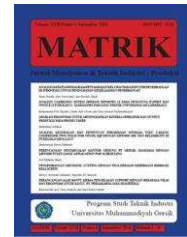




MATRIK

Jurnal Manajemen dan Teknik Industri- Produksi

Journal homepage: <http://www.journal.umg.ac.id/index.php/matriks>



Analisis Dampak Lingkungan Produksi Sepatu Kulit Menggunakan Metode *Value Stream Mapping* (VSM), *Life Cycle Assessment* (LCA), dan *Material Flow Analysis* (MFA)

Isna Nugraha^{1*}, Dean Tirkaamiana², Sinta Dewi³, Iffad Rakmanhuda⁴

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik & Sains, UPN “Veteran” Jawa Timur
Jl. Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya, Jawa Timur, 60294, Indonesia.

isna.nugraha.ti@upnjatim.ac.id^{*}

*Corresponding Author

INFO ARTIKEL

doi: 10.350587/Matrik
v26i2.11281

Jejak Artikel :

Upload artikel
26 Januari 2026
Revisi oleh reviewer
12 Maret 2026
Publish
31 Maret 2026

Kata Kunci :

Life Cycle Assessment, Material Flow Analysis, Sepatu Kulit, UMKM, Value Stream Mapping

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis dampak lingkungan produksi sepatu kulit di UMKM XYZ melalui integrasi *Value Stream Mapping* (VSM), *Life Cycle Assessment* (LCA), dan *Material Flow Analysis* (MFA). Pendekatan terpadu digunakan untuk mengidentifikasi pemborosan proses, *hotspot* dampak lingkungan, dan ketidakefisienan aliran material. Hasil menunjukkan bahwa pemotongan bahan memberikan kontribusi dampak terbesar (61,82%), diikuti penjahitan (16,15%), *finishing* (15,57%), perakitan (5,65%), dan perancangan (0,80%). Analisis LCA menghasilkan dampak *global warming* sebesar 123,83 kg CO₂-eq ($\pm 0,41$ kg CO₂-eq per pasang), *ozone formation* 5,35 kg NO_x-eq, dan *human toxicity air* 5,35 kg VOCs-eq. Pemanfaatan 64 kg limbah kulit dan 45 kg limbah karet menjadi produk bernilai tambah efektif meningkatkan keuntungan sebesar 110%, dari Rp1.185.000 menjadi Rp2.490.000. Rekomendasi meliputi optimalisasi pola pemotongan, pemanfaatan limbah berbasis *circular economy*, dan efisiensi energi pada tahap *finishing*. Integrasi VSM–LCA–MFA terbukti meningkatkan efisiensi material sekaligus mendukung keberlanjutan produksi.

ABSTRACT

This study analyzes the environmental impact of leather shoe production at XYZ MSMEs through the integration of Value Stream Mapping (VSM), Life Cycle Assessment (LCA), and Material Flow Analysis (MFA). The integrated approach was used to identify process waste, environmental hotspots, and material flow inefficiencies. The results show that the cutting process contributes the highest impact (61.82%), followed by sewing (16.15%), finishing (15.57%), assembly (5.65%), and design (0.80%). LCA results indicate a global warming impact of 123.83 kg CO₂-eq (± 0.41 kg CO₂-eq per pair), ozone formation of 5.35 kg NO_x-eq, and human toxicity air of 5.35 kg VOCs-eq. The utilization of 64 kg of leather waste and 45 kg of rubber waste into value-added products effectively increased profit by 110%, from IDR 1,185,000 to IDR 2,490,000. Recommendations include optimizing cutting patterns, implementing circular economy-based waste utilization, and improving energy efficiency in the finishing stage. The integration of VSM–LCA–MFA enhances material efficiency and supports production sustainability.



1. Pendahuluan

Lingkungan merupakan komponen penting bagi keberlangsungan kehidupan manusia [1]. Peningkatan aktivitas industri seiring pertumbuhan ekonomi telah memberi tekanan besar terhadap sumber daya alam dan ekosistem [2], sehingga pembangunan industri perlu menerapkan prinsip keberlanjutan untuk menjaga keseimbangan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan [3]. Aktivitas produksi yang tidak terkendali juga dapat menyebabkan pemborosan material dan peningkatan konsumsi energi [4].

Industri sepatu kulit menghadapi permasalahan rendahnya efisiensi proses, tingginya konsumsi listrik, serta pengelolaan limbah kulit dan sol karet yang belum optimal. Kondisi ini umum terjadi pada UMKM yang masih terbatas dalam penerapan teknologi hijau [6]. Sektor kulit dan alas kaki juga termasuk industri dengan dampak lingkungan tinggi, terutama pada kategori *global warming potential* dan *human toxicity* [7]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan terpadu untuk mengidentifikasi *waste*, memetakan aliran material, dan menilai dampak lingkungan.

Value Stream Mapping (VSM) digunakan untuk memetakan aliran proses dan mengidentifikasi aktivitas bernilai tambah [5], *Life Cycle Assessment* (LCA) untuk menilai dampak lingkungan sepanjang siklus hidup produk [9][10], dan *Material Flow Analysis* (MFA) untuk menggambarkan aliran serta kehilangan material [8]. Integrasi ketiganya memberikan gambaran menyeluruh terkait efisiensi proses dan dampak lingkungan [11].

Beberapa penelitian sebelumnya umumnya menggunakan VSM, LCA, atau MFA secara terpisah. Sedangkan, pada penelitian ini mengintegrasikan ketiganya dalam satu alur analisis pada skala UMKM sepatu kulit untuk menentukan prioritas perbaikan yang mempertimbangkan aspek proses, lingkungan, dan ekonomi secara bersamaan [11].

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan tiga metode analisis, yaitu *Value Stream Mapping* (VSM), *Life Cycle Assessment* (LCA), dan *Material Flow Analysis* (MFA). VSM digunakan untuk memetakan aliran material dan informasi dalam proses produksi serta mengklasifikasikan aktivitas menjadi *value-added* (VA), *non-value added* (NVA), dan *necessary but non-value added* (NNVA) [12][13]. Metode ini membantu meningkatkan efisiensi proses dan mendukung pengambilan keputusan terkait aspek lingkungan dan ekonomi [13][14][15].

LCA merupakan metode terstandar untuk menilai dampak lingkungan sepanjang siklus hidup produk sesuai ISO 14040/14044 [17][18]. Seluruh input dan output dianalisis berdasarkan *functional unit* melalui tahapan *goal and scope definition*, *life cycle inventory* (LCI), *life cycle impact assessment* (LCIA), dan *interpretation* [8][18]. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak seperti SimaPro berbasis database Ecoinvent [20].

MFA digunakan untuk mengidentifikasi dan menyeimbangkan aliran material dalam suatu sistem [22]. Tahapannya meliputi *system definition*, pengolahan data, pengembangan model, dan evaluasi [24], dengan dukungan perangkat seperti STAN [22], *OCPM Framework* [23], dan Microsoft Excel [24].

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus pada UMKM XYZ, produsen sepatu kulit di Surabaya. Penelitian ini menganalisis aliran proses produksi, konsumsi energi, dan timbulan limbah menggunakan *Value Stream Mapping* (VSM), *Life Cycle Assessment* (LCA), dan *Material Flow Analysis* (MFA) secara terpadu untuk mengidentifikasi titik kritis dampak lingkungan serta menentukan potensi perbaikannya.

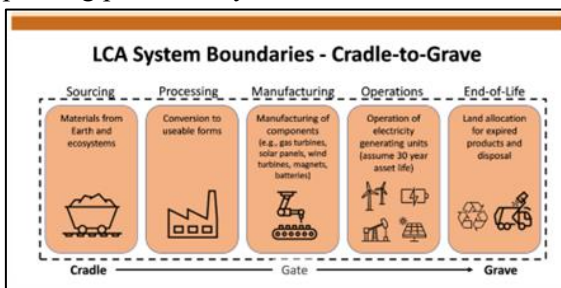
Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini dibagi menjadi lima langkah utama. Pertama, identifikasi proses produksi sepatu kulit dengan menentukan urutan aktivitas mulai dari penerimaan bahan

baku hingga produk akhir berdasarkan input, output, dan waktu siklus. Kedua, pemetaan proses menggunakan *Value Stream Mapping* (VSM) untuk menggambarkan aliran material dan informasi serta mengidentifikasi aktivitas *Value Added*, *Non-Value Added*, dan *Necessary Non-Value Added* sebagai dasar evaluasi pemborosan. Ketiga, analisis dampak lingkungan dilakukan menggunakan *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan pendekatan *cradle-to-cradle*, yang meliputi tahapan *Goal and Scope Definition*, *Life Cycle Inventory* (LCI), *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), dan *Interpretation*. Batas sistem (*system boundary*) mencakup seluruh tahapan produksi hingga pemanfaatan kembali limbah sebagai bagian dari pendekatan ekonomi sirkular.

Keempat, analisis aliran material dilakukan dengan *Material Flow Analysis* (MFA) untuk menilai keseimbangan massa antara input bahan baku, produk, dan limbah melalui visualisasi Diagram Sankey. Kelima, penyusunan rekomendasi dilakukan berdasarkan hasil integrasi VSM, LCA, dan MFA guna meningkatkan efisiensi proses, mengurangi dampak lingkungan, serta mendorong pemanfaatan limbah menjadi produk bernilai tambah.

Ketiga metode tersebut digunakan secara berurutan, di mana VSM mengidentifikasi titik pemborosan proses, LCA menunjukkan besarnya dampak lingkungan pada tiap tahapan, dan MFA menelusuri aliran material serta peluang perbaikannya.



Gambar 1. System Boundary LCA (Cradle-to-Cradle)

Sumber: Bureau of Economic Geology, University of Texas at Austin (2025) [28]

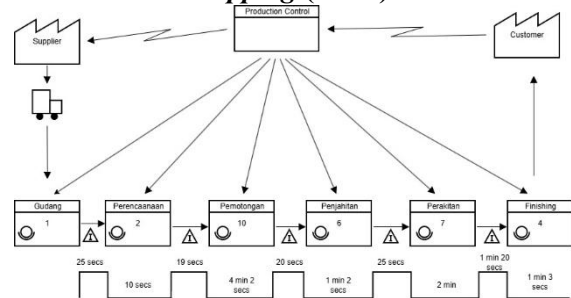
Diagram ini memperlihatkan hubungan antar tahapan produksi sepatu kulit, mulai dari aliran bahan baku, energi, hingga proses daur ulang limbah yang menjadi bagian dari siklus hidup produk secara menyeluruh.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif dan visual menggunakan perangkat lunak OpenLCA untuk menilai dampak lingkungan serta memvisualisasikan aliran material melalui Diagram Sankey. Data energi, emisi, dan limbah diperoleh dari kombinasi pengukuran langsung di lapangan, literatur pendukung, serta estimasi *default value* dari *database Ecoinvent*. Pendekatan ini memastikan validitas hasil analisis dan representasi yang akurat terhadap kondisi aktual proses produksi di UMKM XYZ.

3. Hasil dan Pembahasan

Value Stream Mapping (VSM)



Gambar 2. Value Stream Mapping Produksi Sepatu Kulit

Sumber: Pengolahan Data UMKM XYZ (2025)

Proses pembuatan sepatu kulit divisualisasikan menggunakan *Value Stream Mapping* dengan mencantumkan durasi setiap aktivitasnya. Proses dimulai dari gudang hingga tahap perencanaan. Pada tahap ini dilakukan pembuatan desain sepatu berdasarkan kebutuhan dan tren pasar dengan membuat sketsa awal yang mencakup detail desain seperti bentuk, tinggi hak, dan ornamen, serta pemetaan pola yang akan digunakan untuk proses pemotongan.

Setelah tahap perencanaan, dilanjutkan dengan pemotongan bahan, yaitu pemotongan kulit berdasarkan pola yang telah dibuat pada tahap perencanaan. Kemudian, pada tahap penjahitan bahan, potongan kulit dijahit menjadi komponen sepatu, termasuk bagian

vamp, quarter, dan lining, dengan menggunakan mesin jahit atau secara manual.

Dalam proses perakitan sepatu kulit, komponen-komponen sepatu disatukan menjadi sepatu utuh, seperti memasang last (cetakan kaki) untuk membentuk struktur sepatu, menyambungkan bagian *upper* dengan *midsole* dan *outsole*, serta melakukan proses pembentukan dan pengeringan. Tahap terakhir adalah *finishing*, yang mencakup penyempurnaan dan penambahan detail pada sepatu, seperti pemolesan, pewarnaan, dan pemberian lapisan pelindung untuk meningkatkan daya tarik dan ketahanan.

Life Cycle Assessment (LCA)

Adapun tahapan dalam *Life Cycle Assessment* (LCA), diantaranya:

Global Scope Life Cycle Assessment

Tahapan ini berfungsi untuk menetapkan tujuan pelaksanaan analisis LCA serta mendefinisikan ruang lingkup, batasan sistem, dan unit fungsional yang digunakan dalam penelitian. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi timbulan limbah serta menganalisis dampak lingkungan yang muncul akibat aktivitas produksi pada perusahaan. Objek penelitian difokuskan pada produk sepatu kulit, dengan cakupan analisis menggunakan pendekatan *cradle to cradle* yang mencakup seluruh rangkaian proses produksi, mulai dari tahap perancangan dan desain, pemotongan bahan, penjahitan, perakitan, hingga tahap akhir yaitu *finishing*.

Life Cycle Inventory (LCI)

Data yang telah diperoleh selanjutnya dianalisis melalui tahapan *Life Cycle Inventory* (LCI). Pada tahap ini dilakukan pengumpulan serta pengolahan data terkait seluruh *input* dan *output* yang terlibat dalam proses produksi sepatu kulit sesuai dengan batasan sistem yang telah ditetapkan. *Input* mencakup seluruh bahan baku, material pendukung, serta energi yang digunakan selama proses produksi berlangsung. Sementara itu, *output* meliputi hasil akhir dari proses tersebut, baik berupa produk jadi maupun limbah yang dihasilkan.

Analisis *Life Cycle Inventory* (LCI) ini bertujuan untuk menyajikan hasil evaluasi yang

sistematis terhadap aspek lingkungan pada setiap tahapan produksi, sehingga dapat diketahui besarnya kontribusi masing-masing proses terhadap potensi dampak lingkungan. Berikut disajikan data *input* dan *output Life Cycle Inventory* (LCI) untuk produksi sebanyak 300 pasang sepatu kulit:

Tabel 1. *Input dan Output* LCI Produksi Sepatu Kulit

<i>Input</i>			<i>Output</i>		
<i>Materia</i>	<i>Jumla</i>	<i>Satua</i>	<i>Materi</i>	<i>Jumla</i>	<i>Satua</i>
<i>l</i>	<i>h</i>	<i>n</i>	<i>al</i>	<i>h</i>	<i>n</i>
Perancangan dan Desain					
Kertas	1	rim	Gas CO ₂	18	Kg
Tinta printer	1	Kg			
Listrik	20	kWh			
Pemotongan Bahan					
Kulit	300	Kg	Sisa kulit	64	Kg
Sol karet	65	Kg	Sisa sol karet	45	Kg
Alat Potong	5	Unit	Gas CO ₂	36	Kg
Mesin Potong	1	Unit			
Listrik	40	kWh			
Penjahitan Bahan					
Benang	1000	m	Bagian sepatu terjahit		
Listrik	60	kWh	Sisa benang	2	Kg
Perakitan Sepatu Kulit					
Sol karet	44	Kg	Gas CO ₂	36	Kg
Lem Perekat	23	Kg			
Paku	5	Kg			
Listrik	40	kWh			
Finishing					
Polishing	10	liter	Emisi VOC (udara)	5	Kg
Dyeing	10	liter	Emisi CO ₂ (udara)	18	Kg
Protective Coating	10	liter	Emisi NO _x (udara)	5	Kg
Listrik	20	kWh	Sepatu jadi	300	pasang

Sumber: Data Primer diolah, 2025

Proses produksi sepatu kulit menghasilkan emisi gas utama berupa CO₂, VOC, dan NO_x yang menjadi indikator dampak lingkungan, khususnya terhadap pemanasan global dan pencemaran udara. Emisi CO₂ bersumber dari penggunaan energi listrik dan bahan bakar, sedangkan VOC dan NO_x berasal dari proses

finishing serta bahan kimia seperti lem dan pelapis. Data emisi tersebut diolah menggunakan OpenLCA untuk menilai kontribusinya terhadap *global warming*, *human toxicity*, dan *ozone formation*, sehingga dapat diketahui tahapan produksi yang paling berpengaruh dan strategi pengurangannya.

Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Setelah tahap *Life Cycle Inventory* (LCI) selesai, dilakukan *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) untuk menilai besarnya dampak lingkungan dari proses produksi sepatu kulit. Setiap emisi dan penggunaan sumber daya dianalisis untuk mengetahui kontribusinya terhadap berbagai kategori dampak lingkungan. Tahapan ini juga menjadi dasar dalam merumuskan upaya perbaikan serta membandingkan kondisi lingkungan sebelum dan sesudah penerapan metode *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA).

Tabel 2. Kategori Dampak Pada LCA

No.	Dampak Lingkungan	Deskripsi	Penyebab
1	<i>Global Warming</i>	Dampak emisi gas rumah kaca yang menyebabkan peningkatan suhu global.	Emisi CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, dan gas rumah kaca lainnya dari pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, pertanian, dll.
2	<i>Ozone Depletion</i>	Pengurangan lapisan ozon stratosfer yang melindungi Bumi dari sinar ultraviolet (UV) berbahaya.	Emisi CFCs, halons, dan bahan kimia perusak ozon lainnya.
3	<i>Ozone Formation (Vegetation)</i>	Pembentukan ozon troposfer (permukaan) yang dapat berdampak negatif pada tanaman dan ekosistem.	Emisi VOCs (Volatile Organic Compounds) dan NO _x yang bereaksi di bawah sinar matahari.
4	<i>Ozone Formation (Human)</i>	Pembentukan ozon troposfer yang dapat berdampak negatif pada kesehatan manusia, menyebabkan masalah pernapasan.	Emisi VOCs dan NO _x dari kendaraan, industri, dll.
5	<i>Acidification</i>	Pengasaman lingkungan akibat emisi gas	Pembakaran bahan bakar

No.	Dampak Lingkungan	Deskripsi	Penyebab
		asam, seperti SO ₂ dan NO _x , yang dapat menyebabkan hujan asam	fosil, proses industri, dll.
6	<i>Terrestrial eutrophication</i>	Kelebihan nutrisi (seperti nitrogen) di ekosistem darat yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem.	Pertanian, limbah domestik dan industri.
7	<i>Aquatic eutrophication (N)</i>	Kelebihan nutrisi nitrogen di ekosistem air yang menyebabkan pertumbuhan alga berlebih dan kematian organisme air.	Pertanian, limpasan perkotaan, limbah domestik dan industri.
8	<i>Aquatic eutrophication (P)</i>	Kelebihan nutrisi fosfor di ekosistem air yang menyebabkan pertumbuhan alga berlebih dan kematian organisme air.	Pertanian, limpasan perkotaan, limbah domestik dan industri.
9	<i>Human toxicity air</i>	Dampak bahan kimia beracun di udara terhadap kesehatan manusia.	Emisi industri, kendaraan, pembakaran bahan bakar fosil
10	<i>Human toxicity water</i>	Dampak bahan kimia beracun di air terhadap kesehatan manusia.	Limbah industri, limbah domestik, kontaminasi sumber air.
11	<i>Human toxicity soil</i>	Dampak bahan kimia beracun di tanah terhadap kesehatan manusia.	Pertanian, limbah industri, tumpahan bahan kimia.
12	<i>Ecotoxicity water chronic</i>	Dampak bahan kimia beracun di air terhadap ekosistem air dalam jangka panjang.	Limbah industri, pertanian, limpasan perkotaan.
13	<i>Ecotoxicity water acute</i>	Dampak bahan kimia beracun di air terhadap ekosistem air dalam jangka pendek.	Tumpahan bahan kimia, pencemaran industri.
14	<i>Ecotoxicity soil chronic</i>	Dampak bahan kimia beracun di tanah terhadap ekosistem tanah dalam jangka panjang.	Pertanian, limbah industri, tumpahan bahan kimia.
15	<i>Hazardous waste</i>	Dampak jumlah limbah berbahaya yang dihasilkan sepanjang siklus hidup produk.	Proses industri, penggunaan bahan kimia berbahaya.

No.	Dampak Lingkungan	Deskripsi	Penyebab
16	Slags/sheds	Dampak dari jumlah limbah slag (sisa proses peleburan logam) dan sheds (sisa proses produksi).	Industri peleburan logam, produksi bahan konstruksi.
17	Bulk waste	Jumlah limbah besar yang dihasilkan sepanjang siklus hidup produk.	Konstruksi, manufaktur, industri berat.
18	Radioactive water	Jumlah limbah radioaktif yang dihasilkan sepanjang siklus hidup produk.	Industri nuklir, penelitian, penggunaan medis.
19	Resource (all)	Penggunaan sumber daya alam, termasuk bahan baku, energi, dan air.	Ekstraksi bahan baku, konsumsi energi, penggunaan air dalam proses produksi.

Sumber: Data Primer diolah, 2025

1) Inventory Result

Gambar 3. Inventory Result

Sumber: Pengolahan Data UMKM XYZ (2025)

Tahap ini menghasilkan data *output* dari proses produksi sepatu kulit berupa emisi CO₂, VOC, NO_x, serta limbah padat seperti sisa potongan kulit dan sol. Data tersebut diolah menggunakan OpenLCA untuk mengetahui kontribusi tiap proses terhadap dampak lingkungan, sehingga diperoleh gambaran sejauh mana aktivitas produksi memengaruhi emisi udara dan limbah padat.

2) Siklus Produk (Model Graph)



Gambar 4. Model Graph Produksi Sepatu Kulit
Sumber: Pengolahan Data UMKM XYZ (2025)

Hasil pengolahan data dengan OpenLCA menghasilkan model grafik yang menggambarkan lima tahapan utama produksi sepatu kulit, yaitu perancangan, pemotongan, penjahitan, perakitan, dan *finishing*. Setiap tahap memiliki *input* bahan baku yang berbeda sesuai fungsi masing-masing dalam membentuk produk akhir.

3) Hasil Analisis Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Hasil analisis LCIA dengan OpenLCA menunjukkan tiga kategori utama dampak lingkungan dari produksi sepatu kulit, yaitu pemanasan global, pembentukan ozon troposfer, dan toksisitas terhadap manusia melalui udara. Ketiga dampak tersebut berasal dari emisi gas dan penggunaan bahan kimia selama proses produksi.

Tabel 3. Hasil Analisis LCIA

Dampak Lingkungan	Nilai	Satuan
<i>global warming</i>	123,83	kg CO ₂ -eq
<i>ozone formation</i>	5,35	kg NO _x -eq
<i>human toxicity air</i>	5,35	kg VOC _s -eq

Sumber: Data Primer diolah, 2025

Hasil analisis *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) menunjukkan bahwa produksi sepatu kulit pada UMKM XYZ menimbulkan dampak lingkungan utama berupa pemanasan global sebesar 123,83 kg CO₂-eq untuk 300 pasang produk (sekitar 0,41 kg CO₂-eq per pasang), pembentukan ozon 5,35 kg NO_x-eq, dan toksisitas udara 5,35 kg VOC_s-eq. Dampak terbesar berasal dari emisi CO₂ akibat penggunaan listrik pada tahap pemotongan dan *finishing*, sehingga efisiensi energi dan pemanfaatan sumber energi terbarukan menjadi langkah penting dalam upaya pengurangan emisi karbon. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian global, nilai emisi tersebut tergolong lebih rendah dibandingkan studi oleh Bodoga dkk. [25] yang melaporkan jejak karbon sebesar 18,65 kg CO₂-eq per pasang sepatu kerja dan penelitian oleh Rossi yang menunjukkan nilai sekitar 27 kg CO₂-eq per pasang sepatu *hiking* [26]. Perbedaan tersebut disebabkan oleh skala



produksi UMKM yang lebih kecil, penggunaan bahan baku lokal, serta konsumsi energi listrik yang relatif rendah dibandingkan industri besar.

Temuan ini sejalan dengan studi Navarro dkk. yang menegaskan bahwa tahap penyamakan dan *finishing* merupakan titik kritis terhadap emisi karbon dan penggunaan bahan kimia berbahaya dalam industri kulit [27]. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat bukti bahwa efisiensi energi serta pengelolaan limbah dan bahan kimia pada tahap akhir produksi berperan penting dalam menurunkan dampak lingkungan, sekaligus menunjukkan bahwa penerapan integrasi metode VSM–LCA–MFA efektif dalam meningkatkan efisiensi proses dan keberlanjutan produksi pada skala UMKM.

Material Flow Analysis (MFA)



Gambar 5. Diagram Sankey Produksi Sepatu Kulit
Sumber: Pengolahan Data UMKM XYZ (2025)

Pada bagian ini, proses produksi dianalisis menggunakan Diagram Sankey untuk mengetahui tahapan dengan dampak lingkungan terbesar. Lebar garis menunjukkan intensitas aliran, sedangkan warna merah menunjukkan dampak negatif. Hasil analisis menunjukkan bahwa pemotongan bahan memiliki kontribusi tertinggi (61,82%), diikuti penjahitan (16,15%), *finishing* (15,57%), perakitan (5,65%), dan perancangan (0,80%). Persentase tersebut menunjukkan bahwa lebih dari setengah dampak produksi terkonsentrasi pada satu tahapan utama. Hal ini mengindikasikan bahwa efisiensi pada tahap pemotongan akan memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan dampak secara keseluruhan.

Proses tersebut menghasilkan rata-rata 64 kg limbah kulit dan 45 kg limbah karet per periode

produksi. Jumlah limbah ini menunjukkan adanya kehilangan material yang cukup besar dari total bahan baku yang digunakan. Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa optimalisasi pola pemotongan masih memiliki peluang perbaikan yang cukup luas. Jika dijual langsung, limbah tersebut menghasilkan keuntungan Rp1.185.000 dalam enam hari. Namun, apabila diolah menjadi produk bernilai tambah, keuntungan meningkat menjadi Rp2.490.000 atau meningkat sekitar 110% dibandingkan penjualan limbah secara langsung. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah secara produktif efektif dalam meningkatkan nilai tambah ekonomi.

Tabel 4. Hasil Analisis Peningkatan Nilai Tambah Limbah UMKM XYZ

Jenis Limbah	Kuantitas	Hasil Pengolahan	Kuantitas	Harga Jual	Total
Potongan Kulit	64 kg	Dompet	30 pcs	Rp 45.000	Rp 1.350.000
		Sabuk	42 pcs	Rp 20.000	Rp 840.000
Potongan Karet	45 kg	Pupuk organik	25 karung	Rp 12.000	Rp 300.000
Total Keuntungan					Rp 2.490.000

Sumber: Data Primer diolah, 2025

Sebanyak 64 kg limbah kulit dapat diolah kembali menjadi produk baru, menghasilkan 30 buah dompet dengan harga jual Rp 45.000 per buah dan 42 buah ikat pinggang dengan harga jual Rp 20.000 per buah. Sementara itu, 45 kg limbah karet dapat diubah menjadi 25 karung pupuk organik yang dijual dengan harga Rp 12.000 per karung. Dari hasil pengolahan tersebut, total keuntungan yang diperoleh mencapai Rp 2.490.000.

Hasil ini menunjukkan bahwa limbah yang sebelumnya dianggap sebagai sisa produksi sebenarnya memiliki potensi nilai tambah yang signifikan apabila dikelola secara tepat. Temuan ini juga memperlihatkan bahwa integrasi analisis proses melalui VSM, pengukuran dampak melalui LCA, dan evaluasi aliran material melalui MFA mampu menghasilkan solusi yang tidak hanya

mengurangi dampak lingkungan, tetapi juga meningkatkan kinerja ekonomi UMKM. Dengan demikian, pendekatan yang digunakan tidak berhenti pada identifikasi masalah, tetapi memberikan arah perbaikan yang aplikatif dan berkelanjutan.

4. Kesimpulan dan Saran

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode *Value Stream Mapping* (VSM), *Life Cycle Assessment* (LCA), dan *Material Flow Analysis* (MFA) memberikan gambaran komprehensif terhadap efisiensi proses serta dampak lingkungan pada produksi sepatu kulit di UMKM XYZ. Analisis mengungkap bahwa tahap pemotongan bahan memiliki kontribusi terbesar terhadap emisi dan pemborosan material, sedangkan hasil LCA menunjukkan dampak utama berupa pemanasan global, pembentukan ozon troposfer, dan toksisitas udara yang dipicu oleh penggunaan energi listrik serta bahan kimia pada proses finishing dan perakitan. Melalui MFA, diketahui bahwa limbah padat hasil pemotongan dapat dimanfaatkan menjadi produk baru seperti dompet, sabuk, atau pupuk organik, sehingga menurunkan dampak lingkungan sekaligus meningkatkan keuntungan hingga dua kali lipat. Secara keseluruhan, integrasi VSM–LCA–MFA pada UMKM sepatu kulit merupakan pendekatan baru dalam menilai efisiensi lingkungan secara terpadu, yang terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi proses dan keberlanjutan produksi pada skala usaha kecil dan menengah.

5. Daftar Pustaka

- [1] A. Bodoga, A. Nistorac, M. C. Loghin, and D. N. Isopescu, “Environmental impact of footwear using life cycle assessment—Case study of professional footwear,” *Sustainability*, vol. 16, no. 14, p. 6094, Jul. 2024, doi: 10.3390/su16146094.
- [2] I. Elemure, H. N. Dhakal, M. Leseure, and J. Radulovic, “Integration of lean, green, and sustainability in manufacturing: A review on current state and future perspectives,” *Sustainability*, vol. 15, no. 13, p. 10261, Jun. 2023, doi: 10.3390/su151310261.
- [3] B. Dulo, J. Githaiga, K. Raes, and S. De Meester, “Material flow analysis and resource recovery potential analysis of selected fruit, vegetable, and nut waste in Kenya,” *Waste Biomass Valorization*, vol. 13, no. 8, pp. 3671–3687, Aug. 2022, doi: 10.1007/s12649-022-01751-8.
- [4] J. Baars, M. A. Rajaeifar, and O. Heidrich, “Quo vadis MFA? Integrated material flow analysis to support material efficiency,” *J. Ind. Ecol.*, vol. 26, no. 4, pp. 1487–1503, Aug. 2022, doi: 10.1111/jiec.13288.
- [5] R. Iskandar and M. L. Singgih, “Lean and green value stream mapping: Case study of an East Java furniture factory,” in *Proc. INCITE-23*, 2023, pp. 114–131, doi: 10.2991/978-94-6463-288-0_12.
- [6] X. Chen, L. Xu, Z. Ren, F. Jia, and Y. Yu, “Sustainable supply chain management in the leather industry: A systematic literature review,” *Int. J. Logist. Res. Appl.*, vol. 26, no. 12, pp. 1663–1703, Dec. 2023, doi: 10.1080/13675567.2022.2104233.
- [7] E. Octaviani, I. Masudin, A. Khoidir, and D. P. Restuputri, “Material flow analysis for demand forecasting and lifetime-based inflow in Indonesia’s plastic bag supply chain,” *Logistics*, vol. 9, no. 3, p. 105, Aug. 2025, doi: 10.3390/logistics9030105.
- [8] M. Rossi, A. Papetti, M. Marconi, and M. Germani, “Life cycle assessment of a leather shoe supply chain,” *Int. J. Sustain. Eng.*, vol. 14, no. 4, pp. 686–703, Jul. 2021, doi: 10.1080/19397038.2021.1920643.
- [9] F. Pulansari, I. Nugraha, and E. A. Saputro, “Analysis of the implementation life cycle assessment (LCA) method for identification of environmental assessment in liquid waste production tofu at PT. XYZ,” in *Nusantara Sci.*



- Technol. Proc.*, Nov. 2022, doi: 10.11594/nstp.2022.2712.
- [10] W. W. Woldemicael, E. Berhan, D. Kitaw, and G. Tesfaye, “Enhancing operation efficiency of leather manufacturing industry through hybrid of value stream mapping and discrete event simulation,” *Cogent Eng.*, vol. 11, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1080/23311916.2024.2375423.
- [11] A. Brun and F. Ciccullo, “Factors affecting sustainability-oriented innovation in the leather supply chain,” *Strategic Change*, vol. 31, no. 3, pp. 305–321, May 2022, doi: 10.1002/jsc.2500.
- [12] R. Salvador et al., “Towards a green and fast production system: Integrating life cycle assessment and value stream mapping for decision making,” *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 87, p. 106519, 2021, doi: 10.1016/j.eiar.2020.106519.
- [13] A. Batwara, V. Sharma, M. Makkar, and A. Giallanza, “Towards smart sustainable development through value stream mapping—A systematic literature review,” *Heliyon*, vol. 9, no. 5, p. e15852, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e15852.
- [14] D. Maryadi et al., “Improvement performa gudang medium mile menggunakan value stream mapping: Studi kasus di Kota Palembang,” *Bisnis dan Kewirausahaan*, vol. 3, no. 1, pp. 40–48, 2023.
- [15] Y. Pratiwi, N. H. Djanggu, and P. Anggela, “Penerapan lean manufacturing untuk meminimasi pemborosan (waste) dengan metode value stream mapping (VSM) pada PT. X,” 2022.
- [16] S. Rashid and E. Pagone, “Cradle-to-grave lifecycle environmental assessment of hybrid electric vehicles,” *Sustainability*, vol. 15, no. 14, p. 11027, 2023.
- [17] H. Zhang, C. Lang, and R. Zhang, “Life cycle carbon footprint analysis of suitcase production: Impact of material variations, size differences, and geographical factors,” *J. Clean. Prod.*, vol. 496, p. 145081, 2025, doi: 10.1016/j.jclepro.2025.145081.
- [18] M. Rotthong et al., “Life cycle assessment of integrated waste management systems towards carbon neutrality and environmental sustainability,” *Cleaner Environ. Syst.*, p. 100355, 2025, doi: 10.1016/j.cesys.2025.100355.
- [19] A. N. A. Rachmah, A. M. Fauzi, and B. Bustami, “Life cycle assessment komoditi perikanan di Muncar Banyuwangi, Jawa Timur,” *J. Standardisasi*, vol. 22, no. 3, pp. 245–252, 2020.
- [20] H. Liu et al., “Design of efficient disperse one-bath strategy with low pollution and life cycle assessment for eco-sustainable leather processing,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 13, no. 2, p. 116146, 2025, doi: 10.1016/j.jece.2025.116146.
- [21] J. Shi et al., “Life cycle assessment insights into nanosilicates-based chrome-free tanning processing towards eco-friendly leather manufacture,” *J. Clean. Prod.*, vol. 434, p. 139892, 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.139892.
- [22] N. R. Shahbudin and N. A. Kamal, “Establishment of material flow analysis (MFA) for heavy metals in a wastewater system,” *Ain Shams Eng. J.*, vol. 12, no. 2, pp. 1407–1418, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.asej.2020.10.009.
- [23] P. Jordan et al., “Enabling the material flow analysis in disassembly systems using object-centric process mining,” in *Procedia CIRP*, 2025, pp. 271–276, doi: 10.1016/j.procir.2025.03.019.
- [24] R. Barkhausen et al., “Combinations of material flow analysis and life cycle assessment and their applicability to assess circular economy requirements in EU product regulations: A systematic literature review,” *J. Clean. Prod.*, vol.

- 407, Jun. 2023, doi:
10.1016/j.jclepro.2023.137017.
- [25] M. Rossi, "Life cycle assessment of a leather shoe supply chain," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 26, no. 8, pp. 1643–1657, 2021, doi: 10.1007/s11367-021-01911-3.
- [26] D. Navarro, J. Wu, and W. Lin, "Life cycle assessment and leather production," *J. Leather Sci. Eng.*, vol. 2, no. 26, 2020, doi: 10.1186/s42825-020-00035-y.
- [27] Bureau of Economic Geology, Univ. of Texas at Austin, "Research plan: Comparing electricity options," 2025. [Online]. Available: <https://ceo.beg.utexas.edu/research-plan>