

Life Cycle Assessment

PT Alga Bioteknologi Indonesia



2025

www.albitec.co.id

RINGKASAN EKSEKUTIF

Laporan Life Cycle Assessment (LCA) ini menyajikan evaluasi komprehensif mengenai profil dampak lingkungan dari sistem produksi Spirulina di PT Alga Bioteknologi Indonesia (ALBITEC) dengan menggunakan pendekatan *cradle-to-gate* yang mencakup seluruh siklus hidup produk mulai dari pengadaan infrastruktur, proses kultivasi, pemanenan, hingga tahap pengolahan akhir. Analisis ilmiah ini secara spesifik mengidentifikasi bahwa kontributor utama terhadap kategori dampak lingkungan seperti *Global Warming Potential* (GWP), *Acidification*, dan *Freshwater Aquatic Ecotoxicity* berasal dari intensitas konsumsi energi listrik pada fase operasi (khususnya pada sistem aerasi kultivasi dan pengeringan biomassa) serta jejak material dari infrastruktur baja yang digunakan. Temuan data juga menyoroti pentingnya manajemen nutrisi media kultur yang presisi untuk memitigasi risiko eutrofikasi dan menjaga integritas ekosistem air, sekaligus memberikan bukti kuat bagi ALBITEC untuk mengintegrasikan solusi inovatif seperti teknologi penangkapan karbon (*carbon capture*) dan efisiensi energi terbarukan dalam rangka mereduksi jejak emisi operasional secara signifikan. Melalui transparansi data ini, ALBITEC menegaskan komitmennya dalam menyediakan biomassa mikroalga bernilai tinggi yang tidak hanya unggul secara kualitas, tetapi juga memenuhi standar keberlanjutan global, menjadikannya instrumen strategis dalam mendukung pertumbuhan bioekonomi yang rendah karbon dan ramah lingkungan.

DAFTAR ISI

RINGKASAN EKSKUTIF	2
DAFTAR ISI	2
1. PENDAHULUAN	3
2. METODOLOGI DAN KERANGKA KERJA LCA	4
3. METODOLOGI DAN CAKUPAN STUDI (ISO 14040/14044 FRAMEWORK)	5
4. ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN DAN EVALUASI TITIK KRITIS (LCIA RESULTS)	7
5. INTERPRETASI DAN REKOMENDASI STRATEGIS	11
6. KESIMPULAN	12
DAFTAR PUSTAKA	12

EXECUTIVE SUMMARY

This Life Cycle Assessment (LCA) report presents a comprehensive evaluation of the environmental impact profile of the Spirulina production system at PT Alga Bioteknologi Indonesia (ALBITEC), utilizing a cradle-to-gate approach that encompasses the product's entire life cycle from infrastructure procurement, cultivation, and harvesting, through to the final processing stage. This scientific analysis specifically identifies that the primary contributors to key environmental impact categories—such as Global Warming Potential (GWP), Acidification, and Freshwater Aquatic Ecotoxicity—stem from the intensity of electricity consumption during the operational phase (particularly within cultivation aeration and biomass drying systems) as well as the material footprint of the structural steel utilized in the infrastructure. The data findings also highlight the critical importance of precision nutrient management in the culture media to mitigate eutrophication risks and preserve aquatic ecosystem integrity, while simultaneously providing robust evidence for ALBITEC to integrate innovative solutions, such as carbon capture technology and renewable energy efficiencies, to significantly reduce its operational emissions footprint. Through this data transparency, ALBITEC reaffirms its commitment to delivering high-value microalgae biomass that not only excels in quality but also meets global sustainability standards, serving as a strategic instrument to drive the growth of a low-carbon, environmentally friendly bioeconomy.

TABLE OF CONTENT

EXECUTIVE SUMMARY	2
TABLE OF CONTENT	2
1. INTRODUCTION	3
2. METHODOLOGY AND FRAMEWORK OF LCA	4
3. METHODOLOGY AND STUDY SCOPE (ISO 14040/14044 FRAMEWORK)	5
4. ENVIRONMENTAL IMPACT ANALYSIS AND HOTSPOT EVALUATION (LCIA RESULTS)	7
5. INTERPRETATION AND STRATEGIC RECOMMENDATIONS	11
6. CONCLUSION	12
REFERENCES	12

1. PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Perubahan arah industri global saat ini menuntut sektor manufaktur untuk mengintegrasikan prinsip keberlanjutan ke dalam inti strategi operasional mereka. Perusahaan tidak lagi hanya dinilai berdasarkan kapasitas produksi atau profitabilitas finansial, tetapi juga pada transparansi rantai pasok dan dampak lingkungan nyata yang menyertainya (Risqi et al., 2025). Dalam ekosistem bisnis modern, pemangku kepentingan dan pasar internasional membutuhkan pembuktian kinerja lingkungan yang terukur untuk memitigasi risiko *greenwashing* (Kusmayanti & Suwandono, 2025). Transparansi berbasis data ini menjadi faktor krusial bagi perusahaan bioteknologi yang ingin memperkuat daya saing mereka di pasar global.

Sebagai salah satu pelaku industri bioteknologi alga terintegrasi di Indonesia, PT Alga Bioteknologi Indonesia (ALBITEC) memposisikan diri sebagai produsen sekaligus inovator yang bergerak dari hulu ke hilir. Pada sektor hulu, ALBITEC mengelola budidaya *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) skala industri dengan mengoptimalkan kondisi geografis Indonesia yang kaya akan intensitas cahaya matahari dan suhu stabil. Di sektor menengah (*midstream*), perusahaan memfokuskan kegiatannya pada riset ekstraksi senyawa bioaktif bernilai ekonomi tinggi seperti fikosianin, sementara di sektor hilir (*downstream*), ALBITEC melakukan komersialisasi produk turunan mikroalga untuk pasar domestik dan ekspor. Komoditas *Spirulina* sendiri dipilih karena keunggulannya yang memiliki kandungan protein hingga 70% serta profil antioksidan yang kuat (Jumrodah et al., 2026). Dengan model bisnis yang terintegrasi ini, ALBITEC memiliki kendali penuh terhadap konsistensi mutu dan ketertelusuran (*traceability*) produk.

Meskipun budidaya mikroalga secara umum dikenal ramah lingkungan karena kemampuannya dalam menyerap karbon, ALBITEC secara objektif menyadari bahwa proses manufaktur pada skala industri tetap mengonsumsi sumber daya secara intensif. Tahapan pengadaan media kultur, aerasi mekanis pada kolam budidaya, hingga proses pengeringan biomassa melibatkan penggunaan energi listrik, air, dan bahan kimia yang meninggalkan jejak lingkungan tertentu (Amalia et al., 2025).

Oleh karena itu, penyusunan laporan *Life Cycle Assessment* (LCA) ini diinisiasi oleh ALBITEC sebagai langkah strategis perusahaan untuk memetakan emisi secara kuantitatif. Mengacu pada standar internasional ISO 14040 dan ISO 14044, laporan ini membatasi ruang lingkup analisis pada batas *Cradle-to-Gate* (dari pengadaan bahan baku hingga produk siap keluar dari gerbang pabrik).

Laporan LCA ini dirancang bukan sekadar sebagai dokumen pemenuhan kepatuhan, melainkan sebagai kompas perbaikan internal dan komitmen keterbukaan informasi. Melalui data kuantitatif yang dihasilkan, ALBITEC dapat mengidentifikasi titik kritis emisi dalam sistem produksinya.

1. INTRODUCTION

1.1 BACKGROUND

The shifting paradigm of the global industry currently demands the manufacturing sector to integrate sustainability principles into the core of their operational strategies. Companies are no longer evaluated solely on production capacity or financial profitability, but also on supply chain transparency and the tangible environmental impacts that accompany them (Risqi et al., 2025). In the modern business ecosystem, stakeholders and international markets require measurable proof of environmental performance to mitigate the risks of greenwashing (Kusmayanti & Suwandono, 2025). This data-driven transparency has become a crucial factor for biotechnology companies seeking to strengthen their competitiveness in the global market.

*As an integrated player in Indonesia's algal biotechnology industry, PT Alga Bioteknologi Indonesia (ALBITEC) positions itself as both a producer and an innovator operating from upstream to downstream. In the upstream sector, ALBITEC manages the industrial-scale cultivation of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) by optimizing Indonesia's geographical advantages, which feature high solar intensity and stable temperatures. In the midstream sector, the company focuses its activities on research into extracting high-value bioactive compounds such as phycocyanin, while in the downstream sector, ALBITEC commercializes microalgae-derived products for both domestic and export markets. *Spirulina* was specifically selected due to its superior qualities, including a protein content of up to 70% and a robust antioxidant profile (Jumrodah et al., 2026). With this integrated business model, ALBITEC exercises full control over product quality consistency and traceability.*

While microalgae cultivation is generally recognized as environmentally friendly due to its carbon sequestration capabilities, ALBITEC objectively acknowledges that manufacturing processes at an industrial scale remain resource-intensive. The stages of culture media procurement, mechanical aeration in cultivation ponds, and biomass drying involve the consumption of electricity, water, and chemicals that leave a certain environmental footprint (Amalia et al., 2025).

Consequently, the preparation of this Life Cycle Assessment (LCA) report was initiated by ALBITEC as a strategic step to map these emissions quantitatively. Adhering to the international standards of ISO 14040 and ISO 14044, this report restricts its analytical scope to a Cradle-to-Gate boundary (from raw material procurement to the product ready to leave the factory gate).

This LCA report is designed not merely as a compliance document, but as a compass for internal improvement and a commitment to information disclosure. Through the quantitative data generated, ALBITEC can identify emission hotspots within its production system.

Data tersebut kemudian ditransformasikan menjadi dasar pengambilan keputusan taktis perusahaan, seperti optimasi efisiensi energi terbarukan di fasilitas operasional dan penyusunan Sustainability Report tahunan yang akuntabel. Langkah ini menegaskan komitmen nyata ALBITEC untuk memimpin industri bioteknologi mikroalga yang bersih, terukur, dan bertanggung jawab terhadap lingkungan.

1.2 TUJUAN

Laporan LCA di PT Alga Bioteknologi Indonesia ini disusun dengan tujuan utama sebagai berikut:

1. Mengukur dan menghitung dampak lingkungan dari proses produksi spirulina secara kuantitatif menggunakan metode LCA dengan pendekatan *Cradle-to-Gate* sesuai ISO 14040 dan ISO 14044.
2. Mengidentifikasi tahapan produksi yang memberikan kontribusi dampak lingkungan paling besar sehingga dapat digunakan sebagai dasar evaluasi dan perbaikan proses.
3. Menyajikan hasil analisis secara sistematis dan mudah dipahami sebagai bentuk transparansi informasi kepada stakeholder.

2. METODOLOGI DAN KERANGKA KERJA LCA

2.1 PENDEKATAN SISTEM DAN MITIGASI BURDEN SHIFTING

ALBITEC menerapkan LCA sebagai instrumen audit kuantitatif yang mengacu secara ketat pada standar ISO 14040:2006 dan ISO 14044:2006. Bagi ALBITEC, implementasi LCA berskala komersial berfungsi sebagai alat verifikasi performa lingkungan yang objektif, sekaligus mengeliminasi risiko klaim keberlanjutan sepihak yang tidak berbasis ilmiah (*greenwashing*).

Pendekatan sistemik ini memungkinkan perusahaan mendeteksi secara dini potensi terjadinya *burden shifting*—sebuah fenomena di mana intervensi efisiensi pada satu tahapan operasional justru memicu lonjakan dampak negatif di tahapan lainnya (Dahlani & Darmayanti, 2025). Data empiris dari laporan ini ditransformasikan oleh manajemen sebagai fondasi perancangan produk ramah lingkungan (*eco-design*) sejak fase formulasi awal di laboratorium (Rahma & Jatiningih, 2025).

2.2 VARIABILITAS OPERASIONAL DAN KEANDALAN DATA PRIMER

ALBITEC menyadari bahwa kompleksitas sistem bioteknologi mikroalga sangat dipengaruhi oleh variabel operasional nyata, seperti fluktuasi efisiensi aerasi kolam dan kondisi iklim mikro harian. Ketergantungan pada asumsi data sekunder global sering kali tidak akurat dalam merepresentasikan kondisi lokal (Aditama et al., 2025).

The compiled data is subsequently transformed into a foundation for tactical corporate decision-making, such as optimizing renewable energy efficiency across operational facilities and developing an accountable annual Sustainability Report. This step underscores ALBITEC's concrete commitment to leading a clean, measurable, and environmentally responsible microalgae biotechnology industry.

1.2 OBJECTIVES

LCA report at PT Alga Bioteknologi Indonesia is compiled with the following primary objectives:

1. *To measure and calculate the environmental impacts of the Spirulina production process quantitatively using the LCA method with a Cradle-to-Gate approach in accordance with ISO 14040 and ISO 14044.*
2. *To identify the production stages that contribute the most significant environmental impacts, serving as a baseline for process evaluation and operational improvement.*
3. *To present the analysis results systematically and comprehensibly as a form of information transparency for corporate stakeholders.*

2. METHODOLOGY AND FRAMEWORK OF LCA

2.1 SYSTEM APPROACH AND MITIGATION OF BURDEN SHIFTING

ALBITEC implements the LCA method as a quantitative audit instrument that strictly adheres to the ISO 14040:2006 and ISO 14044:2006 standards. For ALBITEC, the implementation of commercial-scale LCA serves as an objective environmental performance verification tool, while simultaneously eliminating the risk of unscientific, unilateral sustainability claims (greenwashing).

This systemic approach enables the company to detect potential burden shifting at an early stage—a phenomenon where efficiency interventions in one operational phase inadvertently trigger a spike in negative impacts in other stages (Dahlani & Darmayanti, 2025). The empirical data from this report is transformed by management into a foundation for eco-design (environmentally friendly product design) starting from the initial formulation phase in the laboratory (Rahma & Jatiningih, 2025).

2.2 OPERATIONAL VARIABILITY AND PRIMARY DATA RELIABILITY

ALBITEC recognizes that the complexity of microalgae biotechnology systems is heavily influenced by real-world operational variables, such as fluctuations in pond aeration efficiency and daily microclimate conditions. Relying on global secondary data assumptions is often inaccurate in representing specific local conditions (Aditama et al., 2025).

Untuk menjamin keandalan laporan, 100% data inventori dalam studi ini menggunakan data primer aktual yang diambil langsung dari sistem pencatatan digital fasilitas produksi ALBITEC di Semarang. Penggunaan data berskala komersial riil ini meminimalkan faktor ketidakpastian analisis, sehingga memberikan dasar yang kredibel untuk pengambilan keputusan strategis, termasuk integrasi teknologi rendah karbon (*carbon capture*) serta implementasi transisi energi terbarukan pada operasional pabrik (Hanif et al., 2025).

3. METODOLOGI DAN CAKUPAN STUDI (ISO 14040/14044 FRAMEWORK)

3.1 TUJUAN DAN SASARAN EVALUASI

Life Cycle Assessment (LCA) ini diinisiasi oleh ALBITEC dengan sasaran strategis untuk mengaudit dan memetakan secara kuantitatif profil dampak lingkungan dari seluruh rangkaian sistem produksi Spirulina secara riil. Data yang dihasilkan dari pemetaan ini ditargetkan untuk mengidentifikasi titik kritis emisi (*environmental hotspots*) pada rantai manufaktur perusahaan, sekaligus menyediakan basis data lingkungan yang transparan, akurat, dan tervalidasi bagi para pemangku kepentingan.

3.2 BATASAN SISTEM DAN PARAMETER CAKUPAN

Ruang lingkup evaluasi ini dikunci secara ketat pada batas sistem *Cradle-to-Gate* (dari hulu hingga gerbang fasilitas produksi), yang mengisolasi analisis hanya pada variabel-variabel operasional di bawah kendali langsung ALBITEC.

- **Deskripsi Produk:** Objek analisis adalah produk Spirulina dalam bentuk kering hasil budidaya terkontrol dengan spesifikasi kandungan protein tinggi dan senyawa bioaktif fikosianin.
- **Unit Fungsional:** Perhitungan matematis dan kesetaraan seluruh aliran input-output dalam laporan ini didasarkan pada unit fungsional standar korporasi:

Unit Fungsional = 30 kg Spirulina Kering

Angka ini ditetapkan karena merepresentasikan volume output riil yang dihasilkan dalam satu siklus operasional komersial di fasilitas manufaktur ALBITEC.

- **Ruang Lingkup Ruang dan Waktu:** Batas geografis studi mencakup seluruh area operasional fasilitas produksi ALBITEC di Semarang. Data yang disajikan merupakan data primer aktual dari pencatatan digital logistik dan utilitas pabrik, yang disinkronisasikan dengan data sekunder regional dari database Ecoinvent serta literatur ilmiah terakreditasi untuk menjaga akurasi pemodelan.

To ensure report reliability, 100% of the inventory data in this study utilizes actual primary data sourced directly from the digital recording systems at ALBITEC's production facility in Semarang. The use of real commercial-scale data minimizes analysis uncertainty, providing a credible basis for strategic decision-making, including the integration of low-carbon technologies (carbon capture) and the implementation of renewable energy transitions within plant operations (Hanif et al., 2025).

3. METHODOLOGY AND STUDY SCOPE (ISO 14040/14044 FRAMEWORK)

3.1 OBJECTIVES AND GOALS EVALUATION

This Life Cycle Assessment (LCA) was initiated by ALBITEC with the strategic objective of auditing and quantitatively mapping the environmental impact profile of the entire Spirulina production system in a real-world context. The data generated from this mapping is targeted to identify critical emission points (environmental hotspots) within the company's manufacturing chain, while providing a transparent, accurate, and validated environmental database for stakeholders.

3.2 OPERATIONAL VARIABILITY AND PRIMARY DATA RELIABILITY

The scope of this evaluation is strictly confined to a Cradle-to-Gate system boundary (from upstream to the production facility gate), isolating the analysis to operational variables under the direct control of ALBITEC.

- **Product Description:** The object of analysis is Spirulina in dry form produced through controlled cultivation, featuring high protein content and the bioactive compound phycocyanin.
- **Functional Unit:** Mathematical calculations and the equivalence of all input-output flows in this report are based on the corporate standard functional unit:

Functional Unit = 30 kg Dry Spirulina

This figure was established as it represents the actual output volume generated in one commercial operational cycle at ALBITEC's manufacturing facility.

- **Geographic and Temporal Scope:** The geographic boundary of the study covers the entire operational area of the ALBITEC production facility in Semarang. The data presented consists of actual primary data from digital logistics and factory utility records, synchronized with regional secondary data from the Ecoinvent database and accredited scientific literature to maintain modeling accuracy.

- Metode Alokasi Beban: Untuk mengantisipasi adanya *multi-output* dalam sistem pembagian arus material, ALBITEC menerapkan Pendekatan Alokasi Berbasis Massa. Seluruh beban lingkungan dibagi secara proporsional berdasarkan rasio massa produk akhir yang dihasilkan dari sistem.

3.3 LIFE CYCLE INVENTORY (LCI)

Inventori arus material, energi, dan utilitas berikut dikalkulasikan secara presisi untuk memenuhi kebutuhan analisis unit fungsional (30 kg produk dikemas).

No.	Proses (Process)	Masukan (Input)	Jumlah (Quantity)	Satuan (Unit)	Luaran (Output)
1	Infrastructure	• Polyvinylchloride • Steel • Concrete Blocks • Sand • Polyethylene • Polyethylene • Polyethylene, High Density	• 396,8 • 4363,5 • 63825 • 40000 • 165,5 • 63,6 • 12,8	• Kg	Cultivation & Processing Facility
2	Spirulina Cultivation	• Spirulina Inoculum • Sodium Bicarbonate • Electricity • Ground Water	• 96000 • 25 • 128 • 96000	• L • Kg • kWh • L	Spirulina Broth
3	Harvesting & Drying	• Spirulina Broth • Electricity	• 330 • 2000 • 60 • 0,27	• Kg • kWh • kg • m3	Spaghettini & Wastewater
4	Packaging	• Electricity • Spirulina dry spaghettini • Polyethylene • HDPE	• 7,53 • 60 • 0,1 • 30 • 0,5	• kWh • Kg DW-EQ • Kg • Kg • Kg	• Spirulina dry spaghettini, packaged • Plastic waste

3.4 LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT (LCIA)

Konversi data inventori fisik (LCI) ke dalam indikator dampak lingkungan yang terukur dijalankan menggunakan metodologi standar internasional CML 2001 Baseline.

Melalui pemodelan ini, performa operasional harian ALBITEC dievaluasi secara objektif lintas lima kategori dampak lingkungan utama:

1. Global Warming Potential (GWP)
2. Acidification
3. Eutrophication
4. Ozone Layer Depletion
5. Freshwater Aquatic Ecotoxicity

- Allocation Method: To account for multi-output systems in material flow distribution, ALBITEC applies the Mass-Based Allocation Principle. All environmental burdens are shared proportionally based on the mass ratio of the final products generated by the system.

3.3 LIFE CYCLE INVENTORY (LCI)

The following inventory of material, energy, and utility flows was precisely calculated to meet the requirements of the functional unit analysis (30 kg of packaged product).

3.4 LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT (LCIA)

The conversion of physical inventory data (LCI) into measurable environmental impact indicators was performed using the international standard CML 2001 Baseline methodology.

Through this modeling, ALBITEC's daily operational performance was evaluated objectively across five primary environmental impact categories:

1. Global Warming Potential (GWP)
2. Acidification
3. Eutrophication
4. Ozone Layer Depletion
5. Freshwater Aquatic Ecotoxicity

3.5 JAMINAN MUTU DAN VALIDASI DATA

Guna mempertahankan tingkat kepercayaan yang tinggi terhadap hasil audit lingkungan ini, ALBITEC menerapkan protokol pengawasan kualitas data yang ketat. Proses validasi mencakup pemeriksaan silang rantai pasok bahan kimia media kultur, kalibrasi sensor meteran listrik/air digital di fasilitas produksi, serta evaluasi sensitivitas terhadap seluruh asumsi teknis yang digunakan. Pendekatan ini menjamin bahwa output laporan LCA ini bersifat representatif terhadap kondisi operasional aktual di lapangan.

3.5 QUALITY ASSURANCE AND DATA VALIDATION

To maintain a high level of confidence in these environmental audit results, ALBITEC implements strict data quality control protocols. The validation process includes cross-checking the supply chain for culture media chemicals, calibrating digital electricity and water meter sensors at the production facility, and evaluating the sensitivity of all technical assumptions used. This approach ensures that the output of this LCA report is representative of actual operational conditions in the field.

4. ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN DAN EVALUASI TITIK KRITIS (LCIA RESULTS)

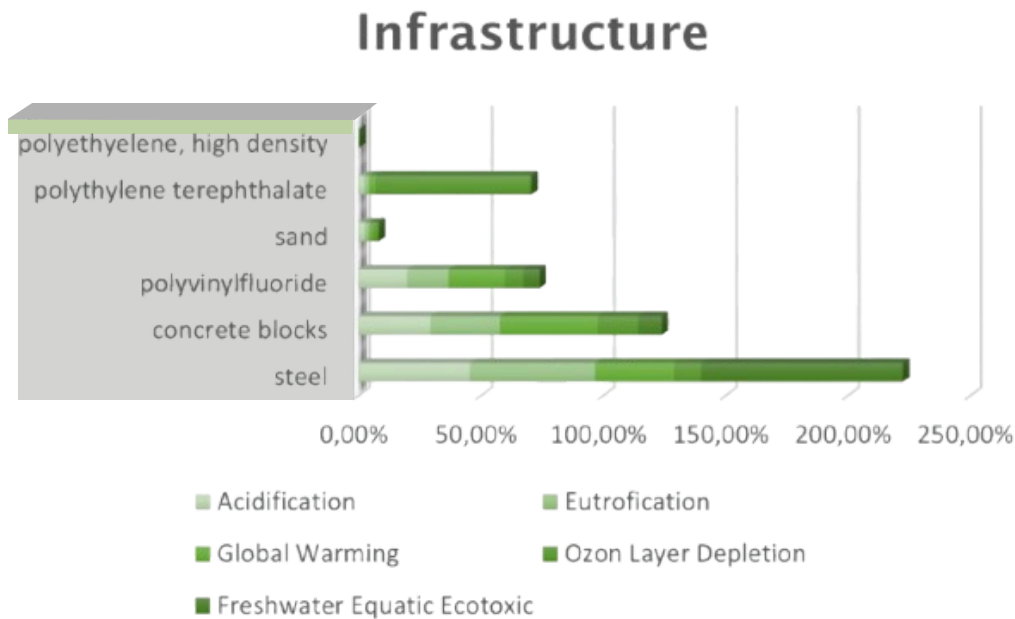
4. ENVIRONMENTAL IMPACT ANALYSIS AND HOTSPOT EVALUATION (LCIA RESULTS)

4.1 KONTRIBUSI DAMPAK BERDASARKAN FASE OPERASIONAL

4.1 IMPACT CONTRIBUTION BY OPERATIONAL PHASE

4.1.1 INFRASTRUKTUR

4.1.1 INFRASTRUCTURE



Fase infrastruktur merepresentasikan jejak lingkungan statis awal yang berasal dari pengadaan material konstruksi utama fasilitas, mencakup baja struktural, polimer industri, serta material beton penguat volume kolam. Hasil pemodelan menunjukkan fase ini menyumbang sekitar 10–15% terhadap total dampak lingkungan, dengan pengaruh dominan pada kategori *Global Warming Potential* (GWP) dan *Acidification* akibat tingginya konsumsi energi pada rantai pasok manufaktur material hulu tersebut.

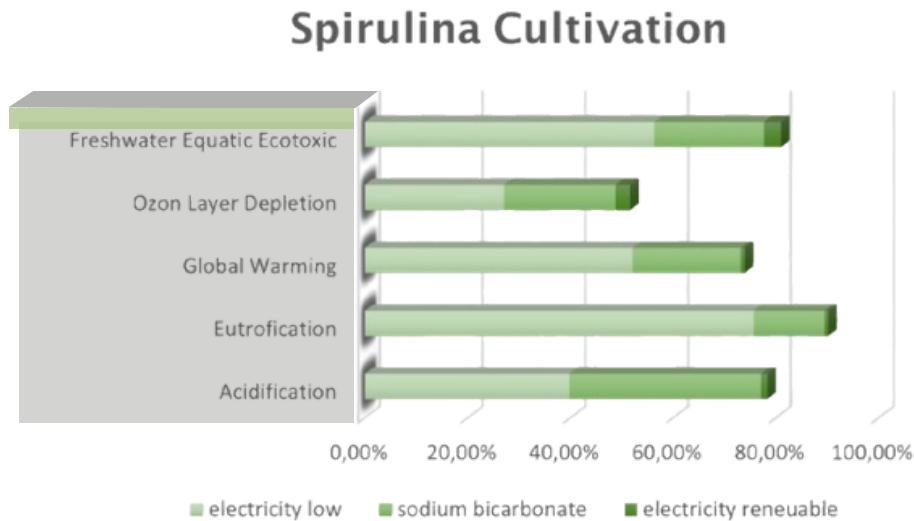
The infrastructure phase represents the initial static environmental footprint derived from the procurement of primary facility construction materials, including structural steel, industrial polymers, and concrete reinforcement for pond volumes. Modeling results indicate that this phase contributes approximately 10–15% to the total environmental impact, with a dominant influence on *Global Warming Potential* (GWP) and *Acidification* categories due to high energy consumption within the upstream manufacturing supply chains of these materials.

Sebagai langkah mitigasi, ALBITEC menerapkan kebijakan perpanjangan umur pakai aset melalui program pemeliharaan struktural yang ketat guna meminimalkan kebutuhan rekonstruksi dini. Selain itu, transisi pemanfaatan energi terbarukan pada fase operasional secara aktif mampu menekan akumulasi dampak turunan dari beban infrastruktur ini secara berkelanjutan.

4.1.2 KULTIVASI SPIRULINA

As a mitigation measure, ALBITEC implements an asset life-extension policy through strict structural maintenance programs to minimize the need for early reconstruction. Furthermore, the active transition toward utilizing renewable energy during the operational phase helps suppress the cumulative secondary impacts of this infrastructure load sustainably.

4.1.2 SPIRULINA CULTIVATION



Fase kultivasi Spirulina teridentifikasi sebagai salah satu environmental hotspot utama dengan kontribusi berkisar antara 35–45% dari total dampak sistem. Faktor penggerak utama pada fase ini adalah konsumsi energi kelistrikan konvensional untuk sistem aerasi mekanis dan sirkulasi kontinu kolam, serta kebutuhan pemenuhan air media kultur. Untuk memitigasi dampak penggunaan air dan hara, ALBITEC telah menerapkan sistem produksi berbasis efisiensi dan keberlanjutan melalui pendekatan *continuous cultivation*, yang memungkinkan penggunaan ulang air dalam siklus produksi. Selain itu, ALBITEC juga menerapkan sistem *Circular Water Management*. Sisa air media hasil pemanenan (*dewatering*) tidak dikategorikan sebagai limbah akhir yang dibuang ke lingkungan, melainkan dialihkan secara produktif sebagai air penyiraman vegetasi (*land application*) di area hijau fasilitas perusahaan. Strategi ini berhasil menekan risiko pelepasan residu nutrisi ke badan air publik sekaligus menciptakan ekosistem sirkular yang mendukung kesuburan vegetasi internal.

4.1.3 PANEN DAN PENGERINGAN

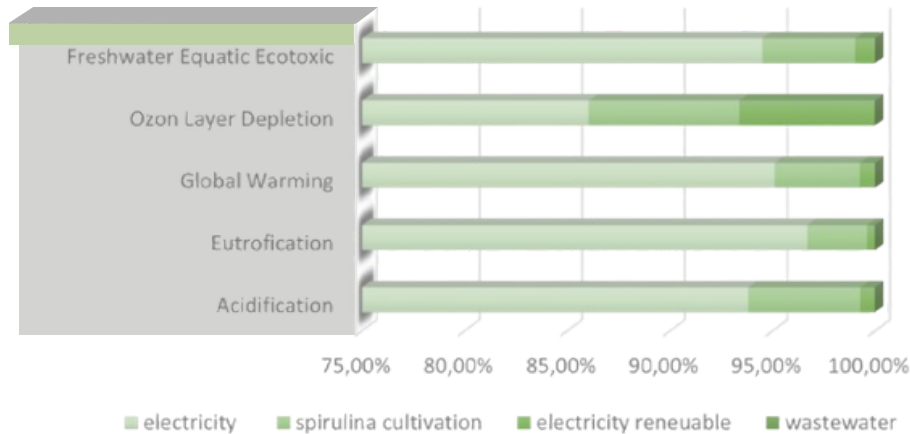
Fase pemanenan dan pengeringan merupakan kontributor tunggal terbesar terhadap profil emisi keseluruhan dengan persentase mencapai 40–50%. Tingginya bobot dampak ini dikarenakan intensitas penggunaan energi termal dan listrik pada mesin *dewatering* untuk mengonversi biomassa basah menjadi bentuk kering sesuai standar mutu pasar.

*The Spirulina cultivation phase is identified as a major environmental hotspot, contributing between 35–45% of the total system impact. The primary drivers in this phase are conventional electricity consumption for mechanical aeration systems and continuous pond circulation, as well as the water requirements for culture media. To mitigate the impacts of water and nutrient use, ALBITEC has implemented an efficiency-based and sustainable production system through a continuous cultivation approach, which allows for water reuse within the production cycle. Additionally, ALBITEC employs a Circular Water Management system. Residual media water from harvesting (*dewatering*) is not classified as final waste to be discharged into the environment; instead, it is productively diverted for land application to irrigate green areas within the company facility. This strategy successfully suppresses the risk of nutrient residue release into public water bodies while creating a circular ecosystem that supports internal vegetation health.*

4.1.3 HARVESTING AND DRYING

The harvesting and drying phase is the single largest contributor to the overall emission profile, accounting for 40–50% of the total. This high impact weight is due to the intense use of thermal and electrical energy in dewatering machinery to convert wet biomass into a dry form according to market quality standards.

Harvesting & Drying



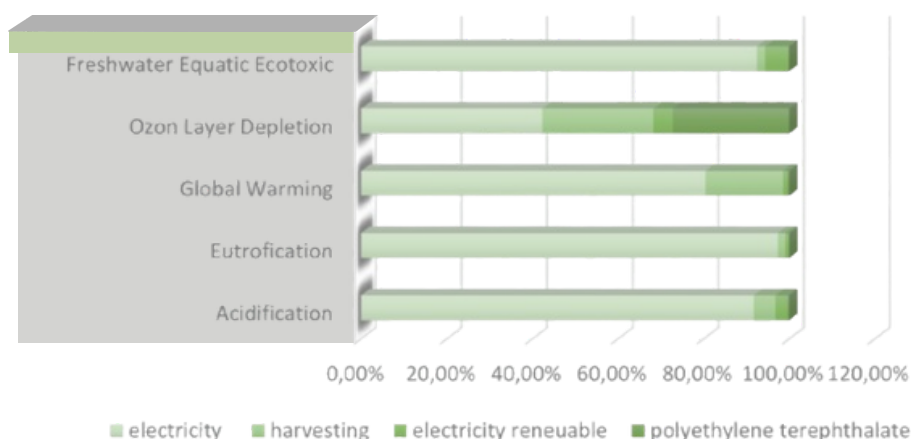
ALBITEC melakukan intervensi strategis pada fase ini melalui investasi teknologi dan parsial integrasi energi terbarukan berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di fasilitas produksi untuk mensubstitusi beban listrik fosil dari jaringan konvensional. Selaras dengan standar keamanan pangan industri pakan dan konsumsi, seluruh output dari fase pengeringan ini dikendalikan melalui implementasi sistem HACCP serta pengujian laboratorium berkala untuk menjamin pemenuhan standar mutu mikrobiologi (ALT) serta bebas dari kontaminasi logam berat sesuai standar SNI 8468:2024 Spirulina (*Arthrospira* spp.) kering.

4.1.4 PENGEMASAN

ALBITEC undertakes strategic interventions in this phase through technological investment and the partial integration of renewable energy from Solar Power (PLTS) and Wind Power (PLTB) at the production facility to substitute the fossil-based electrical load from the conventional grid. In alignment with food safety standards for the feed and consumption industries, all outputs from this drying phase are controlled through the implementation of the HACCP system and periodic laboratory testing to ensure compliance with microbiological quality standards (TPC) and freedom from heavy metal contamination, in accordance with SNI 8468:2024 for dried Spirulina (*Arthrospira* spp.).

4.1.4 PACKAGING

Packaging



Proses pengemasan primer memberikan kontribusi terkecil dalam batas sistem *Cradle-to-Gate*, yaitu berkisar antara 5–10% dari total beban lingkungan. Dampak pada fase ini didominasi oleh jejak karbon dari manufaktur polimer kemasan (HDPE dan Polyethylene).

The primary packaging process provides the smallest contribution within the *Cradle-to-Gate* system boundary, ranging between 5–10% of the total environmental load. The impact in this phase is dominated by the carbon footprint from the manufacturing of packaging polymers (HDPE and Polyethylene).

Meskipun kontribusinya relatif rendah, ALBITEC tetap mengintegrasikan prinsip ekonomi sirkular (*circular economy*) pada fase ini melalui standarisasi dimensi kemasan untuk menekan sisa potongan material serta berkolaborasi dengan mitra lokal dalam pengelolaan limbah kemasan industri terpadu agar sisa kemasan logistik dapat dialihkan ke fasilitas daur ulang pihak ketiga.

4.2 ANALISIS KARAKTERISTIK DAMPAK SPEKTRA KATEGORI (CML 2001 BASELINE)

4.2.1 POTENSI PEMANASAN GLOBAL (GWP)

Beban emisi GWP terbesar bersumber dari fase *Harvesting & Drying* yang mengonsumsi daya listrik kumulatif sebesar 2.000 kWh per unit fungsional. Tingginya emisi karbon dioksida kesetaraan CO₂ ini disebabkan oleh ketergantungan pada bauran energi listrik fosil dari jaringan utama. Strategi ALBITEC dalam menerapkan transisi PLTS dan PLTB secara bertahap diproyeksikan menjadi faktor reduksi emisi aktif yang paling signifikan untuk menekan nilai GWP pada audit LCA periode berikutnya.

4.2.2 PENGASAMAN LINGKUNGAN

Pada kategori dampak asam lingkungan (*Acidification*), kontribusi terbesar terkonsentrasi pada fase kultivasi *Spirulina*. Secara teoritis melalui pemodelan stoikiometri, penggunaan input nutrisi makro dalam volume besar berpotensi memicu pelepasan senyawa NO_x dan NH₃ ke udara selama proses aerasi kolam terbuka dijalankan. Langkah mitigasi difokuskan pada kontrol pH media kultur yang stabil guna menekan laju volatilisasi senyawa tersebut.

4.2.3 EUTROFIKASI

Dampak potensial eutrofikasi (pengayaan unsur hara perairan) secara proaktif dimitigasi oleh ALBITEC melalui kebijakan *Zero-Discharge to Public Waterways*. Alih-alih membuang sisa media yang kaya Nitrogen (N) dan Fosfor (P) ke drainase umum, ALBITEC memanfaatkan aliran air pasca-pemanenan tersebut untuk irigasi vegetasi internal. Pemanfaatan sisa *dewatering* ini memastikan bahwa hara makro yang tidak terserap oleh mikroalga dapat diserap secara optimal oleh tanaman darat di area fasilitas, sehingga mencegah akumulasi hara berlebih di perairan bebas.

4.2.4 POTENSI PENIPISAN OZON (ODP)

Dampak penipisan lapisan ozon didominasi oleh komponen *Infrastructure*, bukan dari fase operasional harian. Hal ini terjadi karena proses manufaktur hulu dari pengadaan material struktural massal seperti baja dan komponen pipa PVC (*polyvinyl chloride*) dalam jumlah besar (total beban logistik fasilitas melebihi 60 ton beton dan 4 ton baja) melibatkan penggunaan senyawa penunjang industri berklorin tinggi pada rantai pasoknya. Tingginya tonase material yang terhitung dalam batas *cradle* menyebabkan nilai ODP statis terakumulasi di awal siklus hidup pabrik.

Although its contribution is relatively low, ALBITEC continues to integrate circular economy principles in this phase through the standardization of packaging dimensions to minimize material waste and by collaborating with local partners in integrated industrial packaging waste management to ensure logistics waste can be diverted to third-party recycling facilities.

4.2 CHARACTERIZATION ANALYSIS OF IMPACT CATEGORIES (CML 2001 BASELINE)

4.2.1 GLOBAL WARMING POTENTIAL (GWP)

The largest GWP emission load originates from the Harvesting & Drying phase, which consumes a cumulative electrical power of 2,000 kWh per functional unit. These high CO₂ equivalent emissions are caused by dependence on the fossil-fuel electricity mix from the main grid. ALBITEC's strategy to gradually implement a transition to PLTS and PLTB is projected to be the most significant active emission reduction factor to lower GWP values in the next LCA audit period.

4.2.2 ACIDIFICATION

In the Acidification category, the largest contribution is concentrated in the Spirulina Cultivation phase. Theoretically, through stoichiometric modeling, the use of large volumes of macronutrient inputs has the potential to trigger the release of NO_x and NH₃ compounds into the air during the open-pond aeration process. Mitigation steps are focused on stable pH control of the culture media to suppress the volatilization rate of these compounds.

4.2.3 EUTROPHICATION

Potential eutrophication impacts (nutrient enrichment of water bodies) are proactively mitigated by ALBITEC through a Zero-Discharge to Public Waterways policy. Rather than discharging nutrient-rich residual media, which are high in Nitrogen (N) and Phosphorus (P), into public drainage, ALBITEC utilizes this post-harvest water flow for internal vegetation irrigation. This utilization of dewatering residuals ensures that macronutrients not absorbed by the microalgae can be optimally absorbed by terrestrial plants within the facility area, thereby preventing excess nutrient accumulation in open waters.

4.2.4 OZONE LAYER DEPLETION (ODP)

Ozone layer depletion impacts are dominated by the Infrastructure component rather than daily operational phases. This occurs because the upstream manufacturing processes for bulk structural materials, such as steel and PVC piping components, involve high-chlorine industrial auxiliary compounds in their supply chains (with total facility logistics exceeding 60 tons of concrete and 4 tons of steel). The high tonnage of materials accounted for within the cradle boundary causes static ODP values to accumulate at the beginning of the plant's life cycle.

4.2.5 POTENSI EKOTOKSISITAS PERAIRAN TAWAR

Tingkat toksisitas air tawar didominasi secara mutlak oleh fase Infrastructure. Berdasarkan kalkulasi database inventori, proses penambangan dan pemurnian logam baja serta beton struktural memiliki koefisien pelepasan residu logam berat teoritis (seperti Cr, Ni, Zn) serta senyawa organik volatil ke ekosistem air pada rantai pasok ekstraksi materialnya. Nilai ekotoksistas ini murni merupakan refleksi dari volume material fisik bangunan fasilitas dan dimitigasi oleh ALBITEC melalui optimalisasi efisiensi tata ruang kolam budidaya komersial.

4.2.5 FRESHWATER ECOTOXICITY POTENTIAL

Freshwater aquatic ecotoxicity levels are absolutely dominated by the Infrastructure phase. Based on inventory database calculations, the mining and refining processes for structural steel and concrete have theoretical heavy metal residue release coefficients (such as Cr, Ni, Zn) and volatile organic compounds into aquatic ecosystems during their material extraction supply chains. This ecotoxicity value is purely a reflection of the physical volume of the facility's materials and is mitigated by ALBITEC through the optimization of commercial cultivation pond spatial efficiency.

5. INTERPRETASI DAN REKOMENDASI STRATEGIS

5.1 EVALUASI HASIL TERHADAP TUJUAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa jejak lingkungan operasional ALBITEC sangat dipengaruhi oleh intensitas energi pada fase hilir. Meskipun budidaya Spirulina memiliki kemampuan alami dalam penyerapan karbon, konsumsi listrik fosil untuk proses pengeringan tetap menjadi tantangan utama dalam mencapai target emisi rendah karbon.

5. INTERPRETATION AND STRATEGIC RECOMMENDATIONS

5.1 EVALUATION OF RESULTS AGAINST OBJECTIVES

The analysis indicates that ALBITEC's operational environmental footprint is heavily influenced by energy intensity during the downstream phase. Although Spirulina cultivation possesses a natural capacity for carbon sequestration, the consumption of fossil-fuel-based electricity for the drying process remains the primary challenge in achieving low-carbon emission targets.

5.2 STRATEGI PERBAIKAN BERKELANJUTAN

Berdasarkan identifikasi hotspots, ALBITEC menetapkan prioritas perbaikan pada aspek-aspek berikut:

- **Optimalisasi Efisiensi Pengeringan:** Mengingat fase *Harvesting & Drying* menyumbang 40–50% dampak, ALBITEC akan memprioritaskan penggunaan teknologi pengeringan yang lebih efisien atau integrasi pemanas berbasis energi terbarukan untuk mengurangi beban listrik.
- **Penguatan Closed-Loop System:** Melanjutkan praktik pemanfaatan sisa air dewatering untuk vegetasi internal guna memastikan profil eutrofikasi tetap pada level minimum.
- **Transisi Energi (Solar PV):** Memperluas cakupan penggunaan PLTS dan PLTB untuk mensubstitusi kebutuhan energi aerasi kolam dan mesin pengering, yang secara langsung akan menurunkan nilai *Global Warming Potential (GWP)* secara signifikan.

5.2 STRATEGY FOR CONTINUOUS IMPROVEMENT

Based on the identified hotspots, ALBITEC has established the following improvement priorities:

- **Optimization of Drying Efficiency:** Given that the *Harvesting & Drying* phase contributes 40–50% of the total impact, ALBITEC will prioritize the use of more efficient drying technologies or the integration of renewable energy-based heating to reduce the electrical load.
- **Strengthening the Closed-Loop System:** Continuing the practice of utilizing residual dewatering water for internal vegetation to ensure that the eutrophication profile remains at a minimum level.
- **Energy Transition (Renewable Energy):** Expanding the scope of Solar Power (PLTS) and Wind Power (PLTB) utilization to substitute the energy requirements for pond aeration and drying machinery, which will directly and significantly lower the *Global Warming Potential (GWP)* value.

6. KESIMPULAN

Laporan LCA ini mengonfirmasi bahwa PT Alga Bioteknologi Indonesia (ALBITEC) memiliki basis operasional yang terukur dengan transparansi data primer yang kuat. Poin-poin utama kesimpulan meliputi:

1. Titik Kritis Utama: Fase *Harvesting & Drying* adalah kontributor dampak terbesar (40–50%), diikuti oleh *Cultivation* (35–45%).
2. Kinerja Lingkungan: Penggunaan material infrastruktur massal memberikan beban statis pada kategori *Ozone Layer Depletion* dan *Ecotoxicity*, namun dampaknya tidak bersifat akumulatif harian.
3. Efektivitas Mitigasi: Kebijakan penggunaan kembali sisa air media untuk penyiraman tanaman terbukti efektif dalam meniadakan pembuangan limbah cair ke badan air publik.

6. CONCLUSION

This LCA report confirms that PT Alga Bioteknologi Indonesia (ALBITEC) maintains a measurable operational basis supported by robust primary data transparency. The key conclusions are as follows:

1. *Primary Hotspots*: The *Harvesting & Drying* phase is the largest impact contributor (40–50%), followed by *Cultivation* (35–45%).
2. *Environmental Performance*: The use of bulk infrastructure materials imposes a static load on *Ozone Layer Depletion* and *Ecotoxicity* categories; however, these impacts are not daily accumulative.
3. *Mitigation Effectiveness*: The policy of reusing residual culture media for plant irrigation has proven effective in eliminating the discharge of liquid waste into public waterways.

DAFTAR PUSTAKA (REFERENCES)

- Aditama, R., Wulandari, M., Damayanti, A. P., & Santoso, A. P. A. (2025, April). Hukum bisnis sebagai instrumen penguatan ekosistem usaha dan stabilitas ekonomi. In *Prosiding Seminar Nasional Hukum, Bisnis, Sains dan Teknologi* (Vol. 5, No. 1, pp. 142–148).
- Amalia, A. V., Haris, A., Heriyanti, A. P., Amelia, R. N., Rifa'atunnisa, R. A., Soeprobawati, T. R., & Christwardana, M. (2025). Eksplorasi Potensi Spirulina Dalam Penanganan Limbah Oli Bekas Kendaraan. *Bookchapter Alam Universitas Negeri Semarang*, 5, 1–16.
- Dahlani, L., & Darmayanti, R. (2025). Tinjauan Sistematis dan Pemetaan Kebijakan Inisiatif Nol Sampah: Kesenjangan Kebijakan, Efisiensi Rantai Pasok, dan Penilaian Siklus Hidup Sosial dalam Mitigasi Kerugian Pasca Panen. *Assyfa Journal of Farming and Agriculture*, 2(2), 40–52.
- Hanif, M., Kusumawati, R., & Natasha, F. (2025). Strategi Pengolahan Alga menjadi Bioenergi: Studi Literatur Sistematis Global. *Nusantara Technology and Engineering Review*, 3(1), 1–11.
- Jumrodah, J., Mujahid, A., Jayanti, N. U., Najhah, N. R., & Nuridah, N. (2026). Innovation of Mix Mango-Spirulina Smoothies as a Modern Functional Beverage Towards Creative Economy. *Jurnal Biologi Tropis*, 26(1), 439–446.
- Kusmayanti, H., & Suwandono, A. (2025). Menelaah Greenwashing: Perlindungan Hukum Konsumen di Tengah Tren Produk Ramah Lingkungan. *LITRA: Jurnal Hukum Lingkungan, Tata Ruang, dan Agraria*, 4(2).
- Risqi, S., Farhan, M., Saputra, R., Defriansyah, D., & Wahyudi, B. (2025). Kajian Literatur Masa Depan Manajemen Rantai Pasok dalam Perspektif Teknik Industri: Tantangan dan Strategi. *Journal of Industrial Engineering Innovation*, 3(01), 1–10.



ALBITEC

Contact Us :
Kontak Kami :

Kel, Jetis Terawas, RT.03/RW.03, Cepoko,
Kec. Gn. Pati, Kota Semarang, Jawa Tengah

www.albitec.co.id