

Analisis Green Productivity Produk Inner Karung Plastik dengan Metode LCA (Life Cycle Assessment) di PT Murni Mapan Makmur Pasuruan

Muchammad Zaidan Fahmi Dzirkullah¹, Abdul Wahid^{2*}

^{1,2}Fakultas Teknik, Universitas Yudharta Pasuruan, Indonesia

Corresponding Author's e-mail : wahid.yudharta@ac.id



e-ISSN: 2964-2981

ARMADA : Jurnal Penelitian Multidisiplin

<https://ejournal.45mataram.ac.id/index.php/armada>

Vol. 04, No. 08 Agustus, 2026

Page: 3673-3689

DOI:

<https://doi.org/10.55681/armada.v4i8.3289>

Article History:

Received: Juni 19, 2026

Revised: Juli 12, 2026

Accepted: Agustus 19, 2026

Abstract : *This study examines the application of Green Productivity combined with Life Cycle Assessment (LCA) in the production process of Phonska inner sacks at PT. Murni Mapan Makmur, Pasuruan. The research highlights major issues such as high electricity consumption, intensive use of polyethylene (PE) raw materials, and significant plastic waste generation. LCA analysis revealed that the extrusion stage contributes the most to environmental impacts due to energy consumption, while cutting and sealing stages generate substantial plastic waste from defective products. Implementation of Green Productivity through machine calibration, regular blade replacement, standardized cutting parameters, and enhanced production monitoring successfully reduced plastic waste by 40%, increased the use of eco-friendly materials from 10% to 50%, and improved waste utilization efficiency from 30% to 70%. These findings demonstrate that integrating LCA with Green Productivity provides data-driven recommendations to enhance productivity while reducing environmental impacts sustainably.*

Keywords : *Life Cycle Assessment, Green Productivity, Plastic Waste*

Abstrak : Penelitian ini menganalisis penerapan Green Productivity dengan metode Life Cycle Assessment (LCA) pada proses produksi inner karung Phonska di PT. Murni Mapan Makmur, Pasuruan. Latar belakang penelitian berangkat dari tingginya konsumsi energi listrik, penggunaan bahan baku polyethylene (PE), serta timbulnya limbah plastik yang signifikan. Analisis LCA menunjukkan bahwa tahapan ekstrusi menjadi penyumbang dampak lingkungan terbesar melalui konsumsi energi, sedangkan proses cutting dan sealing menghasilkan limbah plastik dalam jumlah tinggi akibat produk cacat. Penerapan konsep Green Productivity melalui kalibrasi mesin, penggantian pisau berkala, standarisasi parameter pemotongan, dan peningkatan pengawasan produksi berhasil menurunkan limbah plastik sebesar 40%, meningkatkan penggunaan bahan ramah lingkungan dari 10% menjadi 50%, serta meningkatkan efisiensi pemanfaatan limbah dari 30% menjadi 70%. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa integrasi LCA dan Green Productivity mampu memberikan rekomendasi berbasis data untuk peningkatan produktivitas sekaligus pengurangan dampak lingkungan secara berkelanjutan.

Kata Kunci : Life Cycle Assessment, Green Productivity, Limbah Plastik

PENDAHULUAN

Perkembangan sektor industri saat ini tidak hanya berorientasi pada peningkatan produksi, tetapi juga mulai memperhatikan dampak lingkungan yang dihasilkan dari aktivitas produksi tersebut. Industri manufaktur, khususnya yang berkaitan dengan produksi kemasan plastik, diketahui berkontribusi terhadap peningkatan limbah padat dan emisi lingkungan apabila tidak dikelola secara optimal (He et al., 2021). Salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk mendukung konsep tersebut adalah Green Productivity, yaitu pendekatan yang mengintegrasikan peningkatan efisiensi produksi dengan upaya pengurangan dampak lingkungan (Cheng et al., 2023). Meskipun demikian, dalam praktiknya masih banyak proses produksi yang belum sepenuhnya memperhatikan efisiensi penggunaan sumber daya maupun dampak lingkungan yang dihasilkan. Penggunaan bahan baku yang berlebihan, limbah produksi, serta konsumsi energi yang tinggi sering kali menjadi permasalahan yang muncul dalam proses produksi industri. Jika kondisi ini tidak dianalisis dan dikendalikan dengan baik, maka dapat menimbulkan kerugian baik dari sisi ekonomi maupun lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang mampu mengidentifikasi dan mengevaluasi dampak lingkungan dari suatu proses produksi secara menyeluruh sehingga perusahaan dapat menentukan langkah perbaikan yang tepat (Astuti et al., 2021).

Dalam konteks ini, penerapan konsep Green Productivity menjadi sangat penting karena dapat menyatukan peningkatan produktivitas dengan pengurangan dampak lingkungan (Prasetya, 2024). Untuk mendukung analisis tersebut, metode Life Cycle Assessment (LCA) digunakan sebagai alat untuk mengevaluasi secara sistematis dan kuantitatif potensi dampak lingkungan dari setiap tahapan proses produksi (Astuti et al., 2021). Proses produksi inner karung melibatkan penggunaan bahan baku plastik, energi, serta berbagai tahapan proses produksi yang berpotensi menghasilkan limbah maupun dampak lingkungan tertentu. Oleh karena itu, analisis terhadap proses produksi tersebut menjadi penting untuk memastikan bahwa kegiatan produksi dapat berjalan secara efisien sekaligus ramah lingkungan. Dalam penelitian ini, objek yang dikaji adalah proses produksi inner karung Phonska yang dilakukan di PT. Murni Mapan Makmur yang berlokasi di Pasuruan.

Pemilihan PT. Murni Mapan Makmur sebagai objek penelitian didasari oleh karakteristik perusahaan yang berkaitan dengan tujuan studi, yaitu perusahaan yang memproduksi kemasan plastik dalam skala industri dan mempunyai proses produksi yang melibatkan penggunaan sumber daya secara intensif. Di samping itu, produk inner karung Phonska memiliki fungsi penting dalam industri pupuk dan memerlukan proses produksi yang konsisten dalam hal kualitas dan efisiensi. Dengan karakteristik tersebut, perusahaan ini ideal untuk menganalisis hubungan produktivitas dan dampak lingkungan serta merumuskan rekomendasi perbaikan proses produksi yang lebih efisien, berkelanjutan, dan ekologis (Haryani et al., 2025).

Dalam menjalankan operasionalnya, PT. Murni Mapan Makmur mengimplementasikan sistem produksi yang didukung oleh beragam mesin pengolahan plastik, termasuk mesin ekstrusi, printing, cutting, dan sealing. Proses produksi dimulai dari pencampuran bahan baku plastik, pelelehan material, pembentukan lembaran atau film plastik, pencetakan sesuai spesifikasi, pemotongan, hingga penyelesaian produk. Setiap fase dari proses ini memerlukan penggunaan bahan baku plastik dalam volume besar, konsumsi energi listrik yang cukup tinggi, serta menghasilkan limbah berupa scrap plastik, produk cacat, dan limbah lainnya. Oleh karena itu, perusahaan dituntut untuk mengelola sumber daya dan limbah dengan cara yang efektif sehingga proses produksi dapat berjalan dengan efisien dan tetap mempertimbangkan aspek lingkungan.

Metode Life Cycle Assessment (LCA) ini digunakan untuk menilai dampak lingkungan dari suatu produk mulai dari tahap bahan baku, proses produksi, distribusi, hingga tahap akhir siklus hidup produk. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan metode Life Cycle Assessment (LCA) dalam penelitian industri semakin meningkat karena mampu memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai potensi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh suatu proses produksi (Moutik et al., 2023). Dengan menggunakan Life Cycle Assessment (LCA), perusahaan dapat

mengetahui tahapan proses yang paling berkontribusi terhadap dampak lingkungan sehingga dapat dilakukan perbaikan yang lebih efektif. Salah satu sektor industri yang juga menghadapi tantangan terkait efisiensi produksi dan pengelolaan dampak lingkungan adalah industri kemasan, termasuk produksi inner karung pupuk Phonska. Inner karung berfungsi sebagai lapisan pelindung utama yang menjaga kualitas pupuk selama proses penyimpanan dan distribusi (Bajdur & Włodarczyk-makula, 2024).

Sebagai produsen plastik, PT. Murni Mapan Makmur menghadapi tantangan dalam mempertahankan keseimbangan antara pencapaian target produksi dan pengelolaan dampak lingkungan. Proses pembuatan inner karung Phonska memanfaatkan bahan dasar polyethylene (PE), energi listrik untuk menjalankan mesin ekstrusi dan sealing, serta menghasilkan sisa material berupa scrap plastik, produk cacat, dan limbah pendukung lainnya. Jika penggunaan bahan dasar dan energi tidak dikelola dengan baik, akan terjadi pemborosan sumber daya yang berujung pada meningkatnya biaya produksi dan tambahan beban lingkungan. Selain itu, limbah plastik yang dihasilkan dari proses produksi juga dapat meningkatkan tekanan terhadap lingkungan jika tidak dikelola secara efisien melalui sistem pemanfaatan kembali atau daur ulang. Di sisi lain, perusahaan dituntut untuk memproduksi barang dengan mutu yang konsisten, memenuhi target produksi, dan tetap menjaga efisiensi operasional. Situasi ini menunjukkan bahwa peningkatan produktivitas tidak dapat lagi sekadar diukur berdasarkan jumlah output yang dihasilkan, tetapi juga harus mempertimbangkan besar kecilnya sumber daya yang digunakan serta dampak lingkungan yang timbul. Namun, hingga saat ini belum ada evaluasi terintegrasi untuk mengenali tahapan proses produksi yang memberi kontribusi terbesar terhadap dampak lingkungan dan menilai peluang peningkatan produktivitas secara sistematis.

Ketiadaan analisis holistik membuat perusahaan belum memiliki dasar kuantitatif yang kuat untuk menentukan prioritas perbaikan proses produksi. Sebagai akibatnya, upaya peningkatan efisiensi dan pengurangan dampak lingkungan cenderung dilakukan secara terpisah dan belum didukung oleh data yang menunjukkan titik proses paling kritis. Situasi ini menandakan perlunya pendekatan yang mampu mengevaluasi dampak lingkungan secara menyeluruh dan menghubungkannya dengan performa produktivitas perusahaan. Oleh sebab itu, penelitian ini memanfaatkan metode Life Cycle Assessment (LCA) untuk mengidentifikasi dan mengukur potensi dampak lingkungan dari proses pembuatan inner karung Phonska, serta menggunakan pendekatan Green Productivity untuk merumuskan dan mengevaluasi alternatif perbaikan proses. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang berbasis data untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan dasar dan energi, mengurangi limbah produksi, serta meningkatkan produktivitas perusahaan secara berkelanjutan. Selain identifikasi dampak lingkungan dan perumusan alternatif perbaikan, perusahaan juga membutuhkan informasi tentang seberapa besar perubahan yang dapat diraih jika usulan perbaikan tersebut dilaksanakan.

Rekomendasi perbaikan akan lebih bermanfaat jika dilengkapi dengan evaluasi kuantitatif yang menunjukkan potensi penurunan dampak lingkungan dan peningkatan produktivitas yang dapat dicapai. Tanpa adanya evaluasi tersebut, perusahaan akan kesulitan menentukan apakah alternatif perbaikan yang diusulkan benar-benar efektif dan layak untuk direalisasikan. Karenanya, diperlukan analisis lebih lanjut untuk membandingkan kondisi awal proses produksi dengan kondisi setelah penerapan usulan perbaikan sehingga tingkat efektivitas setiap alternatif yang disajikan dapat diketahui. Hasil evaluasi ini diharapkan dapat memberikan dasar yang lebih objektif bagi PT. Murni Mapan Makmur dalam menentukan strategi peningkatan efisiensi produksi dan pengurangan dampak lingkungan secara berkelanjutan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan dari proses produksi inner karung Phonska menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA) dan menyusun usulan perbaikan melalui pendekatan Green Productivity, tetapi juga mengevaluasi dampak penerapan usulan tersebut terhadap penurunan dampak lingkungan dan peningkatan produktivitas.

Meskipun penelitian terdahulu telah banyak membahas penerapan LCA dalam industri manufaktur plastik (Moutik et al., 2023; Bajdur & Włodarczyk-makula, 2024), sebagian besar studi masih berfokus pada identifikasi dampak lingkungan secara parsial tanpa mengaitkannya langsung dengan aspek produktivitas perusahaan. Selain itu, kajian mengenai integrasi LCA

dengan pendekatan Green Productivity dalam konteks produksi inner karung pupuk Phonska belum banyak dilakukan, khususnya pada perusahaan lokal seperti PT. Murni Mapan Makmur. Ketidadaan analisis holistik ini menimbulkan kesenjangan penelitian, yaitu perlunya pendekatan yang mampu mengevaluasi dampak lingkungan secara menyeluruh sekaligus memberikan rekomendasi berbasis data untuk peningkatan produktivitas berkelanjutan. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam mengisi gap tersebut melalui kombinasi metode LCA dan Green Productivity untuk menghasilkan rekomendasi perbaikan proses produksi yang lebih efisien, ekologis, dan aplikatif.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu pendekatan yang mampu mengintegrasikan aspek produktivitas dan aspek lingkungan secara bersamaan. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah penerapan konsep Green Productivity yang dikombinasikan dengan metode Life Cycle Assessment (LCA). Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat diketahui tahapan proses produksi yang memiliki dampak lingkungan paling signifikan serta peluang peningkatan efisiensi produksi yang dapat dilakukan. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi perbaikan proses produksi inner karung Phonska sehingga perusahaan dapat meningkatkan produktivitas sekaligus mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

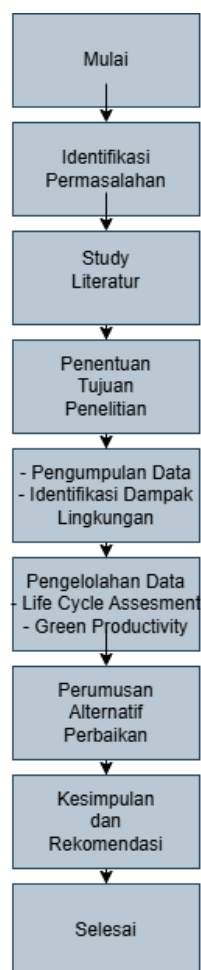
Penelitian diawali dari latar belakang masalah, yaitu adanya tuntutan bagi industri manufaktur untuk meningkatkan produktivitas tanpa mengabaikan dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses produksi.

Pada proses produksi inner karung Phonska di PT. Murni Mapan Makmur penggunaan bahan baku polyethylene (PE), konsumsi energi listrik, serta timbulnya limbah berupa scrap plastik dan produk cacat menunjukkan adanya potensi pemborosan sumber daya dan dampak lingkungan yang perlu dianalisis secara lebih mendalam. Kondisi tersebut menjadi dasar perlunya penelitian untuk mengevaluasi hubungan antara efisiensi produksi dan kinerja lingkungan. Tahap berikutnya adalah observasi lapang, yang dilakukan dengan mengamati secara langsung proses produksi inner karung Phonska di perusahaan. Observasi ini bertujuan untuk memperoleh gambaran nyata mengenai alur proses produksi, penggunaan bahan baku, konsumsi energi, kapasitas produksi, dan limbah yang dihasilkan. Data lapangan yang diperoleh menjadi sumber informasi utama dalam proses analisis.

Selanjutnya dilakukan studi literatur dengan menelaah buku, jurnal ilmiah, standar ISO 14040 dan ISO 14044, serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan Life Cycle Assessment (LCA) dan Green Productivity. Studi literatur ini bertujuan untuk memperkuat landasan teori, memahami metode analisis yang digunakan, dan mengidentifikasi pendekatan yang paling sesuai untuk menyelesaikan permasalahan penelitian. Berdasarkan hasil observasi dan studi literatur, kemudian disusun rumusan masalah yang berfokus pada tiga hal utama, yaitu analisis dampak lingkungan proses produksi, penyusunan usulan perbaikan melalui pendekatan Green Productivity, dan evaluasi efektivitas usulan perbaikan terhadap penurunan dampak lingkungan dan peningkatan produktivitas. Untuk menjawab rumusan masalah pertama, penelitian menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA). Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi seluruh input dan output proses produksi melalui tahapan Goal and Scope Definition, Life Cycle Inventory (LCI), Life Cycle Impact Assessment (LCIA), dan Interpretation. Hasil analisis LCA memberikan informasi mengenai besarnya potensi dampak lingkungan serta tahapan proses yang memberikan kontribusi terbesar terhadap dampak tersebut. Hasil dari LCA kemudian menjadi dasar penerapan konsep Green Productivity, yaitu pendekatan yang mengintegrasikan peningkatan produktivitas dengan pengurangan dampak lingkungan. Pada tahap ini dilakukan perhitungan produktivitas, penentuan indeks Green Productivity, penyusunan alternatif perbaikan, dan evaluasi kondisi setelah perbaikan. Pendekatan ini digunakan untuk mengidentifikasi solusi yang mampu meningkatkan efisiensi penggunaan bahan baku dan energi, mengurangi limbah, serta meningkatkan kinerja produksi.

Tahap akhir dari kerangka pemikiran ini adalah analisis Green Productivity produk inner karung dengan metode Life Cycle Assessment (LCA) di PT. Murni Mapan Makmur. Hasil dari

penelitian ini berupa nilai dampak lingkungan, indeks Green Productivity, usulan perbaikan proses produksi, serta evaluasi efektivitas usulan tersebut terhadap peningkatan produktivitas dan penurunan dampak lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan menghasilkan rekomendasi yang aplikatif dan berbasis data untuk mendukung terciptanya sistem produksi yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup profil perusahaan sebagai informasi dasar dalam pelaksanaan studi serta aspek manajerial yang meliputi jumlah operator pada setiap tahapan proses produksi, jam operasional kerja, dan data permintaan produksi. Selain itu, analisis juga menggunakan data primer dan sekunder terkait jejak mikroplastik yang disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2. Data Primer dan Sekunder

No	Parameter	Satuan	Data Primer	Data Sekunder	Sumber Data Sekunder
1	Kapasitas Produksi	Kg /hari	10.000	10.000	Laporan Produksi
2	Total Limbah plastik Inner Phonska	Gram /hari	462	450 - 600	Jurnal & Riset LCA

3	Konsentrasi Limbah plastik Inner Phonska	Mg / kg produk	40	40 - 55	Studi limbah plastik
4	Emisi Limbah plastik Inner Phonska	Gram /hari	150	130 - 170	Laporan Lingkungan
5	Emisi limbah plastik Inner Phonska ke Udara	Gram /hari	200	180 - 220	Standar Emisi
6	Emisi limbah plastik Inner Phonska ke tanah	Gram /hari	150	130 - 170	Jurnal Industri Hijau
7	Penggunaan Bahan Baku Ramah Lingkungan	% dari total bahan baku	10	5 - 15	Regulasi Industri
8	Frekuensi Perawatan	1 bulan	4	1 - 2	Mesin Manual
9	Efisiensi Pemanfaatan Limbah Plastik	%	30	25 - 35	Data Industri Plastik

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA), diperoleh gambaran mengenai dampak lingkungan yang dihasilkan pada proses produksi inner karung Phonska di PT. Murni Mapan Makmur. Analisis dilakukan dengan pendekatan gate-to-gate yang mencakup penggunaan bahan baku polyethylene (PE), konsumsi energi listrik selama proses produksi, serta limbah yang dihasilkan pada setiap tahapan proses.

Hasil Life Cycle Inventory (LCI) menunjukkan bahwa input utama dalam proses produksi adalah bahan baku polyethylene (PE) dan energi listrik yang digunakan untuk mengoperasikan mesin ekstrusi, cutting, dan sealing. Sementara itu, output yang dihasilkan berupa produk inner karung Phonska, scrap plastik, produk cacat, serta emisi tidak langsung yang berasal dari penggunaan energi listrik. Berdasarkan hasil Life Cycle Impact Assessment (LCIA), kategori dampak lingkungan yang memiliki kontribusi terbesar adalah potensi pemanasan global (Global Warming Potential/GWP).

Dampak tersebut terutama berasal dari konsumsi energi listrik yang digunakan selama proses produksi serta penggunaan bahan baku plastik berbasis petrokimia. Selain itu, limbah scrap plastik yang dihasilkan selama proses pemotongan dan penyegelan juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan beban lingkungan. Tahapan proses yang memberikan dampak lingkungan terbesar adalah proses ekstrusi karena memiliki konsumsi energi paling tinggi dibandingkan proses lainnya. Selain itu, proses cutting dan sealing juga menghasilkan limbah plastik yang cukup signifikan akibat adanya produk cacat dan sisa potongan material. Berdasarkan hasil interpretasi LCA, dapat disimpulkan bahwa penggunaan energi listrik dan timbulnya limbah plastik merupakan faktor utama yang menyebabkan tingginya dampak lingkungan pada proses produksi inner karung Phonska. Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan yang berfokus pada peningkatan efisiensi energi dan pengurangan limbah produksi.

Tabel 3. Sebelum optimasi

No	Parameter	Satuan	Sebelum Optimasi
1	Kapasitas Produksi	kg/hari	10.000

2	Total Limbah plastik Inner Phonska	gram/hari	500
3	Konsentrasi Limbah plastik Inner Phonska	mg/kg produk	50
4	Emisi Limbah plastik Inner Phonska	gram/hari	150
5	Emisi limbah plastik Inner Phonska ke Udara	gram/hari	200
6	Emisi limbah plastik Inner Phonska ke tanah	gram/hari	150
7	Penggunaan Bahan Baku Ramah Lingkungan	% dari total bahan baku	10
8	Frekuensi Perawatan	6 bulan sekali	1
9	Efisiensi Pemanfaatan Limbah Plastik	%	30

Dari data pengurangan limbah plastik yang telah di uji laboratorium dari pengambilan sampel yang ada di PT. Murni Mapan Makmur menjadi salah satu indikator untuk menganalisis produksi inner karung plastik dengan metode *LCA Life Cycle Assessment* dan perhitungan sebelum uji lab dari pengurangan limbah plastik yang ada di tabel 4.4 sebelum optimasi di bawah ini:

Tabel 4. Sesudah optimasi

No	Parameter	Satuan	Sesudah Optimasi
1	Kapasitas Produksi	kg/hari	10.000
2	Total Limbah plastik Inner Phonska	gram/hari	300
3	Konsentrasi Limbah plastik Inner Phonska	mg/kg produk	30
4	Emisi Limbah plastik Inner Phonska	gram/hari	90
5	Emisi limbah plastik Inner Phonska ke Udara	gram/hari	120
6	Emisi limbah plastik Inner Phonska ke tanah	gram/hari	90
7	Penggunaan Bahan Baku Ramah Lingkungan	% dari total bahan baku	50
8	Frekuensi Perawatan	6 bulan sekali	1
9	Efisiensi Pemanfaatan Limbah Plastik	%	70

Data lebih jelas nya:

Tabel 5. Sebelum dan Sesudah optimasi

No	Parameter	Satuan	Sebelum Optimasi	Sesudah Optimasi	Pengurangan/Peningkatan
1	Kapasitas Produksi	kg/hari	10.000	10.000	~
2	Total Limbah plastik Inner Phonska	gram/hari	500	300	40%
3	Konsentrasi Limbah plastik Inner Phonska	mg/kg produk	50	30	40%
4	Emisi Limbah plastik Inner Phonska	gram/hari	150	90	40%
5	Emisi limbah plastik Inner Phonska ke Udara	gram/hari	200	120	40%
6	Emisi limbah plastik Inner Phonska ke tanah	gram/hari	150	90	40%
7	Penggunaan Bahan Baku Ramah Lingkungan	% dari total bahan baku	10	50	400%

8	Frekuensi Perawatan	1 bulan sekali	1	1	200%
9	Efisiensi Pemanfaatan Limbah Plastik	%	30	70	133%

Analisis Life Cycle Assessment (LCA)

Berdasarkan hasil analisis, penerapan strategi optimalisasi pada proses produksi menunjukkan adanya perbaikan yang cukup signifikan terhadap kinerja lingkungan. Salah satu temuan utama terlihat dari penurunan jumlah limbah plastik yang dihasilkan. Sebelum dilakukan optimalisasi, jumlah limbah plastik mencapai 500 gram per hari, sedangkan setelah penerapan strategi perbaikan jumlah tersebut menurun menjadi 300 gram per hari. Penurunan ini menunjukkan bahwa strategi yang diterapkan mampu mengurangi limbah plastik sebesar 40%. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa perbaikan proses produksi memberikan kontribusi nyata dalam menekan timbulan limbah dan mengurangi potensi pencemaran lingkungan.

Selain penurunan jumlah limbah plastik, optimalisasi juga memberikan pengaruh terhadap intensitas gesekan pada komponen mesin. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa intensitas gesekan menurun dari nilai 1.000 menjadi 600 atau mengalami penurunan sebesar 40%. Penurunan intensitas gesekan ini menunjukkan bahwa perbaikan desain dan pengoperasian mesin mampu mengurangi tingkat keausan komponen selama proses produksi berlangsung. Kondisi tersebut penting karena keausan komponen berpotensi menghasilkan partikel mikroplastik yang dapat terlepas ke lingkungan. Dengan demikian, penurunan intensitas gesekan tidak hanya meningkatkan kinerja teknis mesin, tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan potensi emisi mikroplastik dari proses produksi.

Temuan berikutnya menunjukkan adanya peningkatan kinerja sistem filtrasi. Sebelum dilakukan optimalisasi, efisiensi filtrasi berada pada tingkat 50%, kemudian meningkat menjadi 80% setelah diterapkan sistem filtrasi yang lebih baik. Peningkatan tersebut menunjukkan adanya kenaikan efisiensi sebesar 60% dibandingkan kondisi awal. Hasil ini mengindikasikan bahwa sistem filtrasi yang diterapkan memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menangkap partikel limbah plastik sebelum terlepas ke lingkungan. Semakin tinggi efisiensi filtrasi, semakin kecil pula jumlah partikel plastik yang berpotensi masuk ke badan air atau media lingkungan lainnya.

Pada aspek penggunaan bahan baku, hasil analisis menunjukkan adanya peningkatan yang sangat signifikan dalam penggunaan bahan ramah lingkungan. Sebelum optimalisasi, bahan ramah lingkungan hanya digunakan sebesar 10% dari total bahan baku, sedangkan setelah optimalisasi penggunaannya meningkat menjadi 50%. Perubahan tersebut menunjukkan peningkatan sebesar 400% dibandingkan kondisi awal. Temuan ini memperlihatkan adanya perubahan orientasi penggunaan bahan baku menuju material yang lebih berkelanjutan. Peningkatan penggunaan bahan ramah lingkungan dapat membantu mengurangi ketergantungan terhadap material yang memiliki dampak lingkungan lebih besar sekaligus memperkuat penerapan prinsip produksi berkelanjutan.

Peningkatan juga ditemukan pada aspek pemanfaatan kembali limbah. Sebelum dilakukan optimalisasi, tingkat pemanfaatan limbah hanya mencapai 30%, sedangkan setelah penerapan strategi daur ulang dan penggunaan kembali material meningkat menjadi 70%. Kondisi tersebut menunjukkan adanya peningkatan efisiensi pemanfaatan limbah sebesar 133,33% dibandingkan kondisi sebelumnya. Temuan ini menunjukkan bahwa strategi daur ulang dan pemanfaatan kembali limbah mampu meningkatkan nilai guna material yang sebelumnya berpotensi menjadi limbah. Dengan meningkatnya pemanfaatan kembali material, jumlah limbah yang harus dibuang ke lingkungan dapat ditekan sekaligus mengurangi kebutuhan terhadap bahan baku baru.

Secara keseluruhan, hasil temuan menunjukkan bahwa penerapan strategi optimalisasi mampu meningkatkan kinerja lingkungan proses produksi secara nyata. Hal ini ditunjukkan oleh penurunan limbah plastik sebesar 40%, penurunan intensitas gesekan sebesar 40%, peningkatan efisiensi filtrasi sebesar 60%, peningkatan penggunaan bahan ramah lingkungan sebesar 400%, serta peningkatan efisiensi pemanfaatan limbah sebesar 133,33%. Temuan tersebut

memperlihatkan bahwa perbaikan desain mesin, peningkatan sistem filtrasi, penggunaan bahan yang lebih ramah lingkungan, serta penerapan strategi daur ulang dan pemanfaatan kembali limbah merupakan langkah yang saling mendukung dalam menekan dampak lingkungan dari proses produksi. Dengan demikian, hasil analisis ini menunjukkan bahwa strategi optimalisasi yang diterapkan tidak hanya meningkatkan efisiensi proses, tetapi juga memperkuat upaya perusahaan dalam menerapkan produksi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Analisis Green Productivity

Analisis Green Productivity dilakukan untuk mengidentifikasi efisiensi proses produksi inner karung Phonska sekaligus mengevaluasi potensi pengurangan limbah yang dihasilkan pada setiap tahapan produksi. Tahapan yang dianalisis meliputi proses penggulungan, pemotongan (cutting), pemeriksaan kualitas (quality control), dan packing. Berdasarkan hasil observasi, setiap proses memiliki kontribusi terhadap produktivitas dan potensi timbulnya limbah plastik.

Tabel 6. Data Produksi pada Tahap Penggulungan dan Packing

Parameter	Nilai
Panjang plastik	114 cm
Lebar plastik	60 cm
Ketebalan plastik	0,04 mm
Berat per lembar	51 gram
Kapasitas kemasan	50 kg pupuk
Panjang 1 rol plastik	3.000 m
Jumlah lembar per rol	2.600 lembar
Berat 1 rol plastik	133 kg
1 lempitan	100 lembar
1 bendel	1.000 lembar

Pada proses penggulungan, produktivitas ditunjukkan oleh kemampuan mesin menghasilkan 2.600 lembar plastik dalam satu rol. Namun, ketidaksesuaian ketebalan dan ukuran plastik dapat menyebabkan cacat pada proses berikutnya sehingga berpotensi meningkatkan jumlah limbah. Pada proses cutting, sistem notifikasi setiap 50 lembar membantu operator dalam mengendalikan jumlah produksi dan mengurangi kesalahan pemotongan. Sementara, pada tahap quality control ditemukan beberapa jenis cacat produk yang berpotensi menurunkan produktivitas dan meningkatkan limbah plastik.

Tabel 7. Jenis Cacat Produk Inner Karung Plastik

No	Faktor Faktor
1	Pres pres an plastik kurang rapat
2	Sobek
3	Panjang ekor seal tidak normal

Berdasarkan analisis Green Productivity, proses quality control dan cutting merupakan tahapan yang paling berpengaruh terhadap pembentukan limbah karena berkaitan langsung dengan produk cacat. Oleh karena itu, peningkatan pengaturan mesin, pengawasan kualitas, dan pemanfaatan kembali limbah plastik hasil produksi dapat meningkatkan produktivitas sekaligus mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan.

Berdasarkan hasil analisis Life cycle assessment dan Green Productivity, proses cutting merupakan tahapan yang memiliki pengaruh besar terhadap produktivitas dan pembentukan limbah plastik. Pada proses ini ditemukan beberapa cacat produk seperti panjang potongan yang tidak sesuai standar, panjang ekor seal yang tidak normal, serta plastik sobek akibat ketidaktepatan proses pemotongan. Kondisi tersebut menyebabkan meningkatnya jumlah produk reject yang berdampak pada pemborosan bahan baku dan bertambahnya limbah plastik hasil

produksi. Oleh karena itu, usulan perbaikan difokuskan pada peningkatan kinerja mesin cutting melalui standarisasi parameter mesin, perawatan berkala, dan peningkatan pengawasan proses produksi.

Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) yang dikombinasikan dengan prinsip *Green Productivity* mampu menghasilkan perbaikan kinerja lingkungan tanpa menurunkan kapasitas produksi inner karung Phonska. Kondisi tersebut terlihat dari kapasitas produksi yang tetap berada pada tingkat 10.000 kg/hari, sementara jumlah limbah plastik mengalami penurunan dari 500 gram/hari menjadi 300 gram/hari atau sebesar 40%. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan kinerja lingkungan tidak selalu harus dicapai melalui pengurangan aktivitas produksi, tetapi dapat dilakukan dengan meningkatkan efisiensi proses dan mengurangi keluaran nonproduktif. Hasil tersebut sejalan dengan Ferrazzi et al. (2025), yang menunjukkan bahwa penerapan praktik *lean manufacturing* secara umum memberikan pengaruh positif terhadap eco-efficiency melalui penurunan konsumsi material, konsumsi energi, jejak karbon, limbah produksi, dan produk cacat. Naeemah dan Wong (2022) juga menjelaskan bahwa berbagai perangkat *lean manufacturing*, termasuk *continuous improvement*, *quality management*, dan pengurangan pemborosan, memiliki hubungan positif dengan aspek keberlanjutan manufaktur. Dengan demikian, penurunan limbah yang ditemukan pada penelitian ini memperkuat bukti bahwa peningkatan produktivitas dan peningkatan kinerja lingkungan dapat berlangsung secara simultan ketika perbaikan diarahkan pada sumber pemborosan dalam proses produksi.

Penurunan limbah sebesar 40% menjadi temuan penting karena terjadi pada kapasitas produksi yang tidak berubah. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa jumlah material yang kehilangan nilai akibat menjadi *scrap* atau produk *reject* dapat ditekan tanpa mengurangi output produksi. Dalam perspektif eco-efficiency, kondisi ini menunjukkan adanya peningkatan kemampuan sistem produksi dalam menghasilkan nilai produk dengan beban material dan lingkungan yang lebih rendah. Ferrazzi et al. (2025) mengelompokkan penggunaan material, limbah produksi, dan produk cacat sebagai indikator penting eco-efficiency manufaktur karena ketiganya merepresentasikan sumber daya yang telah digunakan tetapi tidak sepenuhnya dikonversi menjadi produk bernilai tambah. Hasil penelitian ini juga konsisten dengan temuan Choudhary et al. (2022), yang menunjukkan bahwa penerapan praktik *lean* dan manajemen kualitas memiliki hubungan dengan peningkatan kinerja operasional sekaligus kinerja lingkungan. Oleh karena itu, pengurangan limbah pada produksi inner karung Phonska tidak hanya dapat dipahami sebagai keberhasilan pengelolaan limbah, tetapi juga sebagai indikasi peningkatan efisiensi penggunaan bahan baku di dalam sistem produksi.

Temuan tersebut menjadi semakin relevan ketika dikaitkan dengan hasil identifikasi proses *cutting* dan *quality control* sebagai tahapan yang memiliki pengaruh besar terhadap terbentuknya produk cacat dan limbah plastik. Ketidaksesuaian panjang pemotongan, kondisi plastik yang sobek, hasil *press* yang kurang rapat, dan panjang ekor *seal* yang tidak normal menyebabkan material yang sebenarnya telah melalui sejumlah tahapan produksi kehilangan fungsi ekonominya sebagai produk jadi. Dalam kondisi demikian, produk cacat tidak hanya menimbulkan kehilangan bahan baku, tetapi juga membawa beban energi dan sumber daya dari tahapan produksi sebelumnya. Panagiotopoulou et al. (2022) menegaskan bahwa dampak lingkungan manufaktur perlu dianalisis secara menyeluruh pada tingkat proses, mesin, dan sistem karena penggunaan material, energi, serta aktivitas operasi mesin secara bersama-sama membentuk jejak lingkungan suatu produk. Sementara itu, Choudhary et al. (2022) menunjukkan bahwa penguatan praktik manajemen kualitas dapat mendukung peningkatan kinerja lingkungan karena pengendalian kualitas berhubungan dengan kemampuan perusahaan menekan aktivitas dan output yang tidak memberikan nilai tambah. Temuan penelitian ini dengan demikian memperlihatkan bahwa peningkatan kualitas proses pada *cutting*, *sealing*, dan *quality control* memiliki implikasi lingkungan yang sama pentingnya dengan implikasi teknis dan ekonominya.

Hasil LCA dalam penelitian ini juga mengidentifikasi konsumsi energi listrik dan penggunaan bahan berbasis polyethylene sebagai faktor penting dalam pembentukan dampak lingkungan, dengan proses ekstrusi menjadi salah satu tahapan yang perlu mendapat perhatian karena kebutuhan energinya relatif tinggi. Temuan ini konsisten dengan perspektif Panagiotopoulou et al. (2022), yang menyatakan bahwa konsumsi energi pada mesin dan proses manufaktur merupakan komponen penting pembentuk jejak karbon industri. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa strategi perbaikan lingkungan pada produksi inner karung Phonska tidak cukup hanya dilakukan melalui pengurangan limbah di bagian akhir proses, tetapi juga perlu diarahkan pada peningkatan efisiensi operasi mesin. Dalam konteks ini, pengendalian parameter mesin, pengurangan waktu operasi yang tidak produktif, pencegahan cacat, dan perawatan mesin menjadi saling berkaitan karena mesin yang beroperasi pada kondisi yang lebih stabil berpotensi menghasilkan produk dengan tingkat cacat lebih rendah sekaligus menghindari konsumsi energi yang tidak menghasilkan produk bernilai tambah. Dengan demikian, hasil LCA memberikan dasar bahwa intervensi pada efisiensi energi dan efisiensi material seharusnya dilakukan secara terintegrasi.

Penurunan intensitas gesekan komponen mesin sebesar 40% juga memiliki arti penting ketika dikaitkan dengan potensi pembentukan partikel plastik akibat proses mekanis. Secara umum, proses abrasi mekanis dapat menyebabkan fragmentasi material plastik menjadi partikel berukuran lebih kecil. Bullard et al. (2023) menunjukkan secara eksperimental bahwa abrasi dapat menyebabkan degradasi fisik dan fragmentasi mikroplastik, termasuk menghasilkan fragmen berukuran sangat kecil. Walaupun mekanisme abrasi yang diteliti Bullard et al. (2023) berbeda dari kondisi mesin *cutting* dalam penelitian ini, kesamaan mekanisme mekanis memberikan dasar untuk memahami bahwa pengurangan gesekan dan keausan dapat menjadi tindakan pencegahan yang relevan untuk menekan pembentukan partikel dari material plastik. Oleh karena itu, penurunan intensitas gesekan pada penelitian ini dapat dipandang tidak hanya sebagai peningkatan performa teknis mesin, tetapi juga sebagai bentuk pengendalian pada sumber yang berpotensi mengurangi pelepasan partikel akibat proses mekanis. Temuan tersebut sekaligus memperkuat pentingnya perawatan mesin dan standarisasi parameter operasi sebagai bagian dari strategi produksi yang lebih bersih.

Selain pengendalian pada sumber, hasil penelitian menunjukkan peningkatan efisiensi filtrasi dari 50% menjadi 80%. Secara relatif, perubahan tersebut merepresentasikan peningkatan efisiensi sebesar 60%, atau kenaikan sebesar 30 poin persentase dibandingkan kondisi awal. Temuan ini penting karena memperlihatkan bahwa strategi pengendalian pencemaran tidak hanya dilakukan melalui pencegahan pembentukan limbah, tetapi juga melalui peningkatan kemampuan sistem menangkap partikel yang masih terbentuk selama proses produksi. Acarer (2023) dalam kajiannya mengenai teknologi pemisahan mikroplastik menunjukkan bahwa sistem filtrasi, khususnya teknologi berbasis membran, merupakan salah satu pendekatan yang menjanjikan dalam meningkatkan penyisihan partikel mikroplastik dari aliran air dan air limbah. Meskipun karakteristik sistem filtrasi dalam setiap aplikasi dapat berbeda, temuan tersebut memberikan dukungan terhadap arah perbaikan pada penelitian ini bahwa peningkatan efektivitas filtrasi dapat memperkecil peluang partikel plastik keluar dari sistem pengendalian. Oleh sebab itu, kombinasi antara pengurangan pembentukan partikel pada sumber dan peningkatan efisiensi penangkapan merupakan strategi yang lebih komprehensif dibandingkan hanya mengandalkan salah satu pendekatan.

Temuan berikutnya memperlihatkan bahwa proporsi penggunaan bahan baku ramah lingkungan meningkat dari 10% menjadi 50%. Secara matematis, perubahan tersebut merupakan peningkatan relatif sebesar 400%, tetapi dalam interpretasi ilmiah perlu pula ditegaskan bahwa terjadi kenaikan sebesar 40 poin persentase dari komposisi awal. Perubahan tersebut menunjukkan adanya upaya substitusi material menuju komposisi bahan yang dinilai memiliki karakteristik lingkungan lebih baik. Namun demikian, peningkatan penggunaan bahan ramah lingkungan perlu dievaluasi berdasarkan perspektif siklus hidup dan tidak hanya berdasarkan asal bahan. Rosenboom et al. (2022) menjelaskan bahwa material berbasis hayati atau material alternatif terhadap plastik berbasis fosil dapat memberikan manfaat lingkungan, tetapi manfaat

tersebut bergantung pada sumber bahan baku, energi produksi, sifat fungsional produk, kemampuan daur ulang, dan skenario akhir masa pakai. Artinya, label “ramah lingkungan” tidak secara otomatis menunjukkan dampak siklus hidup yang lebih rendah pada seluruh kategori lingkungan. Oleh karena itu, temuan peningkatan penggunaan bahan ramah lingkungan dalam penelitian ini merupakan perkembangan positif, sekaligus memperlihatkan pentingnya LCA untuk memastikan bahwa substitusi material benar-benar menghasilkan pengurangan dampak dan tidak sekadar memindahkan beban lingkungan dari satu tahap siklus hidup ke tahap lainnya.

Peningkatan efisiensi pemanfaatan limbah dari 30% menjadi 70% merupakan temuan lain yang memperkuat dimensi circularity dalam proses produksi. Perubahan tersebut setara dengan peningkatan relatif sekitar 133,33% atau kenaikan 40 poin persentase dari kondisi awal. Temuan ini menunjukkan bahwa material sisa yang sebelumnya berpotensi menjadi residu dapat dipertahankan nilainya melalui penggunaan kembali atau daur ulang. Olatayo et al. (2023) menekankan bahwa keberhasilan sistem daur ulang plastik tidak cukup dinilai berdasarkan jumlah material yang dikumpulkan, tetapi perlu mempertimbangkan kinerja sepanjang rantai nilai, termasuk kualitas material, tingkat pemulihan, kapasitas penggunaan kembali, dan kemampuan material hasil daur ulang menggantikan bahan baku primer. Dalam konteks penelitian ini, peningkatan pemanfaatan limbah menjadi 70% dapat dipandang sebagai pergeseran dari pola produksi linear menuju pengelolaan material yang lebih sirkular, karena sebagian besar residu produksi dapat dipertahankan dalam aliran pemanfaatan daripada langsung menjadi limbah.

Meskipun demikian, peningkatan tingkat daur ulang perlu tetap dianalisis secara hati-hati dari perspektif LCA. Nordahl dan Scown (2024) menjelaskan bahwa hasil LCA sistem plastik daur ulang dapat berubah secara substansial bergantung pada pemilihan unit fungsional, batas sistem, kualitas material hasil daur ulang, asumsi substitusi material virgin, serta skenario pengelolaan akhir. Pandangan tersebut sangat relevan dengan hasil penelitian ini. Peningkatan pemanfaatan limbah dari 30% menjadi 70% akan memberikan manfaat lingkungan yang lebih kuat apabila material hasil pemanfaatan kembali benar-benar menggantikan sebagian penggunaan bahan baku baru dan tetap dapat memenuhi persyaratan teknis produk. Dengan demikian, temuan penelitian ini tidak hanya memperlihatkan peningkatan kuantitas pemanfaatan limbah, tetapi juga membuka ruang untuk mengevaluasi kualitas dan fungsi material yang dikembalikan ke dalam sistem produksi. Pendekatan tersebut akan menjadikan circularity tidak hanya berorientasi pada persentase daur ulang, melainkan pada seberapa besar pemanfaatan kembali tersebut mampu menghindari penggunaan sumber daya primer dan pembentukan limbah baru.

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, hasil penelitian ini secara umum memperkuat hubungan antara perbaikan proses, pengendalian kualitas, produktivitas, dan kinerja lingkungan. Naeemah dan Wong (2022) menemukan bahwa perangkat *lean manufacturing* memberikan dampak positif terhadap berbagai dimensi keberlanjutan, termasuk pengurangan limbah dan emisi. Choudhary et al. (2022) menunjukkan bahwa kombinasi praktik *lean* dan manajemen kualitas berkontribusi terhadap peningkatan kinerja operasional serta lingkungan, sedangkan Ferrazzi et al. (2025) memperlihatkan bahwa pengurangan konsumsi energi, bahan baku, jejak karbon, dan limbah merupakan bentuk eco-efficiency yang paling banyak dipengaruhi oleh praktik perbaikan manufaktur. Penelitian ini memperluas relevansi temuan-temuan tersebut pada konteks produksi inner karung plastik, dengan menunjukkan bahwa kapasitas produksi dapat dipertahankan pada 10.000 kg/hari ketika limbah plastik justru berkurang sebesar 40%. Dengan demikian, kontribusi penelitian ini terletak pada bukti empiris bahwa perbaikan lingkungan dan produktivitas bukan merupakan dua tujuan yang harus dipertentangkan, melainkan dapat dicapai secara bersamaan melalui pengendalian titik kritis proses produksi.

Integrasi LCA dengan *Green Productivity* juga menjadi aspek penting dalam menjelaskan temuan penelitian. LCA memberikan kemampuan untuk mengidentifikasi sumber dampak lingkungan berdasarkan konsumsi material, energi, dan keluaran proses, sedangkan *Green Productivity* memberikan orientasi perbaikan pada aktivitas operasional yang dapat dikendalikan perusahaan. Dalam penelitian ini, pendekatan tersebut memungkinkan identifikasi proses

ekstrusi dari sisi penggunaan energi, sekaligus mengidentifikasi *cutting*, *sealing*, dan *quality control* dari sisi pembentukan limbah dan produk cacat. Pola tersebut sejalan dengan pandangan Panagiotopoulou et al. (2022) bahwa dampak lingkungan manufaktur sebaiknya dianalisis pada berbagai tingkat, mulai dari proses hingga sistem produksi, serta dengan Ferrazzi et al. (2025) yang menekankan pentingnya menghubungkan efisiensi operasional dengan indikator eco-efficiency. Integrasi kedua pendekatan dalam penelitian ini karena itu tidak hanya menghasilkan pengukuran dampak, tetapi juga mengarahkan hasil pengukuran tersebut menuju tindakan perbaikan yang lebih operasional.

Secara praktis, hasil penelitian memberikan implikasi bahwa perusahaan dapat meningkatkan kinerja lingkungan tanpa mengorbankan kapasitas produksi dengan memprioritaskan pengendalian terhadap sumber pemborosan material. Perbaikan dapat diarahkan pada standarisasi parameter mesin *cutting* dan *sealing*, penguatan *quality control*, pengurangan variasi proses, peningkatan efektivitas filtrasi, serta pelaksanaan program perawatan mesin secara konsisten. Temuan ini sejalan dengan literatur yang menunjukkan bahwa pengendalian kualitas dan praktik *lean* dapat meningkatkan kinerja operasional sekaligus lingkungan (Choudhary et al., 2022; Naeemah & Wong, 2022). Dari sisi manajerial, indikator seperti jumlah limbah per unit produksi, tingkat produk *reject*, pemanfaatan kembali limbah, proporsi bahan alternatif, efisiensi filtrasi, serta konsumsi energi per unit produk dapat dikembangkan menjadi indikator kinerja lingkungan yang dipantau secara berkala. Dengan cara tersebut, hasil LCA tidak hanya berfungsi sebagai evaluasi pada satu periode, tetapi menjadi bagian dari sistem *continuous improvement* perusahaan.

Implikasi lain berkaitan dengan strategi circularity. Peningkatan pemanfaatan limbah hingga 70% menunjukkan bahwa perusahaan memiliki peluang untuk mengembangkan sistem pengelolaan material yang lebih tertutup. Namun, sebagaimana dikemukakan Olatayo et al. (2023) dan Nordahl dan Scown (2024), keberhasilan circularity perlu memperhatikan tidak hanya jumlah material yang didaur ulang, tetapi juga kualitas, substitusi terhadap material virgin, dan manfaat lingkungan aktual sepanjang siklus hidup. Dengan demikian, perusahaan dapat mengembangkan sistem pencatatan material yang memisahkan jumlah scrap yang terbentuk, jumlah yang dapat dikembalikan ke proses, kualitas material hasil pemanfaatan kembali, dan jumlah bahan baku baru yang berhasil disubstitusi. Pendekatan tersebut akan memberikan informasi yang lebih kuat dalam menentukan manfaat lingkungan dan ekonomi dari strategi daur ulang.

Secara ilmiah, penelitian ini memberikan implikasi bahwa penggabungan LCA dan *Green Productivity* dapat digunakan sebagai kerangka evaluasi yang menghubungkan aspek lingkungan dengan karakteristik teknis proses produksi. LCA memungkinkan identifikasi titik dampak, sedangkan *Green Productivity* membantu menerjemahkan hasil tersebut menjadi alternatif peningkatan efisiensi. Kontribusi ini penting karena kajian keberlanjutan manufaktur semakin menuntut evaluasi yang tidak hanya menunjukkan besarnya dampak lingkungan, tetapi juga mampu mengidentifikasi mekanisme operasional yang menyebabkan dampak tersebut dan bagaimana dampak dapat dikurangi tanpa mengganggu produktivitas. Temuan penelitian ini mendukung perspektif tersebut dengan menunjukkan bahwa penurunan limbah, peningkatan efisiensi filtrasi, perbaikan penggunaan material, dan peningkatan pemanfaatan limbah dapat dicapai bersamaan dengan terjaganya kapasitas produksi.

Hasil penelitian ini perlu dipahami sesuai dengan batas sistem dan tujuan analisis yang telah ditetapkan. Penggunaan pendekatan *gate-to-gate* memberikan kekuatan karena memungkinkan analisis yang lebih terfokus terhadap proses produksi yang berada langsung di bawah kendali perusahaan. Namun, konsekuensinya adalah dampak pada tahap produksi bahan baku, transportasi, penggunaan produk, serta akhir masa pakai belum menjadi fokus utama analisis. Kondisi ini tidak mengurangi relevansi hasil penelitian untuk perbaikan proses internal, tetapi memberikan peluang bagi penelitian berikutnya untuk memperluas batas sistem menjadi *cradle-to-gate* atau *cradle-to-grave*. Nordahl dan Scown (2024) menekankan bahwa pemilihan batas sistem dan unit fungsional memiliki pengaruh penting terhadap interpretasi LCA plastik,

sehingga perluasan ruang lingkup pada penelitian berikutnya dapat memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh terhadap konsekuensi lingkungan dari strategi optimalisasi.

Penelitian ini juga dilaksanakan pada konteks proses produksi dan karakteristik operasional perusahaan tertentu sehingga temuan yang diperoleh memiliki kekuatan dalam merepresentasikan kondisi aktual objek penelitian. Karakteristik tersebut sekaligus membuka peluang untuk pengujian pada fasilitas, periode produksi, komposisi bahan baku, dan teknologi mesin yang berbeda. Selain itu, peningkatan penggunaan bahan ramah lingkungan dan material hasil pemanfaatan kembali dapat dikembangkan melalui evaluasi terhadap performa teknis dan dampak siklus hidup material secara lebih rinci. Rosenboom et al. (2022) menunjukkan bahwa manfaat material alternatif sangat dipengaruhi oleh proses produksi, sumber energi, karakteristik penggunaan, dan skenario akhir masa pakai. Oleh sebab itu, penelitian lanjutan dapat mengintegrasikan analisis sensitivitas terhadap komposisi material, sumber listrik, tingkat substitusi bahan virgin, dan skenario daur ulang. Pengembangan tersebut akan memperluas generalisasi dan kedalaman analisis, sementara hasil penelitian saat ini tetap memberikan dasar empiris yang kuat untuk pengambilan keputusan pada tingkat proses produksi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi optimalisasi mampu memperbaiki kinerja lingkungan produksi inner karung Phonska melalui penurunan limbah plastik sebesar 40%, penurunan intensitas gesekan sebesar 40%, peningkatan relatif efisiensi filtrasi sebesar 60%, peningkatan relatif penggunaan bahan ramah lingkungan sebesar 400%, dan peningkatan relatif efisiensi pemanfaatan limbah sebesar 133,33%, sementara kapasitas produksi dapat dipertahankan. Temuan ini konsisten dengan literatur terbaru yang menunjukkan bahwa pengurangan limbah, peningkatan kualitas, efisiensi penggunaan sumber daya, dan pemanfaatan kembali material merupakan komponen yang saling berhubungan dalam mewujudkan manufaktur yang lebih berkelanjutan (Ferrazzi et al., 2025; Naeemah & Wong, 2022; Olatayo et al., 2023). Dengan demikian, integrasi LCA dan *Green Productivity* dalam penelitian ini memberikan dasar yang relevan untuk mengarahkan proses produksi menuju sistem yang lebih efisien secara operasional, lebih rendah limbah, dan lebih berorientasi pada prinsip circular economy.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan Life Cycle Assessment (LCA) dan Green Productivity mampu mengidentifikasi sumber utama dampak lingkungan sekaligus menentukan alternatif perbaikan pada proses produksi inner karung Phonska di PT. Murni Mapan Makmur Pasuruan. Dampak terbesar berasal dari konsumsi energi pada proses ekstrusi serta timbunan limbah pada proses cutting dan sealing. Penerapan perbaikan pada proses cutting melalui kalibrasi mesin, penggantian pisau secara berkala, standarisasi parameter pemotongan, dan peningkatan pengawasan berhasil menurunkan limbah plastik dari 500 menjadi 300 gram/hari atau sebesar 40%, meningkatkan penggunaan bahan baku ramah lingkungan dari 10% menjadi 50%, serta meningkatkan efisiensi pemanfaatan limbah dari 30% menjadi 70%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pendekatan Green Productivity dapat meningkatkan efisiensi proses sekaligus memperbaiki kinerja lingkungan perusahaan.

Untuk pengembangan selanjutnya, penelitian disarankan memperluas batas analisis hingga tahap distribusi dan akhir masa pakai produk serta mengevaluasi perubahan produktivitas dan dampak lingkungan secara lebih komprehensif. Bagi praktisi, perusahaan perlu mempertahankan pengendalian proses cutting, menerapkan preventive maintenance, meningkatkan pengawasan kualitas, dan mengoptimalkan daur ulang internal. Dari sisi kebijakan, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar untuk mendorong penerapan efisiensi energi, pengurangan limbah, penggunaan bahan yang lebih ramah lingkungan, serta pemanfaatan kembali material sebagai bagian dari strategi produksi berkelanjutan pada industri kemasan plastik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik moril maupun materil, sehingga kegiatan ini dapat terlaksana dengan baik. Apresiasi diberikan kepada pihak lembaga, mitra, serta rekan-rekan yang telah membantu dalam penyediaan data, fasilitas, maupun masukan yang konstruktif selama proses pelaksanaan. Tidak lupa penulis juga berterima kasih kepada keluarga dan sahabat atas doa serta semangat yang senantiasa diberikan. Dukungan tersebut menjadi motivasi penting bagi penulis dalam menyelesaikan kegiatan ini, dan diharapkan hasilnya dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan maupun praktik di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Acarer, S. (2023). A review of microplastic removal from water and wastewater by membrane technologies. *Water Science and Technology*, 88(1), 199–219. <https://doi.org/10.2166/wst.2023.186>
- Adi, B. K., Joko, T., & Setiani, O. (2022). Life Cycle Assessment , Is it Beneficial for Environmental Sustainability ? A Literature Review. VII(3), 3243–3251.
- Aiguoarueghian, I., Adanma, U. M., Ogunbiyi, E. O., & Okina, N. (2024). Waste management and circular economy : A review of sustainable practices and economic benefits.
- Astuti, R., Kurniawan, B. C., & Setiyawan, D. T. (2021). Implementation of Life Cycle Assessment (LCA) in environmental impact evaluation on production of ground coffee. 04019, 1–12.
- Bajdur, W. M., & Włodarczyk-makula, M. (2024). Application of the Life Cycle Assessment (LCA) Method in Assessing the Environmental Impact of New Materials Derived from Waste Polymers in Terms of Sustainability. 1–15.
- Bodoga, A., Nistorac, A., Loghin, M. C., & Isopescu, D. N. (2024). Environmental Impact of Footwear Using Life Cycle Assessment — Case Study of Professional Footwear. 1–14.
- Bullard, J. E., Zhou, Z., Davis, S., & Fowler, S. (2023). Breakdown and modification of microplastic beads by aeolian abrasion. *Environmental Science & Technology*, 57(1), 76–84. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05396>
- Cheng, C., Ahmad, S. F., Irshad, M., Alsanie, G., Khan, Y., Bani, A. Y. A., Ayassrah, A., & Aleemi, A. R. (2023). Impact of Green Process Innovation and Productivity on Sustainability : The Moderating Role of Environmental Awareness. 1–19.
- Choudhary, K., Sangwa, N. R., Sangwan, K. S., & Singh, R. K. (2022). Impact of lean and quality management practices on green supply chain performance: An empirical study on ceramic enterprises. *Quality Management Journal*, 29(3), 193–211. <https://doi.org/10.1080/10686967.2022.2083036>
- Elgarahy, A. M., Eloffy, M. G., Priya, A. K., Hammad, A., Zahran, M., Maged, A., & Elwakeel, K. Z. (2024). Sustainable Chemistry for the Environment Revitalizing the circular economy : An exploration of e-waste recycling approaches in a technological epoch. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 7(June), 100124. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2024.100124>
- Fatimah, S., Rahayuningsih, M., Marianti, A., & Irambona, A. (2024). Dwija Cendekia : Jurnal Riset Pedagogik. 8(2), 168–188. <https://doi.org/10.20961/jdc.v8i2.86339>
- Ferrazzi, M., Freccassetti, S., Bilancia, A., & Portioli-Staudacher, A. (2025). Investigating the influence of lean manufacturing approach on environmental performance: A systematic literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 136(9), 4025–4044. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-13215-5>
- Hadiati, N., Rohmayanti, T., Studi, P., Pangan, T., Ilmu, F., Halal, P., Djuanda, U., & Korespondensi, P. (2022). PENGGUNAAN KEMASAN PLASTIK POLIETILEN BIODEGRADABLE. 8(2), 83–92.
- Haryani, E., Herdiansyah, H., Edhi, T., & Soesilo, B. (2025). Strategies Inclusive Green Productivity for Environmental Sustainability in the Palm Oil Industry. 8(2), 219–231.
- He, Q., Id, Y. H., & Wang, L. (2021). The impact of environmental regulation on green total factor productivity : An empirical analysis. 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259356>

- Heijungs, R. (2024). New life cycle impact methods require another type of life cycle inventory results. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 29(11), 2004–2007. <https://doi.org/10.1007/s11367-024-02363-1>
- Ijaz, T., Haider, A., Qazalbash, R., Razzaq, A. A., & Rafique, M. Z. (2024). Development of green manufacturing implementation framework based on life-cycle assessment. *Sustainable Environment Research*. <https://doi.org/10.1186/s42834-024-00229-7>
- Islam, M. F., Masud, A. Al, & Shuvro, R. A. (2025). Integrating green HRM for productivity and sustainability : green innovation , engagement and pro - environmental behavior as key mediators. *Future Business Journal*. <https://doi.org/10.1186/s43093-025-00433-w>
- Kaynak, E., & Piri, I. S. (2025). Revisiting the Basics of Life Cycle Assessment and Lifecycle Thinking. 1–17.
- Laurent, A., Weidema, B. P., Bare, J., Liao, X., Souza, D. M. De, Pizzol, M., Sala, S., Schreiber, H., & Thonemann, N. (2021). interpretation phase. <https://doi.org/10.1111/jiec.13012>. Submit
- Leonzio, G. (2024). applied sciences Life Cycle Assessment of Carbon Dioxide Supply Chains : State of the Art and Methodology Description.
- Li, C., Fayaz, S., Bani, A. Y. A., Ayassrah, A., Irshad, M., Telba, A. A., Mahrous, E., & Imran, M. (2023). Heliyon Green production and green technology for sustainability : The mediating role of waste reduction and energy use. *Heliyon*, 9(12), e22496. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22496>
- Liu, J., & Yu, M. (2024). Analysis of green productivity in manufacturing based on different air pollution levels. 1–15.
- Lufu, R., & Ambaw, A. (2021). Dynamics and Physical and Physiological Quality of Pomegranate Fruit during Cold Storage.
- Lupi, G., Manzini, R., Lupi, G., Accorsi, R., Battarra, I., Manzini, R., Mater, A., & Mater, A. (2024). ScienceDirect Assessment of of reusable reusable plastic plastic containers containers throughout throughout the the fruit fruit and of reusable plastic containers throughout the fruit Life Cycle Assessment of reusable plastic containers throughout the fruit and and vegetables supply chain vegetables supply chain throughout the fruit and Assessment of of reusable reusable plastic containers vegetables supply chain Life Cycle plastic containers throughout the fruit and vegetables supply chain vegetables supply chain vegetables supply. IFAC PapersOnLine, 58(19), 451–456. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.09.253>
- Midolo, G., Cutuli, G., Porto, S. M. C., Ottolina, G., Paini, J., & Valenti, F. (2024). OPEN LCA analysis for assessing environmenstal sustainability of new biobased chemicals by valorising citrus waste. *Scientific Reports*, 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72468-y>
- Moutik, B., Summerscales, J., Graham-jones, J., & Pemberton, R. (2023). Life Cycle Assessment Research Trends and Implications : A Bibliometric Analysis.
- Naeemah, A. J., & Wong, K. Y. (2022). Positive impacts of lean manufacturing tools on sustainability aspects: A systematic review. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 39(7), 552–571. <https://doi.org/10.1080/21681015.2022.2041742>
- Ngo, T., Le, T., Hong, H., Aviral, T., & Tiwari, K. (2026). Determinants of global green growth efficiency and productivity : a comprehensive three stages data envelopment analysis.
- Nordahl, S. L., & Scown, C. D. (2024). Recommendations for life-cycle assessment of recyclable plastics in a circular economy. *Chemical Science*, 15(25), 9397–9407. <https://doi.org/10.1039/D4SC01340A>
- Olatayo, K. I., Mativenga, P. T., & Marnewick, A. L. (2023). Plastic value chain and performance metric framework for optimal recycling. *Journal of Industrial Ecology*, 27(2), 601–623. <https://doi.org/10.1111/jiec.13384>
- Panagiotopoulou, V. C., Stavropoulos, P., & Chrysosolouris, G. (2022). A critical review on the environmental impact of manufacturing: A holistic perspective. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 118(1–2), 603–625. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07980-w>
- Pentingkah, S., Penilaian, S., Hidup, S., Penggunaan, P., Bibliometrik, A., & Masa, A. (2024). Jurnal Teknologi Lingkungan How Important is the Life Cycle Assessment (LCA) Study of Plastic

- Waste ? Use of Bibliometric Analysis to Reveal Research Positions and Future Directions. 25(1), 10–19.
- Prasetia, B. (2024). Tarjih : Agribusiness Development Green Productivity Techniques for Analyzing Productivity in Agroindustry. 04, 24–30.
- Rosenboom, J.-G., Langer, R., & Traverso, G. (2022). Bioplastics for a circular economy. *Nature Reviews Materials*, 7(2), 117–137. <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00407-8>
- Rosmiati, V. (2020). Life Cycle Assessment and Energy Efficiency from Industry of Plastic Waste Recycling. 06015, 1–9.
- Silva, S. De, Carson, P., Indrapala, D. V, Warwick, B., & Reichman, S. M. (2023). Land application of industrial wastes : impacts on soil quality , biota , and human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 67974–67996. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26893-7>
- Sophie, A. H., Erasmo, H., & Jo, C. (2026). Methodological strategies for social life cycle assessment of an emerging technology : a case study on circular flexible plastic packaging. 8, 1–23.
- Tascione, V., Simboli, A., Taddeo, R., Del, M., & Raggi, A. (2024). A comparative analysis of recent life cycle assessment guidelines and frameworks : Methodological evidence from the packaging industry. *Environmental Impact Assessment Review*, 108(March), 107590. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107590>
- Timotius, E., Sukmarani, G., Kristen, U., & Wacana, K. (2021). Industrial Waste Treatment Management : A Review. 4(May), 1–8.
- Val, S. (2025). Enhancing Sustainability with LCA : A Comparative Analysis of Design and Manufacturing Processes.
- Wang, S., Id, Y. Z., & Yang, H. (2024). Digital economy and green total factor productivity in China. 1–26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299716>
- Wulandari, I. A. S., Ravita, N., & Cahyana, A. S. (2024). A Model for Enhancing the Environmental Performance by Integrating Lean and Green Productivity Concept : A Case Study of Food Production. 25(1), 83–96.
- Yusrina, Y. Z. (2023). Peningkatan Produktivitas Dan Kinerja Lingkungan Pada. 27(1), 320–326. <https://doi.org/10.46984/sebatik.v27i1.2278>