

**Pemanfaatan Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis*) sebagai Adsorben
Cemaran Logam Timbal pada Limbah Pewarnaan Batik**

**Utilization of Green Mussel (*Perna viridis*) as A Lead Metal Pollutant Adsorbent
in Batik Dye Waste**

Savalda Rosca Pradipta¹, Juni Triastuti², Nina Nurmalia Dewi³

¹Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

²Departemen Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

³Departemen Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

Article Info

Received: 2024-01-29

Revised: 2024-09-22

Accepted: 2024-09-24

Online: 2024-09-27

Koresponding:

Juni Triastuti, Departemen Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

E-mail:

juni.triastuti@fpk.unair.ac.id

Abstrak

Timbal (Pb) dari limbah pewarnaan batik yang terbuang ke lingkungan dapat mencemari lingkungan sehingga perlu pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh cangkang kerang hijau sebagai adsorben dengan konsentrasi berbeda terhadap berkurangnya cemaran logam berat Pb pada limbah pewarnaan batik dan untuk mengetahui konsentrasi optimal cangkang kerang hijau dalam menurunkan cemaran logam berat Pb pada limbah pewarnaan batik. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental dengan empat perlakuan perbedaan konsentrasi abu cangkang kerang hijau sebagai adsorben (0, 10, 20, dan 30%). Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi terbaik cangkang kerang hijau 30% merupakan konsentrasi terbaik karena mampu menurunkan bahwa kadar Pb pada limbah pewarnaan batik sebesar 68,52%. Karakterisasi abu cangkang kerang hijau meliputi rerata jejari pori (10,674 nm), volume pori total (0,005 cc/g), dan luas permukaan (0,969 m²/g).

Kata kunci: Adsorben, Kerang Hijau, Luas Permukaan, Timbal

Abstract

Lead (Pb) from batik dyeing waste that is thrown into the environment can pollute the environment so it needs processing before being thrown into the environment. The aim of this research is to determine the effect of green mussel shells as an adsorbent with different concentrations on reducing Pb heavy metal contamination in batik dyeing waste and to determine the optimal concentration of green mussel shells to reduce Pb heavy metal contamination in batik dyeing waste. The research method used was experimental with 4 treatments with different concentrations of green mussel shell ash as an adsorbent (0, 10, 20, and 30%). The results of the research showed that a green mussel shell ash concentration of 30% was the best concentration because it was able to reduce Pb levels in batik dyeing waste by 68.52%. Characterization of green mussel shell ash includes average pore radius (10.674 nm), total pore volume (0.005 cc/g), and surface area (0.969 m²/g).

Key words: Adsorbent, Green Mussel Shell, Surface Area, Lead

1. Pendahuluan

Batik merupakan salah satu produk budaya di Indonesia. Salah satu kota penghasil batik di Indonesia yang terkenal adalah Tuban. Kota ini dikenal sebagai penghasil batik gedog. Masyarakat di Kota Tuban melakukan semua proses produksi batik di rumah masing-masing dengan tujuan agar pekerjaan rumah tangga para pengrajin tidak ditinggalkan. Hal tersebut menyebabkan masyarakat Tuban tidak memiliki sistem pembuangan limbah yang baik dan terstandar sehingga hal ini memungkinkan air bekas pewarnaan akan meresap ke tanah dan mencemari air sumur yang digunakan untuk kegiatan sehari-hari (Prihatini, 2013). Masyarakat Tuban, khususnya Kecamatan Kerek, sebagian besar menggunakan pewarna batik sintetis karena dinilai penggunaan pewarna alami membutuhkan waktu proses yang rumit, waktu yang lama serta biaya yang lebih mahal (Rosyidah and Ciptadi, 2019).

Pewarna sintetis untuk batik mengandung beberapa bahan kimia seperti garam diazo atau garam diazodium ($R-N_2^+X^-$), kaustik soda Natrium hidroksida (NaOH), serta logam berat seperti Pb (Ferawati *et al.*, 2023). Toksisitas timbal dapat terakumulasi dalam berbagai organ tubuh seperti paru-paru, pembuluh darah, otak, testis, dan hati. Timbal juga menyebabkan sejumlah efek buruk pada sistem reproduksi baik pria maupun wanita, seperti penurunan libido, kerusakan kromosom, dan

gangguan spermatogenesis. Timbal dapat melewati plasenta dan mengganggu perkembangan janin karena mengganggu metabolisme kalsium. Wanita yang terpapar timbal mempunyai risiko berbagai komplikasi selama kehamilan termasuk keguguran, radikal bebas berlebihan dapat menurunkan status antioksidan eritrosit dan meningkatkan aktivitas lipid peroksidase (LPO) yang menyebabkan kerusakan pada membran eritrosit yang mengakibatkan akan terjadi penurunan jumlah eritrosit (Mandal *et al.*, 2022).

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi kandungan logam berat pada limbah pasca pewarnaan adalah dengan menggunakan abu cangkang kerang hijau sebagai adsorben. Cangkang kerang hijau mengandung 7,88% SiO₂, 1,25% Al₂O₃, 0,03% Fe₂O₃, 66,70% CaCO₃, dan 22,28% MgO (Wardani, 2022). Kandungan CaCO₃ pada cangkang kerang hijau yang dikalsinasi akan menghasilkan senyawa CaO yang merupakan komponen pengaktif sebagai pengadsorpsi logam berat Pb (Nadhilah *et al.*, 2022). Potensi cangkang kerang sebagai adsorben cemaran logam Pb dibuktikan oleh Jannah (2022) dan Padmiswari *et al.* (2023). Penelitian Jannah (2022) menunjukkan penurunan kadar Pb di Sungai Krueng Reuleung sebesar 88,6 % dengan menggunakan cangkang kerang langkitang. Padmiswari *et al.* (2023) membuktikan cangkang kerang darah mampu menurunkan kadar

Pb sebesar 64,61 % di perairan Serangan Bali.

Kandungan CaCO₃ kerang hijau 66,70% (Wardani, 2022) lebih rendah dibandingkan kerang langitang yaitu 98,30% (Jannah, 2022) dan kerang darah sebesar 98,7% (Padmiswari *et al.*, 2023). Perbedaan kandungan CaCO₃ dalam cangkang kerang menjadi dasar penelitian ini, karena diperlukan informasi potensi cangkang kerang hijau sebagai adsorben logam berat Pb. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh cangkang kerang hijau sebagai adsorben dengan konsentrasi berbeda terhadap berkurangnya cemaran logam berat Pb pada limbah pewarnaan batik. Disamping itu juga untuk mengetahui konsentrasi optimal cangkang kerang hijau untuk menurunkan cemaran logam berat Pb pada limbah pewarnaan batik.

2. Material dan Metode

Material

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah cangkang kerang hijau dengan panjang kerang ±10 cm yang diperoleh dari Pantai Kenjeran, Surabaya. Limbah cair pewarnaan batik diambil dari Kerek, Tuban. Adapun bahan pengujian logam berat Pb dengan SSA meliputi HNO₃ pekat dan air bebas mineral, sedangkan bahan karakterisasi abu cangkang kerang hijau menggunakan gas N₂. Peralatan untuk pengujian kadar Pb adalah Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) merk Shimadzu, dan untuk karakterisasi abu cangkang kerang adalah *Surface Area Analyzer* (SAA) merk Quantachrome TouchWin version 1.2.

Metode

Metode penelitian menggunakan metode eksperimental dengan pembuatan adsorben dari cangkang kerang hijau yang dilakukan dengan pengabuan (kalsinasi) cangkang kerang hijau menggunakan suhu 1000°C. Cangkang kerang hijau dicuci bersih lalu dikeringkan, kemudian dihancurkan dengan lumpang dan alu. Cangkang kerang yang telah dihancurkan kemudian di-*grinder* supaya ukurannya menjadi lebih kecil. Setelah itu

serbuk cangkang kerang dipanaskan dengan suhu 1000°C menggunakan *furnace* selama ±6 jam (Malau and Adinugraha, 2020). Abu didinginkan dalam desikator selama 30 menit, kemudian diayak dengan ayakan 200 mesh untuk mendapatkan ukuran abu 0,074 mm (Ifa *et al.*, 2018).

Abu cangkang hijau dikarakterisasi untuk mengetahui rerata jejari pori, volume pori total dan luas permukaannya. Karakterisasi abu cangkang kerang hijau dilakukan menggunakan *Surface Area Analyzer* dengan dua prinsip, yaitu *degassing* dan *analyzing*. *Degassing* merupakan mekanisme adsorpsi gas yang dilakukan dengan menghilangkan gas-gas yang terjerap dalam kondisi vakum. Sampel uji dimasukkan ke dalam batang kuarsa yang kemudian diletakkan pada *holder station*. Kemudian nitrogen cair dimasukkan pada dewar lalu dipanaskan dengan suhu ±77°K sehingga menguap. Selanjutnya jumlah gas nitrogen yang terjerap pada pori partikel adsorben dianalisis menggunakan SSA untuk mengetahui rerata jejari pori, volume pori total dan luas permukaannya.

Setelah dilakukan karakterisasi, abu cangkang kerang hijau digunakan sebagai adsorben Pb pada limbah pewarnaan batik dengan perlakuan penambahan abu cangkang kerang hijau sebanyak 10, 20, 30 gram (10 %, 20 %, 30 %) dalam 100 ml limbah pewarnaan batik. Pemilihan perlakuan ini mengacu pada penelitian Ifa *et al.* (2018) tentang pemanfaatan cangkang kerang dan cangkang kepiting sebagai adsorben logam berat tembaga, timbal, serta seng. Alasan pemilihan perlakuan ini dikarenakan pada penelitian tersebut tidak disebutkan jenis kerang yang digunakan sebagai adsorben logam berat. Kemudian dilakukan pengujian Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) untuk mengetahui pengurangan kadar Pb dari limbah pewarnaan batik. Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) sebagai uji lanjut. Analisis data ini menggunakan perangkat lunak SPSS.

3. Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi terdiri dari rerata jejari pori, volume pori total, dan luas permukaan dari partikel abu cangkang kerang hijau bertujuan untuk mengetahui

kekuatan adsorpsi abu cangkang kerang hijau yang digunakan sebagai adsorben. Hasil karakteristik dari abu cangkang kerang hijau tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakterisasi abu cangkang kerang hijau

Macam Karakterisasi	Hasil Karakterisasi	Hasil Penelitian Lain
Rerata Jejari Pori	10,674 nm	1,607 nm (Thaib <i>et al.</i> , 2021)
Volume Pori Total	0,005 cc/g	0,004 cc/g (Thaib <i>et al.</i> , 2021)
Luas Permukaan	0,969 m ² /g	138,601 m ² /g (Chairunisa <i>et al.</i> , 2022)

Pengujian kadar Pb pada limbah pewarna batik dilakukan sebanyak dua kali, yaitu sebelum perlakuan dan setelah perlakuan. Hasil pengujian kadar Pb pada limbah pewarnaan batik sebelum perlakuan adalah $0,328 \pm 0,0036$ mg/L. Pemberian abu cangkang kerang hijau pada limbah pewarnaan batik memberikan pengaruh signifikan terhadap berkurangnya kadar Pb dalam limbah tersebut. Pemberian abu cangkang kerang hijau sebanyak 30 % dalam 100 ml limbah pewarnaan batik dapat menurunkan kadar Pb paling tinggi (68,52% dengan kadar Pb $0,102 \pm 0,0046$ mg/L.) jika dibandingkan dengan perlakuan 10 % dan 20 % abu cangkang kerang hijau (Tabel 2).

Penurunan kadar Pb pada limbah perwanaan batik dikarenakan cangkang kerang hijau terdapat komponen CaO yang merupakan hasil kalsinasi dari

senyawa CaCO_3 yang dapat mengadsorpsi Pb. Menurut Hartati *et al.* (2011), CaO merupakan komponen pengaktif yang dapat berikatan dengan senyawa toksik. Adsorpsi yang terjadi antara CaO dengan Pb adalah adsorpsi kimia (kimisorpsi) karena dalam proses adsorpsi ini terjadi pembentukan ikatan kimia antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben (Wang *et al.*, 2021). CaO tersusun atas ion Ca^{2+} dan O^{2-} yang terikat dengan ikatan ionik. Ikatan di antara keduanya bersifat ionik karena kalsium menyumbangkan elektron ke oksigen yang diikat oleh gaya elektrostatis. CaO dapat berikatan dengan Pb membentuk PbO dan Ca karena Pb dapat menyumbangkan elektron ke oksigen sehingga menghasilkan ikatan ionik antara ion Pb^{2+} dengan ion O^{2-} sehingga membentuk PbO.

Tabel 2. Hasil uji SSA logam timbal limbah pewarna batik

Pengujian SSA	Kadar Pb (mg/L)	% Penurunan	Standar (mg/L) (Peraturan BPOM No. 9 Tahun 2022)
Sebelum Perlakuan	$0,328 \pm 0,0036^d$	-	< 0,005
Sesudah Perlakuan			
Kontrol (0 % abu cangkang kerang hijau)	$0,328 \pm 0,0036^d$	-	< 0,005
P1 (10 % abu cangkang kerang hijau)	$0,224 \pm 0,0025^c$	30,86 %	< 0,005
P2 (20 % abu cangkang kerang hijau)	$0,158 \pm 0,0028^b$	51,23 %	< 0,005
P3 (30 % abu cangkang kerang hijau)	$0,102 \pm 0,0046^a$	68,52 %	< 0,005

Keterangan: Notasi ditunjukkan dengan huruf *superscript* berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan ($P < 0,05$).

CaO abu cangkang kerang hijau digunakan sebagai adsorben Pb pada limbah pewarnaan batik sehingga semakin banyak abu cangkang kerang hijau yang digunakan sebagai adsorben maka semakin banyak pula CaO yang dapat berikatan dengan Pb sehingga kandungan Pb dalam limbah pewarnaan batik menurun. Selain CaO, penyerapan Pb oleh abu cangkang kerang juga dipengaruhi oleh rerata jejari pori, volume pori total, dan luas permukaan pada abu cangkang kerang hijau. Berdasarkan penelitian rerata jejari pori pada abu cangkang kerang hijau yang digunakan sebagai adsorben adalah 10,674 nm. Sedangkan jari-jari ionik Pb^{2+} adalah 0,119 nm, lebih kecil dari rerata jejari pori adsorben (Wang *et al.*, 2021).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa material pori abu cangkang kerang hijau yang digunakan termasuk dalam mesopori karena memiliki diameter antara 2-50 nm. Adsorben mesopori dapat menghilangkan Pb dengan sensitivitas dan selektivitas yang tinggi (Awual and Hasan, 2014). Adsorben mesopori dapat menghilangkan berbagai polutan, termasuk anion nitrat, pewarna, serta logam berat seperti Pb dengan sensitivitas dan selektivitas yang tinggi (Grozdoz and Zinicovscaia, 2023). Dibandingkan dengan adsorben mikropori, adsorben mesopori menyisakan ruang yang lebih besar untuk modifikasi permukaan (Liu *et al.*, 2007). Adsorpsi pada adsorben mesopori diharapkan cepat karena ukuran pori besar dan lebih mudah diakses oleh adsorbat (Lam *et al.*, 2006).

Volume pori total pada abu cangkang kerang hijau pada penelitian ini adalah 0,005 cc/g. Pada penelitian Nasution and Iriany (2015), volume pori total pada cangkang kerang bulu yang digunakan adalah 2,041 cc/g dengan suhu kalsinasi 500°C. Volume pori total abu cangkang kerang hijau hasil penelitian ini lebih kecil diduga karena penggunaan suhu 1000°C dalam proses kalsinasi.

Jenis kerang yang berbeda memiliki senyawa penyusun cangkang kerang yang berbeda pula sehingga karakteristiknya juga berbeda.

Karakteristik material adsorben sangat berpengaruh terhadap kinerjanya dalam proses adsorpsi, salah satunya adalah luas permukaan dan karakteristik pori (Onaola *et al.*, 2020). Luas permukaan pada abu cangkang kerang hijau hasil penelitian ini adalah 0,969 m²/g. Luas permukaan adsorben berhubungan langsung dengan kapasitas adsorpsinya. Semakin tinggi luas permukaan adsorben, semakin tinggi pula kapasitas adsorpsinya. Hal tersebut dikarenakan luas permukaan yang lebih besar menyediakan lebih banyak tempat untuk terjadinya adsorpsi. Luas permukaan juga berkaitan dengan rerata jejari pori dan volume pori total. Apabila rerata jejari kecil namun setiap pori memiliki cekungan yang dalam maka volume pori total akan semakin besar, begitu pula apabila jumlah pori pada setiap partikel semakin banyak maka luas permukaan partikel tersebut juga akan semakin besar (Liang *et al.*, 2022).

Luas permukaan abu cangkang kerang hasil penelitian ini (0,969 m²/g) lebih kecil bila dibandingkan dengan penelitian Chairunisa *et al.* (2022) (138,601 m²/g) dan Thaib *et al.* (2021) (10,791 m²/g). Luas permukaan adsorben berhubungan langsung dengan kapasitas adsorpsinya. Semakin besar luas permukaan adsorben, semakin besar pula kapasitas adsorpsinya. Apabila rerata jejari kecil namun setiap pori memiliki cekungan yang dalam maka volume pori total akan semakin besar, begitu pula apabila jumlah pori pada setiap partikel semakin banyak maka luas permukaan partikel tersebut juga akan semakin besar (Liang *et al.*, 2022).

Nilai luas permukaan yang kecil abu cangkang kerang hijau hasil penelitian ini juga disebabkan karena suhu kalsinasi yang terlalu tinggi yaitu 1000°C. Hasil analisis XRD pada suhu 1000°C tidak ditemukan kristalisasi CaCO₃ karena telah melebur semua menjadi CaO (Rahmawan, 2019). Namun menurut penelitian Fu *et al.* (2020), luas permukaan spesifik, luas permukaan mikropori, volume pori total, dan volume mikropori awalnya meningkat seiring suhu

hingga 900°C, namun kemudian menurun pada suhu 1000°C. Penelitian Ivontianti *et al.* (2022) juga membuktikan bahwa kalsinasi cangkang keong susuh kura dengan suhu 500°C diperoleh abu dengan luas permukaan lebih besar daripada suhu 900°C. Suhu kalsinasi yang terlalu tinggi dapat merusak struktur pori pada partikel adsorben sehingga luas permukaan menjadi kecil (Kurniati *et al.*, 2020), merusak permukaan pori serta distribusi pori yang tidak merata (Charlena *et al.*, 2008).

Menurut Anugerah (2015), untuk menjadi adsorben yang efektif maka harus memiliki luas permukaan minimal 5 m²/g agar penyerapan lebih optimal dengan luas permukaan yang lebih besar. Manullang and Herlinawati (2023) berpendapat bahwa luas permukaan dapat diperbesar dengan memperbanyak jumlah partikel atau menggunakan zat pengaktif H₃PO₄ (asam fosfat) untuk membersihkan pori dari zat pengotor.

Pb merupakan salah satu logam berat yang banyak ditemukan di perairan dan bersifat akumulatif. Pb yang terakumulasi di dalam tubuh dapat menghambat sintesis sel darah merah. Oleh itu pemerintah menetapkan standar Pb maksimal dalam Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 9 Tahun 2022 adalah <0,005 mg/L. Berdasarkan standar tersebut kandungan Pb dalam penelitian ini di atas batas maksimal. Setelah proses penggunaan abu cangkang kerang hijau sebagai adsorben diperlukan perlakuan lebih lanjut karena limbah pewarnaan batik termasuk kategori limbah B3 sesuai dengan Peraturan Menteri Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2021.

4. Kesimpulan

Cangkang kerang hijau berpotensi dapat menurunkan cemaran logam berat kadar Pb pada limbah pewarna batik. Konsentrasi 30 % abu cangkang kerang hijau merupakan konsentrasi optimal untuk menurunkan cemaran logam berat Pb pada limbah pewarnaan batik sebesar 68,52%.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi berharga dalam penelitian ini.

Kontribusi Penulis

Semua penulis telah berkontribusi pada naskah akhir. Kontribusi seluruh penulis: Savalda Rosca Pradipta, dan Juni Triastuti: konseptualisasi, metodologi, analisis format, penyusunan *draft* asli, penulisan *review* dan *editing*. Nina Nurmalia Dewi: menulis *review* dan mengedit. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan.

Konflik Kepentingan

Penulis tidak memiliki konflik kepentingan terkait penelitian ini.

Pendanaan

Penelitian ini menggunakan dana mandiri.

Daftar Pustaka

- Anugerah A. S. (2015). Pemanfaatan limbah cangkang kerang bulu sebagai adsorben untuk menjerap logam kadmium (II) dan Timbal (II). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(3):40-45.
- Awual, M. R., & Hasan, M. M. (2014). A novel fine-tuning mesoporous adsorbent for simultaneous lead (II) detection and removal from wastewater. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 202:395-403.
- Chairunisa, A. N. (2022). Sintesis komposit CaO/Fe₃O₄ dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dan aplikasinya sebagai adsorben zat warna Congo Red. Skripsi. Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Charlena, Purwaningsih, H., & Tina, R. (2008). Pencirian dan uji aktivitas katalitik zeolit alam teraktivasi. *Jurnal Riset Kimia*, 1(2):107-116.

- Ferawati, F., Trisnawati, D., Zam, R., & Hendra, H. (2023). Edukasi melalui workshop pembuatan kain ikat celup bagi siswa MAN 3 Padangpanjang. *Jurnal Abdidas*, 3(4):238-249.
- Fu, J., Zhang, J., Jin, C., Wang, Z., Wang, T., Cheng, X., & Ma, C. (2020). Effects of temperature, oxygen and steam on pore structure characteristics of coconut husk activated carbon powders prepared by one-step rapid pyrolysis activation process. *Bioresource Technology*, 310(123413):1-8.
- Grozdov, D., & Zinicovscaia, I. (2023). Mesoporous materials for metal-laden wastewater treatment. *Materials* 16(5864):1-16.
- Hartati, I., Riwayati, I., & Kurniasari, L. (2011). Potensi xanthate pulpa kopi sebagai adsorben pada pemisahan ion timbal dari limbah industri batik. *Momentum*, 7(2):25-30.
- Ifa, L., Akbar, M., Ramli, A. F., & Wiyani, L. (2018). Pemanfaatan cangkang kerang dan cangkang kepiting sebagai adsorben logam Cu, Pb, dan Zn pada limbah industri pertambangan emas. *Journal of Chemical Process Engineering*, 3(1):33-37.
- Ivontianti, W. D., Khairi, S., Devitasari, R., & Yusup, Y. (2022). Pemanfaatan cangkang keong susuh kura (*Sulcospira Testudinaria*) sebagai adsorben untuk menyerap logam besi (Fe) di perairan dengan kajian variasi suhu kalsinasi adsorben. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 10(1):38-47.
- Jannah, M. (2022). Pemanfaatan cangkang kerang langitang (*Faunus ater*) sebagai biosorben untuk menyerap logam berat timbal (Pb) di Sungai Krueng Reuleung. Thesis. Banda Aceh: Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
- Kurniati, Y., Septiani, E. L., Prastuti, O. P., Purnomo, V., Dewi, S. S. N., & Mahmuddin, I. (2020). Pengaruh waktu terhadap temperatur aktivasi dari kulit pisang (*Musa paradisiaca* L.) dalam pembuatan katalis. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 4(1):33-37.
- Lam, K. F., Yeung, K. L., & McKay, G. (2006). A rational approach in the design of selective mesoporous adsorbent. *Langmuir*, 22(23):9632-9641.
- Liang, Y., Zhao, B., & Yuan, C. (2022). Adsorption of atrazine by Fe-Mn-modified: The dominant mechanism of π - π interaction and pore structure. *Agronomy*, 12(3097):1-15.
- Liu, X., Zhou, L., Fu, X., Sun, Y., Su, W., & Zhou, Y. (2007). Adsorption and regeneration study of the mesoporous adsorbent SBA-15 adapted to the capture/separation of CO₂ and CH₄. *Chemical Engineering Science*, 62(4):1101-1110.
- Malau, N. D. & Adinugraha, F. (2020). Penentuan suhu kalsinasi optimum CaO dari cangkang telur bebek dan cangkang telur burung puyuh. *EduMatSains: Jurnal Pendidikan, Matematika, dan Sains*, 4(2):193-202.
- Mandal, G. C., Nandi, A. M., & Cakraborty, A. (2022). The toxic effect of lead on human health – a review. *Journal of the Auxological Society*, 3:1-11.
- Manullang, P. & Herlinawati. (2023). Preparation and characterization of adsorbents from oil palm fronds coated with nanochitosan from green mussel shells. *Indonesian Journal of Advanced Research*, 2(10):1373-1386.
- Nadhilah, F., Nurhayati, & Handayani, L. (2022). Gambaran histologi usus ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang diberikan pakan dengan campuran adsorben cangkang langitang (*Faunus ater*). *Jurnal TILAPIA (Ilmu Perikanan dan Perairan)*, 3(2):51-60.

- Nasution, J. H., & Iriany. (2015). Pembuatan adsorben dari cangkang kerang bulu yang diaktivasi secara termal sebagai pengadsorpsi fenol. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(4): 51-57.
- Onaola, B. M., Utubira, Y., & Manuhuttu, J. B. (2020). Pilarisasi lempung alam Desa Ouw dengan Al_2O_3 sebagai adsorben zat warna metil orange. *Molluca Journal of Chemistry Education*, 10(1):63-71.
- Padmiswari, A. A. I. M., Wulansari, N. T., & Indrawan, G. S. (2023). Pemanfaatan cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) sebagai adsorben logam Pb pada perairan Serangan Bali. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 8(1):80-87.
- Prihatini, D. (2013). Persepsi pengrajin batik tentang penerapan *self-help groups* dalam rangka penguatan Sentra Industri Batik. *Repository Universitas Jember*. <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/56234>
- Rahmawan, Z. R. (2019). Karakteristik $CaCO_3$ dari hasil sintesis cangkang kerang darah sebagai alternatif terapi pada kerusakan tulang dengan berbagai variasi suhu. Skripsi. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Rosyidah, S. & Ciptadi, F. (2019, Agustus). Pengembangan kain tenun gedog Tuban bertekstur dengan pewarna alam mahoni. *e-Proceeding of Art and Design*. Bandung: Universitas Telkom.
- Thaib, A., Wati, E., Handayani, L., & Nurhayati. (2021). Pengaruh pemberian adsorben cangkang langkitang (*Faunus ater*) untuk mereduksi kadar amonia pada media budidaya benih ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal TILAPIA (Ilmu Perikanan dan Perairan)*, 3(1):1-7.
- Wang, Q., Jiang, F., Ouyang, X. K., Yang, L. Y., & Wang, Y. (2021). Adsorption of Pb (II) from aqueous solution by mussel shell-based adsorbent: Preparation, characterization, and adsorption performance. *Materials*, 14(741):1-17.
- Wardani, D. A. K. (2022). Pengaruh pemanfaatan serbuk cangkang kerang hijau (*Perna viridis* L.) sebagai bahan substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.