

Artikel Penelitian

Analisis Green Lean Manufacturing untuk Reduksi Waste dan Dampak Lingkungan pada Proses Pembuatan Tas

Marcel Albert Hendrawan, Aswan Munang*, Khikmatul Aliyah

Direktorat Kampus Purwokerto, Program Studi Teknik Industri, Telkom University Purwokerto, Banyumas, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 03 Desember 2025
Revisi Akhir: 28 Desember 2025
Diterbitkan Online: 05 Januari 2026

KATA KUNCI

Green Lean Manufacturing
Kaizen
Life Cycle Assessment
Pemborosan Produksi
Value Stream Mapping

KORESPONDENSI

E-mail: aswanm@telkomuniversity.ac.id

A B S T R A K

UD Hidayah Abadi merupakan usaha kecil menengah (UKM) yang bergerak di bidang produksi tas dan menghadapi tantangan berupa tidak tercapainya target produksi serta tingginya volume limbah produksi. Limbah utama yang dihasilkan berupa kain perca, sisa benang, dan oli bekas mesin yang berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi aktivitas penyebab pemborosan (waste), mengukur efisiensi proses produksi berdasarkan nilai tambah, serta mengevaluasi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari limbah tersebut. Pendekatan Green Lean Manufacturing digunakan dengan metode Value Stream Mapping (VSM), Process Activity Mapping (PAM), serta simulasi Life Cycle Assessment (LCA) menggunakan metode ReCiPe. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total waktu siklus produksi berhasil dikurangi dari 231,52 menit menjadi 195,82 menit, menghasilkan efisiensi sebesar 15,43%. Evaluasi dampak lingkungan menunjukkan bahwa kain denim mendominasi dengan emisi 748.8 kg CO₂-eq, hampir 1.5 kali lipat lebih tinggi dibandingkan kain kanvas yang menghasilkan 520.5 kg CO₂-eq. Kain parasut dan furing polyester menghasilkan emisi masing-masing 143.0 kg CO₂-eq dan 103.8 kg CO₂-eq. Keempat material tekstil ini secara kolektif menyumbang lebih dari 95% total emisi gas rumah kaca dari seluruh bahan yang dianalisis. Usulan perbaikan disusun menggunakan pendekatan kaizen, dengan fokus pada faktor manusia, mesin, material, metode, dan lingkungan untuk mendukung efisiensi dan keberlanjutan proses produksi.

PENDAHULUAN

Industri tekstil merupakan sektor penting dalam perekonomian nasional karena kontribusinya terhadap pertumbuhan sosial dan ekonomi negara (Maia dkk., 2019). Selain itu, berdasarkan dokumen Rencana Strategis Kementerian Pariwisata dan Ekonomi Kreatif periode 2020–2024, sektor ekonomi kreatif memiliki peran strategis dengan kontribusi sebesar Rp1.153,4 triliun atau setara 7,3% terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional, penyerapan tenaga kerja sebesar 15,2%, serta sumbangan ekspor mencapai 11,9% [1][2]. Salah satu pelaku UKM di sektor ini adalah UD Hidayah Abadi yang berlokasi di Banjarnegara, Jawa Tengah, yang bergerak di bidang produksi berbagai jenis tas sejak tahun 2010. Proses produksi dilakukan oleh 16 karyawan dengan waktu kerja pukul 08.00–16.00 dan target produksi bulanan sebesar 1.450–2.000 unit, bergantung pada kompleksitas desain produk. Namun, dalam penerapan sistem *Make to Order*, UD Hidayah Abadi menghadapi permasalahan ketidaksesuaian antara target waktu produksi dan waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan produk cacat, yang mengindikasikan adanya pemborosan (*waste*) dalam proses produksi. Berdasarkan data produksi Agustus hingga Oktober 2024, dari 12 minggu operasional terdapat 4 minggu yang tidak mencapai target 350 unit per minggu, dengan rata-rata kekurangan produksi sebesar 19,17 unit, yang mencerminkan ketidakstabilan proses produksi dan berpotensi menurunkan kepuasan serta kepercayaan pelanggan. Selain permasalahan produktivitas, proses Industri tekstil merupakan sektor penting dalam perekonomian nasional karena kontribusinya terhadap pertumbuhan sosial dan ekonomi negara (Maia dkk., 2019). Selain itu, berdasarkan dokumen Rencana Strategis Kementerian Pariwisata

dan Ekonomi Kreatif periode 2020–2024, sektor ekonomi kreatif memiliki peran strategis dengan kontribusi sebesar Rp1.153,4 triliun atau setara 7,3% terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional, penyerapan tenaga kerja sebesar 15,2%, serta sumbangan ekspor mencapai 11,9% [1][2]. Salah satu pelaku UKM di sektor ini adalah UD Hidayah Abadi yang berlokasi di Banjarnegara, Jawa Tengah, yang bergerak di bidang produksi berbagai jenis tas sejak tahun 2010. Proses produksi dilakukan oleh 16 karyawan dengan waktu kerja pukul 08.00–16.00 dan target produksi bulanan sebesar 1.450–2.000 unit, bergantung pada kompleksitas desain produk. Namun, dalam penerapan sistem *Make to Order*, UD Hidayah Abadi menghadapi permasalahan ketidaksesuaian antara target waktu produksi dan waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan produk cacat, yang mengindikasikan adanya pemborosan (*waste*) dalam proses produksi. Berdasarkan data produksi Agustus hingga Oktober 2024, dari 12 minggu operasional terdapat 4 minggu yang tidak mencapai target 350 unit per minggu, dengan rata-rata kekurangan produksi sebesar 19,17 unit, yang mencerminkan ketidakstabilan proses produksi dan berpotensi menurunkan kepuasan serta kepercayaan pelanggan. Selain permasalahan produktivitas, proses produksi konveksi tas juga menghasilkan limbah padat dan cair dalam jumlah signifikan, yaitu total limbah tekstil sebesar 119,6 kg per bulan serta limbah lain seperti kertas pola, benang jahit, plastik kemasan, resleting, dan oli mesin bekas yang tergolong limbah B3. Limbah cair dari residu oli dan perawatan mesin berpotensi melampaui baku mutu lingkungan sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, terutama pada parameter *biological oxygen demand* (BOD) dan *chemical oxygen demand* (COD) [3]. Kondisi ini menimbulkan risiko terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat sekitar. Berangkat dari permasalahan tersebut, penelitian ini memiliki kebaruan dengan mengintegrasikan pendekatan *Green Lean Manufacturing* dan *Life Cycle Assessment* (LCA) menggunakan metode ReCiPe untuk mensimulasikan dan mengukur dampak lingkungan pada skala UKM, yang hingga saat ini masih relatif jarang diterapkan karena keterbatasan data dan kompleksitas metode. Penggunaan metode ReCiPe memungkinkan identifikasi dampak lingkungan secara komprehensif pada level *midpoint* dan *endpoint*, sehingga penelitian ini tidak hanya berfokus pada peningkatan efisiensi produksi dan pengurangan *waste*, tetapi juga memberikan kontribusi ilmiah dalam penerapan LCA berbasis ReCiPe sebagai alat pengambilan keputusan lingkungan yang aplikatif bagi UKM konveksi tas.

TINJAUAN PUSTAKA

Konsep Lean Manufacturing

Tujuan *lean manufacturing* adalah untuk membuat tempat kerja lebih produktif, efisien, dan berkelanjutan [4]. Dengan tujuan memberikan nilai kepada pelanggan dan mengurangi pemborosan, *lean* adalah pendekatan yang berkelanjutan. Ini adalah filosofi bisnis yang bertujuan untuk mengurangi jumlah sumber daya, termasuk waktu, yang digunakan oleh perusahaan untuk melakukan berbagai tugas [5]. Mengidentifikasi dan menghilangkan aktivitas yang tidak menambah nilai (aktivitas yang tidak menambah nilai) dalam desain produksi untuk industri manufaktur atau operasi untuk industri jasa, serta manajemen rantai pasokan yang berhubungan langsung dengan pelanggan adalah fokus utama *lean* [6]. Tujuan pendekatan *lean* adalah untuk meningkatkan efisiensi dengan mengurangi pemborosan dan meningkatkan kepuasan konsumen [7].

Pemborosan (Waste)

Pemborosan (*Waste*) adalah aktivitas yang mengambil atau membuang sumber daya, seperti waktu dan biaya, tetapi tidak menghasilkan nilai tambah dalam proses perubahan input menjadi output nilai [8]. *Lean Manufacturing* mengklasifikasikan tujuh jenis pemborosan utama [9], yaitu: produksi berlebihan, memproduksi lebih dari permintaan; produk cacat, hasil yang tidak memenuhi standar; proses berlebih, aktivitas yang tidak diperlukan; persediaan berlebih, penumpukan stok yang tidak efisien; transportasi, perpindahan barang yang tidak bernilai tambah; menunggu, waktu terbuang karena keterlambatan proses; dan gerakan tidak efisien, aktivitas operator yang tidak produktif. Identifikasi pemborosan ini penting untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas perusahaan.

Value Stream Mapping (VSM)

Value Stream Mapping (VSM) digunakan untuk mengidentifikasi pemborosan (*waste*) dan komponen yang memberikan nilai tambah (*value added*) dan *non-value added* dalam suatu proses produk. Pemetaan ini membantu organisasi memahami dan memvisualisasikan aliran material dan informasi, membantu dalam menentukan area mana yang perlu diperbaiki untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi pemborosan [10]

Kaizen

Kaizen adalah metodologi berkelanjutan yang dirancang untuk melakukan perbaikan sistematis dan terencana dalam

organisasi. Implementasi kaizen telah terbukti efektif, sehingga banyak organisasi tertarik untuk mengadopsinya. Strategi pengurangan produk cacat dapat dicapai melalui manajemen kualitas yang komprehensif, dengan fokus pada peningkatan produktivitas [11]. Penjaminan kualitas menjadi fundamental dalam membangun kepercayaan dan kepuasan pelanggan terhadap produk atau layanan yang dihasilkan [12].

Life Cycle Assessment

Aktivitas industri secara melekat memiliki potensi signifikan dalam mengubah kondisi lingkungan, termasuk mempengaruhi kualitas air, tanah, dan udara. Guna menekan tingkat pencemaran dan dampak lingkungan di sepanjang daur hidup produk, *life cycle assessment* (LCA) atau Penilaian Daur Hidup merupakan pendekatan metodologis yang menilai beban lingkungan melalui studi sistematis terhadap konsumsi sumber daya, kebutuhan energi, utilisasi air, pemakaian bahan bakar, dan variabel-variabel lain yang berpengaruh [13]. *International Organization for Standardization* (ISO) telah menetapkan dua standar untuk Penilaian Daur Hidup Produk, yaitu ISO 14040 dan ISO 14044. Standar ISO 14040 fokus pada metodologi penilaian siklus hidup produk, sementara ISO 14044 mengatur tentang penyusunan dan evaluasi input, output, serta potensi dampak lingkungan selama masa pakai produk [14].

Metode Recipe

Metode *Recipe* merupakan pendekatan untuk menganalisis dampak lingkungan yang menggabungkan dua metodologi sebelumnya, yaitu *Eco-Indicator 99* dan CML, dalam versi yang diperbarui Indikator fokus terdiri dari 18 dampak spesifik yang memerinci isu-isu lingkungan individual, seperti perubahan iklim atau penipisan lapisan ozon. Sementara itu, indikator titik akhir (endpoint) memiliki tiga efek utama yang menggambarkan pengaruh lingkungan pada tingkat klasifikasi yang lebih luas [15].

Metode *Recipe* dengan pendekatan endpoint menghasilkan tiga kategori utama dampak lingkungan Kategori *Human Health* mengukur potensi dampak lingkungan terhadap kesehatan manusia dengan menggunakan satuan *Disability-Adjusted Life Years (DALY)*. *DALY* merepresentasikan jumlah tahun kehidupan yang hilang akibat penyakit atau kematian dini yang dipicu oleh paparan polutan berbahaya, seperti zat karsinogenik, polusi udara, atau gangguan pada sistem pernapasan. Penilaian ini memberi wawasan tentang risiko kesehatan jangka panjang dari aktivitas industri [16]. Sementara itu, kategori *Ecosystem* mengevaluasi dampak terhadap keanekaragaman hayati, terutama melalui potensi kepunahan spesies akibat gangguan lingkungan. Satuan yang digunakan adalah *species.yr* (jumlah spesies yang punah per tahun), yang menunjukkan tingkat tekanan ekologis akibat perubahan iklim, konversi lahan, atau pencemaran [17]. Kategori ketiga adalah *Resources*, yang menilai beban ekonomi dan lingkungan dari eksploitasi sumber daya alam. Aspek ini mencakup prediksi biaya ekstraksi dan kelangkaan sumber daya, serta dampaknya terhadap keberlanjutan lingkungan dalam jangka panjang [18].

Hubungan Timbal Balik antara Reduksi Waste (Lean) dengan Penurunan Dampak Lingkungan (Green)

Penerapan *Lean Manufacturing* memiliki keterkaitan yang erat dan bersifat timbal balik dengan upaya penurunan dampak lingkungan (*Green Manufacturing*), karena setiap aktivitas pemborosan (*waste*) yang dihilangkan secara langsung berkontribusi pada pengurangan konsumsi sumber daya dan emisi lingkungan. Reduksi pemborosan seperti produk cacat, proses berlebih, persediaan berlebih, serta aktivitas transportasi dan menunggu tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga menurunkan penggunaan bahan baku, energi, air, serta potensi timbulan limbah padat dan cair sepanjang siklus hidup produk. Dengan demikian, pendekatan lean berperan sebagai pengungkit (*enabler*) bagi kinerja lingkungan, dimana peningkatan produktivitas dan kualitas proses berdampak pada penurunan beban lingkungan yang dapat diukur melalui *Life Cycle Assessment* (LCA). Integrasi Lean dan Green memungkinkan organisasi untuk mengidentifikasi titik kritis pemborosan yang sekaligus menjadi sumber utama dampak lingkungan, sehingga perbaikan proses berbasis kaizen dan *Value Stream Mapping* tidak hanya berorientasi pada efisiensi biaya dan waktu, tetapi juga pada pengurangan dampak terhadap kesehatan manusia, ekosistem, dan penggunaan sumber daya sebagaimana dianalisis menggunakan metode ReCiPe. Dengan demikian, Lean dan Green bukanlah dua pendekatan yang berdiri sendiri, melainkan saling memperkuat dalam mewujudkan sistem produksi yang efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan

METODOLOGI

Pada penelitian ini, langkah pertama yang dilakukan peneliti adalah observasi lapangan untuk mengamati secara langsung kondisi di UD Hidayah Abadi, dengan tujuan memahami alur dan aktivitas proses produksi tas secara aktual. Tahap selanjutnya adalah identifikasi permasalahan penelitian, yaitu terjadinya pemborosan (*waste*) dan munculnya dampak

lingkungan pada proses produksi tas. Setelah permasalahan ditetapkan, dilakukan pengumpulan data yang meliputi data produksi, jumlah dan jenis bahan baku, jumlah karyawan, serta waktu produksi pada setiap tahapan proses. Data tersebut kemudian diolah melalui analisis waktu siklus produksi dan *Process Activity Mapping* untuk mencatat seluruh aktivitas beserta durasi waktu produksi. Hasil pengolahan data selanjutnya dianalisis dari dua aspek, yaitu aspek operasional dan aspek lingkungan. Dari aspek operasional, analisis dilakukan menggunakan *Current Value Stream Mapping* dan *Process Activity Mapping* untuk mengidentifikasi aktivitas *value added* dan *non-value added*. Sementara itu, dari aspek lingkungan, penelitian ini menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment (LCA)* dengan batasan sistem gate-to-gate, yang mencakup seluruh aktivitas produksi tas mulai dari penerimaan bahan baku di area produksi hingga produk jadi siap dikemas, tanpa mencakup tahapan ekstraksi bahan baku, distribusi, penggunaan, dan akhir masa pakai produk. Analisis dampak lingkungan difokuskan pada tiga kategori utama, yaitu dampak terhadap kesehatan manusia (*human health*), ekosistem (*ecosystem*), dan sumber daya (*resources*) yang dianalisis menggunakan metode ReCiPe. Berdasarkan hasil analisis tersebut, peneliti kemudian menyusun usulan perbaikan berupa penerapan kaizen, penyusunan *future value stream mapping*, serta strategi pemanfaatan limbah untuk mengidentifikasi area proses yang memiliki tingkat *waste* dan dampak lingkungan terbesar, sehingga dapat dirumuskan rekomendasi perbaikan yang efektif dan berkelanjutan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Process Activity Mapping

Melalui hasil pemetaan yang disajikan dalam Tabel 1 dengan menggunakan *tool Process Activity Mapping (PAM)*, diidentifikasi berbagai jenis aktivitas yang dikategorikan ke dalam lima kelompok utama, yaitu: operasi, inspeksi, transportasi, penundaan, dan penyimpanan. Tahap selanjutnya dalam analisis adalah mengelompokkan seluruh aktivitas tersebut berdasarkan klasifikasi nilai tambah, yang terbagi menjadi tiga kategori: *Value-Added (VA)* – aktivitas yang memberikan nilai tambah, *Non-Value-Added (NVA)* – aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah, dan *Necessary Non-Value-Added (NNVA)* – aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah namun diperlukan. Hasil pengelompokan berdasarkan klasifikasi nilai tambah ini dapat dilihat secara detail pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil *Process Activity Mapping* dan *Cycle Time*

Jenis Aktivitas	Jumlah	Presentase	Waktu
<i>Operation</i>	33	76,1%	176,20
<i>Transportation</i>	1	1,1%	2,56
<i>Inspection</i>	10	17,5%	40,44
<i>Storage</i>	3	5,3%	12,32
<i>Delay</i>	0	0,0%	0,00
TOTAL	47	100,0%	231,52
<i>Value Added</i>	12	42,2%	97,68
<i>Necessary Non-Value Added</i>	31	51,4%	118,96
<i>Non-Value Added</i>	4	6,4%	14,88
Total	47	100,0%	231,52
<i>Cycle Time</i>			231,52

Sumber: Hasil pengolahan data menggunakan *Microsoft Excel*

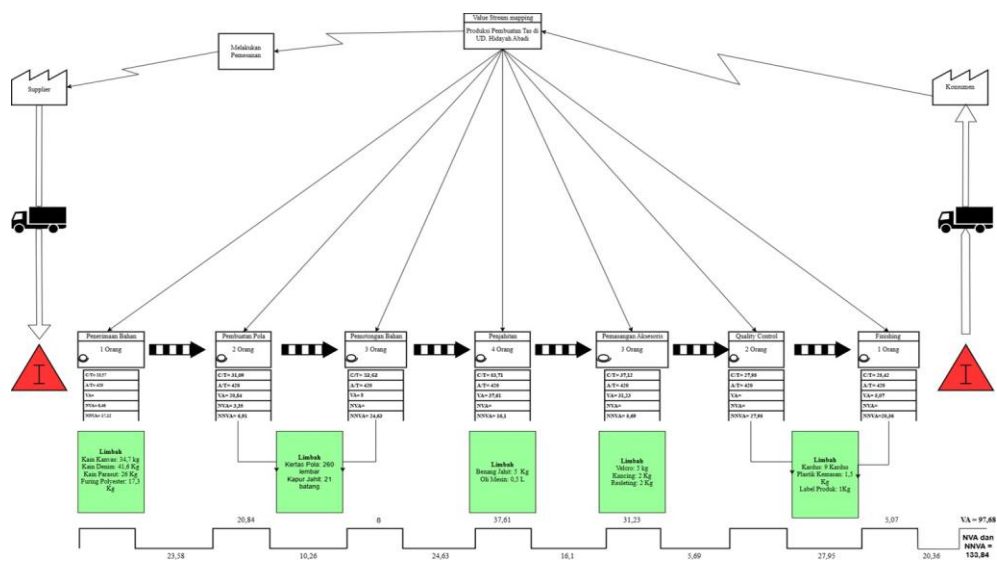
Berdasarkan data *Process Activity Mapping* pada Tabel.1 yang diatas, dapat dianalisis bahwa total waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan seluruh proses produksi tas adalah 231,52 menit. Dari total 47 aktivitas yang teridentifikasi, komposisi aktivitas terdiri dari 33 *operation* (76,1%), 1 *transportation* (1,1%), 10 *inspection* (17,5%), 3 *storage* (5,3%), dan tidak ada aktivitas *delay* (0%). Analisis *value stream* menunjukkan bahwa dari total waktu proses, *Value Added (VA)* mencapai 97,68 menit (42,2%), *Necessary Non-Value Added (NNVA)* sebesar 118,96 menit (51,4%), dan *Non-Value Added (NVA)* sebesar 14,88 menit (6,4%). Dominasi aktivitas *operation* dengan presentase 76,1% menunjukkan bahwa sebagian besar proses produksi tas melibatkan aktivitas transformasi langsung terhadap bahan baku menjadi produk jadi.

Seven Waste

Seven waste merupakan hasil identifikasi dan kuantifikasi pemborosan yang ditemukan dalam proses produksi. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan observasi langsung dan pengukuran waktu untuk setiap jenis pemborosan yang teridentifikasi selama periode analisis yang dihasilkan selama proses produksi tas. Hasilnya menunjukkan identifikasi *seven waste* dalam proses produksi tas di UD Hidayah Abadi. *Transportation Waste* mendominasi dengan 60,06%, disebabkan perpindahan bahan manual yang tidak efisien akibat layout ruang produksi yang belum optimal. *Waiting Waste* menempati posisi kedua dengan 50,98%, terjadi ketika operator menunggu ketersediaan bahan atau alat kerja karena sistem penyimpanan yang tidak tertata rapi. *Motion Waste* sebesar 22,26% berasal dari gerakan tidak efisien operator dalam mengambil alat atau bahan yang letaknya berjauhan, menunjukkan belum diterapkannya prinsip 5S. *Inventory Waste* tercatat 10,54% akibat penumpukan bahan di area produksi karena tidak adanya sistem penyimpanan berdasarkan frekuensi penggunaan. *Over Processing Waste* mencapai 6,82% disebabkan aktivitas berulang seperti pengecekan kualitas yang dapat disatukan dalam satu tahapan. *Overproduction Waste* relatif kecil (4,00%) karena produksi dilakukan berdasarkan pesanan konsumen, sedangkan *Defect Waste* berada pada level terendah (1,39%) yang menunjukkan tingkat produk cacat masih tergolong rendah namun tetap memerlukan perhatian untuk mencegah *rework* atau kerugian produk.

Value Stream Mapping

Value Stream Mapping (VSM) dibuat dengan menggunakan simbol yang menggambarkan berbagai elemen proses seperti jumlah operator, waktu siklus, dan waktu yang tersedia. Dalam penyusunan VSM, semua data tersebut dimasukkan dan digambarkan dalam bentuk peta aliran nilai. Selain itu, *timeline* juga ditambahkan untuk membedakan antara waktu yang memberikan nilai tambah (*value added time*) dan waktu yang tidak memberikan nilai tambah (*non-value added time*). Melalui *timeline* inilah dapat dihitung total waktu siklus dari keseluruhan proses produksi., *value stream mapping* menampilkan secara lengkap aliran proses beserta informasi waktu dan aktivitas yang ada di dalamnya dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Value Stream Mapping

Sumber: Hasil visualisasi peta menggunakan Software Draw.io

Berdasarkan hasil pemetaan *value stream mapping* yang ditampilkan dalam gambar proses produksi di UD Hidayah Abadi, terdapat 7 proses yang dilakukan dalam produksi tas, dengan *Value Added* total 97,68 menit, kemudian proses aktivitas *Necessary Non-Value Added* dan *Non-Value Added* total 133,84 menit. *Available Time* (AT) setiap proses memiliki waktu 60 menit. Pada, jumlah pekerja yang tersedia di UD Hidayah Abadi pada bagian produksi untuk proses pemotongan bahan adalah 1 orang, pemotongan *furing* dengan 2 orang, pemotongan bahan dengan 3 orang, penjahitan 4 orang, proses pemasangan aksesoris dengan 3 orang, quality control dengan 2 orang, dan proses finishing 1 orang.

Perhitungan emisi Green Warning Life Cycle Impact Assessment

Berdasarkan identifikasi *Life Cycle Inventory* diatas dari setiap proses produksi pada pembuatan tas dengan menambahkan

dimana emisi yang dihasilkan dari setiap komponen limbah yang dihasilkan melalui IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) yaitu metodologi untuk inventarisasi gas rumah kaca nasional yang mencakup formulasi dimana emisi untuk menghubungkan emisi gas rumah kaca dari sumber tertentu dengan jumlah aktivitas yang menyebabkan emisi tersebut [19]. Selanjutnya dilakukan analisis dari setiap kategori dari jenis limbah yang di hasilkan yang terdapat pada Tabel 2 berikut

Tabel 2. *Life Cycle Impact Assessment*

No.	Bahan	Emisi GW	Dampak Utama	Kategori Midpoint
1.	<i>Kain Denim</i>	748.8 kg CO ₂ -eq	<i>Limbah Padat, pembakaran menyebabkan emisi CO 2</i>	<i>Climate Change Human Health</i>
2.	<i>Kain Kanvas</i>	520.5 kg CO ₂ -eq	<i>Tidak terurai menyebabkan pencemaran tanah</i>	<i>Ecosystem Quality</i>
3.	<i>Kian Parasut</i>	143.0 kg CO ₂ -eq	<i>Limbah B3 menyebabkan pencemaraan air dan tanah</i>	<i>Human Toxicity, Water Impact</i>
4.	<i>Furing Polyester</i>	103.8 kg CO ₂ -eq	<i>Limbah padat, terurai lambat</i>	<i>Land Occupation</i>
5.	<i>Benang Jahit</i>	15.6 kg CO ₂ -eq	<i>Limbah padat kecil</i>	<i>Minor impact</i>
6.	<i>Kertas Pola</i>	3.12 kg CO ₂ -eq	<i>Tidak terurai , emisi mikroplastik</i>	<i>Marine Ecotoxicity</i>
7.	<i>Kardus</i>	2.97 kg CO ₂ -eq	<i>Limbah daur ulang</i>	<i>Relatif rendah</i>
8.	<i>Resleting</i>	2.8 kg CO ₂ -eq	<i>Limbah logam dan plastik kombinasi</i>	<i>Resource Depletion, Land Use</i>
9.	<i>Oli Mesin</i>	2.7 kg CO ₂ -eq	<i>Pencemaran tanah, air dan limbah b3</i>	<i>Human toxicity, Ecotoxicity</i>
10.	<i>Kancing</i>	2.18 kg CO ₂ -eq	<i>Limbah plastik/logam, susah terurai</i>	<i>Marine Pollution, Land Use</i>
11.	<i>Platik Kemasan</i>	1.74 kg CO ₂ -eq	<i>Mikroplastik, pencemaran air</i>	<i>Marine Ecotoxicity, Ecosystem Quality</i>
12.	<i>Kapur Jahit</i>	1.05 kg CO ₂ -eq	<i>Limbah mineral, debu partikulat</i>	<i>Respiratory Inorgancis, Human Health</i>
13.	<i>Velcro</i>	0.63 kg CO ₂ -eq	<i>Limbah sintetis, mikrofiber</i>	<i>Marine Ecotoxicity, Textile Pollution</i>
14.	<i>Label Produk</i>	0.42 kg CO ₂ -eq	<i>Limbah kertas/ plastik laminasi</i>	<i>Land Use, Minor Toxicity</i>

Sumber: Hasil pengolahan data *Life Cycle Assessment*

Hasil *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) menunjukkan variasi emisi gas rumah kaca yang signifikan antar material. Kain denim mendominasi dengan emisi 748.8 kg CO₂-eq, dimana 1.5 kali lipat lebih tinggi dibandingkan kain kanvas yang menghasilkan 520.5 kg CO₂-eq. Kain parasut dan furing polyester menghasilkan emisi masing-masing 143.0 kg CO₂-eq dan 103.8 kg CO₂-eq. Keempat material tekstil ini secara kolektif menyumbang lebih dari 95% total emisi gas rumah kaca dari seluruh bahan yang dianalisis, menunjukkan dominasi material tekstil dalam jejak karbon produksi tas. Material pendukung menunjukkan emisi yang jauh lebih rendah namun tetap berkontribusi. Benang jahit menghasilkan 15.6 kg CO₂-eq, kertas pola 3.12 kg CO₂-eq, kardus 2.97 kg CO₂-eq, resleting 2.8 kg CO₂-eq, oli mesin 2.7 kg CO₂-eq, kancing 2.18 kg CO₂-eq, dimana kemasan 1.74 kg CO₂-eq, kapur jahit 1.05 kg CO₂-eq, dimana 0.63 kg CO₂-eq, dan label produk 0.42 kg CO₂-eq. Hasil *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) menunjukkan bahwa kain denim memiliki emisi gas rumah kaca sebesar 748,8 kg CO₂-eq, yang sekitar 1,5 kali lebih tinggi dibandingkan kain kanvas dengan emisi 520,5 kg CO₂-eq. Perbedaan ini terutama dipengaruhi oleh karakteristik proses produksi dan pengolahan material denim yang lebih intensif dibandingkan kanvas. Kain denim umumnya melalui tahapan pewarnaan indigo yang kompleks dan berulang, yang membutuhkan konsumsi air, bahan kimia, serta energi dalam jumlah besar, sehingga berkontribusi signifikan terhadap peningkatan emisi karbon. Selain itu, proses *washing*, *fixation*, dan pengeringan pada kain denim cenderung lebih lama dan menggunakan suhu tinggi, yang meningkatkan penggunaan energi listrik maupun bahan bakar. Dari sisi asal bahan baku, denim yang umumnya berbahan dasar kapas memiliki jejak karbon yang relatif tinggi akibat penggunaan pupuk, pestisida, serta kebutuhan air yang besar pada tahap budidaya kapas, meskipun dalam penelitian ini batasan sistem yang digunakan adalah *gate-to-gate*. Dampak ini tetap tercermin secara tidak langsung melalui intensitas energi yang dibutuhkan selama proses pemotongan dan penjahitan, karena ketebalan dan kepadatan serat denim lebih tinggi

dibandingkan kanvas. Kondisi tersebut menyebabkan mesin jahit bekerja lebih berat, meningkatkan konsumsi energi listrik dan waktu proses, serta berpotensi menghasilkan sisa potongan kain (scrap) yang lebih besar. Dengan demikian, tingginya emisi kain denim tidak hanya dipengaruhi oleh faktor pewarnaan dan karakteristik bahan baku, tetapi juga oleh kebutuhan energi yang lebih besar selama tahap pengolahan di rantai produksi, yang menjadikan denim sebagai kontributor utama emisi gas rumah kaca dalam proses produksi tas di UD Hidayah Abadi. Meskipun emisi individual dimana kecil, akumulasi dari berbagai material pendukung ini tetap perlu dipertimbangkan dalam strategi mitigasi. Setelah itu dilakukan kategori endpoint terdampak pada setiap jenis limbah pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Kategori *Endpoint* Terdampak

Bahan	Limbah/Bulan	Kategori Endpoint	Penjelasan
Kain Kanvas	34.7 kg	<i>Human Health, Ecosystem</i>	Jika dibakar: menghasilkan Co ₂ , partikulat, menyebabkan gangguan pernapasan dan degradasi
Kain Denim	41.6 kg	<i>Human Health, Ecosystem</i>	Perwarna sintetis dan kapas menambahkan beban limbah tekstil yang sulit terurai
Kain Parasut	26.0 kg	<i>Ecosystem, Resource Scarcity</i>	Bahan sintetis berbasis minyak bumi tidak terurai terjadi penurunan kualitas tanah dan air
<i>Furing Polyester</i>	17.3 kg	<i>Ecosystem</i>	Plastik mikro dari polyester mengancam kehidupan air dan tanah
Kertas Pola	260 lembar	Resource Scarcity	Berasal dari pohon, bila tidak didaur ulang meningkatkan jejak karbon produksi
Kapur Jahit	21 batang	Tidak signifikan	Limbah padat kecil, relatif tidak berdampak
Benang Jahit	2600 m	Ecosystem	Jika sintetis : potensi mikroplastik, jika alami menyebabkan minor impact
Oli Mesin	0.1 L	<i>Human Health, Ecosystem</i>	B3 kontaminasi air tanah menjadi racun bagi manusia dan organisme
Velco	13.9 m	<i>Resource Scarcity, Ecosystem</i>	Plastik berbasis minyak bumi menyebabkan sulit terurai. Biasanya resin plastik atau logam menyebabkan nilai daur ulang rendah
Kancing	174 buah	<i>Resource Scarcity</i>	
Resleting	70 buah	<i>Resource Scarcity</i>	Komponen logam dan nilon menyebabkan sulit terurai
Kardus	9 buah	<i>Resource Scarcity</i>	Bisa didaur ulang menyebabkan dampak minimal jika dikelola

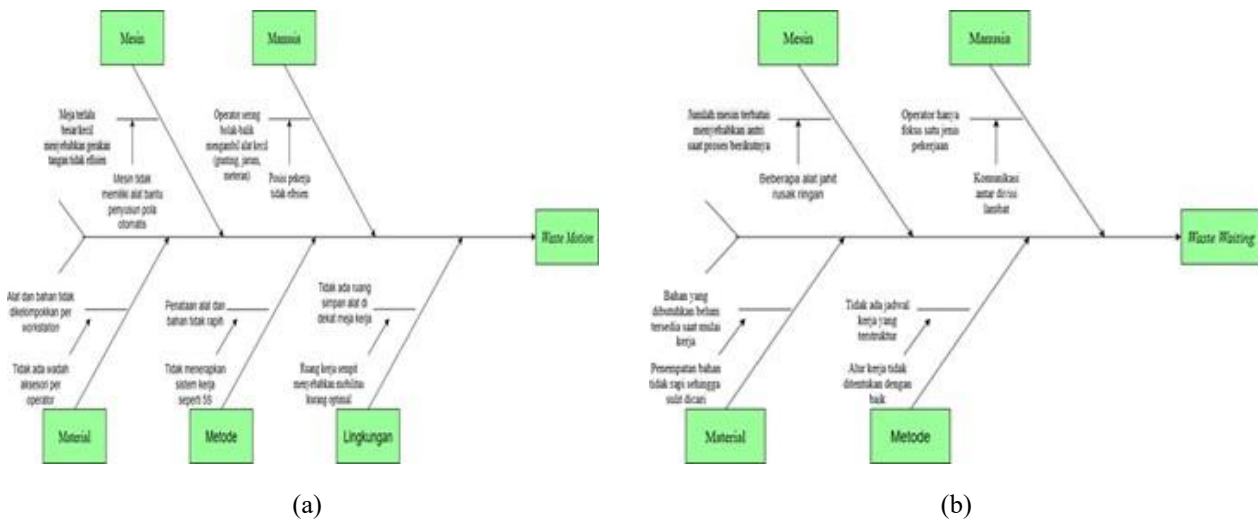
Sumber: Hasil pengolahan data *Life Cycle Assessment*

Selanjutnya LCIA menghubungkan jenis limbah dengan kategori endpoint seperti *Human Health*, *Ecosystem*, dan *Resource Scarcity*. Limbah kain kanvas dan denim, jika dibakar, menghasilkan emisi CO₂ dan partikel halus yang dapat menimbulkan gangguan pernapasan serta merusak ekosistem tanah. Parasut dan dimana, sebagai bahan sintetis berbasis minyak bumi, memiliki resistensi tinggi terhadap degradasi alami, sehingga memicu masalah kelangkaan sumber daya dan pencemaran lingkungan. *Furing polyester* dan benang sintetis juga mengandung mikroplastik yang bisa mencemari ekosistem perairan. Di sisi lain, kertas pola dan kardus, meski berasal dari sumber daya alam terbarukan, tetap menimbulkan jejak karbon dan konsumsi sumber dimana tidak didaur ulang secara optimal.

Fishbone Diagram

Diagram sebab-akibat digunakan untuk mengidentifikasi akar permasalahan dari penyebab adanya pemborosan pada proses produksi di UD Hidayah Abadi. Dengan jenis pemborosan yang dibahas adalah tidak tercapainya target produksi dan timbulnya waste yang terjadi karena terjadinya waktu tunggu dalam produksi, Diagram *fishbone untuk waste motion*

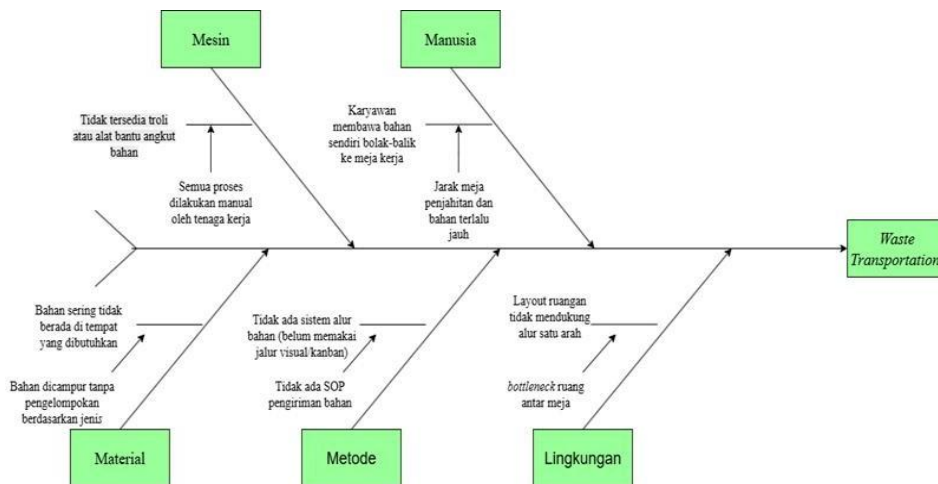
menunjukkan berbagai dimana penyebab terjadinya dimana yang tidak efisien dalam proses produksi dapat dilihat pada Gambar 2 berikut



Gambar 2. (a) *Fishbone Waste Motion* dan (b) *Fishbone Waste Motion*

Sumber: Hasil visualisasi data menggunakan *Software Draw.io*

Diagram fishbone untuk waste waiting mengidentifikasi penyebab-penyebab terjadinya waktu tunggu yang tidak produktif dalam proses produksi. Selanjutnya mengetahui penyebab waiting yang dapat dilihat Gambar 2 b Diagram fishbone untuk waste *transportation* menampilkan dimana-faktor penyebab terjadinya perpindahan yang tidak efisien dalam proses produksi. Selanjutnya mengetahui penyebab *transportation*.



Sumber: Hasil visualisasi data menggunakan *Software Draw.io*

Berdasarkan diagram di atas, berbagai jenis pemborosan yang berdampak pada kegagalan pencapaian target produksi dalam proses produksi. Diagram fishbone ini berfungsi untuk menganalisis bentuk-bentuk *waste* yang memberikan pengaruh terhadap aktivitas produksi, dimana pemborosan tersebut dipicu oleh sejumlah elemen dalam diagram *fishbone*, yakni elemen mesin, elemen sumber daya manusia, elemen meja bahan baku, elemen prosedur kerja, serta elemen kondisi lingkungan kerja

Future Process Activity Mapping (PAM)

Tujuan dari *Future Process Activity Mapping* adalah untuk meminimalkan kegiatan-kegiatan yang masuk dalam golongan non-value added (NVA) dan necessary non-value added (NNVA) sebanyak 6 kegiatan mengalami peningkatan dalam kategori non-value added (NVA) dan necessary non-value added (NNVA). Rekomendasi perbaikan pada PAM tentunya berdampak pada durasi waktu kegiatan-kegiatan tersebut berdasarkan penggolongan Value-Added (VA), Non-Value-Added (NVA), dan Necessary Non-Value-Added (NNVA) yang dapat dilihat pada Tabel 4.20 berikut ini

Tabel 5. Usulan Perbaikan Kaizen

Aktivitas	Jenis Kegiatan	Jenis Waste	Permasalahan	Usulan Kaizen
Penyimpanan bahan di area gudang	Persiapan Bahan	<i>Motion</i>	Lamanya penyiapan bahan sebelum proses produksi	Buat rak dan sistem penyimpanan untuk aksesoris, labelkan tiap jenis aksesoris
Persiapan mesin jahit dan peralatan pendukung	Penjahitan	<i>Waiting</i>	Kerusakan pada gear dan poros mesin jahit aus	Pemeriksaan dan penggantian gear/poros mesin dua kali dalam seminggu
Pemeriksaan hasil jahitan	Quality Control	<i>Motion</i>	Pengecekan dilakukan secara manual dan terkadang jahitan yang tidak rapih dan pencahayaan yang minim	Membuat checklist sederhana untuk mencatat jahitan yang tidak lurus atau benang yang keluar dari jalur jahitan dan membuat sistem pencahayaan dengan lampu LED pada kerja pemeriksaan.
Identifikasi dan pemisahan cacat produk	Quality Control	<i>Motion</i>	Tidak ada pencatatan jenis cacat saat identifikasi	Buat form pencatatan cacat dengan kategori (jahitan, ukuran, bahan)
Pengelompokan produk berdasarkan kualitas	Quality Control	<i>Transportation</i>	Tidak ada tempat khusus antara produk bagus dan cacat	Siapkan area terpisah dengan rak berlabel untuk setiap kategori kualitas
Pengemasan tas dalam plastik atau kardus	Finishing dan Packaging	<i>Waiting</i>	Saat pengemasan dengan mesin sealer terkadang kemasan plastik robek tidak kuat menahan panas	Atur suhu dan kecepatan mesin sealer sesuai spesifikasi plastik, gunakan plastik dengan ketebalan yang sesuai

Sumber: Pengolahan data *Life Cycle Time*

Dampak dan Rekomendasi Penanganan Limbah

Analisis ini mengidentifikasi berbagai jenis limbah berdasarkan tingkat dampaknya terhadap kesehatan manusia, ekosistem, dan kelangkaan sumber daya. Dengan menggunakan pendekatan sistematis, setiap jenis limbah dievaluasi dan

diprioritaskan untuk menentukan strategi penanganan yang paling tepat. Metodologi penilaian menggunakan tiga kategori endpoint terdampak yaitu *Human Health* (Dampak langsung terhadap kesehatan manusia), *Ecosystem* (Pengaruh terhadap keseimbangan ekosistem dan lingkungan), dan *Resource Scarcity*: Kontribusi terhadap kelangkaan sumber daya alam. Adapun rekomendasi penangan limbah melalui endpoint tabel 6. Berikut:

Tabel 6. Rekomendasi Penanganan Limbah

Bahan	Endpoint Terdampak	Rekomendasi
Oli Mesin	<i>Human Health, Ecosystem</i>	Oli bekas tergolong B3 dan memerlukan pengelolaan oleh pihak berizin agar tidak mencemari tanah dan air.
Kain Parasut dan Furing Polyester	<i>Ecosystem, Resource Scarcity</i>	Limbah sintetis (polyester/parasut) sulit terurai, dapat di <i>upcycle</i> menjadi produk bernilai tambah untuk <i>circular economy</i> .
Plastik Kemasan	<i>Human Health, Ecosystem</i>	Plastik menyumbang emisi signifikan (CO ₂ -eq), dialihkan ke bahan daur ulang atau kain pembungkus mendukung <i>green packaging</i> .
Kain Denim / Kanvas	<i>Human Health, Ecosystem</i>	Limbah kapas atau campuran dapat didaur ulang atau digunakan kembali.
Kertas Pola, Label	<i>Resource Scarcity</i>	Penggunaan ulang atau kertas daur ulang mengurangi resource depletion dan limbah padat.

Sumber: Pengolahan data *Life Cycle Time*

Strategi Green Lean yang direkomendasikan difokuskan pada integrasi perbaikan proses produksi dan pengelolaan lingkungan secara simultan berdasarkan hasil penentuan prioritas penanganan limbah. Penerapan prinsip 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, dan Shitsuke) diusulkan untuk menata area kerja dan sistem penyimpanan bahan secara sistematis sehingga mampu menurunkan *motion waste* dan *waiting waste* yang teridentifikasi dominan dalam proses produksi. Penataan alat kerja dan bahan baku berdasarkan frekuensi penggunaan memungkinkan operator mengakses material secara lebih efisien, mengurangi gerakan tidak bernilai tambah, serta menekan konsumsi energi mesin akibat durasi proses yang berlebih. Strategi *upcycling* melalui pemanfaatan sisa potongan kain denim, kanvas, parasut, dan furing polyester direkomendasikan sebagai produk sampingan bernilai tambah, seperti pouch kecil, aksesoris tas, atau produk promosi sederhana, guna menurunkan volume limbah tekstil sekaligus mengurangi tekanan terhadap ekosistem. Penerapan standard operating procedure (SOP) Green Maintenance untuk limbah prioritas sangat tinggi, khususnya oli mesin bekas, diperlukan untuk memastikan penyimpanan terpisah, pencatatan volume limbah B3, serta kerja sama berkelanjutan dengan pengelola limbah berizin. Strategi pengurangan limbah kertas pola dan label dapat dilakukan melalui digitalisasi desain dan pola produksi serta penggunaan material daur ulang untuk menekan konsumsi sumber daya dan emisi tidak langsung. Implementasi pendekatan Green Lean secara menyeluruh diharapkan mampu meningkatkan efisiensi operasional, menurunkan pemborosan, serta memperkuat keberlanjutan lingkungan dan ekonomi pada skala UKM.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa proses produksi tas UD. Hidayat Abadi masih menghadapi berbagai infisiensi, terutama dominasi pemborosan jenis transportation Waste akibat perpindahan bahan yang tidak efisien dan aktivitas tambahan seperti pengukuran ulang serta kontrol kualitas berulang. Analisis Process Activity Mapping dan Value Stream Mapping menunjukkan bahwa dari total waktu produksi 231,52 menit, hanya hanya 97,68 menit yang bernilai tambah, sementara usulan perbaikan berhasil menurunkan cycle time sebesar 35,70 menit atau 15,43% melalui optimalisasi enam aktivitas utama. Dari sisi lingkungan, evaluasi LCA metode ReCiPe mengungkap bahwa material tekstil, khususnya kain denim dengan emisi 748,8 kg CO₂-eq, menjadi penyumbang terbesar lebih dari 95% total emisi gas rumah kaca. Berdasarkan temuan tersebut, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji pemborosan secara lebih komprehensif,

meningkatkan akurasi pengukuran aktivitas, serta mengimplementasikan langsung hasil analisis di lapangan guna memvalidasi efektivitas strategi perbaikan yang diusulkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Zakaria dan M. D. Satyawan, “Strategi Implementasi *Fintech Reward Crowdfunding* di Indonesia Sektor Ekonomi Kreatif,” vol. 2, no. 02, hal. 205–225, 2023.
- [2] R. H. Nugroho, I. Wayan, dan S. Wirasdyartha, “Strategi Mendorong Kota Bandung sebagai Kota Ekonomi Kreatif Berkelanjutan melalui Inovasi Industri Tekstil,” *Proc. Natl. Conf. West Java Econ. Soc.*, vol. 1, no. 1, hal. 1–15, 2023.
- [3] U. Katolik, I. Atma, B. Berbahaya, dan S. Admiration, “Analisis Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (B3) Di Indonesia,” vol. 4, no. 2, hal. 201–208, 2023.
- [4] K. H. Tupamahu dan S. N. Dewi, “Pengaruh Moderasi Konsensus Strategis Terhadap Hubungan Antara *Lean Manufacturing* dengan Mekanisme Pengendalian Manajemen,” 2020.
- [5] N. Afrilia, H. Batubara, dan Y. E. Prawatya, “Rekomendasi Perbaikan Untuk Mengurangi,” no. September, hal. 293–302, 2024.
- [6] I. Azelya dan G. Thabrani, “Analisis Pengurangan *Non-Value Added Activities* dengan Metode *Lean Six Sigma*,” vol. 02, hal. 63–73, 2020.
- [7] F. Bayu, A. Prajaya, R. R. Londong, dan S. N. Wijaksana, “Sistem Informasi , Teknik dan Teknologi Terapan Analisis Perbandingan *Six Sigma* Dan *Lean Management* Untuk Peningkatan Kualitas Operasional Pada Bidang Usaha Berbasis Layanan : A Literatur Review,” vol. 1, no. 1, hal. 24–31, 2024.
- [8] R. C. Lestari, K. F. Handayani, dan G. G. Firmansah, “Upaya Meminimalisasi Cacat Produk Dengan Implementasi Metode *Lean Six Sigmas* (Studi Kasus Perusahaan Pt Xyz),” vol. 2, no. 1, hal. 82–93, 2022.
- [9] S. T. Fauziyah, “Open Access,” vol. 6, no. 7, hal. 1242–1249, 2023.
- [10] I. Setiawan dan A. Rahman, “Penerapan *Lean Manufacturing* Untuk Meminimalkan *Waste* Dengan Menggunakan Metode VSM Dan WAM Pada PT XYZ,” *Semin. Nas. Penelit. LPPM UMJ*, hal. 1–10, 2021.
- [11] I. W. Rusdiana dan D. Soediantono, “*Kaizen and Implementation Suggestion in the Defense Industry : A Literature Review* Implementasi *Kaizen* dan Usulan Penerapannya Pada Industri Pertahanan : A Literature Review,” *J. Tek. Ind. Manaj. Ris.*, vol. 3, no. 3, hal. 35–52, 2022.
- [12] H. Kartika, “Penerapan *Lean Kaizen* untuk Meningkatkan Produktivitas *Line Painting* pada Bagian Produksi Automotive dengan Metode PDCA,” *J. Sist. Tek. Ind.*, vol. 22, no. 1, hal. 22–32, 2020, doi: 10.32734/jsti.v22i1.3251.
- [13] P. P. Parameswari, M. Yani, dan A. Ismayana, “Penilaian Daur Hidup (*Life Cycle Assesment*) Produk Kina Di PT Sinkona Indonesia Lestari,” *J. Ilmu Lingkungan*, vol. 17, no. 2, hal. 351, 2019, doi: 10.14710/jil.17.2.351-358.
- [14] Tyara, M. Yani, N. S. Indrasti, dan C. Indrawanto, “Dampak Gas Rumah Kaca Arang Tempurung Kelapa Dengan Metode *Life Cycle Assessment* (Batasan Sistem Gate-To-Gate),” *J. Teknol. Ind. Pertan.*, vol. 32, no. 1, hal. 96–106, 2022, doi: 10.24961/j.tek.ind.pert.2022.32.1.96.
- [15] Saffira Arlisa Devi dan Mohammad Mirwan, “Analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) pada Proses Produksi Pupuk ZA II Menggunakan Metode Recipe 2016,” *INSOLOGI J. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 3, hal. 620–632, 2023, doi: 10.55123/insologi.v2i3.2074.
- [16] asriwati dan kawan kawan sudirman, made martidi, *Buku Digital - Kesehatan Masyarakat Di Era Society 5 . 0*, no. August. 2021.
- [17] M. Maisarah dan R. Dian, “Metode *Life Cycle Assessment* (LCA) Dalam Penilaian Dampak Lingkungan Industri Kelapa Sawit Untuk Kelapa Sawit Berkelanjutan,” *Tabela J. Pertan. Berkelanjutan*, vol. 2, no. 1, hal. 15–23, 2024, doi: 10.56211/tabela.v2i1.452.
- [18] I. Safirah, A. Ariestides, K. T. Dundu, dan P. A. K. Pratasias, “Penerapan *Resource Allocation* Pada Pembangunan Shelter Pengungsi Di Kabupaten Sitaro,” *J. Sipil Statik*, vol. 8, no. 3, hal. 455, 2020, [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/29892>
- [19] A. Luthfia, M. S. Abfertawan, S. Nuraprianisandi, dan K. Pranoto, “Penggunaan *Life Cycle Assessment* dalam Penilaian Resiko Dampak Lingkungan dan Pemilihan Alternatif Teknologi di Pertambangan Batubara Indonesia Batubara merupakan salah satu sumber daya energi yang dapat diandalkan sekaligus memainkan peran penting dalam ,” no. November, hal. 160–174, 2020.
- [20] U. Mercubuana, “Corresponding Author :,” *Usulan Perbaikan Pada Penyimpanan Dep. Qual. Control Dan Pengemasan Menggunakan Metod. 5s Pada Cv Imola Wear Ind. Rizpan*, Vol. 1, No. 1, Hal. 1–12, 2024.
- [21] H. Hamdani, W. Wahyudin, dan C. G. G. Putra, “Analisis Pengendalian Kualitas Produk 4L45W 21 . 5 MY

- Menggunakan Seven Tools dan Kaizen,” vol. 02, no. 02, hal. 112–123, 2021.
- [22] D. P. T. Xyz, “Analisis Kualitas Produk Velg Rubber Roll Dengan Metode Six Sigma Dan Kaizen,” vol. 2, no. 1, hal. 23–33, 2020.
- [23] F. Salsabilah, M. Fahmi Setiawan, dan S. Prasista Whardani, “Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Perencanaan Sumber Daya Manusia: Lingkungan External, Keputusan-Keputusan Organisasional, Persediaan Karyawan (Literature Review Msdm),” *J. Ilmu Hukum, Hum. dan Polit.*, vol. 2, no. 2, hal. 141–149, 2022, doi: 10.38035/jihhp.v2i2.932.
- [24] S. Zhang, H. Gong, dan R. Li, “*Visual fault inspection framework for closed-loop recycling in textile production*,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 206, no. May, 2025, doi: 10.1016/j.cie.2025.111216.
- [25] D. S. Sany, F. Zikri, Y. Yuliani, A. Suryana, M. Syamsiah, dan A. A. Imansyah, “Penerapan Metode FAST dan Analisis PIECES pada Perancangan Aplikasi EFarash,” *Explor. J. Sist. Inf. dan Telemat.*, vol. 15, no. 1, hal. 47, 2024, doi: 10.36448/jsit.v15i1.3427.
- [26] L. R. Ananda, “Pengolahan Limbah Industri Kimia dalam Satu Dekade terakhir: Systematic Literature Review (SLR),” *Semin. Nas. Ris. Multidisiplin dan ...*, vol. 0, no. 3, 2023, [Daring]. Tersedia pada: <https://ejurnal.jejaringppm.org/index.php/snarmudika/article/view/90%0Ahttps://ejurnal.jejaringppm.org/index.php/snarmudika/article/download/90/82>
- [27] N. Di Rumah, S. Umum, D. Noongan, E. J. Malonda, I. R. Mangangka, dan R. R. I. Legrans, “Optimalisasi Pengelolaan Limbah Padat Medis Dan,” vol. 20, hal. 253–259, 2022.
- [28] E. I. Rhofita, P. Studi, T. Lingkungan, U. Islam, N. Sunan, dan A. Surabaya, “Enviroous,” vol. 5, no. 2, hal. 14–20, 2025.