

ARANG BAMBU TABAH TERAKTIVASI $ZnCl_2$ SEBAGAI ADSORBEN *CONGO RED*

M. Manurung*, S. B. Hartanto dan I. B. P. Manuaba

*Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana,
Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia*

*Email : manuntun_manurung@unud.ac.id

ABSTRAK

Arang aktif merupakan material unik sebab mampu menyerap ion positif, negatif, dan netral dengan baik. Penelitian bertujuan untuk mempelajari adsorpsi *congo red* menggunakan arang bambu tabah, tanpa aktivasi dan dengan aktivasi. Penelitian dimulai dengan membuat arang bambu tabah secara pirolisis. Sebagian arang diaktivasi dengan $ZnCl_2$ secara impregnasi, sehingga didapatkan arang aktif. Arang tanpa aktivasi dan teraktivasi dikarakterisasi gugus fungsinya. Kapasitas adsorpsi masing-masing adsorben juga diukur setelah mengoptimasi beberapa parameter adsorpsi seperti waktu kontak, jumlah massa adsorben, pH larutan, dan suhu. AB₂ yaitu arang teraktivasi, memiliki kemampuan terbaik dalam mengadsorpsi *congo red* dengan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 64,472 mg/g, waktu kontak 120 menit, massa adsorben 0,1 g, suhu 30 °C dan pH 2. Kapasitas adsorpsi AB₀, AB₁, dan AB₂ secara berturut-turut adalah 31,137; 61,855; dan 64,472 mg/g. Arang bambu tabah memiliki potensi yang baik untuk menyerap *congo red* dari larutan.

Kata kunci: Adsorpsi, arang aktif, bambu Tabah, *congo red*, $ZnCl_2$

ABSTRACT

Activated charcoal is a unique material because it can absorb positive, negative, and neutral ions well. This research aimed to study the adsorption of *Congo red* by using inactivated and activated *Tabah* bamboo charcoals. The research began by preparing *Tabah* bamboo charcoal using pyrolysis. Some charcoal was activated with $ZnCl_2$, by impregnation to obtain activated charcoal. The functional groups of inactivated and activated charcoal were characterized. The adsorption capacity of each adsorbent was also measured after optimizing several adsorption parameters such as contact time, adsorbent mass amount, solution pH, and temperature. AB₂, namely activated charcoal, had the best ability to adsorb *Congo red* with an adsorption capacity value of 64.472 mg/g, contact time of 120 minutes, adsorbent mass of 0.1g, temperature of 30 °C, and pH 2. The adsorption capacities of AB₀, AB₁, and AB₂ are respectively 31,137; 61,855; and 64.472 mg/g. *Tabah* bamboo charcoal has good potential to absorb *congo red* from the solution.

Keywords: Activated charcoal, adsorption, *Congo red*, *Tabah* bamboo, $ZnCl_2$

PENDAHULUAN

Pada saat ini masalah limbah cair industri tekstil, percetakan, pencelupan menjadi salah satu tantangan serius, baik dari segi volume maupun jenisnya di berbagai wilayah di Indonesia. Peningkatan pencemaran semakin meluas karena tuntutan pasar atau *trending fashion* yang terus berubah sesuai dengan perkembangan zaman. Sebagian besar industri tekstil memilih pewarna sintetis karena harganya terjangkau, daya tahan yang baik, mudah didapat, dan penggunaannya sederhana. Namun, limbah cair yang dihasilkan mengandung sisa pewarna, logam berat yang toksik dan berbahaya bagi kehidupan air jika

dibuang ke badan air tanpa penanganan yang baik (Enrico, 2019). Beberapa pewarna sintetis yang sering digunakan seperti *congo red*, metilen biru, *remazol yellow FG*. *Congo red* merupakan salah satu zat warna tekstil yang banyak digunakan untuk memberi warna merah pada serat. Menurut Kustomo dan Santosa (2019), tidak seluruhnya pewarna terserap oleh kain saat proses pencelupan, tetapi sekitar 10-15% tersisa dalam air yang dibuang ke perairan. Akumulasi *congo red* dalam tubuh dapat menyebabkan gangguan pada fungsi hati, ginjal, dan sistem saraf (Srivatsav, *et al.*, 2020).

Upaya untuk meminimalisir kandungan pewarna dalam perairan telah dikembangkan berbagai metode, seperti koagulasi, Ozonisasi,

membran, nano filtrasi, lumpur aktif dan adsorpsi. Dari beberapa metode tersebut adsorpsi merupakan yang paling murah dan sederhana, khususnya bila melibatkan limbah pertanian sebagai material sumber karbon (Herlina, *et al.*, 2017). Arang aktif adalah arang yang direkayasa dengan cara aktivasi, sehingga struktur pori lebih terbuka, luas permukaannya bertambah dan daya adsorpsi meningkat. Penggunaan arang aktif menjadi favorit karena harganya terjangkau, memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi, dan dapat diregenerasi. Bahan yang dapat digunakan untuk menghasilkan arang aktif adalah material yang mengandung karbon tinggi, misalnya bambu melalui karbonisasi pada suhu tinggi tanpa atau dengan oksigen terbatas (Sihombing, 2019).

Pada penelitian ini arang aktif dibuat berbasis bambu tabah yang belum dimanfaatkan optimal tetapi mudah ditemukan di Bali. Peneliti terdahulu (Negara, 2020) melaporkan karakteristik arang bambu tabah teraktivasi H_3PO_4 , dari sisi perubahan tekstur. Manurung, *et al.* (2023) juga melaporkan adsorpsi arang bambu tabah teraktivasi $ZnCl_2$ sebagai adsorben zat warna kationik *metilen blue*, sedangkan untuk zat warna anionik *Congo red* belum ada yang melaporkan. Dalam penelitian ini ada tiga perlakuan yang di kerjakan yaitu bambu tabah dijadikan arang, diberi kode ABo, bambu diaktivasi $ZnCl_2$ dahulu sebelum diarangkan diberi kode AB₁ dan arang bambu di aktivasi $ZnCl_2$ diberi kode AB₂. Ke tiga jenis adsorben ini ditentukan kapasitas adsorpsinya terhadap *congo red* dengan metode *Bacth*. Aktivasi arang ABo dengan larutan $ZnCl_2$ diperkirakan mampu menyerap ion Zn^{2+} , sehingga permukaan arang menjadi bermuatan positif akibatnya arang AB₂ mampu menyerap *congo red* yang bermuatan negatif lebih baik. Untuk mengoptimalkan kapasitas adsorpsi, AB₀, AB₁ dan AB₂ dilakukan optimasi parameter adsorpsi seperti waktu kontak, jumlah massa adsorben, pH, dan suhu. Model Isoterm adsorpsi di uji terhadap tipe Langmuir dan tipe Freundlich. Gugus fungsi ketiga jenis arang ditentukan dengan FTIR.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah batang bambu tabah yang diambil dari Pupuan, Tabanan, Bali. Bahan-bahan kimia yang digunakan meliputi serbuk

$ZnCl_2$ (Merck), aquades, KBr, HCl 0,1 M, NaOH 0,1 M, dan *congo red*.

Peralatan

Alat yang digunakan mencakup neraca analitik, ayakan 100 dan 200 meshoven, desikator, penggerus porselin, papan pemanas, pengaduk magnetik, pH meter, peralatan gelas, karet penghisap, spatula, kertas saring Whatman no 40, pengukur waktu, tanur, *Spektrofotometer FT-IR Shimadzu Prestige-1*, dan *Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV-1800*.

Cara Kerja

Preparasi Bambu

Batang bambu tabah dipotong kecil hingga ukurannya $\pm 2 \times 2$ cm, lalu dicuci dengan air untuk menghilangkan kotoran yang menempel. Potongan Bambu dicacah, dibilas dengan aquades dan dikeringkan dengan oven pada suhu 110 °C hingga bobot yang diperoleh konstan. Sampel bambu dibagi menjadi 3 dan diberi kode AB₀, AB₁, dan AB₂. Sampel bambu kode AB₀ diarangkan tanpa aktivasi. Sampel bambu kode AB₁ diaktivasi kemudian diarangkan. Sampel bambu kode AB₂ diarangkan kemudian diaktivasi. Sampel bambu kode AB₁ diaktivasi terlebih dahulu dengan larutan $ZnCl_2$ 1% selama 24 jam, disaring, lalu dibilas dengan aquades hingga pH netral. Sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C hingga massanya konstan. Sampel bambu kode AB₁ kemudian dikarbonisasi (Manurung, *et al.*, 2019).

Karbonisasi Bambu

Sebanyak 1000 g sampel bambu AB₀ dan hasil aktivasi sampel bambu AB₁ dikarbonisasi dengan tanur pada suhu 600 °C selama 90 menit. (Manurung, *et al.*, 2019). Setelah itu, arang yang telah terbentuk didinginkan dalam desikator dan ditimbang untuk mengukur persentase rendemen. Hasil arang digerus dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Serbuk arang yang lolos kemudian diayak kembali menggunakan ayakan 200 mesh. Arang yang tidak lolos ayakan 200 mesh dikumpulkan, digunakan sebagai adsorben.

Aktivasi Arang

Sampel arang dengan kode AB₀ dibagi menjadi 2 bagian, yaitu AB₀ (tanpa aktivasi) sebagai pembandingan, sebagian AB₀ diaktivasi dengan larutan $ZnCl_2$ disebut AB₂. Sebanyak 5g

sampel arang kode AB₀ dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 500 mL lalu ditambahkan 100 mL ZnCl₂ 1%. Campuran diaduk selama 24 jam dengan pengaduk magnetik, kemudian disaring dan dibilas dengan aquades hingga diperoleh pH netral. Kemudian arang aktif dikeringkan dengan oven pada suhu 110 °C hingga massa konstan.

Analisis Gugus Fungsi

Masing-masing AB₀, AB₁, dan AB₂ sebelum dan sesudah adsorpsi *congo red* ditimbang sebanyak 0,1 gram, lalu dicampur dengan serbuk KBr. Campuran dipadatkan dalam cetakan membentuk pellet, selanjutnya dianalisis dengan FTIR.

Daya Adsorpsi terhadap *Congo Red*

Optimasi Waktu Kontak

Optimasi waktu kontak dilakukan dengan mencampurkan 25 mL larutan *congo red* 50 ppm dengan masing-masing sebanyak 0,1 gram AB₀, AB₁, dan AB₂, dalam gelas kimia 50 mL, diaduk dengan pengaduk magnetik selama variasi waktu 30; 60; 90; 120; 150; 180; 240 menit. Berikutnya, masing-masing campuran disaring dan absorbansi filtrat diukur dengan spektrofotometer UV-Vis. Jumlah zat warna *congo red* yang terjerap oleh adsorben dapat ditentukan.

Optimasi Massa Adsorben

Optimasi massa adsorben dilakukan dengan mencampurkan 25 mL larutan *congo red* 50 ppm dengan variasi massa AB₀, AB₁, dan AB₂ dari 0,1; 0,2; 0,3; dan 0,5 gram, dalam gelas kimia 50 mL diaduk selama waktu optimum, disaring dan absorbansi filtratnya diukur dengan spektrofotometer UV-Vis. Jumlah zat warna *congo red* yang terjerap dapat ditentukan.

Optimasi pH

Optimasi pH dilakukan dengan mencampurkan 25 mL larutan *congo red* 50 ppm dalam gelas kimia 50 mL, lalu pH larutan divariasikan dari 2; 4; 6; 8; dan 10 menggunakan NaOH 0,1 M atau HCl 0,1 M. Sampel larutan ditambahkan AB₀, AB₁, dan AB₂ masing-masing sebanyak massa optimum, dan diaduk dengan pengaduk magnetik selama waktu optimum. Campuran disaring dan absorbansi filtratnya diukur dengan spektrofotometer UV-Vis.

Optimasi Suhu

Optimasi suhu adsorpsi dilakukan dengan mencampurkan 25 mL larutan *congo red* 50 ppm, dengan masing-masing AB₀, AB₁, dan AB₂ dalam gelas kimia 50 mL pada kondisi optimum, suhu divariasikan dari 30; 40; dan 50 °C. Campuran disaring dan absorbansi filtratnya diukur dengan spektrofotometer UV-Vis.

Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi ditentukan dengan mencampurkan 25 mL larutan *congo red* 50, 100, 150, 200 dan 300 ppm dalam gelas kimia 50 mL dengan pada kondisi optimum masing-masing adsorben. Campuran di aduk dan disaring. Absorbansi filtratnya diukur dengan spektrofotometer UV-Vis. Jumlah zat warna *congo red* yang teradsorpsi dapat ditentukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan adsorben meliputi tiga tahap utama, yaitu preparasi, karbonisasi, dan aktivasi. Pada proses preparasi adsorben, bambu dipotong berukuran ± 2 x 2 cm sesuai pada gambar 1A (Gambar 1). Adsorben AB₁, bambu diaktivasi dengan ZnCl₂ kemudian dikarbonisasi. Aktivasi AB₁ diduga menyebabkan ion Zn²⁺ terikat oleh gugus fungsi yang terdapat pada bambu membentuk kompleks dan pada karbonisasi membentuk ZnO, yang berpengaruh terhadap daya adsorpsi *congo red*. Pada adsorben AB₀, bambu dikarbonisasi dengan suhu 650 °C selama 90 menit yang hasilnya terdapat pada gambar 1B (Gambar 1). Tampilan arang mengkilap dan menjadi rapuh. Pada proses karbonisasi, terjadi pemecahan senyawa organik menjadi karbon. Suhu tinggi pada proses karbonisasi menyebabkan hilangnya zat-zat yang mudah menguap (*volatile matter*). Tiga komponen pokok hasil karbonisasi adalah karbon, tar, dan gas. Arang bambu digerus hingga menjadi serbuk seperti pada Gambar 1C.

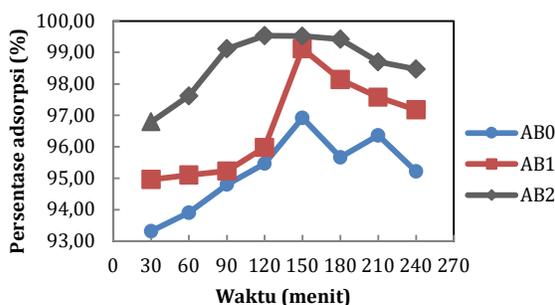
Aktivasi ABo bertujuan untuk menghilangkan pengotor dari permukaan arang yang tidak hilang pada saat karbonisasi, seperti oksida logam, tar dan senyawa organik yang menempel dipermukaan arang. Dengan aktivasi tersebut, pengotor menjadi hilang dan pori menjadi lebih terbuka, akibatnya luas permukaan bertambah, akhirnya kapasitas adsorpsi meningkat (Manurung, *et al.*, 2019).



Gambar 1. Bahan baku bambu (A), hasil karbonisasi (B), dan serbuk arang bambu (C)

Optimasi Waktu Kontak

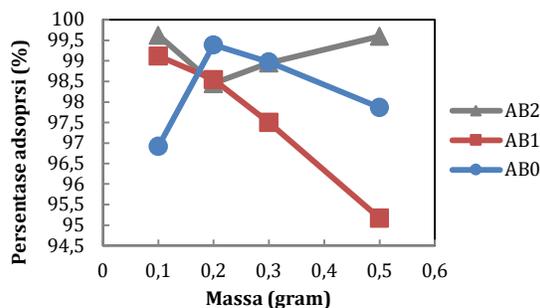
Waktu kontak merupakan lamanya interaksi antara adsorben dan adsorbat(congo red) hingga mencapai keadaan jenuh(setimbang adsorpsi).



Gambar 2. Hubungan Persen adsorpsi terhadap waktu untuk ABo, AB₁ dan AB₂

Gambar 2 menunjukkan bahwa adsorben AB₀ dan AB₁ memiliki waktu kontak optimum yang sama yaitu 150 menit, sedangkan AB₂ lebih cepat yaitu 120 menit. Ketiga adsorben menunjukkan adanya penurunan persentase adsorpsi pada waktu yang lebih lama misalnya 180 menit. Adanya kenaikan dan penurunan persentase adsorpsi pada grafik menandakan permukaan adsorben mengalami titik jenuh. Perbedaan waktu kontak, dan persentase adsorpsi ada kaitannya dengan luas permukaan dan kecepatan adsorpsi. Berdasarkan Gambar 2 diketahui, bahwa urutan kereaktifan adsorpsi AB₂ > AB₁ > ABo, artinya proses aktivasi berperan penting untuk meningkatkan persentase adsorpsi. Hal yang sama juga dilaporkan oleh Ma, *et.al.*(2015). Namun, setelah mencapai kondisi keseimbangan, adsorben memiliki kecenderungan untuk melepaskan kembali (desorpsi) *congo red*, sehingga persentase adsorpsi menjadi berkurang.

Optimasi Massa Adsorben

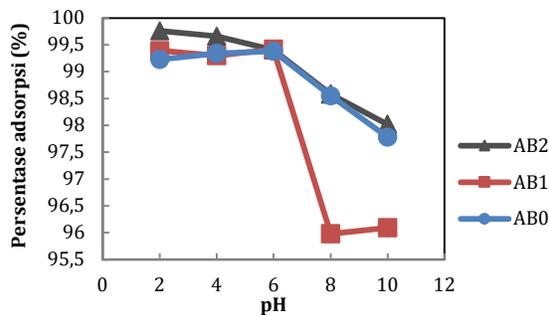


Gambar 3. Perbandingan massa adsorben terhadap persentase adsorpsi untuk ABo, AB₁ dan AB₂

Gambar 3 menunjukkan bahwa AB₀ memiliki massa optimum 0,2 gram, sedangkan AB₁ dan AB₂ memiliki massa optimum 0,1 gram. Persentase adsorpsi ABo meningkat dari 96,92% pada massa 0,1 gram menjadi 99,39% pada massa adsorben 0,2 gram. Hal ini terjadi, karena bertambahnya pusat aktif seturut dengan penambahan jumlah adsorben. Namun penambahan lebih lanjut, justru menurunkan persentase adsorpsi sebab terjadi interaksi sesama adsorben, yang akhirnya menghambat proses adsorpsi, seperti dikemukakan oleh Putra,I.G.(2023). AB₀ yang merupakan arang tanpa aktivasi mampu mengadsorpsi *congo red* dengan maksimal dengan massa adsorben 2 gram, sedangkan AB₁ dan AB₂ memiliki massa optimum yang sama dan lebih kecil yaitu 0,1 gram meskipun perlakuan terhadap keduanya berbeda. AB₁ yaitu bambu tabah diaktivasi terlebih dahulu dengan activator $ZnCl_2$ sebelum diarangkan, sedangkan AB₂ yaitu arang ABo yang diaktivasi dengan $ZnCl_2$. Fakta ini menguatkan bahwa aktivasi mampu meningkatkan daya adsorpsi terhadap *congo red* lebih baik, terbukti dari massa adsorben yang hanya 0,1 gram telah mampu mengatasi daya adsorpsi ABo dengan massa 0,2 gram.

Optimasi pH

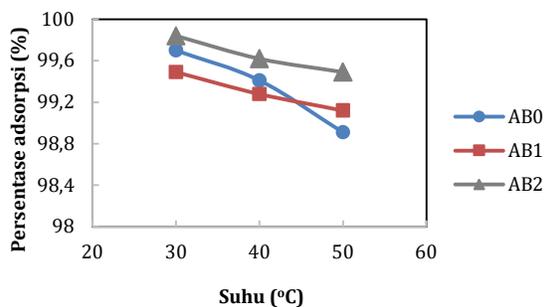
Gambar 4 menunjukkan bahwa AB₀ dan AB₁ memiliki pH optimum 6, sedangkan AB₂ memiliki pH optimum 2. Berdasarkan hasil pengamatan, diketahui persentase adsorpsi *congo red* relatif tinggi di pH asam. Hal ini diakibatkan oleh konsentrasi ion H^+ yang terdapat pada larutan cukup tinggi yang memudahkan ion tersebut tertarik ke permukaan arang sehingga mampu berikatan dengan ion negatif dari *congo red* dengan baik.



Gambar 4. Perbandingan pH terhadap persentase adsorpsi

Kemampuan adsorpsi *congo red* cenderung menurun seiring peningkatan pH (pada kondisi basa). Penurunan ini terjadi karena keberadaan ion OH^- dalam larutan bersaing dengan molekul anion *congo red* di situs penyerapan yang aktif (Yang, *et al.*, 2017).

Optimasi Suhu

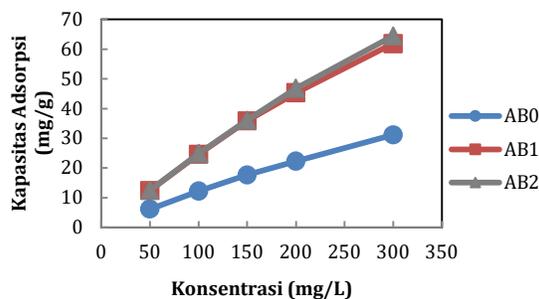


Gambar 5. Pengaruh suhu terhadap persentase adsorpsi

Peningkatan suhu menunjukkan terjadinya efek negative yang konsisten terhadap daya adsorpsi untuk ketiga jenis adsorben. Adsorben AB_0 memiliki penurunan daya adsorpsi tertinggi dibandingkan adsorben lainnya. Hal tersebut mengindikasikan bahwa interaksi antara adsorben dengan *congo red* melibatkan gaya van der Waals, ikatan hydrogen sehingga mudah lepas/rusak sebagaimana dilaporkan oleh Alam, *et al.* (2022), Tay, *et al.* (2022). Suhu adsorpsi terbaik untuk ke tiga adsorben yaitu pada suhu 30 °C.

Kapasitas Adsorpsi

Data isotherm adsorpsi diperlukan untuk menentukan kapasitas adsorpsi dan menguji Model tipe adsorpsi, yang umumnya di uji terhadap model tipe Langmuir dan Freundlich.



Gambar 6. Pengaruh konsentrasi awal *congo red* terhadap kapasitas adsorpsi

Gambar 6 memperlihatkan kapasitas adsorpsi meningkat seiring bertambahnya konsentrasi awal *congo red*. Hal ini disebabkan oleh interaksi terus menerus antara adsorben dan adsorbat akibat kelimpahan zat warna dalam larutan, serta situs aktif dalam adsorben yang belum sepenuhnya jenuh (Putra, *et al.*, 2023). Kapasitas adsorpsi maksimum AB_0 , AB_1 , dan AB_2 pada konsentrasi *congo red* 300 ppm secara berturut-turut adalah $(31,137 \pm 0,01)$ mg/g, $(61,855 \pm 0,02)$ mg/g, dan $(64,472 \pm 0,02)$ mg/g. Hal tersebut menunjukkan kemampuan proses aktivasi meningkatkan kemampuan adsorpsi adsorben. Aktivasi menggunakan ZnCl_2 diduga memberikan sifat kationik pada arang akibat adanya ion Zn^{2+} pada permukaan. Sifat kationik pada permukaan arang menyebabkan *congo red* lebih mudah teradsorpsi karena bersifat anionik. Berdasarkan Gambar 6 belum terlihat titik optimum untuk ketiga adsorben, artinya masih mungkin terjadi kenaikan adsorpsi untuk konsentrasi yang lebih tinggi meskipun efisiensinya berkurang.

Isoterm Adsorpsi

Tabel 1 menunjukkan data bahwa ketiga adsorben memiliki kecenderungan mengikuti pola adsorpsi Langmuir dengan R^2 mendekati 1. Hal tersebut menjelaskan bahwa adsorpsi zat warna *congo red* terjadi pada situs tertentu dari arang dengan membentuk lapisan tipis monolayer. Dapat diketahui ketiga adsorben belum dalam keadaan jenuh, karena kapasitas adsorpsi untuk ketiga adsorben belum mencapai titik kapasitas adsorpsi secara teoritis ($q_{\text{eksp}} < q_{\text{max teor}}$). Menurut Zakaria *et al* (2021), proses adsorpsi dan desorpsi terjadi secara terus menerus ketika adsorben mendekati kejenuhan. Namun dari nilai $n > 1$ menunjukkan interaksi dipermukaan berlangsung intensif.

Tabel 1. Isoterm Langmuir dan Freundlich

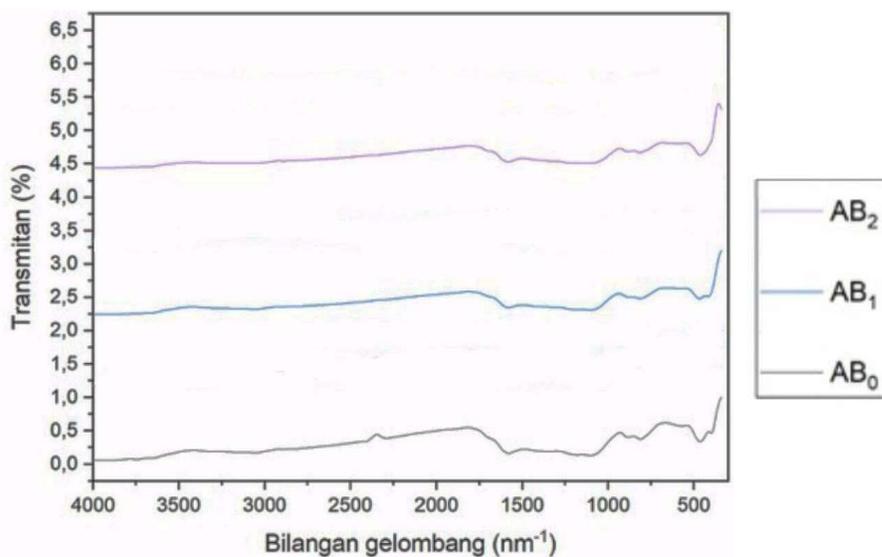
Model	Adsorben	$K_L(L/mg)$	$q_{max}(mg/g)$	R^2	q_e eksperimen(mg/g)
Langmuir	AB ₀	0,2206	32,583	0,9747	31,137
	AB ₁	0,2358	65,019	0,9709	61,855
	AB ₂	0,3567	67,069	0,9921	64,472

Model	Adsorben	$K_F(mg/g(L/mg)^{1/n})$	n	R^2
Freundlich	AB ₀	11,5	2,487	0,9642
	AB ₁	17,9	3,069	0,9461
	AB ₂	18,5	2,872	0,8515

Analisis Gugus Fungsi

Hasil analisis gugus fungsi menggunakan FTIR dapat dilihat pada Gambar 7 dan dirangkum dalam Tabel 2. Spektrum FTIR menunjukkan tidak adanya perubahan gugus fungsi akibat proses aktivasi terhadap arang bambu tabah. Proses karbonisasi pada

suhu tinggi menyebabkan terjadinya *cracking* sehingga terjadi perubahan struktur alifatik selulosa menjadi struktur cincin bersatu melalui aromatisasi dan dikatalisis oleh activator $ZnCl_2$ (Chen, *et al.*, 2020).



Gambar 7. Hasil spektra FTIR

Tabel 2. Rangkuman data spektrum FT-IR AB₀, AB₁ dan AB₂

Kemungkinan gugus fungsi	Pustaka (Silverstein <i>et al.</i> , 2002)	Bilangan Gelombang (nm ⁻¹)		
		AB ₀	AB ₁	AB ₂
C=C aromatik renggang	1600-1500	1573	1575	1580
C-H bending	1000-650	957	954	950
C=C bending alkena	895-885	885	883	882

SIMPULAN

Kapasitas adsorpsi adsorben AB₀, AB₁ dan AB₂ terhadap zat warna *congo red* berturut-turut sebesar 31,137 mg/g, 61,855 mg/g dan 64,472 mg/g. Massa optimum AB₀ sebesar 0,2 gram, pH 6, dan AB₁ massa 0,1 gram, pH 6. Adsorben yang memiliki kemampuan terbaik dalam menyerap *congo red* adalah AB₂ dengan waktu kontak optimum 120 menit, massa adsorben 0,1 gram, pH 2, dan suhu 30 °C. Model isoterm dari ke tiga jenis adsorben mengikuti model tipe Langmuir. Proses aktivasi tidak mengubah gugus fungsi yang dimiliki arang, tetapi aktivasi dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi secara signifikan dibandingkan tanpa aktivasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, R., dan Mirza, A. 2018. Synthesis of Guar Gum/Bentonite A Novel Bionanocomposite: Iso-Therms, Kinetics, and Thermodynamic Studies for The Removal of Pb (II) and Crystal Violet Dye. *J. Mol. Liq.* 249(2018): 805–814.
- Aidha, N.N., Ardhanie, S.A., Cahyaningtyas, A.A., Jati, B.N., dan Naimah, S. 2014. Degradasi Zat Warna pada Limbah Cair Industri Tekstil dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Nanokomposit TiO₂ – Zeolit. *Jurnal Kimia Kemasan.* 36(1): 225-236.
- Bandosz, T. J. 2006. *Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation.* Elsevier Inc. Amsterdam.
- Bansal, R.C., dan Meenakashi, G. 2005. *Activated Carbon Adsorption.* Taylor and Francis Group. New York.
- Chen, W., Gong, M., Kaixu, L., dan Xia, M. 2020. Insight Into KOH Activation Mechanism During Biomass Pyrolysis: Chemical Reactions Between O-Containing Groups And KOH. *Applied Energy.* 278(2020): 11573.
- Enrico. 2019. Dampak Limbah Cair Industri Tekstil terhadap Lingkungan dan Aplikasi Tehnik Eco Printing sebagai Usaha Mengurangi Limbah. *Jurnal MODA.* 1(1): 5-13.
- Herlina, R., Masri, M., dan Sudding. 2017. Studi Adsorpsi Dedak Padi terhadap Zat Warna *Congo Red* di Kabupaten Wajo. *Jurnal Chemica.* 18 (1):16 -25.
- Kustomo, dan Santosa. S.J. 2019. Studi Kinetika dan Adsorpsi Zat Warna Kation (Metilen Biru) dan Anion (Metil Orange) pada Magnetit Terlapis Asam Humat. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains.* 1 (2): 64-69.
- Manurung, M., Suprihatin, I.E., dan Ratnayani, O. 2023. Preparation and Characterization of Activated Charcoal from Bamboo Waste with Phosphoric Acid as A Biosorbent for Rhemazol Brilliant Blue. *Rayasan J. Chem.* 16(3): 1369-1377.
- Manurung, M., Ratnayani, O., dan Prawira, R. 2019. Sintesis dan Karakterisasi Arang Aktif Dari Limbah Bambu dengan Aktivator ZnCl₂. *Cakra Kimia [Indonesian E-Journal of Applied Chemistry].* 7(1): 69 -77.
- Putra, I.G.Y. 2023. Potensi Arang Aktif Dari Bambu Tabah (*Gigantochloa Nigrociliata*) Sebagai Adsorben Metilen Biru. *Skripsi.* Program Studi Kimia Universitas Udayana. Jimbaran.
- Sihombing, Y.P. 2019. Adsorpsi Zat Pewarna Tekstil Methyl Orange Menggunakan Adsorben Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao L.*). *Skripsi.* Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Srivatsav, P., Bargav. B., Shanmugansundaram, V, Arun, J, Gopinath, K.P, Bhatnagar, A,2020, Biochar as eco-friendly and economical adsorbent for removal of colorants(dyes) from aqueous environment, A review. *Water*2020(120): 3561.
- Tay, C.C, Alice Daniel, Soon-Keong Yong and Suhaimi Abdul-Talib, 2022, Law Grass A Sustainable Adsorbent for Nickel(II) Removal, *Malaysian Journal of Chemistry.* 24(2);29-36.
- Yang, G., L. Wu, Q. Xian, F. Shen, J. Wu, dan Y. Zhang. 2017. Removal of Congo Red and Methylene Blue from Aqueous Solutions by Vermicompost-Derived Biochars. *Journal PLOS One-Tenth Anniversary.* 11(7): 1-11.
- Zakaria, R., Jamalludin, N., dan Bakar, M. 2021. Effect of Impregnation Rasio and Activation Temperatur Eon The Yield and Adsorption Performance of Mangrove Based Activated Carbon for Methylene Blue Removal. *Result In Material.* 10(2021): 100183.