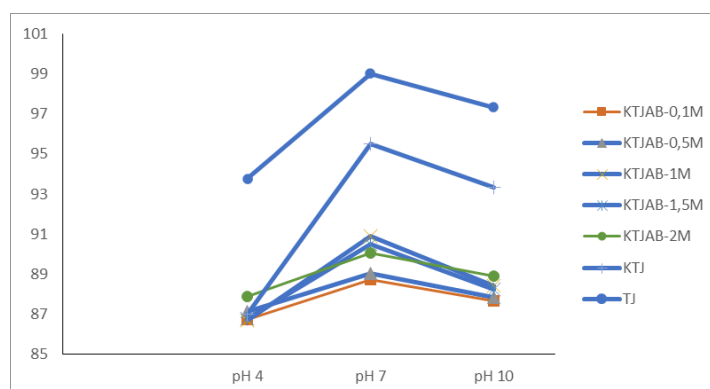
Gambar 7. %Adsorpsi MB Menggunakan Adsorben TJ, KTJ dan KTJAB pada Variasi Waktu Kontak

Pada penentuan waktu optimum adsorpsi MB menggunakan TJ, KTJ dan KTJAB sebagai adsorben digunakan 5 variasi waktu. Berdasarkan gambar tersebut, waktu optimum KTJ dan KTJAB dalam mengadsorpsi MB terjadi pada waktu kontak 90 menit dengan % adsorpsi untuk TJ, KTJ, KTJAB-0,1, KTJAB-0,5, KTJAB-1, KTJAB-1,5 dan KTJAB-2 masing-masing sebesar 99,030%; 92,438%; 91,640%; 92,552%; 94,269%; 90,523%; dan 89,132%. Hasilnya menunjukkan bahwa % adsorpsi pada TJ sebesar 99,030%. Penurunan % adsorpsi terjadi ketika waktu kontak mencapai 120 menit. Hal ini mungkin disebabkan oleh meningkatnya waktu kontak antara adsorben dan adsorbat, yang memungkinkan penyerapan zat warna semakin optimal. Namun, jika durasi kontak terlalu lama, efektivitas penyerapan dapat menurun. Selain itu, waktu kontak yang berlebihan juga berpotensi menyebabkan desorpsi, yaitu pelepasan kembali zat warna yang telah terikat pada adsorben (Ernawati et al., 2021). Menurut Dwijayanti et al. (2020), setelah proses adsorpsi mencapai keseimbangan pada waktu kontak optimum, perpanjangan durasi kontak antara adsorben dan adsorbat tidak lagi memberikan dampak signifikan terhadap penyerapan zat warna. Interaksi yang berlangsung terlalu lama dapat menyebabkan zat warna secara bertahap terlepas

kembali ke dalam larutan. Akibatnya, jumlah zat warna yang tertukar semakin meningkat, yang menunjukkan penurunan kemampuan adsorpsi.

Penentuan pH Optimum

Penentuan pH optimum bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum dalam proses penjerapan MB masing-masing adsorben TJ, KTJ dan KTJAB dalam menjerap 25 mL larutan MB dengan konsentrasi 25 ppm secara optimum dengan waktu kontak optimum 90 menit. Pada penentuan pH optimum adsorpsi MB menggunakan TJ, KTJ dan KTJAB sebagai adsorben digunakan 3 variasi pH. Penambahan HCl dan NaOH ke dalam larutan dapat mempengaruhi konsentrasi ion H^+ dan ion OH^- . Dalam kondisi asam ($pH < 7$), konsentrasi ion H^+ lebih tinggi dibandingkan ion OH^- , sedangkan dalam kondisi basa ($pH > 7$), konsentrasi ion OH^- lebih dominan daripada ion H^+ (Hayu et al., 2022).

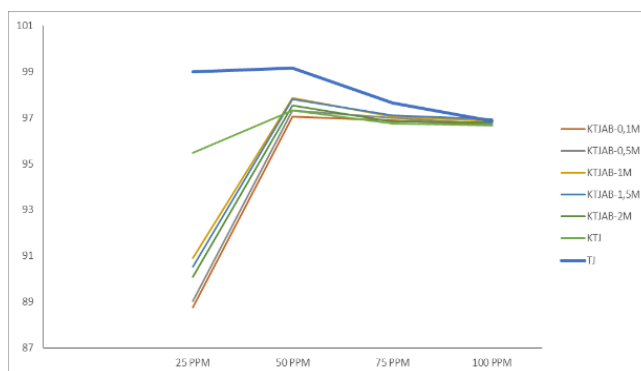


Gambar 8. %Adsorpsi MB Menggunakan Adsorben TJ, KTJ dan KTJAB pada Variasi pH

Berdasarkan Gambar 8, tersebut menunjukkan bahwa pH optimum TJ, KTJ dan KTJAB dalam mengadsorpsi MB terjadi pada pH 7 dengan % adsorpsi untuk TJ, KTJ, KTJAB-0,1, KTJAB-0,5, KTJAB-1, KTJAB-1,5 dan KTJAB-2 masing-masing sebesar 99,010%; 95,488%; 88,739%; 89,033%; 90,887%; 90,519%; dan 90,069%. Pada pH 7, proses adsorpsi mencapai kapasitas maksimum karena jumlah ion H^+ seimbang dengan ion OH^- . Kondisi ini menghilangkan kompetitor yang dapat mengganggu interaksi antara MB dan situs aktif pada adsorben (Baunsele et al., 2023). Menurut Hayu et al. (2022) kapasitas adsorpsi yang rendah pada pH asam disebabkan oleh protonasi pada permukaan adsorben, yang menghambat penyerapan molekul zat warna kationik akibat adanya tolakan elektrostatis antara kedua spesies tersebut. Selain itu, persaingan antara ion H^+ dalam larutan dengan muatan positif zat warna juga berkontribusi terhadap rendahnya kapasitas adsorpsi zat warna kationik pada permukaan adsorben.

Penentuan Konsentrasi Optimum

Penentuan konsentrasi optimum bertujuan untuk mengetahui besarnya konsentrasi MB yang dapat di adsorpsi oleh masing-masing adsorben TJ, KTJ dan KTJAB dalam menjerap 25 mL larutan MB dengan variasi konsentrasi 25; 50; 75; dan 100 ppm secara optimum dengan waktu kontak optimum 90 menit dan pH optimum 7. Pengaruh konsentrasi optimum TJ, KTJ dan KTJAB terhadap larutan MB dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. % Adsorpsi MB Menggunakan Adsorben TJ, KTJ dan KTJAB pada Variasi Konsentrasi

Berdasarkan Gambar 9, tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi optimum KTJ dan KTJAB dalam mengadsorpsi MB terjadi pada konsentrasi 50 dengan % adsorpsi untuk TJ, KTJ, KTJAB-0,1, KTJAB-0,5, KTJAB-1, KTJAB-1,5 dan KTJAB-2 masing-masing sebesar 99,174%; 97,318%; 97,042%; 97,314%; 97,857%; 97,799% dan 97,540%. Menurut Ernawati et al. (2021), hal ini disebabkan oleh permukaan pada adsorben yang belum jenuh sehingga adsorben ini masih dapat menyerap molekul-molekul MB. Semakin tinggi konsentrasi MB, semakin banyak molekul yang terserap oleh adsorben. Namun, ketika situs aktif adsorben telah mencapai kapasitas maksimum, jumlah MB yang teradsorpsi akan tetap atau bahkan mengalami penurunan.

Penentuan Isoterm Adsorpsi

Penentuan isoterm adsorpsi bertujuan untuk memberikan informasi mengenai adsorbat, adsorben, dan proses penyerapan yang terjadi. Perubahan konsentrasi zat warna methylene blue akibat proses adsorpsi dapat dianalisis berdasarkan mekanisme adsorpsi melalui penentuan isoterm adsorpsi. Model isoterm yang umum digunakan dalam penelitian ini adalah isoterm Langmuir dan Freundlich. Pengujian model kesetimbangan ini bertujuan untuk menentukan model yang paling sesuai, di mana model yang dipilih adalah yang memiliki nilai koefisien korelasi (R^2) mendekati 1 (Ristianingsih et al., 2020). Pola adsorpsi dianalisis pada waktu kontak optimum 90 menit, pH optimum 7, dan konsentrasi optimum 50 ppm.

Isoterm Langmuir menggambarkan hubungan antara C_e dan C_e/Q_e , di mana C_e merupakan konsentrasi akhir yang dihasilkan, sedangkan C_e/Q_e diperoleh dari rasio antara konsentrasi akhir dengan jumlah zat yang teradsorpsi. Sementara itu, isoterm Freundlich menunjukkan hubungan antara $\ln C_e$ dan $\ln Q_e$ (Amelia et al., 2023). Sehingga berdasarkan hasil perhitungan diperoleh suatu persamaan seperti yang terdapat pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4, dapat ditentukan pola isoterm adsorpsi zat warna *methylene blue* oleh adsorben TJ, KTJ, KTJAA dan KTJAB berdasarkan nilai koefisien korelasi (R^2). Model isoterm Langmuir menggambarkan bahwa proses adsorpsi terjadi dalam satu lapisan (monolayer) dan bahwa permukaan adsorben bersifat homogen, di mana setiap situs aktif hanya mampu mengikat satu molekul adsorbat (Mousavi et al., 2018). Sedangkan, model isoterm Freundlich menunjukkan proses adsorpsi yang membentuk 2 atau lebih lapisan

(multilayer) dengan permukaan sisi aktif adsorben yang bersifat heterogen (Hayu et al., 2022).

Tabel 4. Data Hasil Perhitungan Isoterm Adsorpsi oleh KTJ dan KTJAB

Sampel	Langmuir			Freundlich		
	K_L (L/mg)	q_m (mg/g)	R^2	K_F (L/mg)	$1/n$	R^2
TJ	1,2079	29,6736	0,9717	14,5211	2,1308	0,8982
KTJ	-0,0585	-105,2632	0,085	6,6130	0,8913	0,8752
KTJAB-0,1	-0,0760	-83,3333	0,091	7,0129	0,8725	0,8329
KTJAB-0,5	-0,0708	-96,1538	0,0988	7,3621	0,8645	0,8806
KTJAB-1	0,1667	67,1141	0,8993	9,3886	1,2442	0,9869
KTJAB-1,5	0,0806	121,951	0,1168	9,2555	1,1370	0,8461
KTJAB-2	0,0175	454,5455	0,0068	8,0464	1,0489	0,8525

Tabel 4 menyajikan perbandingan nilai R^2 untuk menentukan model isoterm yang paling sesuai dalam menggambarkan proses adsorpsi pada adsorben. Koefisien korelasi (R^2) untuk isoterm Freundlich lebih tinggi, yaitu 0,9869, dibandingkan dengan isoterm Langmuir yang hanya mencapai 0,8993 pada adsorben KTJAB-1M. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian ini lebih cenderung mengikuti model isoterm Freundlich.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini, karbon aktif berhasil disintesis dari tongkol jagung dengan proses aktivasi. Karbon aktif ini dikarakterisasi dengan XRD, FTIR, dan SEM-EDS. Ukuran kristalit rata-rata yang terbentuk pada TJ sebesar 1,310596 nm, KTJ sebesar 0,344248 nm dan KTJAB-1 sebesar 0,308169 nm. Selain itu pada TJ, KTJ dan KTJAB-1 terdapat gugus-gugus fungsi yakni gugus O-H, C-H, C=C, C=O, dan C-O. Morfologi TJ membentuk lembaran permukaan yang kasar. Sedangkan pada pada KTJ dan KTJAB-1 membentuk pori-pori yang tidak teratur. Karbon aktif tongkol jagung dapat mengadsorpsi zat warna *methylene blue* dengan penjerapan tertinggi pada waktu kontak optimum 90 menit sebesar 99,030%, pH optimum 7 sebesar 99,010%, dan konsentrasi optimum 50 ppm sebesar 99,174% menggunakan sampel TJ dengan banyaknya sampel yang digunakan sebanyak 0,1 gram serta diperoleh bahwa proses adsorpsi pada sampel TJ, KTJ dan KTJAB mengikuti model isoterm Freundlich.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Universitas Sam Ratulangi melalui pendanaan Penelitian Riset Dasar Unggulan Unsrat (RDUU) Tahun 2024 dengan nomor kontrak 636/UN12.13/LT/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, H., Fitria, R., & Sunardi, S. (2023). Kajian Isoterm Adsorpsi Metilen Biru pada Biochar Kulit Sagu (Metroxylon sagu). *Justek: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 6(1), 6(1), 135–142.
- Amri, T. A., Priyanto, A., Ramadhan, F., & Gustantia, Y. P. (2017). Potensi Limbah Tongkol Jagung dan Sabut Buah Pinang Sebagai Adsorben. *Prosiding CELSciTech*, 2.
- Aritonang, H. F., Batawi, L., & Wuntu, A. W. (2024). Effect of calcination temperature on size and adsorption properties of magnetite nanoparticles synthesized from iron sand as adsorbent for methylene blue. *AIP Conference Proceeding*, 050001.
- Baunsele, A. B., Boelan, E. G., Kopon, A. M., Taek, M. M., Tukan, G. D., & Missa, H. (2023). Penggunaan Sabut Kelapa Teraktivasi NaOH sebagai Adsorben Metilen Biru. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 9(1), 43–54.
- Dwijayanti, U., Gunawan, G., Widodo, S., Haris, A., Suyati, L., & Lusiana, R. A. (2020). Adsorpsi Methylene Blue (MB) Menggunakan Abu Layang Batubara Teraktivasi Larutan NaOH. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 5(1), 1–14. <https://doi.org/10.23960/aec.v5.i1.2020.p01-14>
- Ernawati, E., Mafliah, I., Ubang, I., Podung, P. N., Nurbaiti, W., & Lestari, S. (2021). Adsorpsi Metilen Biru Dengan Menggunakan Arang Aktif Dari Ampas Kopi. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, 173–179.
- Gupta, G. K., Ram, M., Bala, R., Kapur, M., & Mondal, M. K. (2018). Pyrolysis of chemically treated corncob for biochar production and its application in Cr(VI) removal. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 37(5), 1606–1617. <https://doi.org/10.1002/ep.12838>
- Harahap, H., Nawansyah, R., Nasution, H., Taslim, T., & Iriany, I. (2018). Isolation and Characterization of Nanocrystal from Corncob Waste Using H₂SO₄ Hydrolysis Method (RESEARCH NOTE). *International Journal of Engineering*, 31(4), 533–537.
- Hayu, L. D. R., Nasra, E., Azhar, M., & Etika, S. B. (2022). Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue Menggunakan Karbon Aktif dari Kulit Durian (*Durio zibethinus* Murr.). *Periodic*, 11(1), 8–13.
- Huang, G., He, J., Zhang, X., Feng, M., Tan, Y., Lv, C., Huang, H., & Jin, Z. (2021). Applications of Lambert-Beer law in the preparation and performance evaluation of graphene modified asphalt. *Construction and Building Materials*, 273, 121582. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121582>
- Liu, Y., Ma, S., & Chen, J. (2018). A novel pyro-hydrochar via sequential carbonization of biomass waste: Preparation, characterization and adsorption capacity. *Journal of Cleaner Production*, 176, 187–195.
- Maria, N., Rivena, I., Noraji, W. S. M., Dania, U., & Hartati, Y. (2021). Pemanfaatan karbon aktif dari kulit singkong (*Manihot Utilissila*) sebagai adsorben zat pewarna tekstil methylene blue. *Bivalen: Chemical Studies Journal*, 4(2), 42.
- Megasari, K., Herdiyanti, H., Nurliati, G., Kadarwati, A., & Swantomo, D. (2020). Sintesis Silika Xerogel Dari Abu Daun Bambu Untuk Adsorpsi Limbah Simulasi Uranium. *Jurnal Forum Nuklir*, 13(3), 27–36.
- Meilianti, M. (2020). Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Tongkol Jagung dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Natrium Karbonat (Na₂CO₃). *Jurnal Distilasi*, 5(1), 14–20. <https://doi.org/10.32502/jd.v5i1.3025>

- Mentari, V. A., Handika, G., & Maulina, S. (2018). Perbandingan Gugus Fungsi dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat (H_3PO_4) dan Asam Nitrat (HNO_3). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 7(1), 16–20.
- Mousavi, S. M., Hashemi, S. A., Esmaeili, H., Amani, A. M., & Mojoudi, F. (2018). Synthesis of Fe_3O_4 Nanoparticles Modified by Oak Shell for Treatment of Wastewater Containing Ni(II). *Acta Chimica Slovenica*, 65(3), 750–756. <https://doi.org/10.17344/acsi.2018.4536>
- Pangemanan, D. A., Suryanto, E., & Yamlean, P. V. (2020). Skrining Fitokimia Uji Aktivitas Antioksidan dan Tabir Surya pada Tanaman Jagung (*Zea mays* L.). *PHARMACON*, 9(2), 194–204. <https://doi.org/10.35799/pha.9.2020.29271>
- Paranita, D. (2020). Kombinasi Campuran Pelepah Kelapa Sawit Dan Kulit Kacang Tanah Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biobriket. *Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan*, 8(2), 45–53.
- Pauner, I. D. M., Senolinggi, G. P., Dullah, F. A., Laseduw, G. P. D., & Aritonang, H. F. (2024). Magnetic nanocomposite-chitosan based on North Sulawesi iron sand as heavy metal adsorbent and synthetic dyes in textile industry waste. *AIP Conference Proceedings*, 020001.
- Ristianingsih, Y., Istiani, A., & Irfandy, F. (2020). Kesetimbangan adsorpsi zat warna metilen blue dengan adsorben karbon aktif tongkol jagung terimpregnasi Fe_2O_3 . *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 7(1), 47–55.
- Rohmah, R., & Yuwita, P. E. (2023). Synthesis and characterization of nano activated carbon of corn cob charcoal as an adsorbent of health masks. In *AIP Conference Proceedings AIP Publishing*, 2837(1). *AIP Conference Proceedings AIP Publishing*, 2837(1).
- Saban, A., Jasruddin, J., & Husain, H. (2023). Pengaruh Konsentrasi Aktivator (NaOH dan HCl) Terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Tongkol Jagung. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, 19(2), 219–228. <https://doi.org/10.35580/jspfv19i2.45044>
- Sengkey, A., Aritonang, H. F., & Wuntu, A. D. (2025). Sintesis Karbon Aktif Sabut Pinang Lokal (*Areca catechu*) Sebagai Adsorben Ciprofloxacin. *CHEMISTRY PROGRESS*, 18(1), 40–48. <https://doi.org/10.35799/cp.18.1.2025.62656>
- Wahyuni, D., Harmawanda, S., Nurhanisa, M., Hasanuddin, H., Zulfian, Z., & Nurhasanah, N. (2023). Efektivitas Karbon Aktif dari Limbah Tongkol Jagung (*Zea mays*) dengan Variasi Aktivator Asam Klorida dalam Penyerapan Logam Besi pada Air Gambut. *Jurnal Fisika*, 13(1), 10–19. <https://doi.org/10.15294/jf.v13i1.42778>
- Wang, Y., Zhou, Y., Jiang, G., Chen, P., & Chen, Z. (2020). One-step fabrication of carbonaceous adsorbent from corncob for enhancing adsorption capability of methylene blue removal. *Scientific Reports*, 12(1), 12515.
- Zhu, J., Li, Y., Xu, L., & Liu, Z. (2018). Removal of toluene from waste gas by adsorption-desorption process using corncob-based activated carbons as adsorbents. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 165, 115–125. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.105>

