

Analisis *Life Cycle Assessment* Produksi Biokoagulan Cangkang Maggot

Marshanda Afifa Shalsabila, Euis Nurul Hidayah*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: euisnh.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 1 Oktober 2025

Disetujui: 12 Oktober 2025

Abstract

Black soldier fly shell as biocoagulant is considered effective in removing pollutants, making it a potential alternative coagulant in the coagulation-flocculation process. However, studies on the environmental impact of natural coagulant production need to be conducted as an assessment of the sustainability of natural coagulants. This study aims to analyze the environmental impacts caused by the production of black soldier fly shell biocoagulant using Life Cycle Assessment (LCA) with the ReCiPe 2016 method through Midpoint and Endpoint approaches using the SimaPro 9.6.0.1 software. The Life Cycle Assessment (LCA) was conducted with a gate-to-gate system boundary and a functional unit of 0.1 kg of raw biocoagulant material. Based on the results, the Midpoint approach showed the largest impact category as human carcinogenic toxicity with a total score of 1.07. Additionally, the Endpoint approach identified the largest impact category as human health with a total score of 20.7 Pt. The biggest contributor to the environmental impact in the production of black soldier fly shell biocoagulant is the chitosan dissolution stage, amounting to 5.11 Pt from the total human health impact. This is caused by electricity use, which affects human health.

Keywords: *biocoagulant, black soldier fly shells, life cycle assessment, simapro 9.6.0.1*

Abstrak

Biokoagulan cangkang maggot dinilai efektif untuk menyisihkan polutan, sehingga berpotensi sebagai alternatif koagulan pada proses koagulasi-flokulasi, namun kajian terhadap dampak produksi koagulan alami perlu dilakukan sebagai penilaian keberlanjutan penggunaan koagulan alami. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan yang ditimbulkan pada produksi biokoagulan cangkang maggot menggunakan *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan metode *Recipe 2016* pada pendekatan *Midpoint* dan *Endpoint* dengan *software* SimaPro 9.6.0.1. *Life Cycle Assessment* (LCA) dilakukan pada batasan *gate to gate* dengan unit fungsional 0,1 kg bahan baku mentah biokoagulan. Berdasarkan hasil kajian *Life Cycle Assessment* (LCA), pendekatan *midpoint* dihasilkan kategori dampak terbesar utama, yaitu *human carcinogenic toxicity* dengan total 1,07. Selain itu, pada pendekatan *endpoint* dihasilkan kategori dampak terbesar utama, yaitu *human health* dengan total 20,7 Pt. Titik *hotspot* atau penyumbang dampak lingkungan terbesar pada produksi biokoagulan cangkang maggot adalah tahap pelarutan kitosan cangkang maggot, yaitu sebesar 5,11 Pt dari total *human health*. Hal ini disebabkan oleh penggunaan listrik yang berdampak pada kesehatan manusia.

Kata Kunci: *biokoagulan, cangkang maggot, life cycle assessment, simapro 9.6.0.1*

1. Pendahuluan

Koagulasi-flokulasi merupakan teknologi yang umum digunakan pada pengolahan air bersih dan air limbah. Koagulasi-flokulasi merupakan proses pengolahan air dengan penambahan bahan koagulan yang membantu partikel-partikel tersuspensi untuk menggumpal dan membentuk flok sehingga partikel tersebut mudah mengendap [1]. Bahan koagulan sangat berpengaruh terhadap proses koagulasi flokulasi sehingga pemilihan koagulan yang tepat sangat penting agar mencapai hasil pengolahan air yang optimal. Koagulan kimia, seperti tawas dan PAC sering digunakan pada pengolahan air yang memiliki efektivitas yang tinggi, tetapi dapat menyebabkan masalah kesehatan dan dampak negatif terhadap lingkungan. Hal tersebut dapat diatasi dengan pengembangan koagulan yang berasal dari bahan alami, seperti koagulan berbahan dasar hewani [2].

Koagulan alami dianggap menjadi solusi pengolahan air yang ramah lingkungan dan berkelanjutan karena dianggap memiliki sifat tidak beracun dan mudah terurai serta mendukung keberlanjutan terhadap sumber daya air [3]. Salah satu potensi koagulan alami, yaitu koagulan alami yang berasal dari cangkang maggot. Cangkang maggot mengandung protein 44,5%, lemak 7,7%, abu 9,9%, dan 23% kitin [4]. Kitin

yang terkandung pada cangkang maggot kemudian dilakukan pemisahan mineral (demineralisasi) dan pemisahan protein (deproteinasi) agar menjadi kitosan [5].

Penggunaan cangkang maggot sebagai biokoagulan telah banyak diteliti dan efektif dalam menurunkan parameter kekeruhan sebesar 92% dan dapat menurunkan parameter TSS sebesar 80% [6] [7]. Namun, penelitian saat ini cenderung berfokus pada kinerja teknis, seperti efektivitas penyisihan polutan tanpa mempertimbangkan dampak lingkungan yang ditimbulkan pada penggunaan koagulan alami [8]. Pada skala industri, penggunaan koagulan alami masih sangat rendah karena keterbatasan data mengenai dampak lingkungan yang ditimbulkan sehingga kajian terhadap dampak produksi koagulan alami perlu dilakukan sebagai bahan pertimbangan pada pengaplikasiannya [3]. Dampak lingkungan suatu koagulan dapat dinilai dengan menggunakan *Life Cycle Assessment* (LCA) yang dapat mengidentifikasi dan mengukur dampak lingkungan dari suatu produk secara rinci melalui masing-masing komponen proses produksi [9], termasuk dampak lingkungan yang ditimbulkan akibat proses produksi biokoagulan cangkang maggot. Tujuan penerapan *Life Cycle Assessment* (LCA) adalah untuk mengidentifikasi, menghitung, sebagian atau seluruhnya dari pertimbangan lingkungan, dan keberlanjutan sumber daya alam.

2. Metode Penelitian

Analisis dampak lingkungan produksi biokoagulan cangkang maggot dilakukan dengan menggunakan *Life Cycle Assessment* (LCA), yaitu metode pendekatan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari suatu proses produksi [10]. *Life Cycle Assessment* (LCA) dilakukan berdasarkan ISO 14040 yang terdiri dari empat tahap, yaitu penentuan tujuan dan ruang lingkup (*goal and scope definition*), analisis inventaris (*inventory analysis*), evaluasi dampak (*impact assessment*), dan interpretasi hasil [11].

Goal and Scope

Life Cycle Assessment (LCA) pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan yang ditimbulkan akibat proses produksi biokoagulan cangkang maggot pada batasan *gate to gate* dengan unit fungsional 0,1 kg bahan baku mentah biokoagulan. Penelitian ini menggunakan *software* SimaPro 9.6.0.1 dengan data yang diperoleh dari hasil proses produksi biokoagulan cangkang maggot pada skala laboratorium yang selanjutnya diolah dan dianalisis menggunakan metode *Recipe 2016* pada pendekatan *midpoint* dan *endpoint*.

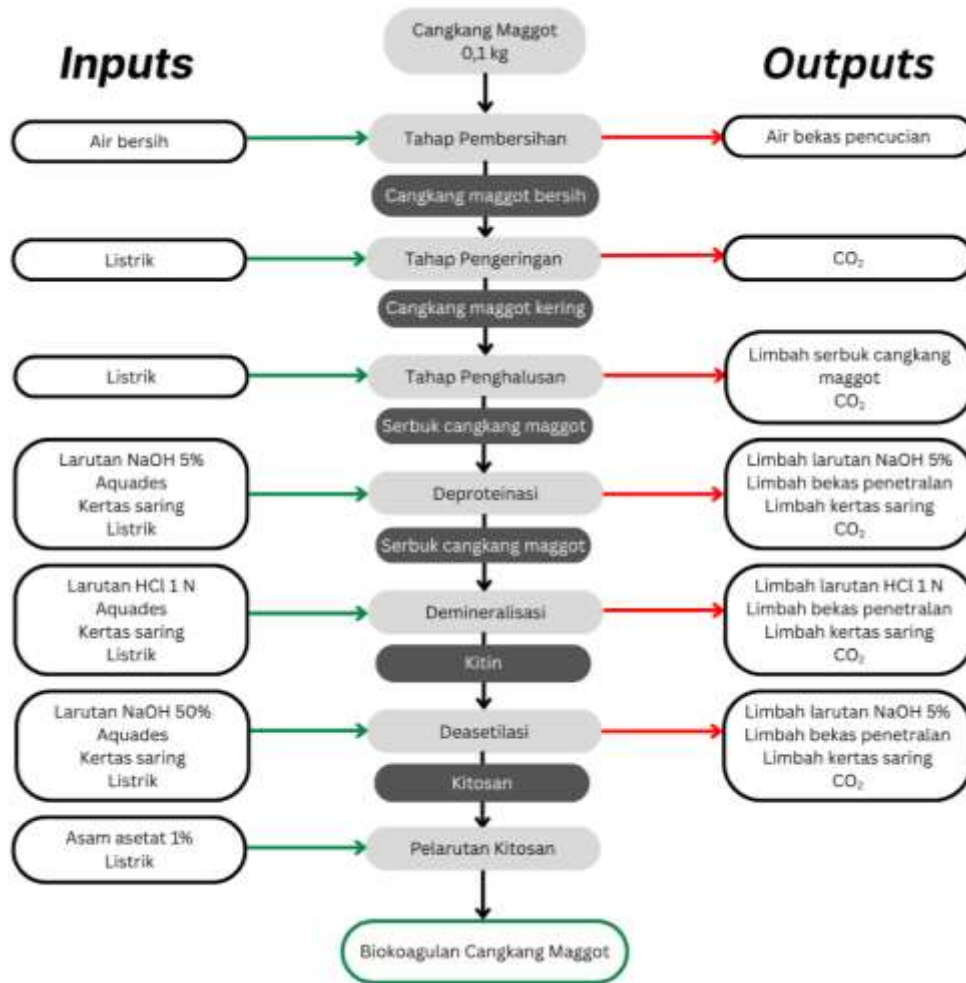
Life Cycle Inventory (LCI)

Life cycle inventory (LCI) diperoleh dari hasil proses produksi biokoagulan cangkang maggot yang terdiri dari tujuh tahapan, yaitu pembersihan, pengeringan, penghalusan, deproteinasi, demineralisasi, deasetilasi, dan pelarutan kitosan.

Tahap pembersihan dilakukan dengan membersihkan cangkang maggot secara menyeluruh hingga bersih dari zat pengotor menggunakan air mengalir. Kemudian, cangkang maggot yang telah dibersihkan, dikeringkan menggunakan oven suhu 105°C selama 24 jam [12]. Cangkang maggot yang telah dikeringkan akan dihancurkan hingga halus menjadi serbuk menggunakan blender dan diayak menggunakan mesh 60. Setelah dihaluskan dan diayak, serbuk cangkang maggot mulai diekstraksi pada tahap deproteinasi menggunakan larutan NaOH 5% dengan perbandingan (1:10) (b/v). Setelah itu, campuran diaduk selama dua jam pada suhu 100°C dan larutan didinginkan serta disaring. Sampel yang diperoleh dicuci hingga mencapai pH 7 atau netral menggunakan aquades kemudian dioven di suhu 100°C hingga kering [13]. Serbuk cangkang maggot yang telah melalui tahap deproteinasi akan masuk ke tahap demineralisasi, yaitu dilarutkan menggunakan HCl 1 N dengan perbandingan 1:10 (b/v).

Kemudian, diaduk selama satu jam pada suhu 80°C. Setelah itu, sampel didinginkan dan disaring. Sampel yang diperoleh dicuci hingga mencapai pH 7 menggunakan aquades kemudian dioven di suhu 100°C hingga kering dan didapatkan hasil kitin [13]. Kitin yang telah diperoleh pada tahap demineralisasi akan dilanjutkan ke tahap deasetilasi, yaitu dilarutkan dengan NaOH 50% dengan perbandingan 1:10 (b/v). Setelah itu, campuran dipanaskan pada suhu 100°C dan diaduk selama dua jam. Setelah dingin, sampel disaring dan dicuci hingga mencapai pH 7 menggunakan aquades, kemudian dioven di suhu 100°C hingga kering dan diperoleh ekstrak kitosan [13].

Kitosan yang diperoleh selanjutnya akan dilarutkan menjadi biokoagulan cair dengan dilarutkan menggunakan asam asetat 1% dengan perbandingan 1:100 (gr/ml). Pada proses ini digunakan proses pengadukan menggunakan magnetic stirrer untuk memastikan kitosan terlarut sempurna dengan durasi pelarutan selama enam jam [13]. Semua tahapan tersebut disajikan dalam batasan sistem *gate to gate* yang digambarkan secara skematis pada **Gambar 1**.



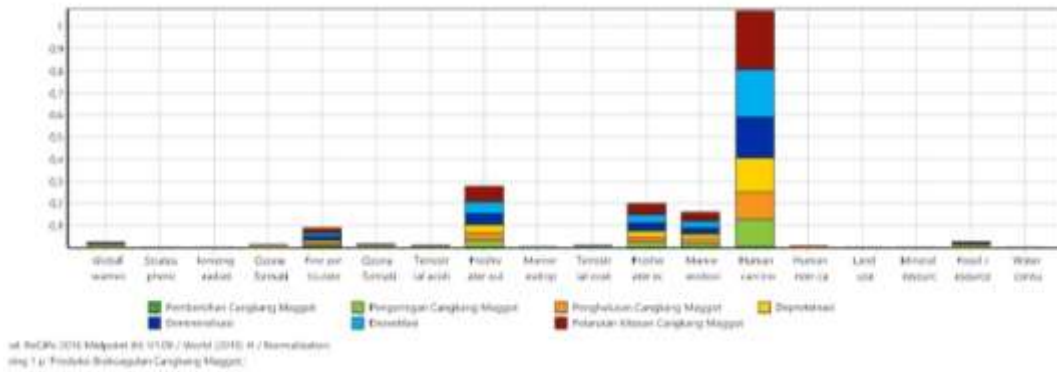
Gambar 1. Flowchart Produksi Biokoagulan Cangkang Maggot

3. Hasil dan Pembahasan

Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Tahap LCIA merupakan penilaian terhadap potensi dampak lingkungan berdasarkan *Life Cycle Inventory* (LCI) yang bertujuan untuk mengelompokkan dampak lingkungan menjadi berbagai kategori serta diberi bobot atau nilai berdasarkan kepentingannya serta akan menjadi informasi untuk menginterpretasikan pada fase akhir [14]. Metode *Recipe midpoint* menunjukkan dampak lingkungan pada titik tengah dalam jalur sebab-akibat dari suatu dampak lingkungan. Metode ini dilakukan untuk mengukur potensi dari dampak tertentu dan mewakili kategori disepanjang jalur sistem sebelum sampai ke kerusakan akhir. Metode *Recipe endpoint* merupakan dampak akhir yang menunjukkan kerusakan terhadap kesehatan manusia (*Human Health*), kerusakan ekosistem (*Ecosystem Quality*), dan penggunaan sumber daya alam (*Resources*). Dampak ini dirasakan secara langsung oleh manusia dan lingkungan yang merupakan hasil dari dampak lingkungan yang sebelumnya dikategorikan dalam *midpoint* [11].

Hasil LCIA pada **Gambar 2** menunjukkan, pada pendekatan *midpoint*, hasil normalisasi nilai dampak pada proses produksi biokoagulan cangkang maggot memiliki dampak terbesar pada *human carcinogenic toxicity*. Selanjutnya, dampak terbesar kedua adalah *freshwater eutrophication* dan dampak terbesar ketiga adalah *freshwater ecotoxicity*.



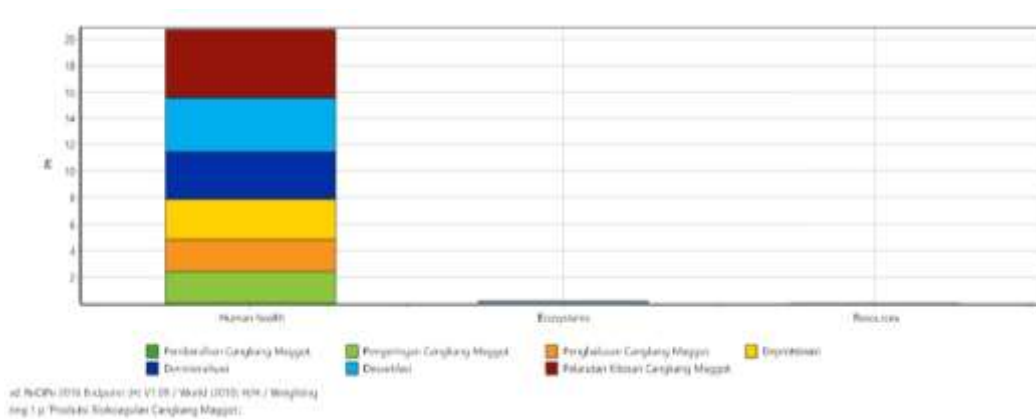
Gambar 2. Normalisasi Nilai Midpoint Dampak Proses Produksi Biokoagulan Cangkang Maggot

Berikut adalah Tabel 1 urutan dampak terbesar pada keseluruhan proses produksi biokoagulan cangkang maggot.

Tabel 1. Urutan Dampak Terbesar Pada Pendekatan Midpoint

Kategori Dampak	Total	Pembersihan	Pengeringan	Penghalusan	Deproteinasi	Demineralisasi	Deasetilasi	Pelarutan Kitosan
Human Carcinogenic Toxicity	1,07	0,00238	0,123	0,123	0,157	0,181	0,218	0,264
Freshwater eutrophication	0,276	6,52E-5	0,0321	0,0322	0,0408	0,047	0,055	0,0684
Freshwater ecotoxicity	0,199	0,000374	0,0231	0,0232	0,0293	0,0337	0,040	0,0489

Selanjutnya, hasil LCIA pada pendekatan endpoint menunjukkan, hasil weighting atau pembobotan pada Gambar 3, dampak human health merupakan dampak utama terbesar pada proses produksi biokoagulan cangkang maggot. Berdasarkan hasil tersebut, diperoleh titik hotspot yang merupakan proses atau tahapan yang memiliki kontribusi terbesar terhadap dampak lingkungan. Identifikasi titik hotspot dilakukan sebagai acuan untuk menentukan rekomendasi perbaikan yang tepat [15]. Titik hotspot pada produksi biokoagulan cangkang maggot terdapat pada tahap pelarutan kitosan.



Gambar 3. Weighting/Pembobotan Dampak Proses Produksi Biokoagulan Cangkang Maggot

Berikut adalah Tabel 2 urutan dampak terbesar pada keseluruhan proses produksi biokoagulan cangkang maggot.

Tabel 2. Urutan Dampak Terbesar Pada Pendekatan Endpoint

Kategori Dampak	Unit	Total	Pembersihan	Pengeringan	Penghalusan	Deproteinasi	Demineralisasi	Deasetilasi	Pelarutan Kitosan
Human Health	Pt	20,7	0,00437	2,42	2,43	3,06	3,53	4,15	5,11
Ecosystems	Pt	0,2	0,00031	0,0231	0,0232	0,0295	0,034	0,040	0,0492
Resources	Pt	0,292	4,78E-5	0,00328	0,00329	0,0042	0,00496	0,006	0,0073

Interpretasi Hasil

Berdasarkan hasil LCIA pada pendekatan *midpoint* yang ditunjukkan pada Gambar 2, hasil normalisasi nilai dampak pada proses produksi biokoagulan cangkang maggot memiliki dampak terbesar pada *human carcinogenic toxicity*. Hal ini disebabkan oleh penggunaan listrik pada proses produksi biokoagulan cangkang maggot. Dampak terbesar kedua adalah *freshwater eutrophication* yang timbul akibat limbah dari proses produksi, seperti limbah pencucian cangkang maggot. Selain itu, dampak terbesar ketiga adalah *freshwater ecotoxicity* yang dapat timbul akibat limbah cair hasil penggunaan bahan kimia, yaitu NaOH 5%, HCl 1 N, NaOH 50%, dan asam asetat (CH₃COOH) pada proses produksi. Hal tersebut dapat masuk ke perairan dan meracuni organisme air tawar karena bahan kimia tersebut bersifat korosif yang dapat mengubah pH di perairan.

Selanjutnya, berdasarkan hasil LCIA pada pendekatan *endpoint* yang ditunjukkan pada Gambar 3, hasil pembobotan dampak pada proses produksi biokoagulan cangkang maggot memiliki dampak terbesar pada *human health*. Kategori terdampak tersebut timbul akibat dampak *human carcinogenic toxicity* pada titik tengah (*midpoint*). Hal ini disebabkan oleh emisi dari penggunaan listrik pada tahap ekstraksi disepanjang proses produksi. Berdasarkan hasil tersebut, tahap pelarutan kitosan menjadi titik fokus perbaikan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis *Life Cycle Assessment (LCA)*, produksi biokoagulan cangkang maggot menghasilkan dampak lingkungan *human carcinogenic toxicity* akibat penggunaan listrik hampir di semua tahapan produksi. Dampak *human carcinogenic toxicity* tersebut dapat berdampak pada kerusakan yang dirasakan oleh manusia, yaitu *human health*. Adapun titik *hotspot* atau penyumbang dampak lingkungan terbesar pada produksi cangkang maggot adalah tahap pelarutan kitosan, yaitu sebesar 5,11 Pt dari total *human health*. Berdasarkan hasil tersebut, dapat dilakukan perbaikan pada tahapan ini, yaitu penggunaan listrik dapat dilakukan dengan optimalisasi pada proses pelarutan dengan meningkatkan kecepatan pengadukan untuk mempercepat pelarutan sehingga mempersingkat durasi pencampuran. Hal ini dilakukan agar total energi yang digunakan dan emisi CO₂ yang dihasilkan lebih rendah jika durasi pencampuran berkurang.

5. Daftar Pustaka

- [1] Alfirdaus, Nisrina Beauty. *Analisis Kinetika Degradasi TSS dan Kekeruhan Menggunakan Koagulan Carica Papaya Pada Pengolahan Air Limbah Laundry*. Diss. UPN Veteran Jawa Timur, 2023.
- [2] Kurniawan, Setyo Budi, et al. "What compound inside biocoagulants/bioflocculants is contributing the most to the coagulation and flocculation processes?." *Science of the Total Environment* 806 (2022): 150902.
- [3] W. L. Ang and A. W. Mohammad, "State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment," *J. Clean. Prod.*, vol. 262, p. 121267, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121267.
- [4] L. Soetemans, M. Uyttebroek, and L. Bastiaens, "Characteristics of chitin extracted from black soldier fly in different life stages," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 165, pp. 3206–3214, 2020, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.11.041.
- [5] R. Ardianto and R. Amalia, "Optimasi Proses Deasetilasi Kitin menjadi Kitosan dari Selongsong Maggot menggunakan RSM," *Metana*, vol. 19, no. 1, pp. 1–12, 2023, doi: 10.14710/metana.v19i1.50480.
- [6] B. T. Iber *et al.*, "A study on the recovery and characterization of suspended solid from aquaculture wastewater through coagulation/flocculation using chitosan and its viability as organic fertilizer," *J. Agric. Food Res.*, vol. 11, no. December 2022, p. 100532, 2023, doi: 10.1016/j.jafr.2023.100532.
- [7] E. Siswoyo, R. N. Zahra, N. H. A. Mai, A. Nurmiyanto, K. Umemura, and T. Boving, "Chitosan of blood cockle shell (*Anadara granosa*) as a natural coagulant for removal of total suspended solids (TSS) and turbidity of well-water," *Egypt. J. Aquat. Res.*, vol. 49, no. 3, pp. 283–289, 2023, doi: 10.1016/j.ejar.2023.04.004.
- [8] M. Kamali, D. P. Suhas, M. E. Costa, I. Capela, and T. M. Aminabhavi, "Sustainability considerations in membrane-based technologies for industrial effluents treatment," *Chem. Eng. J.*, vol. 368, no. February, pp. 474–494, 2019, doi: 10.1016/j.cej.2019.02.075.
- [9] L. Corominas *et al.*, "The application of life cycle assessment (LCA) to wastewater treatment: A best practice guide and critical review," *Water Res.*, vol. 184, p. 116058, 2020, doi:

- 10.1016/j.watres.2020.116058.
- [10] S. P. Hamonangan, N. U. Handayani, and A. Bakhtiar, "Evaluasi Dampak Proses Produksi dan Pengolahan Limbah Minuman Isotonik Mizon Terhadap Lingkungan dengan Metode Life Cycle Assessment," *Ind. Eng. Online J.*, vol. 6, no. 2, pp. 1–14, 2017.
- [11] M. A. . Huijbregts *et al.*, "ReCiPe 2016 v1.1," *RIVM Rep. 2016-0104*, p. 201, 2017.
- [12] Andika, Restu, and Hendramawat Aski Safarizki. "Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Dara (Anadara Granosa) Sebagai Bahan Tambah dan Komplemen Terhadap Kuat Tekan Beton Normal." *Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil (MoDuluS)* 1.1 (2019): 1-6.
- [13] Muqim, Rizal Bahtiar. *Penyisihan Parameter Warna, TSS, dan COD pada Air Limbah Batik Menggunakan Koagulan Alami dari Limbah Kulit Udang Kaki Putih (Lithopannaeus Vannamei)*. Diss. UPN Veteran Jawa Timur, 2024.
- [14] R. M. Dian, "Penggunaan Metode Life Cycle Assessment (LCA) Sebagai Pendukung Pengambilan Keputusan Dampak Lingkungan Pada Industri Kelapa Sawit," *J. Ilm. Betahpa*, vol. 02, no. 02, pp. 7–15, 2023.
- [15] T. C. Saraswati and A. F. Assomadi, "Kajian Dampak Emisi Udara Terhadap Lingkungan Pada Proses Produksi Minyak Dan Gas Bumi Di Pt. X Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (Lca)," *J. Purifikasi*, vol. 22, no. 2, pp. 81–92, 2023, doi: 10.12962/j25983806.v22.i2.445.