

Efektivitas Adsorpsi Zat Warna *Yellow Disperse* oleh Limbah Cangkang Kerang Samping dengan Pendekatan Isoterm Adsorpsi

Muhammad Naoval Haris^{*1}, Maghfiroh²

^{1,2}Program Studi Kriya Batik, Fakultas Teknik, Universitas Pekalongan, Indonesia
Email: ¹naovalharis@gmail.com

Abstrak

Cangkang kerang samping merupakan limbah hewan laut yang kaya mineral termasuk unsur kalsium. Penelitian ini bertujuan untuk evaluasi efektivitas cangkang kerang samping dalam proses adsorpsi limbah zat warna *yellow disperse* dan mengkaji faktor yang mempengaruhi selama proses adsorpsi melalui pendekatan isoterm adsorpsi. Pendekatan isoterm adsorpsi yang digunakan yakni isoterm Langmuir dan Freundlich bentuk *linear* dan *non-linear*. Pengujian dilakukan pada berbagai variasi massa adsorben, kontak waktu proses adsorpsi, dan konsentrasi awal adsorbat. Variasi massa adsorben yang digunakan yakni 0,5 gr sampai 2,5 gr dengan rentang massa 0,5 gr, variasi kontak waktu proses adsorpsi yakni 30 menit sampai 150 menit dengan rentang waktu 30 menit serta variasi konsentrasi awal adsorbat yakni 60 ppm sampai 100 ppm dengan rentang konsentrasi 10 ppm. Hasil adsorpsi terbaik didapatkan pada massa adsorben 2 gr, volume adsorbat 50 ml dengan konsentrasi awal 60 ppm, kontak waktu adsorpsi selama 90 menit dengan persentase efektivitas adsorpsi sebesar 97,14%. Pendekatan yang mewakili pada penelitian ini yakni pendekatan isoterm Freundlich karena nilai R^2 yang mendekati nilai 1 yakni 0,99418 dalam bentuk *linear* yang mana dapat diartikan bahwa zat warna yang diadsorpsi menempel pada permukaan adsorben dengan situs energi yang beragam. Pada penelitian membuktikan bahwa limbah cangkang samping dapat dijadikan alternatif adsorben yang murah dan ramah lingkungan dalam proses adsorpsi zat warna tekstil.

Kata kunci: Adsorben, Cangkang Kerang Samping, Dispers Kuning, Freundlich

Abstract

The scallop shell is a marine animal waste rich in minerals, including calcium. This study aims to evaluate the effectiveness of scallop shells in the adsorption process of yellow disperse dye waste and to examine the factors influencing adsorption through adsorption isotherm approaches. The adsorption isotherm approaches used are Langmuir and Freundlich isotherms in both linear and non-linear forms. Testing was conducted with variations in adsorbent mass, contact time during the adsorption process, and initial adsorbate concentration. The adsorbent mass variations used were from 0.5 g to 2.5 g with 0.5 g intervals; adsorption contact time ranged from 30 minutes to 150 minutes with 30-minute intervals, and the initial adsorbate concentration ranged from 60 ppm to 100 ppm with 10 ppm intervals. The best adsorption results were obtained with an adsorbent mass of 2 g, adsorbate volume of 50 ml with an initial concentration of 60 ppm, and an adsorption contact time of 90 minutes, achieving an adsorption effectiveness of 97.14%. The Freundlich isotherm approach represented the study, as the R^2 value was close to 1, at 0.99418 in linear form, indicating that the adsorbed dye adhered to the adsorbent surface with varied energy sites. This study proves that scallop shell waste can be a low-cost, environmentally friendly alternative adsorbent for textile dye adsorption.

Keywords: Adsorbent, Freundlich, Scallop Shell, Yellow Disperse

1. PENDAHULUAN

Industri tekstil pada proses pewarnaan kain sintetis menggunakan zat warna sintetis yakni zat warna dispers. Limbah yang dihasilkan dari proses tersebut sukar terurai secara alami, sehingga dapat mengakibatkan dampak negatif terhadap lingkungan sekitarnya. Salah satu zat warna dispers yang digunakan dalam proses pewarnaan kain polyester yakni zat warna dispers kuning (*Yellow SE-4GL*) yang berpotensi mencemari ekosistem air disekitarnya.

Zat warna dispers merupakan zat warna sintetis yang umumnya diaplikasikan dalam pewarnaan serat sintetis seperti poliester, nilon, dan asetat. Karakteristik utama zat warna dispers yakni kelarutannya yang rendah dalam air (Sunarto, 2008). Pada proses pewarnaan, zat warna dispers dibantu dengan suhu tinggi. Meskipun efektif dalam pewarnaan serat sintetis, penggunaan zat warna dispers secara berlebihan dapat merusak kualitas air. Selain itu, limbah pencelupan menggunakan zat warna dispers seringkali mengandung logam berat dan senyawa organik berbahaya yang menyebabkan masalah kesehatan bagi manusia.

Berbagai metode telah dikembangkan dalam proses pengurangan konsentrasi zat warna pada limbah cair, salah satunya yakni proses adsorpsi (Haris et al., 2023). Proses adsorpsi merupakan metode yang efisien dalam penurunan konsentrasi polutan dalam limbah cair. Pada pemilihan bahan adsorben yang efektif, harga terjangkau dan ramah lingkungan menjadi fokus utama dalam pengembangan teknologi ini. Oleh karena itu, solusi berbasis adsorpsi sangat dibutuhkan karena mampu menyerap dan mengikat zat warna ini secara efektif dari air limbah sebelum dilepaskan ke lingkungan.

Dalam upaya menambah daya jual limbah organik, cangkang kerang simping (*Amusium Pleuronectes*) telah diidentifikasi sebagai material yang potensial sebagai adsorben. Cangkang kerang simping yang banyak ditemukan di daerah pesisir Indonesia salah satunya di Kota Pekalongan sebagai limbah penggunaan makanan laut. Cangkang kerang simping mengandung unsur mineral yang sangat dominan seperti kalsium karbonat (CaCO_3) dan memiliki struktur pori yang berpotensi tinggi sebagai material adsorben (Haris et al., 2024).

Pada penelitian sebelumnya, adsorben dari cangkang kerang simping juga mulai dikembangkan seperti halnya penelitian adsorben cangkang kerang simping pada limbah yang mengandung ion Cu(II) yang menggunakan variabel bebas yakni konsentrasi awal Cu(II) , pH larutan, dan waktu kontak (Kuha et al., 2016). Selain itu, limbah yang mengandung Zn(II) juga telah dilakukan eksperimen dengan menggunakan uji *X-ray Diffraction* (XRD) dan *Energy Dispersive X-ray Fluorescence* (EDXRF) (Chantarasunthon et al., 2016).

Selain itu, cangkang kerang simping digunakan sebagai biokoagulan untuk menurunkan nilai COD dan TSS (Pradifan et al., 2016). Senyawa kitosan juga dapat digunakan dalam proses penjernihan air (Tanjung, 2016). Cangkang kerang simping juga digunakan sebagai alternatif pangan yang mengandung kalsium (Putri & Mardesci, 2018). Produk ekstrudat juga dapat dibuat dari tepung kalsium yang dikandung oleh cangkang kerang simping (Agustini et al., 2011). Dikarenakan kaya akan kalsium, cangkang kerang simping juga dapat menjadi alternatif material biokeramik jenis kalsium fosfat (Rachman et al., 2018). Cangkang kerang simping juga dapat digunakan sebagai bahan antibakteri alami (Sulistiyaningrum et al., 2013). Cangkang kerang simping juga dapat digunakan sebagai kerajinan yang mempunyai nilai jual (Anggraeni et al., 2023). Pemanfaatan limbah alami akan berdampak dalam pengurangan jumlah volume dari limbah organik itu sendiri sebagai kerajinan dan meningkatkan perekonomian di sekitar daerah tersebut (Musapana & Amalia, 2020).

HAp pada cangkang kerang simping menunjukkan sudah mendekati HAp standar dan relatif aman untuk jaringan lunak manusia (Sari et al., 2022). Pada kandungan logam Pb pada cangkang kerang simping lebih besar daripada dagingnya (Yaqin & Fachruddin, 2018). Hasil rendemen pada kitin cangkang kerang simping rata-rata 88,32% dan rendemen kitosan 6,54% bergantung dengan jumlah dan konsentrasi dari kadar zat kimia yang dipakai dalam proses pembuatan kitin dan kitosan (Ariyanti et al., 2019). Salah satu penelitian menunjukkan bahwa hasil karakterisasi gugus fungsional yang terkandung dalam cangkang kerang simping pada serapan 3000 sampai 3500 cm^{-1} yakni gugus O-H, N-H, C=O, C-H dan C-O-C (Fitri & Rusmini, 2016).

Pemanfaatan cangkang kerang simping sebagai adsorben memberikan solusi dalam pengurangan limbah organik dari industri makanan laut dan menjadi alternatif material adsorben yang efektif untuk mengatasi pencemaran zat warna dalam limbah industri tekstil. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan cangkang kerang simping dalam menyerap zat warna *yellow disperse* dan mengkaji faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas adsorpsi.

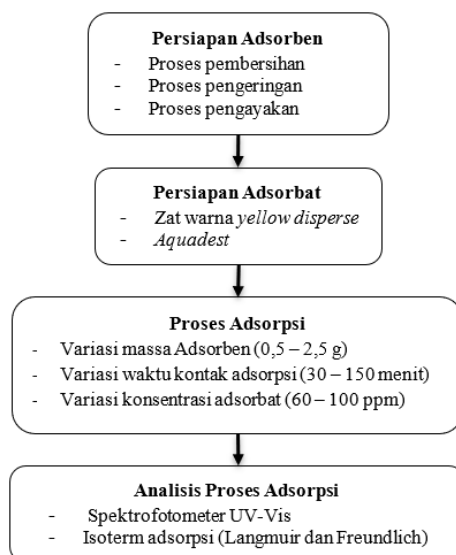
2. METODE PENELITIAN

2.1. Alat dan Bahan

Penelitian ini dilakukan di Laboratium Kriya Batik Universitas Pekalongan. Bahan yang digunakan yakni zat warna *yellow disperse* (*Yellow SE-4GL*) sebagai larutan adsorbat, cangkang kerang simping sebagai adsorben serta aquadest sebagai pelarut. Sedangkan alat yang digunakan antara lain *magnetic stirrer*, blender, ayakan dan Spektrofotometer UV-Vis.

2.2. Tahapan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari empat tahap yakni persiapan adsorben, persiapan adsorbat, proses adsorpsi zat warna *yellow disperse* dan analisis konsentrasi larutan setelah proses adsorpsi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Tahap pertama pembuatan adsorben dimulai dari pembersihan cangkang kerang simping dengan air mengalir dengan bertujuan untuk menghilangkan sisa lendir dari daging kerang tersebut. Setelah itu, proses pengeringan cangkang kerang simping di bawah sinar matahari selama 48 jam dilanjutkan dengan proses pengayakan secara manual dan diperhalus menggunakan mesin blender. Setelah adsorben menjadi bubuk, bubuk diayak dalam ukuran 80-100 mesh. Adsorben siap digunakan dalam proses adsorpsi. Selain itu, persiapan larutan adsorbat hanya menggunakan zat warna *yellow disperse* dilarutkan dengan *aquadest* sesuai dengan variasi yang ditentukan.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Tahap kedua proses adsorpsi yang mana variasi perlakuan yang digunakan yakni variasi massa adsorben sebesar 0.5; 1; 1.5; 2; dan 2.5 gram. Variasi waktu kontak proses adsorpsi juga digunakan yakni 30; 60; 90; 120; dan 150 menit. Selain itu, variasi konsentrasi larutan adsorbat berkisar 60; 70; 80; 90; dan 100 ppm juga dilakukan dalam penelitian ini. Ketiga variasi dipilih dalam penelitian ini dikarenakan faktor-faktor tersebut memiliki pengaruh signifikan terhadap efektivitas proses adsorpsi. Variasi massa adsorben digunakan dalam penentuan kapasitas maksimal adsorben dalam menangkap molekul adsorbat, variasi waktu kontak bertujuan untuk menemukan waktu optimum yang dibutuhkan saat proses adsorpsi mencapai kesetimbangan. Selain itu, variasi konsentrasi larutan adsorbat dilakukan untuk mengidentifikasi kemampuan adsorben dalam menurunkan kadar adsorbat pada berbagai tingkat konsentrasi awal. Tahap ketiga analisis konsentrasi larutan warna yang teradsorpsi oleh adsorben cangkang kerang simping dilakukan dengan Spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 434 nm untuk mengetahui nilai absorbansi kemudian diolah menjadi efisiensi adsorpsi dan model adsorpsi yang terjadi selama penelitian ini. Setelah itu, analisis dilanjutkan dengan mencari pendekatan isoterm

adsorpsi (Langmuir dan Freundlich) yang dapat merepresentasikan proses adsorpsi selama penelitian ini.

2.3. Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan hubungan antara konsentrasi zat di fase cair dengan jumlah zat yang teradsorpsi pada permukaan adsorben. Persamaan Isoterm Langmuir didasarkan pada penyerapan satu lapisan (monolayer) diasumsikan bahwa permukaan adsorben seragam dan semua molekul yang terjerap melalui mekanisme yang sama. Persamaan *non-linear* langmuir dituliskan dengan persamaan (1) (Ismadji et al., 2021):

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (1)$$

Persamaan (1) dilinerisasi menjadi persamaan (2) (Ismadji et al., 2021):

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{1}{q_m} C_e \quad (2)$$

Keterangan:

q_e = kapasitas adsorpsi kesetimbangan (mg/g),
 C_e = konsentrasi zat warna dalam kondisi kesetimbangan (mg/L),
 q_m = kapasitas adsorpsi adsorben terhadap larutan (mg/g)
 K_L = konstanta langmuir (L/mg)

Sedangkan pada persamaan Isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa adsorben memiliki permukaan (gugus fungsional) yang heterogen dan tiap molekul memiliki potensi penyerapan yang berbeda-beda, sehingga melibatkan lebih dari satu jenis interaksi. Persamaan persamaan Freundlich dituliskan pada persamaan (3) (Ismadji et al., 2021):

$$q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

Persamaan (3) dilinerisasi menjadi persamaan (4) (Ismadji et al., 2021):

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (4)$$

Keterangan:

C_e = konsentrasi pewarna di larutan pada saat kesetimbangan (mg/L)
 K_f = konstanta Freundlich (mg/g)
 n = intensitas adsorpsi
 q_e = gram pewarna per gram adsorben pada saat kesetimbangan (mg/g)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Penelitian

3.1.1. Perlakuan Variasi Massa Adsorben

Perlakuan yang digunakan menggunakan konsentrasi larutan awal 100 ppm sebanyak 50 ml, kecepatan pengadukan 400 rpm dan kontak waktu proses adsorpsi selama 90 menit. Pada Tabel 1 menjelaskan hasil analisis variasi perlakuan massa adsorben dalam proses adsorpsi zat warna *yellow disperse*.

Tabel 1. Variasi Massa Adsorben

No	Massa Adsorben (gram)	Konsentrasi Larutan (ppm)		Efisiensi Adsorpsi (%)
		Sebelum	Sesudah	
1	0.5	100	39,84	60,18
2	1	100	31,32	68,60
3	1.5	100	19,86	80,14
4	2	100	11,98	88,01
5	2.5	100	5,59	94,41

3.1.2. Perlakuan Variasi Waktu Kontak Adsorpsi

Perlakuan ini menggunakan massa adsorben 2 gram, volume adsorbat 50 ml dengan konsentrasi awal 100 ppm dan kecepatan pengadukan 400 rpm. Tabel 2 menjelaskan hasil analisis variasi perlakuan waktu kontak dalam proses adsorpsi zat warna *yellow disperse*.

Tabel 2. Variasi Kontak Waktu Adsorpsi

No	Kontak Waktu (menit)	Konsentrasi Larutan (ppm)		Efisiensi Adsorpsi (%)
		Sebelum	Sesudah	
1	30	100	46,13	53,86
2	60	100	34,96	65,03
3	90	100	11,89	88,10
4	120	100	9,81	90,18
5	150	100	7,51	92,48

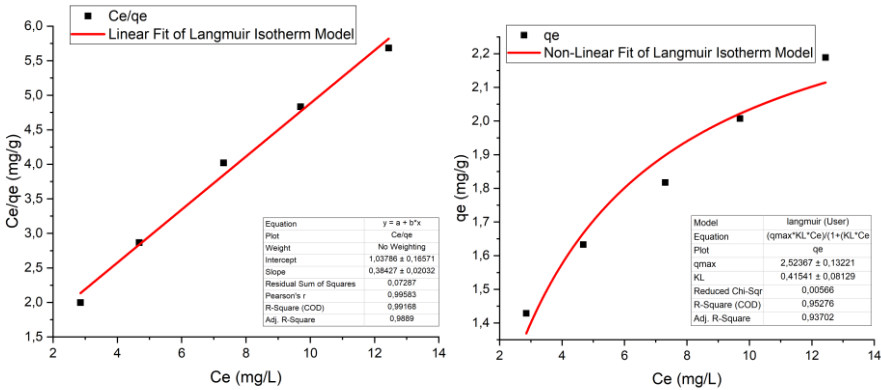
3.1.3. Perlakuan Variasi Konsentrasi Awal Adsorbat

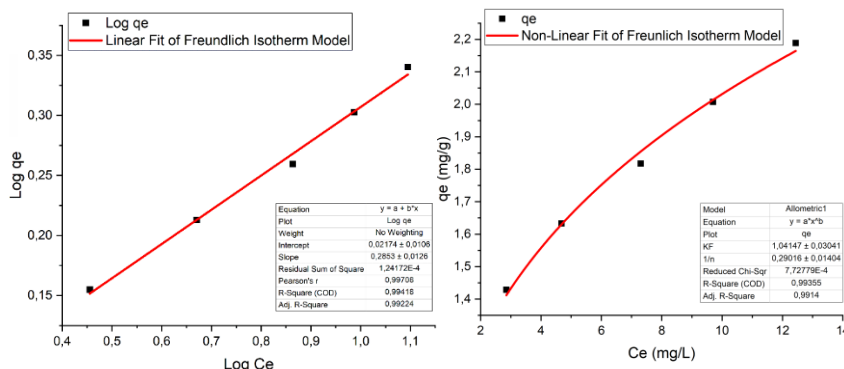
Perlakuan ini menggunakan massa adsorben 2 gram, volume adsorbat 50 ml, kontak waktu adsorpsi selama 90 menit, dan kecepatan pengadukan 400 rpm. Hasil analisis variasi perlakuan waktu kontak dalam proses adsorpsi zat warna *yellow disperse* dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 3. Variasi Konsentrasi Awal Adsorbat

No	Massa Adsorben (gram)	Konsentrasi Larutan (ppm)		Efisiensi Adsorpsi (%)
		Sebelum	Sesudah	
1	2	100	12,44	87,55
2	2	90	9,70	90,29
3	2	80	7,30	92,69
4	2	70	4,68	95,31
5	2	60	2,85	97,14

3.1.4. Analisis Isoterm Adsorpsi





Gambar 2. Model Langmuir dan Freundlich Isoterm Bentuk *Linear* dan *Non-Linear*

Pada analisis ini dilakukan pada massa adsorben 2 gram, volume adsorbat 50 ml, waktu adsorpsi selama 90 menit, dan variasi konsentrasi adsorbat mulai dari 60 hingga 100 ppm seperti hasil yang dipaparkan dalam Tabel 3. Kemudian hasil tersebut dibuat grafik persamaan model Langmuir dan Freundlich isoterm bentuk *linear* dan *non-linear* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

3.2. Pembahasan

Variasi massa adsorben merupakan perlakuan untuk mengetahui kemampuan adsorben dalam mengikat suatu zat yang berwarna. Semakin banyak massa adsorben maka semakin besar kemampuan daya adsorpsinya. Pada hasil Tabel 1 didapatkan nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada massa adsorben 2.5 gr sebesar 94,41%. Hal ini disebabkan oleh jumlah adsorben yang cukup besar untuk menyediakan banyak permukaan aktif adsorben, sehingga mampu mengikat lebih banyak molekul zat warna dalam adsorbat.

Variasi waktu kontak selama proses adsorpsi digunakan untuk mengetahui waktu optimum dari perlakuan adsorben cangkang kerang simping. Pada dasarnya, semakin lama waktu proses adsorpsi cenderung semakin besar nilai adsorpsinya. Pada Tabel 2 menjelaskan hasil analisis terbaik kontak waktu selama proses adsorpsi dengan nilai tertinggi pada kontak waktu 150 menit dengan efisiensi adsorpsi sebesar 92,48%. Hal itu diakibatkan oleh molekul zat warna belum sepenuhnya mencapai kesetimbangan dengan permukaan adsorben pada variasi waktu 30 hingga 90 menit, sehingga masih ada molekul yang tertinggal dalam adsorbat.

Pada variasi konsentrasi awal adsorbat untuk mengetahui kemampuan proses adsorpsi optimum. Semakin tinggi nilai konsentrasi awal adsorbat, maka semakin kecil hasil nilai kemampuan adsorpsinya. Hasil terbaik variasi konsentrasi awal adsorbat diperoleh pada konsentrasi awal 60 ppm dengan efisiensi mencapai 97,14%. yang dapat terlihat pada Tabel 3 dengan adanya kenaikan efisiensi adsorpsi ketika konsentrasi awal adsorbat semakin kecil. Hal itu terjadi karena semakin besar konsentrasi awal maka semakin banyak jumlah molekul zat warna dalam larutan yang harus diadsorpsi oleh jumlah situs aktif pada permukaan adsorben yang tersedia. Pada konsentrasi 60 ppm, adsorben lebih mudah menangkap molekul zat warna karena jumlah molekul dalam larutan lebih sedikit, memungkinkan setiap molekul zat warna memiliki peluang lebih besar untuk berikatan dengan situs aktif pada permukaan adsorben. Selain itu, jumlah molekul zat warna dalam larutan menjadi lebih banyak pada konsentrasi awal 100 ppm, yang mana persaingan antar molekul untuk berikatan dengan situs aktif di permukaan adsorben juga meningkat.

Analisis isoterm adsorpsi merupakan salah satu metode dalam pemahaman mengenai interaksi molekul adsorbat dengan permukaan adsorben pada waktu kesetimbangan. Pada Gambar 2 menjelaskan bahwa analisis isoterm Langmuir *linear* dan *non-linear* menghasilkan representatif yang cukup baik karena nilai R^2 yang masih cukup dekat dengan nilai 1 yakni 0,99168 dalam bentuk *linear* dan 0,95276 dalam bentuk *non-linear*. Sedangkan pada pendekatan isoterm Freundlich memiliki nilai R^2 yang sangat dekat dengan nilai 1 yakni 0,99418 dalam bentuk *linear* dan 0,99355 dalam bentuk *non-linear*. Hal itu menandakan bahwa pendekatan isoterm Freundlich merepresentasikan model isoterm pada penelitian

ini. Isoterm Freundlich memiliki pendekatan pada adsorpsi *non-monolayer*, permukaan heterogen pada permukaan adsorben, dan kapasitas adsorpsi yang bervariasi dalam pengikatan adsorbat yang mana menjadi pendekatan dari proses adsorpsi yang terjadi dalam penelitian ini. Hal ini relevan yang mana adsorben memiliki pori-pori atau situs aktif yang berbeda-beda, yang meningkatkan kemungkinan interaksi antara zat warna dan permukaan. Pendekatan isoterm Langmuir tidak begitu cocok dalam penelitian ini dikarenakan permukaan adsorben tidak homogen atau karena adanya interaksi antar molekul zat warna yang mengganggu proses adsorpsi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan limbah cangkang kerang simping terbukti mampu menyerap zat warna *yellow disperse* dengan baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas adsorpsi meliputi massa adsorben, waktu kontak adsorpsi, dan konsentrasi awal zat warna. Uji adsorpsi menghasilkan efisiensi terbaik dengan massa adsorben 2 gr, volume adsorbat 50 ml, konsentrasi awal 60 ppm, dan waktu kontak 90 menit, mencapai tingkat efektivitas adsorpsi sebesar 97,14%. Pendekatan yang mewakili dalam penelitian ini yakni pendekatan isoterm Freundlich yang mana nilai R^2 sebesar 0,99418. Hal itu dapat diartikan bahwa adanya situs distribusi aktif secara heterogen selama proses adsorpsi. Pengembangan adsorben dari cangkang kerang simping dapat dikembangkan lebih lanjut untuk berbagai jenis polutan atau menggabungkannya dengan teknik pengolahan limbah yang berbeda sehingga meningkatkan nilai tambah dari limbah cangkang kerang simping dalam pengelolaan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, T. W., Ratnawati, S. E., Wibowo, B. A., & Hutabarat, J. (2011). Pemanfaatan Cangkang Kerang Simpung (*Amusium pleuronectes*) Sebagai Sumber Kalsium Pada Produk Ekstrudat. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 14(2), 134–142.
- Anggraeni, M., Amelia, E., Fatimah, D., Oktarina, D., Trimurtias, S., Rizki, M., Taufiqurrahman, S., Surya, M. S., Monalisa, M., Putri, S. R., & Vebrian, R. (2023). Pemanfaatan Cangkang Simpung Sebagai Kerajinan Yang Memiliki Nilai Jual Di Desa Bukit Terak Bangka Barat. *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian kepada Masyarakat*, 1(1), 295–298. <https://doi.org/10.35438/semnas-pkm.v1i1.37>
- Ariyanti, A., Masruriati, E., Nuari, A. W., & Syahputra, M. H. Y. (2019). Rendemen Kitosan Limbah Cangkang Kerang Simpung (*Amusium Pleuronectes*) Dan Kerang Kepah (*Polymesoda Erosa*) Dari Kendal Jawa Tengah. *JIFFK: Jurnal Ilmu Farmasi dan Farmasi Klinik*, 16(1), 65–69. <https://doi.org/10.31942/jiffk.v16i01.2931>
- Chantarasunthon, K., Teanchai, K., & Siriprom, W. (2016). Biosorption of Zn(II) from Aqueous Solution by *Amusium pleuronectes* Shell. *Key Engineering Materials*, 675–676, 7–10. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.675-676.7>
- Fitri, N. L. E., & Rusmini, R. (2016). Karakterisasi Kitosan dari Limbah Kulit Kerang Simpung (*Placuna placenta*). *UNESA Journal of Chemistry*, 5(109–113). <https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/unesa-journal-of-chemistry/article/view/7134>
- Haris, M. N., Astryani, N. L., Madusari, B. D., & Ramadhani, F. M. Al. (2024). Literatur Studi Mengenai Adsorben Limbah Cangkang Hewan Laut Dalam Berbagai Keilmuan. *Seminar Teknologi Majalengka (STIMA)*, 8, 60–66. <https://doi.org/10.31949/stima.v8i0.1231>
- Haris, M. N., Ratnawati, R., & Aryanti, N. (2023). Effect of acid and alkaline treatment on the adsorption capacity of cuttlefish bone. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, 9(1), 316–320. <https://doi.org/10.30574/wjaets.2023.9.1.0177>
- Ismadji, S., Soetaredjo, F. E., Santoso, S. P., Putro, J. N., Yuliana, M., Irawaty, W., Hartono, S. B., & Lunardi, V. B. (2021). *Adsorpsi Pada Fase Cair Kesetimbangan, Kinetika, Dan Termodinamika*. Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya. <http://www.ukwms.ac.id/>
- Kuha, P., Teanchai, K., & Siriprom, W. (2016). Study of the Sorption of Cu(II) from Aqueous Solution

- Using Amusium pleuronectes Shell. *Key Engineering Materials*, 675–676, 631–634. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.675-676.631>
- Musapana, S., & Amalia, I. R. (2020). Kerajinan Limbah Cangkang Kerang Sebagai Alternatif Pembuatan Bros Ramah Lingkungan Tambakrejo Semarang. *ABDI: Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat*, 2(1), 58–66. <https://doi.org/10.24036/abdi.v2i1.54>
- Pradifan, A., Sutrisno, E., & Hadiwidodo, M. (2016). Studi Penggunaan Kitosan dari Limbah Cangkang Kerang Simping (Amusium Pleuronectes) sebagai Biokoagulan untuk Menurunkan Kadar COD dan TSS (Studi Kasus : Air Saluran Singosari Semarang). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(3), 1–8.
- Putri, R. M. S., & Mardesci, H. (2018). Uji Hedonik Biskuit Cangkang Kerang Simping (Placuna Placenta) dari Perairan Indragiri Hilir. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 7(2), 19–29. <https://doi.org/10.32520/jtp.v7i2.279>
- Rachman, A., Sofiyarningsih, N., & Wahyudi, K. (2018). Karakteristik Mineralogi Material Biokeramik Jenis Kalsium Fosfat Dari Cangkang Kerang Simping (Amusium Pleuronectes). *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*, 27(2), 77–93.
- Sari, R. N., Fransiska, D., Dewi, F. R., & Sinurat, E. (2022). Karakteristik Sediaan Hidroksiapatit dari Cangkang Kerang Simping (Amusium pleuronectes) dengan Perlakuan Suhu dan Waktu Sintesis. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 17(1), 31–42. <https://doi.org/10.15578/jpbkp.v17i1.797>
- Sulistiyoningrum, R. S., Suprijanto, J., & Sabdono, A. (2013). Aktivitas Anti Bakteri Kitosan Dari Cangkang Kerang Simping Pada Kondisi Lingkungan Yang Berbeda: Kajian Pemanfaatan Limbah Kerang Simping (Amusium Sp.). *Journal Of Marine Research*, 2(4), 111–117. <https://doi.org/10.1038/141548c0>
- Sunarto, S. (2008). *Teknologi Pencelupan dan Pencapan Jilid 3*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Tanjung, D. S. (2016). Pemanfaatan Kitosan Dari Limbah Cangkang Kerang Simping (Amusium Pleuronectes) Sebagai Koagulan Penjernih Air. *Teknik Lingkungan UII*, 6, 1–11.
- Yaqin, K., & Fachruddin, L. (2018). Kandungan logam Timbel (Pb) pada kerang simping (Placuna placenta) dan potensi indeks kondisi (IK) sebagai biomarker morofologi untuk mendeteksi logam pencemar. *Journal Of Fisheries and Marine Science*, 1(2), 1–13.