

Adsorpsi Zat Warna *Remazol Brilliant Blue R* dengan Adsorben Arang Aktif dari Kayu Kopi (*Coffea sp.*)

Bella Puja Primalasari^{1*}, I Nyoman Sukarta², Made Vivi Oviantari³

¹Universitas Pendidikan Ganesha, Bali, Indonesia

^{2,3}Universitas Pendidikan Ganesha, Bali, Indonesia

[*bella@student.undiksha.ac.id](mailto:bella@student.undiksha.ac.id)

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik, efisiensi adsorpsi, serta parameter isoterm adsorpsi zat warna Remazol Brilliant Blue R menggunakan arang aktif kayu kopi (*Coffea sp.*). Adsorben disintesis melalui proses pengarang manual yang dilanjutkan dengan aktivasi kimia menggunakan CaCl_2 . Karakterisasi adsorben mencakup analisis proksimat menggunakan Thermogravimetric Analysis (TGA) dan pengamatan morfologi permukaan melalui Scanning Electron Microscope-EDX (SEM-EDX). Hasil analisis proksimat menunjukkan volatile matter 31,223%, kadar air 12,21%, kadar abu 3,06%, total fixed carbon 53,50% dan bilangan iodin sebesar 368,097 mg/g. Sedangkan arang yang diaktivasi CaCl_2 memiliki hasil analisis volatile matter 27,17%, kadar air 19,90%, kadar abu 11,66%, total fixed carbon 41,28%, dan bilangan iodin sebesar 387,1365 mg/g. Morfologi permukaan dari arang yang diaktivasi dengan CaCl_2 , secara kualitatif memiliki rongga yang lebih banyak dibanding arang tanpa diaktivasi. Efisiensi secara efektif, jika dilakukan menggunakan arang yang telah diaktivasi dengan CaCl_2 pada kondisi waktu kontak 105 menit (%E = 28,5737), pH 4 (%E = 36,3948), dan konsentrasi 20 mg/L (%E = 31,8081). Mekanisme penyerapan ini mengikuti pola isoterm Langmuir.

Kata kunci: Arang Aktif, Kayu Kopi, Remazol Brilliant Blue R.

Abstract: This study aims to evaluate the characteristics, adsorption efficiency, and parameters of adsorption isotherm of Remazol Brilliant Blue R dye using coffee wood activated charcoal. The adsorbent was synthesized through a manual charring process followed by chemical activation using CaCl_2 . Adsorbent characterization includes proximate analysis using Thermogravimetric Analysis (TGA) and surface morphology observation using Scanning Electron Microscope-EDX (SEM-EDX). The results of the proximate analysis showed volatile matter 31.223%, water content 12.21%, ash content 3.06%, total fixed carbon 53.50% and iodine number of 368.097 mg/g. Meanwhile, the activated charcoal CaCl_2 has a volatile matter analysis result of 27.17%, water content of 19.90%, ash content of 11.66%, total fixed carbon of 41.28%, and iodine number of 387.1365 mg/g. The surface morphology of the activated charcoal with CaCl_2 , qualitatively has more cavities than the unactivated charcoal. Effective efficiency if carried out using activated charcoal with CaCl_2 at a contact time of 105 minutes (%E = 28.5737), pH 4 (%E = 36.3948), and a concentration of 20 mg/L (%E = 31.8081). This absorption mechanism follows the Langmuir isotherm pattern.

Keywords: Activated Charcoal, Coffee Wood, Remazol Brilliant Blue R.

Pendahuluan

Industri tekstil merupakan salah satu sektor industri yang berkontribusi besar terhadap pertumbuhan ekonomi global. Namun, di balik kontribusinya tersebut, industri tekstil juga menghasilkan limbah cair yang berpotensi mencemari lingkungan secara serius (Sukarta *et al.*, 2025). Limbah cair tekstil umumnya memiliki karakteristik yang kompleks, seperti pH tinggi, salinitas besar, warna pekat, serta bau yang menyengat (Pipil *et al.*, 2022). Pembuangan limbah zat warna secara langsung ke badan perairan dapat menurunkan kualitas lingkungan karena menghambat penetrasi cahaya matahari ke dalam air sehingga proses fotosintesis organisme akuatik terganggu. Kondisi tersebut dapat memengaruhi regenerasi oksigen terlarut dan merusak aktivitas mikroorganisme di perairan (Hidayati *et al.*, 2016). Selain itu, limbah zat warna juga dapat memberikan dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan keseimbangan ekosistem perairan.

Limbah cair industri tekstil sebagian besar berasal dari sisa zat warna yang tidak terserap sempurna pada proses pewarnaan kain. Sekitar 10–50% zat warna yang digunakan tidak bereaksi dengan serat kain dan akhirnya terbuang sebagai limbah (Puteri *et al.*, 2024). Hingga saat ini, industri tekstil masih banyak menggunakan zat warna sintetik karena memiliki harga relatif murah, variasi warna yang beragam, mudah diaplikasikan, menghasilkan warna cerah, dan memiliki ketahanan luntur yang baik (Alfajar *et al.*, 2023). Salah satu zat warna yang umum digunakan ialah *Remazol Brilliant Blue R*, yaitu zat warna reaktif yang mampu menghasilkan warna cerah dan stabil pada serat kain (D. A. Setiawan *et al.*, 2023). Keberadaan gugus kromofor pada *Remazol Brilliant Blue R* menyebabkan zat warna ini sulit terdegradasi secara alami (Wahyuningsih *et al.*, 2019). Senyawa tersebut diketahui mengandung gugus $-C=O$ dan $-C=C$ yang berkontribusi terhadap kestabilan struktur aromatikannya, sehingga bersifat toksik dan berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan, menurunkan kadar oksigen terlarut, memengaruhi pH lingkungan perairan, serta mengganggu kehidupan mikroorganisme dan biota air (D. A. Setiawan *et al.*, 2023).

Pengolahan limbah zat warna tekstil menjadi tantangan tersendiri karena sebagian besar zat warna memiliki sifat *nonbiodegradable* akibat struktur aromatik yang stabil (Oko *et al.*, 2022). Berbagai metode telah dikembangkan untuk menangani limbah zat warna, seperti koagulasi, filtrasi, elektrokolorisasi, dan adsorpsi. Di antara berbagai metode tersebut, adsorpsi menjadi metode yang paling banyak digunakan karena prosesnya sederhana, memiliki efisiensi dan kapasitas adsorpsi tinggi, bersifat selektif, biaya operasional relatif rendah, serta tidak menghasilkan produk samping beracun (Azizah, 2020). Adsorpsi merupakan proses penjerapan molekul adsorbat pada permukaan adsorben akibat adanya gaya tarik atau ikatan tertentu antara kedua komponen tersebut (D. A. Setiawan *et al.*, 2023). Salah satu adsorben yang paling sering digunakan dalam proses adsorpsi ialah karbon aktif karena memiliki luas permukaan besar, kapasitas adsorpsi tinggi, mudah diaplikasikan, dan biaya produksi relatif murah (Oko *et al.*, 2022).

Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai limbah pertanian telah dimanfaatkan sebagai bahan baku karbon aktif untuk adsorpsi limbah zat warna, seperti cangkang buah kopi (Sukarta *et al.*, 2025), sabut pinang (Fitriansyah *et al.*, 2021), ampas singkong (Wahyuningsih *et al.*, 2019), biji salak (Maulidiyah *et al.*, 2021), batang ubi kayu (Prमितasari *et al.*, 2022), tempurung buah lontar (Ridwan *et al.*, 2024), dan tongkol jagung (Kusumawati *et al.*, 2023). Salah satu limbah biomassa yang potensial tetapi belum banyak dimanfaatkan adalah kayu kopi. Indonesia merupakan negara penghasil kopi terbesar keempat di dunia setelah Brazil, Vietnam, dan Kolombia (Rochim, 2017). Produksi kopi nasional yang terus meningkat menyebabkan jumlah limbah kayu kopi juga semakin besar (Fiqhry *et al.*, 2024). Namun, kayu kopi umumnya hanya dimanfaatkan sebagai kayu bakar dan belum memiliki nilai ekonomi yang optimal.

Kayu kopi berpotensi digunakan sebagai bahan adsorben karena memiliki kandungan lignin, selulosa, dan hemiselulosa yang cukup tinggi. Kandungan lignin pada kayu kopi berkisar antara

25–30%, selulosa sekitar 40–50%, dan hemiselulosa sekitar 20–30% (Syahri, 1988). Lignin merupakan polimer aromatik yang mengandung gugus fenolik yang mampu berinteraksi dengan molekul lain melalui ikatan hidrogen maupun interaksi gugus karbonil, karboksil, dan aromatik. Sementara itu, selulosa dan hemiselulosa mengandung banyak gugus hidroksil yang dapat berfungsi sebagai situs adsorpsi (Puteri *et al.*, 2024). Meski demikian, kemampuan adsorpsi alami kayu kopi masih relatif rendah sehingga diperlukan proses aktivasi untuk meningkatkan luas permukaan dan kapasitas adsorpsinya (Damayanti, 2024).

Aktivasi karbon aktif dapat dilakukan menggunakan berbagai jenis aktivator kimia, salah satunya garam mineral CaCl_2 . Aktivator ini diketahui mampu menghilangkan air yang terperangkap pada pori karbon, mengurangi endapan hidrokarbon hasil karbonisasi, serta melindungi permukaan karbon dari oksidasi (Arif & Harmastuti, 2023). Selain itu, CaCl_2 bersifat higroskopis sehingga dapat menurunkan kadar air pada arang aktif dan meningkatkan efisiensi adsorpsi. Penggunaan CaCl_2 juga dinilai lebih ramah lingkungan dan lebih mudah diolah dibandingkan beberapa aktivator kimia lainnya (Hatina *et al.*, 2019). Penelitian Siswati *et al.* (2015) menunjukkan bahwa arang aktif yang diaktivasi menggunakan CaCl_2 memiliki daya adsorpsi tinggi terhadap zat warna *Methylene Blue*. Oleh karena itu, penggunaan CaCl_2 sebagai aktivator pada arang aktif kayu kopi menjadi menarik untuk dikaji lebih lanjut.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji karakteristik arang aktif dari limbah kayu kopi yang diaktivasi menggunakan CaCl_2 serta mengevaluasi efisiensi adsorpsinya terhadap zat warna *Remazol Brilliant Blue R*. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis pola isoterm adsorpsi pada proses penjerapan zat warna menggunakan arang aktif kayu kopi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif adsorben berbasis limbah biomassa yang efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk pengolahan limbah zat warna tekstil.

Metode

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik arang aktif dari limbah kayu kopi serta kemampuannya dalam mengadsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue R*. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kimia Fisika Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Ganesha, serta di Laboratorium KST Samaun Samadikun, Badan Riset dan Inovasi Nasional Bandung untuk analisis morfologi dan proksimat. Penelitian dilakukan pada Januari hingga Mei 2026.

Subjek penelitian berupa arang aktif dari limbah kayu kopi yang diaktivasi menggunakan CaCl_2 , sedangkan objek penelitian meliputi karakteristik adsorben, kemampuan adsorpsi terhadap zat warna *Remazol Brilliant Blue R* pada variasi pH, waktu kontak, dan konsentrasi, serta pola isoterm adsorpsi. Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi spektrofotometer UV-Vis *Double Beam*,

shaker, sentrifuge, pH meter, neraca analitik, oven (*Carbolite*), ayakan 60 dan 100 mesh, desikator, *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)* tipe JSM IT-200LA JEOL, dan *Thermogravimetric Analysis (TGA LECO 701)*. Bahan yang digunakan antara lain kayu kopi, CaCl_2 pro analisis, zat warna *Remazol Brilliant Blue R*, NaOH, HCl, iodin, amilum, akuades, dan kertas saring *Whatman*.

Pembuatan Arang Aktif dari Kayu Kopi

Pembuatan arang aktif diawali dengan membersihkan kayu kopi dari kotoran kemudian dipotong menjadi ukuran kecil dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Kayu kopi selanjutnya dikarbonisasi secara manual menggunakan drum modifikasi hingga menjadi arang (Makaruku *et al.*, 2022). Arang yang diperoleh dihaluskan menggunakan lumpang porselen dan diayak menggunakan ayakan ukuran 60 dan 100 mesh (Hendrawan *et al.*, 2019). Serbuk arang kemudian dicuci menggunakan akuades sebanyak tiga kali dan dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 6 jam (Saragih *et al.*, 2020).

Aktivasi Arang Aktif

Aktivasi arang dilakukan menggunakan larutan CaCl_2 25%. Serbuk arang direndam dalam larutan aktivator, diaduk selama 10 menit, kemudian didiamkan selama 24 jam. Campuran disaring dan dicuci menggunakan akuades hingga mencapai pH netral. Selanjutnya, arang dioven pada suhu 105°C selama 3 jam dan didinginkan di dalam desikator (Ramadani *et al.*, 2024).

Karakterisasi Arang Aktif

Karakterisasi arang aktif dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis. Analisis proksimat dilakukan menggunakan instrumen TGA metode ASTM E870 Biomass untuk menentukan kadar air, kadar abu, *volatile matter*, dan *fixed carbon* (Irmawati, 2020). Analisis morfologi permukaan dilakukan menggunakan SEM-EDX untuk mengamati struktur pori dan permukaan adsorben secara kualitatif (Wardani *et al.*, 2022). Selain itu, daya serap iodin ditentukan dengan metode titrasi. Sebanyak 1 g karbon aktif yang belum dan sudah diaktivasi dimasukkan ke dalam Erlenmeyer yang tertutup. Kemudian dimasukkan 50 mL larutan iodin 0,125 N dan diaduk selama 15 menit dan disimpan selama 2 jam. Larutan ini disaring dan kemudian diambil 10 mL lalu dimasukkan ke dalam Erlenmeyer. Larutan ini dititrasi dengan natrium tiosulfat sampai warna kuning pada larutan mulai samar. Setelah itu ditambahkan amilum 1% sebagai indikator dan larutan kemudian dititrasi kembali hingga warna biru tua menjadi warna bening. Penentuan daya serap karbon aktif terhadap iodin dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali dan dihitung volume natrium tiosulfat yang digunakan (Ayu, 2017).

Adsorpsi Arang Aktif dari kayu Kopi

Proses adsorpsi diawali dengan pembuatan larutan induk *Remazol Brilliant Blue R* konsentrasi 1000 mg/L yang selanjutnya diencerkan menjadi beberapa konsentrasi kerja. Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan pada rentang 400–800 nm menggunakan spektrofotometer UV-

Vis dan diperoleh panjang gelombang maksimum sebesar 580 nm (Siswanti, 2023). Kurva standar dibuat dari larutan dengan variasi konsentrasi 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50 mg/L dan absorbansinya diukur pada panjang gelombang maksimum tersebut.

Pengaruh waktu kontak ditentukan dengan mencampurkan 0,5 g arang aktif ke dalam 25 mL larutan *Remazol Brilliant Blue R* konsentrasi 20 mg/L. Campuran dihomogenkan menggunakan *shaker* dengan variasi waktu kontak 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, dan 150 menit (Siswanti *et al.*, 2023). Setelah proses adsorpsi selesai, campuran disaring dan disentrifugasi pada kecepatan 5000 rpm selama 15 menit, kemudian absorbansi filtrat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada λ_{maks} 580 nm (Ridwan *et al.*, 2024).

Pengaruh pH ditentukan menggunakan larutan *Remazol Brilliant Blue R* konsentrasi 20 mg/L dengan variasi pH 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10. Pengaturan pH dilakukan menggunakan larutan HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M. Sebanyak 0,5 g arang aktif ditambahkan ke dalam 25 mL larutan zat warna, kemudian dihomogenkan menggunakan *shaker* selama waktu kontak optimum 105 menit (Damayanti, 2024). Setelah itu, campuran disaring dan disentrifugasi, lalu konsentrasi akhir diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada λ_{maks} 580 nm (A. Setiawan *et al.*, 2019).

Pengaruh konsentrasi ditentukan menggunakan larutan zat warna pada kondisi pH 4 dengan variasi konsentrasi 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, dan 80 mg/L. Sebanyak 0,5 g arang aktif ditambahkan ke dalam 25 mL larutan zat warna dan dihomogenkan menggunakan *shaker* selama waktu kontak optimum 105 menit. Campuran kemudian disaring dan disentrifugasi pada kecepatan 5000 rpm selama 15 menit sebelum dilakukan pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada λ_{maks} 580 nm (A. Setiawan *et al.*, 2019).

Analisis Data

Data hasil karakterisasi dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Bilangan iodin ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$DSI = \frac{(v_{filtrat} - \frac{T \times C_1}{C_2}) \times W \times Fp}{m_{sampel}}$$

Dimana, T yaitu volume titrasi natrium tiosulfat (mL), C_1 merupakan konsentrasi natrium tiosulfat (N), C_2 merupakan konsentrasi iodin (N), dan W merupakan berat iod (12,693 mg/mL).

Hasil dari absorbansi masing-masing variasi konsentrasi larutan standar, dibuat kurva linear hubungan absorbansi (y) terhadap konsentrasi (x). Hingga akhirnya, dapat diperoleh persamaan regresi linear $y = ax + b$ dan R_2 yang menyatakan lineritas kurva. Efisiensi adsorpsi zat warna menggunakan arang aktif limbah kayu kopi dengan memvariasikan pH, waktu kontak, dan konsentrasi optimum, dapat diperoleh melalui menggunakan persamaan:

$$\%E = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\%$$

dengan C_0 sebagai konsentrasi awal dan C_e sebagai konsentrasi akhir zat warna setelah proses adsorpsi. Untuk mengetahui efisiensi tertinggi dapat ditentukan dengan membuat kurva hubungan antara pH/waktu kontak/konsentrasi terhadap %E

Pola isoterm adsorpsi ditentukan menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich berdasarkan data hasil adsorpsi pada variasi konsentrasi untuk memperoleh kapasitas adsorpsi maksimum adsorben. Data adsorpsi yang didapat dimasukkan ke dalam persamaan berikut:

Pola isoterm Langmuir

$$\frac{C_e}{Q_e} = \left(\frac{1}{Q_{max}}\right) \left(\frac{1}{b}\right) + \left(\frac{1}{Q_{max}}\right) C_e$$

Keterangan:

C_e adalah konsentrasi zat warna Remazol Yellow FG saat kesetimbangan, Q_e adalah jumlah zat Remazol Yellow FG yang diserap oleh adsorben (mg/g), b adalah konstanta Langmuir, dan Q_{max} adalah kapasitas maksimum adsorpsi (mg/g).

Pola isoterm Freundlich

$$\log Q_e = \log kF + \frac{1}{n} \log C_e$$

Keterangan:

kF= konstanta Freundlich

Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi arang aktif kayu kopi dilakukan untuk mengetahui kualitas adsorben yang dihasilkan sebelum diaplikasikan pada proses adsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue R*. Karakterisasi meliputi analisis proksimat, analisis morfologi permukaan, dan pengujian bilangan iodin. Hasil karakterisasi kemudian dibandingkan dengan standar mutu arang aktif berdasarkan SNI 06-3730-1995.

Analisis proksimat dilakukan menggunakan instrumen *Thermogravimetric Analysis* (TGA) metode ASTM E870 *Biomass*. Parameter yang dianalisis meliputi *volatile matter*, kadar air, kadar abu, dan *fixed carbon*. Hasil analisis proksimat arang aktif kayu kopi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Proksimat Arang Aktif Kayu Kopi

| Parameter | Tanpa Aktivasi (%) | Diaktivasi CaCl ₂ (%) | Standar SNI 06-3730-1995 (%) |
|------------------------|--------------------|----------------------------------|------------------------------|
| <i>Volatile matter</i> | 31,23 | 27,17 | Maks. 25 |
| Kadar air | 12,21 | 19,90 | Maks. 15 |
| Kadar abu | 3,06 | 11,66 | Maks. 10 |
| <i>Fixed carbon</i> | 53,50 | 41,28 | Min. 65 |

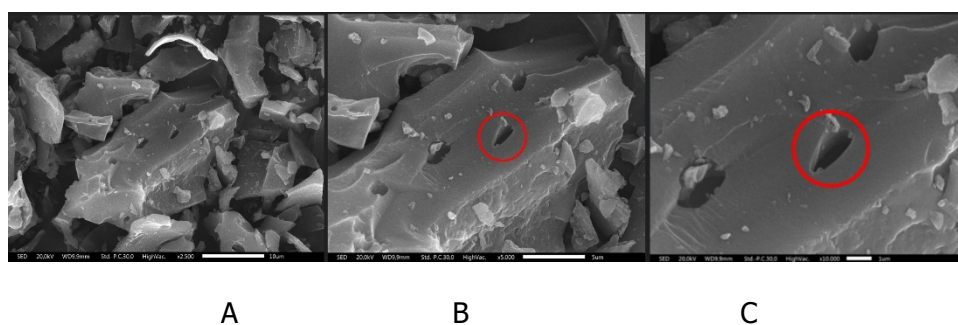
Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan *volatile matter* pada arang aktif tanpa aktivasi maupun yang diaktivasi CaCl₂ masih berada di atas standar SNI. Tingginya kandungan *volatile*

matter menunjukkan masih adanya senyawa non-karbon yang belum terdekomposisi sempurna selama proses karbonisasi. Kondisi ini dapat menurunkan kapasitas adsorpsi karena pori-pori adsorben masih tertutup oleh senyawa volatil (Nitsae *et al.*, 2020).

Kadar air arang aktif tanpa aktivasi sebesar 12,21% telah memenuhi standar SNI, sedangkan arang aktif yang diaktivasi CaCl_2 memiliki kadar air lebih tinggi yaitu 19,90%. Hal ini berkaitan dengan sifat higroskopis CaCl_2 yang mampu menyerap uap air dari lingkungan. Sifat ini menunjukkan bahwa senyawa tersebut memiliki afinitas yang tinggi untuk mengikat molekul uap air dari lingkungan sekitarnya. Selama proses aktivasi kimia, senyawa CaCl_2 akan berdifusi ke dalam struktur matriks karbon (Arif & Harmastuti, 2023). Pada parameter kadar abu, arang tanpa aktivasi masih memenuhi standar mutu dengan nilai 3,06%, sedangkan arang yang diaktivasi CaCl_2 memiliki kadar abu sebesar 11,66% sehingga melebihi batas maksimum SNI. Peningkatan kadar abu terjadi akibat residu mineral Ca yang tertinggal di dalam pori adsorben setelah proses aktivasi. Meskipun pencucian dengan akuades dilakukan pasca-aktivasi untuk menghilangkan zat sisa, struktur mikropori yang sempit dan kompleks sering kali memerangkap molekul CaCl_2 di dalamnya. Akibatnya, residu aktivator yang tidak terbilas secara sempurna akan tertinggal dan menyebabkan tingginya kadar abu dalam pengujian (Arif *et al.*, 2023).

Nilai *fixed carbon* arang aktif tanpa aktivasi sebesar 53,50% dan arang aktif teraktivasi CaCl_2 sebesar 41,28%. Kedua nilai tersebut masih berada di bawah standar SNI. Rendahnya *fixed carbon* berkaitan dengan tingginya kadar abu dan *volatile matter* yang masih terkandung pada adsorben. rendahnya kadar *total fixed carbon* mengindikasikan terjadinya reaksi antar atom karbon dengan uap air yang memicu terbentuknya gas emisi berupa CO dan CO_2 .

Karakterisasi morfologi dilakukan menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)* untuk mengamati struktur permukaan adsorben.



Gambar 1. Analisis Morfologi Arang Aktif Kayu Kopi Tanpa Aktivasi. (a.) Pembesaran 2.500 \times , (b.) Pembesaran 5.000 \times , dan (c.) Pembesaran 10.000 \times

Hasil pengamatan SEM menunjukkan bahwa arang aktif tanpa aktivasi memiliki pori-pori yang relatif kecil dan masih tertutup oleh pengotor. Setelah proses aktivasi menggunakan CaCl_2 , struktur permukaan adsorben tampak lebih terbuka dengan jumlah rongga dan retakan yang lebih banyak. Aktivasi kimia menggunakan CaCl_2 menyebabkan pengotor hidrokarbon terdegradasi sehingga

memperbesar ukuran pori dan meningkatkan luas permukaan adsorben (Merpiseldin *et al.*, 2021). Struktur pori yang lebih terbuka ini berpotensi meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap zat warna *Remazol Brilliant Blue R*.

Bilangan iodin digunakan untuk menentukan kemampuan adsorben dalam menyerap molekul berukuran kecil dan menggambarkan luas permukaan mikropori adsorben. Hasil pengujian daya serap iodin disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Daya Serap Iodin

| Titirasi | Volume | Bilangan | Volume | Bilangan |
|-----------|--|--------------------------------|---|---|
| | Na ₂ S ₂ O ₃ (mL) Tanpa Aktivasi | Iodin (mg/g) Tanpa Aktivasi | Na ₂ S ₂ O ₃ (mL) Diaktivasi CaCl ₂ | Iodin (mg/g) Diaktivasi CaCl ₂ |
| 1 | 4,4 | 355,404 | 3,9 | 387,1365 |
| 2 | 4 | 380,79 | 3,8 | 393,483 |
| 3 | 4,2 | 368,097 | 4 | 380,79 |
| Rata-rata | 4,2 | 368,097 | 3,9 | 387,1365 |

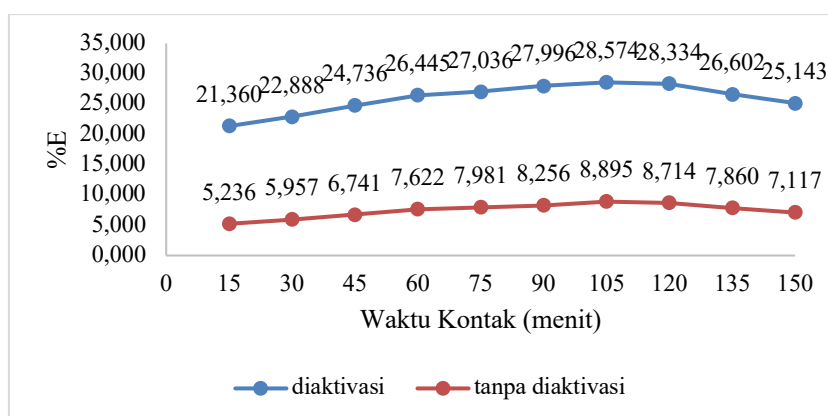
Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivasi menggunakan CaCl₂ meningkatkan nilai bilangan iodin dibandingkan arang tanpa aktivasi. Namun demikian, kedua adsorben masih belum memenuhi standar mutu SNI 06-3730-1995 sebesar 750 mg/g. Peningkatan daya serap iodin setelah aktivasi menunjukkan bahwa proses aktivasi berhasil memperbesar luas permukaan dan membuka struktur pori adsorben.

Kurva standar dibuat untuk mengetahui hubungan linear antara konsentrasi dan absorbansi zat warna *Remazol Brilliant Blue R* pada panjang gelombang maksimum 580 nm.

$$y = 0,0147x - 0,0026$$

Nilai koefisien determinasi yang diperoleh sebesar $R^2 = 1$, menunjukkan hubungan linear yang sangat baik antara konsentrasi dan absorbansi larutan.

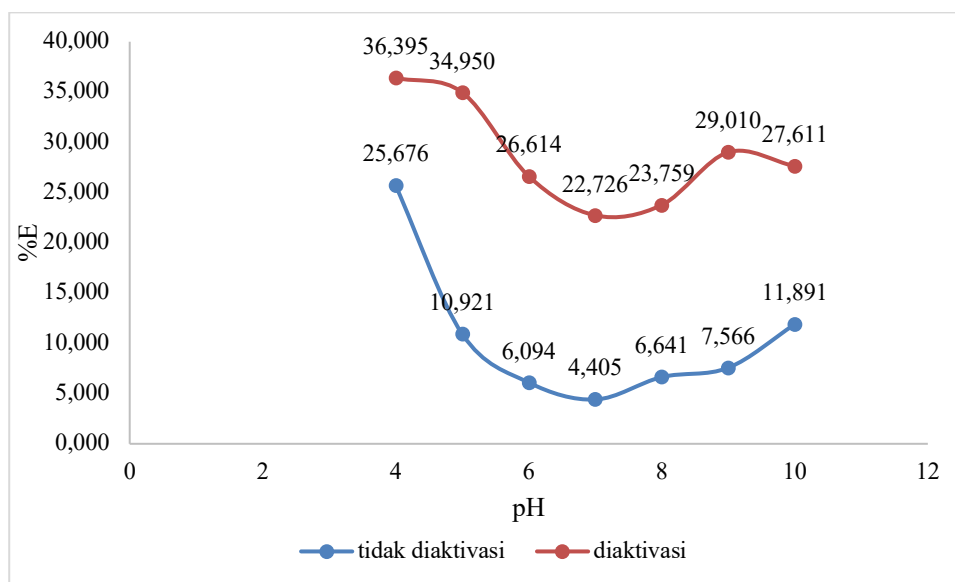
Variasi waktu kontak dilakukan pada rentang 15–150 menit menggunakan konsentrasi awal 20 mg/L dan massa adsorben 0,5 g.



Gambar 2. Kurva Hubungan Variasi Waktu Kontak dengan Nilai Efisiensi (%E)

Waktu kontak merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi presentase adsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue R*. Grafik data yang diperoleh pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2, di mana adsorpsi mengalami kondisi optimum pada waktu kontak 105 menit dengan nilai efisiensi sebesar 8,89503% untuk arang tanpa diaktivasi, dan 28,5737% untuk arang yang telah diaktivasi dengan CaCl_2 . Pada awal proses adsorpsi yaitu menit ke 15 sampai dengan menit ke 105, efisiensi adsorpsi meningkat karena perpanjangan durasi kontak memfasilitasi akumulasi adsorbat yang lebih tinggi pada permukaan adsorben. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya probabilitas interaksi serta frekuensi tumbukan antara molekul adsorbat dengan situs aktif pada adsorben seiring bertambahnya waktu interaksi (Rao *et al.*, 2025). Seiring dengan bertambahnya durasi waktu kontak, kondisi setimbang tercapai setelah menit ke-105, yang ditandai dengan stabilnya kuantitas zat warna *Remazol Brilliant Blue R* yang teradsorpsi tanpa adanya perubahan nilai yang signifikan. Keseimbangan adsorpsi tercapai ketika laju adsorpsi sama dengan laju desorpsi. Penurunan efisiensi adsorpsi seiring bertambahnya waktu kontak mengindikasikan bahwa arang aktif telah mencapai titik saturasi (jenuh), di mana kapasitas penyerapan material telah mencapai batas maksimal. Lepasnya kembali molekul adsorbat dari permukaan adsorben disebabkan oleh sifat adsorpsi yang bersifat *reversibel*. Hal ini terjadi karena terbentuknya interaksi fisik yang lemah (fisorpsi) antara adsorben dan adsorbat, sehingga pada waktu kontak yang melampaui batas optimum, molekul yang telah terikat cenderung mengalami desorpsi kembali ke dalam larutan (Maylani 2023).

Variasi pH dilakukan pada rentang pH 4–10 dengan waktu kontak optimum 105 menit.



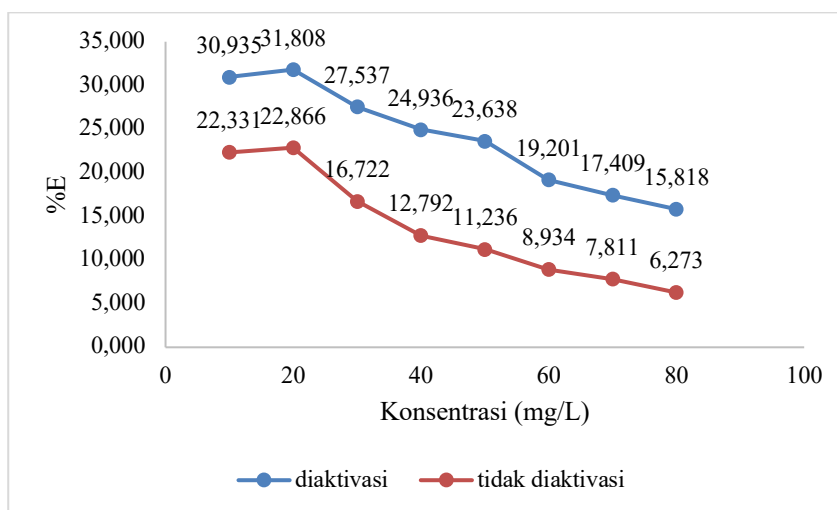
Gambar 3. Kurva Hubungan Variasi pH dengan Nilai Efisiensi (%E)

Berdasarkan grafik pada Gambar 3, dapat diketahui bahwa pH optimum penyerapan *Remazol Brilliant Blue R* dengan arang aktif kayu kopi tanpa diaktivasi dan diaktivasi dengan CaCl_2 yaitu pH 4. Dengan efisiensi adsorpsi sebesar 25,6761% pada arang yang tidak diaktivasi dan 36,3948%

pada arang yang diaktivasi dengan CaCl_2 . Penurunan efisiensi terjadi sampai pH 7, dan mengalami sedikit kenaikan setelah pH 7. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses adsorpsi terjadi dalam suasa asam. mekanisme ini berkaitan dengan fenomena protonasi dan deprotonasu pada situs aktif adsorben. Pada kondisi pH rendah, tingginya konsentrasu ion H^+ memicu protonasi permukaan, sehingga adsorben bermuatan positif. Hal ini menciptakan gaya tarik elektrostatis yang kuat terhadap molekul *Remazol Brilliant Blue R* yang bersifat anionik (bermuatan negatif), sehingga kapasitas penyerapan meningkat. Sebaliknya, pada lingkungan pH tinggi, permukaan adsorben cenderung bermuatan negatif yang mengakibatkan terjadinya gaya tolak-menolak elektrostatis dengan zat warna, sehingga proses adsorpsi terhambat (Ariyanto *et al.*,2021).

Peningkatan efisiensi terjadi pada pH setelah 7, hal tersebut dipicu oleh deprotonasi pada permukaan adsorben yang secara bertahap menunjukkan densitas muatan positif hingga permukaan menjadi bermuatamn negatif. Fenomena ini menyebabkan peningkatan negativitasnya pada adsorben seiring dengan naiknya pH (Ghosh *et al.*, 2020). Akibatnya, terjadi gaya tolak-menolak elektrostatis antara zat warna *Remazol Brilliant Blue R* yang bersifat anionik dengan permukaan adsorben, yang berujung pada penurunan efisiensi adsorpsi. Selain itu, kondisi basa meningkatkan konsengtrasi ion OH^- dalam larutan, yang menciptakan kompetisi antara ion tersebut dengan molekul zat warna dalam memperebutkan situs aktif pada permukaan adsorben (Hashemian *et al.*, 2026).

Variasi konsentrasi dilakukan pada rentang 10–80 mg/L pada kondisi pH optimum dan waktu kontak optimum.

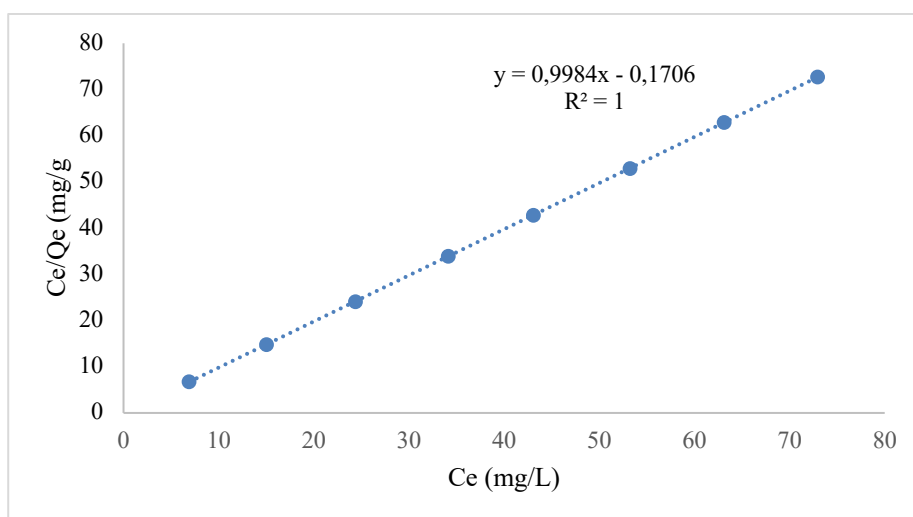


Gambar 4. Kurva Hubungan Variasi konsentrasi dengan Nilai Efisiensi (%E)

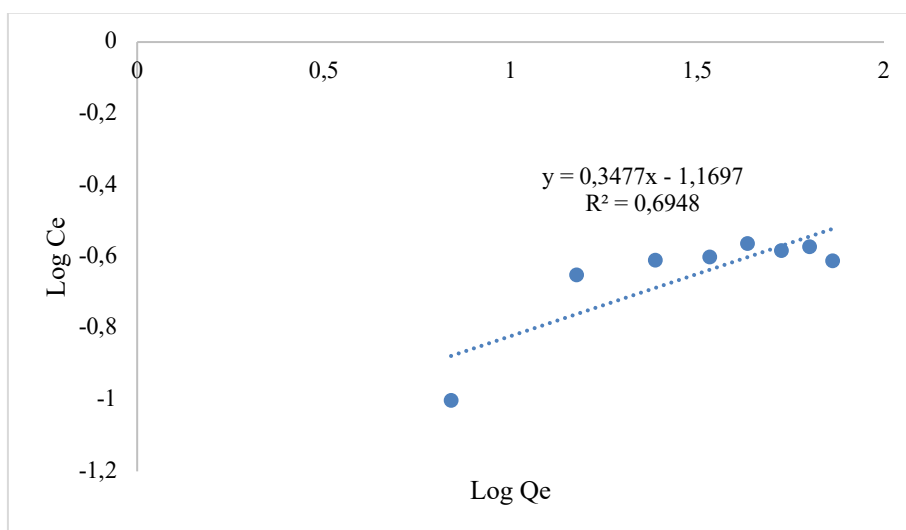
Data hasil adsorpsi berdasarkan perbedaan konsentrasi tersebut disajikan pada Gambar 4 ditunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi maka efisiensi adsorpsi akan semakin menurun, konsentrasi optimum zat warna *Remazol Brilliant blue R* adalah 20 mg/L dengan efisiensi sebesar 22,8664% pada arang aktif tanpa diaktivasi dan 31,8081% pada arang aktif yang diaktivasi CaCl_2 .

Terjadi penurunan efisiensi pada konsentrasi 20-80 mg/L dari 22,8664% menjadi 6,2731% pada arang aktif tanpa di aktivasi dan 31,8081% menjadi 15,8183% pada arang aktif yang diaktivasi CaCl_2 . Penurunan tingkat efisiensi penyerapan terjadi berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi awal zat warna. Pada tingkat konsentrasi yang lebih tinggi, efisiensi adsorpsi mengalami penurunan yang signifikan akibat batasnya jumlah situs aktif pada permukaan adsorben. Kejenuhan (saturasi) situs aktif ini secara langsung membatasi ketersediaan ruang bagi molekul *Remazol Brilliant Blue R* untuk berikatan, sehingga adsorben kehilangan kapasitasnya untuk menyerap residu zat warna pada larutan dengan kepekatan yang tinggi (M. Venkata *et al.*, 2022).

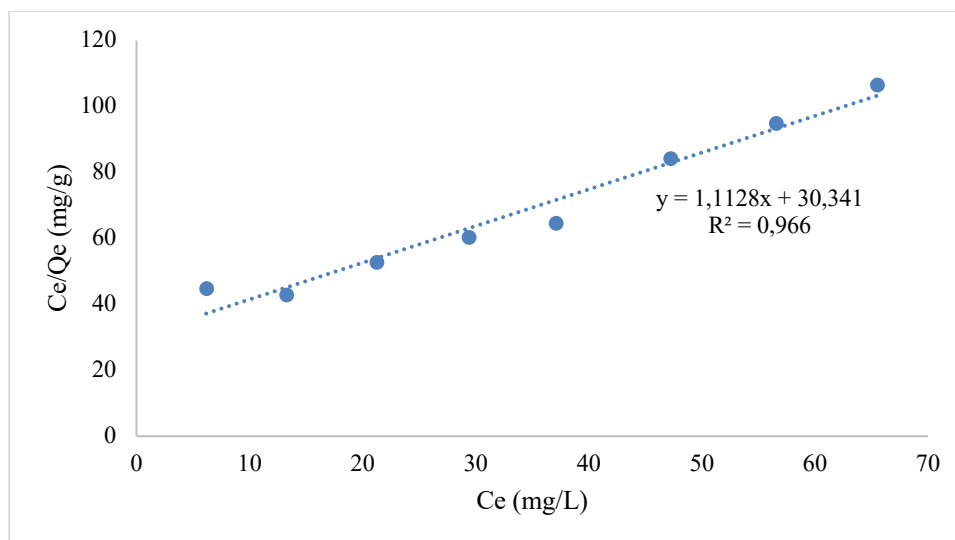
Pola isoterm adsorpsi dianalisis menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich untuk mengetahui mekanisme adsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue R* oleh arang aktif kayu kopi.



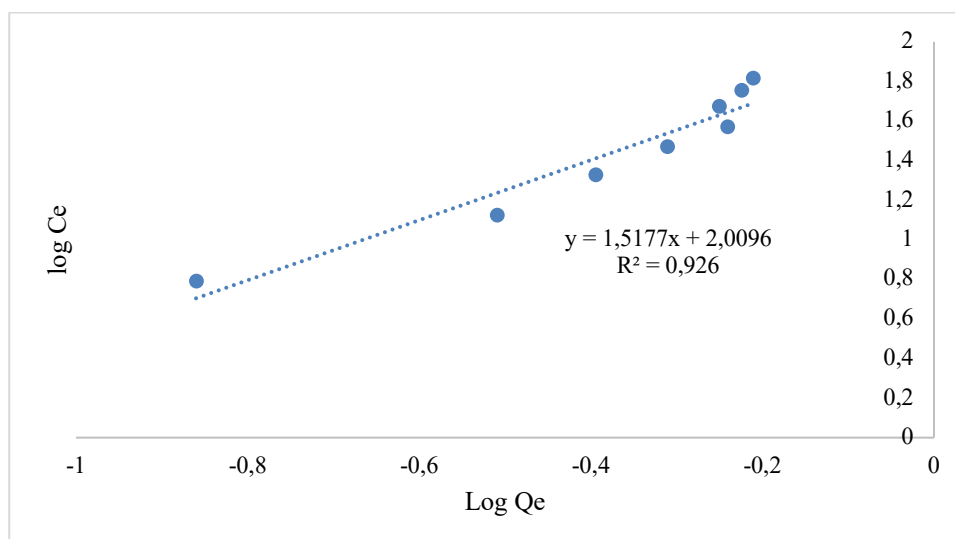
Gambar 5. Pola Isoterm Langmuir Pada Arang Tanpa Diaktivasi



Gambar 6. Pola Isoterm Freundlich Pada Arang Tanpa Diaktivasi



Gambar 7. Pola Isoterm Langmuir Pada Arang Diaktivasi CaCl₂



Gambar 8. Pola Isoterm Freundlich Pada Arang Diaktivasi CaCl₂

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses adsorpsi lebih sesuai mengikuti model isoterm Langmuir dibandingkan Freundlich. Hal ini ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi (R^2) yang lebih tinggi pada model Langmuir. Di mana nilai R^2 dari grafik isoterm Langmuir sebesar 1 untuk arang tanpa diaktivasi dan 0,966 untuk arang aktif yang diaktivasi dengan CaCl₂. Hasil ini mengindikasikan bahwa mekanisme adsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue R* oleh arang aktif kayu kopi mengikuti model lapisan tunggal (*monolayer*) dengan karakteristik permukaan yang homogen. Kondisi tersebut didasarkan pada asumsi bahwa setiap situs aktif pada adsorben hanya mampu mengikat satu molekul adsorbat secara spesifik. Dalam kerangka isoterm Langmuir, parameter Q_e merepresentasikan kapasitas adsorpsi maksimum untuk membentuk lapisan jenuh sempurna, sementara konstanta K mencerminkan afinitas atau kekuatan interaksi antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben (Cucun *et al.*, 2020). Dari hasil perhitungan pada lampiran

6, kapasitas maksimum adsorpsi dari arang aktif adalah 5,86166 mg/g. Kapasitas maksimum adsorpsi untuk arang aktif yang diaktivasi dengan CaCl₂ adalah $3,298587 \times 10^{-2}$ mg/g.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, arang aktif kayu kopi baik tanpa aktivasi maupun yang diaktivasi menggunakan CaCl₂ menunjukkan karakteristik fisik dan kimia yang berbeda. Hasil analisis proksimat pada arang tanpa aktivasi diperoleh nilai *volatile matter* sebesar 31,23%, kadar air 12,21%, kadar abu 3,06%, *total fixed carbon* 53,50%, serta bilangan iodin 368,097 mg/g. Sementara itu, arang aktif yang diaktivasi menggunakan CaCl₂ memiliki *volatile matter* sebesar 27,17%, kadar air 19,90%, kadar abu 11,66%, *total fixed carbon* 41,28%, dan bilangan iodin sebesar 387,1365 mg/g. Hasil analisis morfologi menggunakan SEM menunjukkan bahwa aktivasi dengan CaCl₂ mampu menghasilkan struktur pori yang lebih terbuka dan rongga permukaan yang lebih banyak dibandingkan arang tanpa aktivasi, sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsi material.

Pengujian adsorpsi terhadap zat warna *Remazol Brilliant Blue R* menunjukkan bahwa arang aktif kayu kopi yang diaktivasi dengan CaCl₂ memberikan performa adsorpsi yang lebih baik dibandingkan arang tanpa aktivasi. Kondisi optimum adsorpsi diperoleh pada waktu kontak 105 menit dengan efisiensi adsorpsi sebesar 28,5737%, pada pH 4 sebesar 36,3948%, serta pada konsentrasi adsorbat 20 mg/L sebesar 31,8081%. Kondisi asam terbukti mendukung proses adsorpsi karena meningkatkan interaksi elektrostatik antara permukaan adsorben dan molekul zat warna yang bersifat anionik.

Analisis isoterm adsorpsi menunjukkan bahwa proses penyerapan *Remazol Brilliant Blue R* oleh arang aktif kayu kopi lebih sesuai mengikuti model isoterm Langmuir, yang mengindikasikan terjadinya adsorpsi lapisan tunggal (*monolayer*) pada permukaan adsorben homogen. Kapasitas adsorpsi maksimum yang diperoleh pada arang tanpa aktivasi sebesar 5,86166 mg/g, sedangkan pada arang aktif yang diaktivasi dengan CaCl₂ sebesar $3,298587 \times 10^{-2}$ mg/g. Hasil tersebut menunjukkan bahwa arang aktif kayu kopi memiliki potensi sebagai adsorben alternatif untuk pengolahan limbah zat warna tekstil meskipun efisiensi adsorpsinya masih perlu ditingkatkan.

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar penelitian selanjutnya melakukan optimasi lebih lanjut terhadap parameter aktivasi dan proses karbonisasi untuk meningkatkan kualitas arang aktif serta efisiensi adsorpsi. Penggunaan jenis aktivator lain, khususnya aktivator berbasis asam, dapat dikaji sebagai pembanding terhadap aktivator CaCl₂. Selain itu, variasi suhu pengarang, suhu pengeringan, dan konsentrasi aktivator juga perlu dievaluasi untuk memperoleh struktur pori dan luas permukaan yang lebih optimal sehingga kapasitas adsorpsi arang aktif kayu kopi terhadap zat warna *Remazol Brilliant Blue R* dapat meningkat secara signifikan.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Pendidikan Ganesha atas dukungan, fasilitas, serta kesempatan yang diberikan selama proses pelaksanaan penelitian hingga penyusunan karya ilmiah ini sehingga penelitian dapat terlaksana dengan baik dan lancar.

Referensi

- Arif, F., & Harmastuti, N. (2023). Pengaruh PH Dan Lama Waktu Kontak Arang Ampas Tebu Yang Diaktivasi Logam Ca²⁺ Dan Mg²⁺ Pada Limbah Industri Kosmetik X. *Jurnal Riset Akuntansi Dan Bisnis*, 19(02), 206–220.
- Azizah, P. A. N. (2020). *Adsorpsi Pewarna Remazol Brilliant Blue R Dengan Limbah Peleburan Aluminium Hasil Pelindian Sebagai Adsorben*. <http://repository.its.ac.id/id/eprint/76984>
- Damayanti, N. N. A. (2024). *Adsorpsi Zat Warna Remazol Black B Dengan Adsorben Arang Aktif Dari Kayu Kopi (Coffea)*.
- Fiqhry, A. T., Nugraha, T., Santosa, B., & Ardiani, F. (2024). Kajian Produksi Kopi Arabika (Coffea Arabica) Pada Berbagai Ketinggian Tempat Di Kabupaten Temanggung. *Jurnal Ilmiah Hijau Cendekia*, 12(2), 81–90.
- Fitriansyah, A., Amir, H., & Elvinawati. (2021). Karakterisasi Adsorben Karbon Aktif Dari Sabut Pinang (Areca Catechu) Terhadap Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Indigosol BluE 04-B. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Kimia*, 5(1), 42–54.
- Hatina, S., Komala, R., & Wahyudi, R. (2019). Pemanfaatan Hcl Dan Cacl₂ Sebagai Zat Aktivator Dalam Pengolahan Limbah Industri Tahu. *Jurnal Kinetika*, 10(01), 7–12. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
- Hendrawan, Y., Sajidah, N., Umam, C., Fauzy, M. R., Wibisono, Y., & Hawa, L. C. (2019). Effect of Carbonization Temperature Variations and Activator Agent Types on Activated Carbon Characteristics of Sengon Wood Waste (Paraserianthes Falcataria (L.) Nielsen). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 239(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/239/1/012006>
- Hidayati, P., Ulfan, I., & Juwono, H. (2016). Adsorpsi Zat Warna Remazol Brilliant Blue R Menggunakan Nata de Coco: Optimasi Dosis Adsorben Dan Waktu Kontak. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 5(2), C134–C136.
- Irmawati, I. (2020). Analisis Sifat Fisik Dan Kimia Briket Arang Dari Bonggol Jagung. *Journal Of Agritech Science (JASc)*, 4(1), 24–29. <https://doi.org/10.30869/jasc.v4i1.569>
- Kusumawati, T. A., Setiawan, A., & Dermawan, D. (2023). Studi Kinetika Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Adsorben Komposit Hidroksiapatit Karbon Aktif Tongkol Jagung. *Studi Kinetika Adsorpsi*, 6(2623), 266–270.
- Makaruku, M. H., Tanasale, V. L., & Goo, N. (2022). Pemanfaatan Limbah Tempurung Kelapa Menjadi Briket Arang Sebagai Bahan Bakar Alternatif Di Desa Kamarian Kecamatan Kairatu Kabupaten Seram Bagian Barat. *HIRPONO: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(2), 148–157.
- Maulidiyah, T., Rahmayanti, A., & Hamidah, L. N. (2021). Efektifitas Biosorben Arang Biji Salak (Salacca Zalacca) Dalam Mengurangi Pewarna Remazol Brilliant Blue. *Jurnal Teknik Kimia*, 4(1), 80–88.
- Nitsae, M., Lano, L. A., & Ledo, M. E. (2020). Pembuatan Arang Aktif Dari Tempurung Siwalan (Borassus Flabellifer L.) Yang Diaktivasi Dengan Kalium Hidroksida (KOH). *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 5(1), 8–15. <https://doi.org/10.24002/biota.v5i1.2948>
- Oko, S., Kurniawan, A., & Winanti, C. (2022). Penurunan Kadar Zat Warna Remazol Brilliant Blue R Dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Serbuk CaCO₃ Dari Cangkang Telur Dan Karbon Aktif. *Metana: Media Komunikasi Rekayasa Proses Dan Teknologi Tepat Guna*, 18(1), 39–45.
- Pipil, H., Yadav, S., Chawla, H., Taneja, S., Verma, M., & Singla, N. (2022). Comparison of TiO₂ Catalysis and Fenton's Treatment for Rapid Degradation of Remazol Red Dye in Textile Industry Effluent. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 33(1), 105–114. <https://doi.org/10.1007/s12210-021-01040-x>
- Pramitasari, H. A., Arianti, W. D., & Widodo, L. U. (2022). Penyerapan Zat Warna Remazol Red Menggunakan Adsorben Arang Aktif Batang Ubi Kayu. *Jurnal Teknik Kimia*, 3(1), 14–19.

- Puteri, N. A., Triawan, D. A., Banon, C., & Nurwidiyani, R. (2024). Pembuatan Dan Karakterisasi Asap Cair Dari Kayu Batang Kopi (*Coffea Sp*) Serta Aplikasinya Sebagai Koagulan Lateks. *Jurnal Riset Kimia*, *4*(1), 268–276.
- Ramadani, N., Bahri, S., Sylvia, N., & Dewi, R. (2024). Pembuatan Adsorben Dari Tongkol Jagung (*Zea Mays*) Dengan Aktivator CaCl₂ Untuk Penyerapan Logam Fe (II) Dalam Air. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, *13*(1), 1–9.
- Ridwan, M. S. B., Kolo, M. M., & Saka, R. (2024). Pembuatan Karbon Aktif Dari Tempurung Buah Lontar (*Borassus*). *Jurnal Kimia Terapan*, *14*(1), 10–21.
- Rochim, F. (2017). *Eksplorasi Material Kayu Kopi Pada Produk Home Decor Dan Urban*.
- Saragih, A., Dwidiani, N. M., & Santhiarsa, I. G. N. N. (2020). Karakterisasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Terhadap Adsorpsi Timbal. *Jurnal METAMORFOSA*, *9*(3), 993–997.
- Setiawan, A., Basyiruddin, F., & Dermawan, D. (2019). Biosorpsi Logam Berat Cu(II) Menggunakan Limbah *Saccharomyces Cerevisiae*. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, *16*(1), 29–35. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v16i1.29-35>
- Setiawan, D. A., Sirajuddin, & Wanwol, R. M. D. T. (2023). Adsorption of Remazol Brilliant Blue R Dye Using Activated Carbon from Empty Palm Oil Bunches. *Jurnal Sains Natural*, *13*(4), 183–190. <https://doi.org/10.31938/jsn.v13i4.527>
- Siswanti, S., Oktafiana, A. H., & Putri, Y. (2023). Adsorpsi Zat Warna Remazol Brilliant Blue R Pada Limbah Industri Batik Menggunakan Adsorben Dari Mahkota Buah Nanas. *Eksergi*, *21*(1), 9–15. <https://doi.org/10.31315/e.v21i1.10669>
- Siswati, N. D., Martini, N., & Widyantini, W. (2015). Pembuatan Arang Aktif Dari Tulang Ikan Tuna. *Jurnal Teknik Kimia*, 26–29.
- Sukarta, I. N., Suyasa, I. W. B., Mahardika, I. G., Suprihatin, I. E., & Sastrawidana, I. D. K. (2025). Innovation of Remazol Yellow FG Dye Adsorption Using Biochar from Coffee Fruit Shell Waste. *Journal of Ecological Engineering*, *26*(1), 273–285. <https://doi.org/10.12911/22998993/195754>
- Syahri, T. N. (1988). Analisis Kimia 75 Jenis Kayu Dari Beberapa Lokasi Di Indonesia. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 6.
- Wahyuningsih, A. W. K., Ulfin, I., & Suprpto, S. (2019). Pengaruh PH Dan Waktu Kontak Pada Adsorpsi Remazol Brilliant Blue R Menggunakan Adsorben Ampas Singkong. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, *7*(2), 7–9. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i2.30070>
- Wardani, G. A., Octavia, A. N., Fathurohman, M., Hidayat, T., & Nofiyanti, E. (2022). Arang Aktif Ampas Tebu Termodifikasi Kitosan Sebagai Adsorben Tetrasiklin: Pemanfaatan Metode Kolom. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, *8*(3), 280–291. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2022.v8.i3.16090>