



Integrasi MFA-LCC Untuk Pengembangan SOP Pemanfaatan Limbah Padat Pulping Kopi Arabika di Kopi Wanoja Kamojang Kabupaten Bandung

Muhammad Fadlin Zhafrana^{1*}, Indra Firmansyah²

¹⁻² Universitas Padjadjaran, Indonesia

email: muhammad22443@mail.unpad.ac.id¹, indra.firmansyah@unpad.ac.id²

Article Info :

Received:
05-02-2026
Revised:
15-02-2026
Accepted:
21-02-2026

Abstract

Solid waste management inefficiencies in the coffee processing operations at Kopi Wanoja have generated environmental burdens and operational cost inefficiencies. This study specifically aims to map material flows through Material Flow Analysis (MFA), calculate life cycle costs using Life Cycle Costing (LCC), identify hotspots of material and cost inefficiencies, and formulate a Standard Operating Procedure (SOP) for solid waste management. The research employed a quantitative descriptive approach with mass balance modeling conducted using STAN 2.7 software, complemented by financial analysis based on the parameters of Net Present Value (NPV), Benefit–Cost Ratio (BCR), and Payback Period (PBP). MFA results identified the pulping stage as the primary hotspot, generating coffee cherry skin waste of 40.63 kg per batch, equivalent to 53.44% of total input. From a financial perspective, LCC analysis indicated that the investment is feasible, yielding an NPV of Rp109,839,471, a BCR of 1.015, and a payback period in the seventh year. In conclusion, the integration of MFA and LCC proved effective in synchronously detecting hidden costs and material inefficiencies compared to conventional cost accounting approaches. These findings provide a scientific basis for developing an SOP aimed at stabilizing green bean yield at approximately $\pm 41.4\%$ while converting disposal costs into revenue through by-product utilization. It is therefore recommended that the company promptly implement the proposed SOP to maintain both economic and environmental sustainability.

Keywords: Hidden Costs, Hotspot, Life Cycle Costing, Material Flow Analysis, Mass Balance.

Abstrak

Inefisiensi pengelolaan limbah padat pada proses pengolahan kopi di Kopi Wanoja memicu beban lingkungan dan ketidakefisienan biaya operasional. Penelitian ini bertujuan secara spesifik untuk memetakan aliran material (*Material Flow Analysis*), menghitung biaya siklus hidup (*Life Cycle Costing*), mengidentifikasi *hotspots* inefisiensi material dan biaya, serta merumuskan *Standard Operating Procedure* (SOP) pengelolaan limbah padat. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan pemodelan neraca massa menggunakan perangkat lunak STAN 2.7 serta analisis finansial melalui parameter NPV, BCR, dan PBP. Hasil MFA mengidentifikasi tahap *pulping* sebagai *hotspot* utama dengan pembangkitan limbah kulit ceri mencapai 40,63 kg/batch atau 53,44% dari total input. Secara finansial, analisis LCC menunjukkan investasi dinyatakan layak dengan nilai NPV sebesar Rp109.839.471, BCR 1,015, dan *Payback Period* pada tahun ke-7. Kesimpulannya, integrasi MFA-LCC terbukti efektif mendeteksi biaya tersembunyi (*hidden costs*) dan inefisiensi material secara sinkron dibandingkan akuntansi biaya konvensional. Kegunaan temuan ini adalah sebagai landasan ilmiah penyusunan SOP untuk menstabilkan rendemen *green bean* pada angka $\pm 41,4\%$ dan mengonversi biaya pembuangan menjadi pendapatan melalui produk sampingan. Disarankan bagi perusahaan untuk segera mengimplementasikan SOP tersebut guna menjaga keberlanjutan ekonomi dan lingkungan usaha.

Kata kunci: Biaya Tersembunyi, Hotspot, Life Cycle Costing, Material Flow Analysis, Neraca Massa.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Kopi merupakan komoditas perkebunan unggulan Indonesia yang banyak diminati karena cita rasa dan aromanya, serta berkontribusi besar terhadap ekspor nasional (Panggabean, 2011; Rahardjo, 2012). Jenis yang umum diproduksi adalah robusta dan arabika, dengan sekitar 96% luas perkebunan dikelola oleh perkebunan rakyat (Panggabean, 2011). Peningkatan produksi kopi berdampak pada meningkatnya volume limbah, terutama kulit kopi yang belum dimanfaatkan secara optimal (Bantacut

& Putri Rahayu, 2022). Dalam proses pengolahan, sekitar 40–48% berat buah kopi menjadi limbah berupa daging buah (pulp), kulit, dan kulit biji (Akbar, 2023). Padahal, limbah ini masih mengandung nutrisi seperti serat kasar ($\pm 18\%$), protein kasar ($\pm 6\text{--}10\%$), lemak, dan kalsium, sehingga memiliki potensi nilai ekonomis (Khalil, 2016).

Limbah kulit kopi dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku kompos, pakan ternak, maupun minuman cascara dari kulit ceri (pulp) (Bantacut & Putri Rahayu, 2022). Kandungan polifenolnya juga berpotensi sebagai sumber antioksidan alami. Meskipun demikian, potensi pemanfaatan limbah kopi tersebut masih belum terealisasi secara maksimal (Khalil, 2016). Desa Laksana di Kecamatan Ibum, Kabupaten Bandung, merupakan wilayah dataran tinggi di kawasan Kamojang dengan ketinggian ± 1.500 mdpl, suhu $15\text{--}20^\circ\text{C}$, dan curah hujan $2.500\text{--}2.885$ mm/tahun. Kondisi ini sesuai untuk budidaya kopi Arabika (Oktaviani et al., 2024). Dari total 65 hektar kebun kopi, produksi mencapai $23.660\text{--}27.105$ kg dengan produktivitas $364\text{--}417$ kg/ha, yang masih lebih rendah dibandingkan rata-rata nasional sebesar $816,35$ kg/ha (Manik & Andriani, 2021). Industri pengolahan kopi di wilayah ini, termasuk Kopi Wanoja, berperan penting dalam perekonomian lokal, namun menghadapi permasalahan limbah padat dari proses pulping (Albana, 2022).

Limbah kulit dan pulp kopi berkadar air tinggi ($75\text{--}80\%$) sehingga cepat membusuk dan berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik (Akbar, 2023). Pemanfaatan limbah kopi masih belum optimal akibat rendahnya kesadaran dan minimnya informasi, sementara peningkatan produksi turut menambah volume limbah (Bantacut & Putri Rahayu, 2022). Pendekatan 3R (Reduce, Reuse, Recycle) yang umum dikenal masih bersifat linear. Oleh karena itu, Material Flow Analysis (MFA) menjadi alternatif strategis untuk memetakan aliran material mulai dari input (ceri kopi, air, energi), proses (pulping, fermentasi, pencucian, pengeringan), hingga output (produk dan limbah) guna mengidentifikasi inefisiensi dan mendukung pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan (Jasch, 2009; Baars et al., 2022). Meski efektif di berbagai sektor, penerapan MFA pada agroindustri kopi, khususnya untuk pengembangan SOP, masih terbatas (Baars & Heidrich, 2022).

Untuk melengkapi analisis efisiensi material, digunakan metode *Life Cycle Costing* (LCC) yang mengevaluasi seluruh biaya dan manfaat ekonomi sepanjang siklus hidup produk atau proses (Junus & Fitria, 2015). LCC memberikan perspektif jangka panjang dan membantu organisasi tidak hanya berfokus pada keuntungan jangka pendek (Jasch, 2009). Studi sebelumnya menunjukkan bahwa pemanfaatan pulp kopi sebagai pupuk mampu menurunkan Cumulative Energy Demand hingga $39\text{--}87\%$ dan emisi CO_2 sebesar $49,69\text{--}72\%$, serta meningkatkan nilai tambah ekonomi $6\text{--}26\%$ (Baars et al., 2021). Namun, penerapan LCC pada industri pengolahan kopi masih terbatas pada evaluasi skenario tertentu dan belum terintegrasi dengan analisis aliran material secara komprehensif (Jasch, 2009).

Untuk menjembatani keterbatasan tersebut, diperlukan Standar Operasional Prosedur (SOP) sebagai instrumen formal yang memuat prosedur kerja efektif dan efisien berdasarkan data kuantitatif. SOP berfungsi mengarahkan aktivitas operasional agar pengelolaan limbah berjalan konsisten dan berkelanjutan (Badan Standardisasi Nasional, 2008). Meskipun demikian, masih terdapat celah penelitian karena belum ada studi yang mengintegrasikan Material Flow Analysis (MFA) dan LCC sebagai dasar penyusunan SOP pengurangan limbah pada industri pengolahan kopi, khususnya pada skala petani kecil seperti Kopi Wanoja (Albana, 2022). Penelitian yang ada umumnya terbatas pada analisis rantai pasok atau MFCA, tanpa pendekatan terpadu untuk memetakan hotspot kehilangan material sekaligus mengoptimalkan biaya siklus hidup limbah organik seperti kulit kopi (Baars et al., 2022).

Wanoja Coffee merupakan UMKM asal Kabupaten Bandung yang memproduksi kopi green bean dan mengelola proses dari hulu ke hilir, mulai pembibitan hingga pemasaran. Memiliki lahan ± 100 hektar dengan produksi sekitar 180 ton per tahun yang dikelola oleh 10 kelompok tani, Wanoja menghasilkan sembilan jenis green bean seperti *natural*, *natural extended*, dan *black honey* (Albana, 2022). Kondisi ini merepresentasikan industri pengolahan kopi Arabika skala menengah di Indonesia yang masih menghadapi kendala pengelolaan limbah tanpa standar baku, sehingga menghambat keberlanjutan produksi. Penelitian ini mengusulkan integrasi Material Flow Analysis (MFA) dan Life Cycle Costing (LCC) untuk meningkatkan efisiensi proses pulping. MFA memetakan aliran material dan titik kehilangan limbah, sedangkan LCC mengukur dampak finansial dari ketidakefisienan tersebut (Jasch, 2009; Junus & Fitria, 2015). Integrasi keduanya memungkinkan identifikasi hotspot paling kritis dari sisi material dan biaya (Baars et al., 2022).

Hasil analisis terintegrasi akan menjadi dasar penyusunan SOP pengurangan limbah padat yang lebih efisien di Kopi Wanoja Kamojang, guna menekan volume limbah sekaligus mengoptimalkan biaya operasional. Penelitian ini menggunakan timbangan sebagai instrumen utama pengukuran massa material, serta perangkat lunak Microsoft Excel dan STAN 2.7 (open-source) untuk analisis mass balance, LCC, dan visualisasi aliran material secara sistematis. Bahan utama dalam penelitian ini terdiri dari data, baik primer maupun sekunder. Data primer meliputi semua hasil pengukuran langsung di lapangan, seperti data massa input buah kopi, output biji kopi, dan massa limbah padat yang dihasilkan di setiap tahapan proses pulping. Selain itu, data primer juga mencakup hasil observasi non-partisipatif terhadap prosedur kerja saat ini dan wawancara dengan operator atau pemilik.

Sementara itu, data sekunder adalah data historis dan administratif dari perusahaan, termasuk catatan biaya operasional (tenaga kerja, energi), biaya bahan baku, dan riwayat biaya penanganan limbah yang diperlukan untuk perhitungan LCC. Untuk mendukung analisis, literatur ilmiah dan SOP terkait MFA dan LCC juga akan digunakan sebagai bahan referensi (Jasch, 2009; Baars et al., 2022). Penelitian ini bertujuan untuk memetakan aliran material dan menghitung mass balance menggunakan pendekatan Material Flow Analysis (MFA) guna mengidentifikasi titik kehilangan material serta pembangkitan limbah padat terbesar pada proses pulping kopi Arabika. Selanjutnya, penelitian ini menganalisis dan menghitung Life Cycle Costing (LCC) pada proses pulping untuk mengetahui kontribusi biaya penanganan limbah terhadap total biaya operasional (Junus & Fitria, 2015). Hasil dari MFA dan LCC kemudian diintegrasikan untuk mengidentifikasi hotspots ketidakefisienan material dan biaya yang paling kritis (Baars et al., 2022).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih dua bulan, sejak tahap perizinan pada Desember 2025 hingga penyusunan laporan pada Januari 2026, dengan lokasi studi kasus di Kopi Wanoja Kamojang, Desa Laksana, Kecamatan Ibum, Kabupaten Bandung. Penelitian menggunakan desain studi kasus dengan pendekatan survei lapangan deskriptif kuantitatif yang menitikberatkan pada proses pulping kopi. Batas sistem ditetapkan mulai dari buah kopi masuk hingga limbah padat keluar, kemudian diidentifikasi tahapan proses untuk menganalisis aliran material dan biaya secara rinci. Parameter observasi terdiri atas data massa material untuk *Material Flow Analysis* (MFA) serta komponen biaya langsung dan tidak langsung untuk *Life Cycle Costing* (LCC), sehingga memungkinkan pengukuran efisiensi material sekaligus efisiensi ekonomi secara terpadu (Baars et al., 2022).

Analisis dilakukan melalui perhitungan keseimbangan massa menggunakan MFA dan perhitungan biaya siklus hidup menggunakan LCC, kemudian keduanya diintegrasikan untuk mengidentifikasi *hotspots* yang menunjukkan kehilangan material tinggi sekaligus biaya besar. Data diperoleh melalui observasi lapangan, pengukuran berulang massa *input-output*, wawancara dengan pengelola, serta dokumen historis biaya perusahaan yang diverifikasi melalui triangulasi. Hasil integrasi MFA dan LCC digunakan sebagai dasar penyusunan usulan SOP baru yang bertujuan mengurangi limbah padat sekaligus menekan biaya operasional, sehingga mendukung efisiensi produksi dan keberlanjutan usaha pengolahan kopi (Junus & Fitria, 2015; Baars et al., 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Kopi Arabika Wanoja *coffee* (Cooperative)

Wanoja *Coffee* merupakan sebuah kelompok tani dan produsen kopi specialty yang berbasis di kawasan Kamojang, Kecamatan Ibum, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Organisasi ini beroperasi di ketinggian sekitar 1.500 meter di atas permukaan laut (MDPL), sebuah elevasi ideal untuk budidaya kopi Arabika. Berbasis di Kabupaten Bandung, Wanoja *Coffee* resmi berdiri pada Juni 2012 di bawah inisiasi Hj. Eti Sumiati. Penamaan "Wanoja" (berarti perempuan) mencerminkan sejarah awal organisasi yang merupakan wadah khusus bagi petani perempuan, sebuah nilai yang hingga kini diabadikan melalui logo siluet perempuan dan tanaman kopi. Beroperasi di lahan mandiri dan lahan Perhutani, entitas ini mampu menghasilkan produktivitas harian rata-rata mencapai 50 kg. Selain menaungi ratusan hektar lahan, operasional harian Wanoja *Coffee* kini diperkuat oleh 58 orang tenaga kerja di unit pengolahan koperasi untuk mengolah biji kopi dengan menjamin kelancaran rantai produksi dari hulu ke hilir.

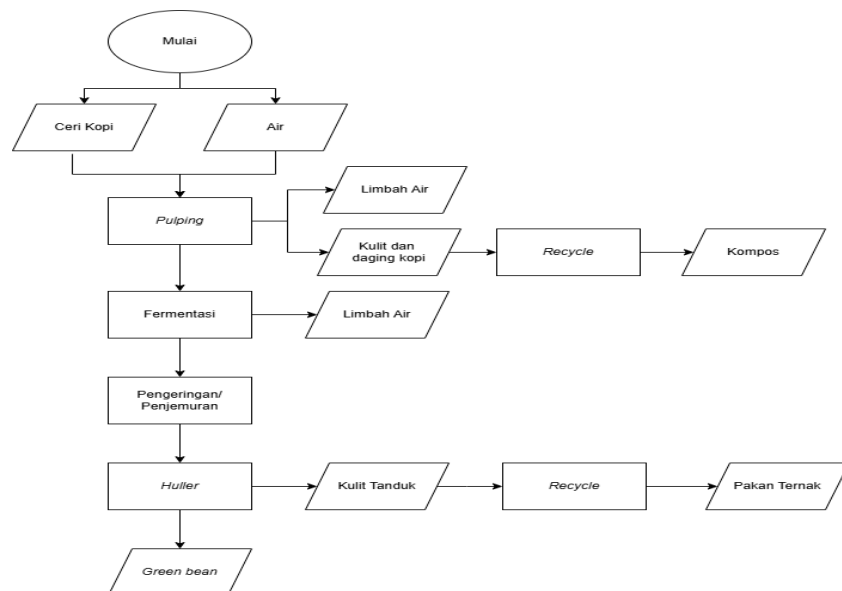
Wanoja *Coffee* berfokus pada pengembangan kopi jenis Arabika dengan keragaman varietas yang menjadi keunggulan karakter rasanya. Varietas yang dibudidayakan meliputi *Typica*, Kartika, Andung Sari, Lini S, Sigararutang, hingga *Yellow Caturra*. Keragaman varietas ini memungkinkan organisasi untuk memenuhi berbagai preferensi pasar *specialty coffee*, baik domestik maupun internasional. Dalam proses pascapanen, Wanoja *Coffee* mengimplementasikan berbagai metode pengolahan secara komprehensif, mulai dari proses *Full Wash*, *Honey*, *Natural*, hingga teknik *Anaerob* yang sedang tren di kalangan penikmat kopi masa kini.

Sejalan dengan upaya peningkatan nilai tambah produk, Wanoja *Coffee* tidak hanya memasarkan biji kopi mentah (*green beans*), tetapi juga telah merambah ke produk hilir seperti kopi sangrai (*roasted beans*) dan kopi bubuk. Selain itu, organisasi ini mulai menunjukkan komitmen pada prinsip *zero waste* dengan memanfaatkan limbah kulit kopi. Saat ini, kulit kopi tersebut sebagian besar diolah menjadi pupuk kompos untuk kebutuhan lahan perkebunan, sementara sebagian kecil lainnya mulai dikembangkan menjadi produk turunan bernilai ekonomi berupa teh *cascara*.

Material Flow Analysis

Analisis Aliran Material (MFA) dalam penelitian ini digunakan untuk memetakan secara presisi pergerakan massa, mulai dari input bahan baku berupa ceri kopi hingga menjadi produk akhir dan limbah. Pendekatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi titik-titik inefisiensi serta akumulasi limbah pada setiap tahapan proses produksi di Wanoja *Coffee*. Tahapan analisis MFA dilakukan melalui tiga langkah utama, yaitu pemetaan aliran (Rimantho et al., 2019), inventarisasi data massa, dan penyusunan neraca massa (Anggia & Wijayanti, 2023).

Langkah awal MFA adalah menyusun peta aliran material untuk memvisualisasikan lintasan massa dalam batasan sistem produksi. Di Wanoja *Coffee*, pemetaan dimulai dari penerimaan ceri kopi, proses pulping, fermentasi, pengeringan, hulling, hingga pemanfaatan limbah padat (*recycle*). Setiap tahap diidentifikasi berdasarkan input (ceri, air) dan output (*green bean*, pulp/kulit kopi, serta air limbah) guna melihat pemisahan antara produk bernilai ekonomi dan limbah. Peta aliran ini sekaligus menetapkan batas sistem penelitian dan membantu mengidentifikasi titik kritis kehilangan material, seperti biji rusak saat pulping atau lendir yang terbuang saat pencucian. Integrasi aliran energi juga memberikan gambaran beban operasional di tiap stasiun kerja.



Gambar 3. Peta aliran material wanoja *coffee* metode *full wash*

Peta aliran ini menjadi instrumen penting dalam mendeteksi aliran limbah yang selama ini tidak terukur secara formal. Dengan adanya batasan yang jelas antara aliran produk utama (*main products*) dan aliran sampingan (*by-products/waste*), Wanoja *Coffee* dapat menentukan prioritas pengelolaan limbah pada fase yang paling signifikan, seperti pemanfaatan kulit dan daging kopi menjadi kompos serta kulit ari menjadi pakan ternak. Penataan aliran yang teridentifikasi dalam peta ini memberikan

dasar objektif bagi Wanoja Coffee untuk mengonversi temuan lapangan menjadi skema prosedural dalam SOP.

Setelah alur proses terpetakan, dilakukan pengumpulan data kuantitatif untuk setiap aliran material. Inventarisasi ini mencakup pengukuran berat ceri kopi yang masuk sebagai input dasar (rata-rata 50 kg per hari) dan pendataan massa untuk setiap komponen keluaran. Data yang dikumpulkan meliputi berat biji kopi basah hasil pengupasan, volume air yang dikonsumsi selama proses pencucian, serta berat akhir biji kopi kering (*green bean*).

Proses inventarisasi dilakukan dengan metode pencatatan berkala yang melibatkan operator di lapangan guna mendapatkan validitas data. Setiap material yang masuk dan keluar yang menjadi produk dihitung menggunakan satuan massa (Kg). Selain itu, ada fokus inventarisasi yang terbatas pada komoditas pendukung, seperti material pembantu yaitu penggunaan air. Meskipun pengumpulan data dilakukan secara berkala melalui keterlibatan operator lapangan, ditemukan adanya batasan pada inventarisasi material pembantu. Penggunaan air pada proses *pulping* dan fermentasi saat ini belum terdokumentasikan secara sistematis, di mana volume air yang dikonsumsi masih ditentukan berdasarkan estimasi visual atau perkiraan kasar oleh operator di lapangan tanpa pengukuran alat yang pasti. Ketiadaan data kuantitatif pada aliran air ini berimplikasi pada tidak tersedianya nilai output akhir yang presisi untuk limbah cair dalam neraca massa. Namun, temuan ini menjadi poin penting dalam analisis hasil, karena mengindikasikan adanya celah dalam pengendalian intensitas penggunaan sumber daya (*resource intensity*) yang berpotensi memicu ketidakpastian biaya variabel dalam analisis LCC.

Ketelitian dalam inventarisasi data massa merupakan prasyarat mutlak untuk menghasilkan standar operasional yang efektif. Tanpa data massa yang akurat, SOP pengurangan limbah hanya akan bersifat kualitatif tanpa target capaian yang jelas. Oleh karena itu, data yang terkumpul dalam tahap ini akan digunakan sebagai parameter keberhasilan *Key Performance Indicators* (KPI) dalam SOP yang dikembangkan, misalnya dengan menetapkan standar batas maksimal persentase kulit kopi yang dihasilkan atau batas minimal rendemen *green bean* dengan proses pengolahan secara basah sebesar 22,9% (Anggia & Wijayanti, 2023).

Tahap selanjutnya dari *Material Flow Analysis* (MFA) untuk pemetaan aliran produksi di Wanoja Coffee adalah penyusunan neraca massa untuk memastikan hukum kekekalan massa terpenuhi, di mana total massa input harus setara dengan total massa output, yang mencakup produk, limbah, serta kehilangan massa. Melalui neraca massa ini, perusahaan dapat mengevaluasi efisiensi rendemen produksinya. Selisih antara berat ceri kopi yang masuk dengan berat produk akhir berupa *green beans* mengungkapkan jumlah limbah padat dan cair yang dihasilkan secara mendetail. Hasil evaluasi ini nantinya menjadi landasan krusial untuk merancang strategi pengurangan dan pemanfaatan limbah dalam SOP, sehingga setiap "massa yang hilang" dapat diminimalisir atau dimanfaatkan kembali menjadi produk sampingan yang bernilai guna.

Kondisi Eksisting

Berdasarkan hasil dari pencatatan operator terhadap pengukuran alur produksi di Wanoja Coffee, data massa yang terkumpul diinventarisasi untuk membentuk sebuah neraca massa yang sistematis. Rincian distribusi massa dari input bahan baku ceri hingga menjadi produk akhir dan residu dapat dilihat pada Tabel 1, berikut:

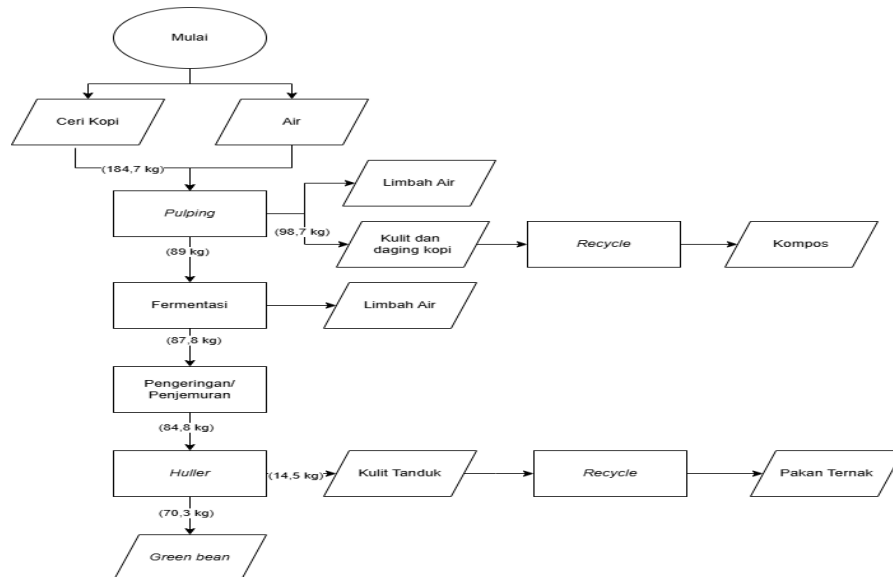
Tabel 1. Tabel neraca massa eksisting

Proses	Input Material	Massa (Kg/L)	Output Material	Massa (Kg/L)	% Dari Total Input
Penerimaan	Ceri kopi segar	184,7	Ceri kopi pilihan	184,7	100
<i>Pulping</i>	Ceri Kopi pilihan	184,7	Biji kopi basah	89	48,19
Fermentasi	Biji Kopi	89	Kulit kopi	98,7	53,44
			Biji kopi bersih	87,8	98,65
Pengeringan	Biji kopi bersih	87,8	Biji kopi + Parchment	84,8	96,58

Hulling	Biji kopi + Parchment	84,8	Green beans	70,3	82,90
----------------	-----------------------	------	-------------	------	-------

Sumber: Pencatatan wanoja *coffee* dan perhitungan peniliti

Melalui Tabel 1, terlihat bahwa persentase limbah *pulping* atau kulit kopi merupakan keluaran terbesar selain produk utama. Hal ini mengindikasikan perlunya prosedur penanganan khusus dalam SOP untuk meminimalkan dampak lingkungan sekaligus mengoptimalkan potensi ekonomi dari residu tersebut. Selain data pada tabel tersebut, diagram alir (*flowchart*) proses produksi beserta perhitungan kuantitas pada kondisi eksisting disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir produksi beserta neraca massa eksisting

Proses produksi pengolahan kopi diawali dengan tahap persiapan input berupa ceri kopi dan dengan total massa sebesar 184,7 kg. Campuran tersebut kemudian memasuki proses *pulping* untuk memisahkan biji kopi dari kulit dan daging buahnya. Pada tahap ini, dihasilkan produk antara sebesar 89 kg, sementara 98,7 kg sisanya berupa limbah air serta kulit dan daging kopi yang dialokasikan untuk proses daur ulang (*recycle*) menjadi kompos. Tahap selanjutnya adalah fermentasi yang bertujuan untuk meluruhkan lapisan lendir (*mucilage*) pada biji kopi, menghasilkan massa sebesar 87,8 kg setelah pemisahan limbah air. Biji kopi tersebut kemudian melewati proses pengeringan atau penjemuran untuk mengurangi kadar air hingga 12% menurut standar SNI 01-2907-2008 mengenai mutu fisik dan kadar air pada biji kopi dan hasil dari massanya menyusut menjadi 84,8 kg. Penurunan massa pada tahap ini mencerminkan penguapan air yang terjadi selama proses termal berlangsung.

Pada tahap akhir, biji kopi kering diproses menggunakan mesin *huller* untuk memisahkan kulit tanduk. Proses ini menghasilkan limbah kulit tanduk sebesar 14,5 kg yang dapat dimanfaatkan kembali (*recycle*) sebagai bahan baku pakan ternak. Output akhir dari keseluruhan rangkaian produksi ini adalah biji kopi hijau (*green bean*) dengan kuantitas sebesar 70,3 kg.

Kondisi Perhitungan menggunakan sistem *software* STAN 2.7

Perhitungan neraca massa pada penelitian ini diselesaikan dengan bantuan perangkat lunak STAN. Penggunaan STAN 2.7 dilakukan untuk memastikan konsistensi dan keseimbangan data aliran material di seluruh sistem produksi Wanoja Coffee. Perangkat lunak ini merekonsiliasi ketidakpastian data melalui pendekatan statistik dan optimasi *mass balance*, sehingga selisih akibat keterbatasan pengukuran lapangan terutama pada estimasi penggunaan air, dapat dikoreksi sesuai prinsip ISO 14051 (*Material Flow Cost Accounting*). Dalam pemodelan, setiap tahapan proses (*pulping*, fermentasi, pengeringan hingga *green bean*) diperlakukan sebagai sub-system yang saling terhubung. STAN 2.7 mampu mendeteksi unidentified losses dengan menghitung tingkat uncertainty dari setiap input data, sehingga menghasilkan neraca massa yang lebih reliabel dibandingkan perhitungan manual.

Output berupa diagram visual terintegrasi memberikan gambaran transparan mengenai efisiensi rendemen dan akumulasi limbah pada tiap fase produksi. Neraca massa ini menjadi dasar analisis ekonomi dan perbaikan berkelanjutan, termasuk penyusunan SOP pemanfaatan limbah secara sirkular (misalnya kompos atau cascara). Dengan demikian, data massa yang terverifikasi melalui STAN 2.7 berfungsi sebagai dasar ilmiah untuk optimasi proses dan peningkatan efisiensi produksi.

Tabel 2. Referensi *material loss* dalam metode *full wash*

<i>Flow/ Proses</i>	<i>Nilai Input</i>	<i>Sumber</i>
Ceri kopi ke biji kopi basah (<i>Pulping</i>)	78% 22% <i>loss</i> (kulit + daging)	(Bantacut & Putri Rahayu, 2022)
Biji kopi basah ke <i>mucilage</i> (Fermentasi)	97% 3% <i>loss</i> (<i>mucilage</i>)	
Biji kopi bersih ke pengeringan	68% 32% <i>loss</i> (air)	
Biji kopi kering + kulit ari	81% 19% <i>loss</i> (kulit ari/tanduk)	

Integrasi persentase rendemen literatur dengan neraca massa riil memungkinkan identifikasi titik kehilangan massa pada setiap fase produksi secara akurat. Parameter dalam STAN 2.7 digunakan sebagai instrumen validasi untuk memastikan efisiensi teknis, termasuk pada tahap pengeringan yang mencatat kehilangan massa terbesar akibat penguapan. Secara keseluruhan, konversi input bahan baku menjadi final green beans tercatat sekitar $\pm 27\%$ dari total sistem dan $\pm 41,4\%$ dari massa kopi ceri.

Hasil neraca massa STAN 2.7 menunjukkan total input 459,4 kg/batch (184,7 kg kopi ceri dan 274,7 kg air) dengan keseimbangan massa terjaga ($dStock = 0$). Tahap pulping menghasilkan 40,63 kg/b limbah padat kulit ceri dan 144,07 kg/b biji kopi basah. Fermentasi menghasilkan 139,74 kg/b biji bersih, pengeringan menurunkan massa menjadi 95,03 kg/b biji kering, dan hulling menghasilkan 76,97 kg/b green beans serta 18,05 kg/b kulit tanduk. Total limbah padat mencapai 58,69 kg/batch.

Life Cycle Costing

Identifikasi Komponen Biaya

Analisis Life Cycle Costing (LCC) di Wanoja Coffee mengidentifikasi seluruh biaya siklus hidup produksi, meliputi biaya investasi (mesin pulper Rp35.000.000 dan huller Rp270.000.000), operasional, pemeliharaan, serta disposal. Biaya terbesar berasal dari operasional, terutama pembelian 50 ton ceri kopi per tahun (Rp700.000.000), upah 58 pekerja (Rp100.000.000/bulan), serta utilitas dan pajak. Biaya pemeliharaan sebesar Rp30.000.000/tahun, sedangkan pengelolaan limbah Rp100.000.000 terintegrasi dalam komponen tenaga kerja.

Hasil LCC menunjukkan adanya biaya tersembunyi pada penggunaan energi dan pengelolaan limbah yang sering tidak tercatat dalam akuntansi konvensional. Total biaya produksi green bean tercatat Rp5,6 miliar per tahun (Rp112.000/kg) dengan harga jual Rp130.000/kg. Setelah penyesuaian ekonomi, HPP diproyeksikan menjadi Rp138.000/kg dengan harga pasar Rp158.000/kg, sehingga margin keuntungan tetap Rp20.000/kg.

Tabel 3. Tabel HPP, Harga Jual dan Keuntungan bersih

Komponen	Harga	total/ tahun
HPP	Rp 138.000	Rp 6.900.000.000
Harga Jual	Rp 158.000	Rp 7.900.000.000
Keuntungan bersih		Rp 1.000.000.000

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 3, operasional produksi dirancang dengan kapasitas output sebesar 50 ton per tahun. Pada tingkat produksi tersebut, ditetapkan Harga Pokok Produksi (HPP) sebesar Rp138.000 per unit, sehingga menghasilkan total akumulasi HPP tahunan mencapai Rp6.900.000.000. Untuk mencapai target profitabilitas, harga jual ditetapkan pada angka Rp158.000 per unit, yang jika diakumulasikan terhadap total volume produksi akan menghasilkan nilai penjualan kotor sebesar Rp7.900.000.000 per tahun. Dari selisih total pendapatan dan total beban pokok tersebut, diperoleh proyeksi keuntungan bersih sebesar Rp1.000.000.000 dalam satu periode tahunan.

Analisis terhadap struktur biaya menunjukkan pembagian antara komponen biaya tetap dan biaya variabel yang membentuk total beban operasional. Biaya tetap (*fixed cost*) tercatat sebesar Rp305.000.000, yang merupakan beban biaya yang tidak dipengaruhi oleh fluktuasi volume produksi. Di sisi lain, biaya variabel (*variable cost*) memiliki nilai yang jauh lebih dominan yaitu sebesar Rp835.600.000, yang mencerminkan ketergantungan biaya terhadap intensitas aktivitas produksi harian. Penggabungan kedua komponen tersebut membentuk total biaya keseluruhan senilai Rp1.140.600.000. Rincian dari komponen biaya tersebut adalah dapat disajikan dalam tabel 4, berikut ini

Tabel 4. Tabel biaya tetap, biaya variabel dan total biaya

Biaya Tetap	Rp	305.000.000
Biaya Variabel	Rp	835.600.000
Biaya Total	Rp	1.140.600.000

Margin keuntungan sebesar Rp20.000 per kg menunjukkan kinerja keuangan yang positif, dengan estimasi laba bersih tahunan mencapai Rp1.000.000.000. Struktur biaya yang didominasi biaya variabel memberikan fleksibilitas operasional, namun juga membuat perusahaan sensitif terhadap fluktuasi harga input. Dengan kapasitas produksi 50 ton per tahun, HPP Rp138.000/kg dan harga jual Rp158.000/kg, total pendapatan kotor diproyeksikan Rp7.900.000.000 per tahun. Biaya operasional terdiri dari biaya variabel Rp835.600.000 dan biaya tetap Rp305.000.000, sehingga total biaya operasional tahunan Rp1.140.600.000. Analisis arus kas selama 15 tahun dengan Discount Factor 10% menunjukkan investasi awal sebesar Rp1.065.600.000 dan keuntungan tahunan sebelum diskonto Rp164.400.000. Hasil evaluasi kelayakan investasi menunjukkan NPV positif sebesar Rp109.839.471, BCR 1,015 (>1), dan Payback Period pada tahun ke-7. Proyek pengolahan kopi ini dinyatakan layak secara finansial. Integrasi MFA dan LCC (Hotspot analysis) Integrasi Material Flow Analysis (MFA) dan Life Cycle Costing (LCC) pada sistem produksi Kopi Wanoja dilakukan melalui pendekatan hotspot analysis untuk mengidentifikasi tahapan dengan beban material dan biaya terbesar.

Melalui pemodelan STAN 2.7, setiap kehilangan massa dalam neraca material dikonversi menjadi potensi kerugian ekonomi, sehingga inefisiensi fisik dapat dianalisis secara finansial. Hasil integrasi menunjukkan bahwa hotspot utama berada pada tahap pulping. Pada kondisi riil, rendemen biji kopi basah hanya 48,19% (89 kg/batch), dengan kehilangan massa mencapai 98,7 kg, jauh lebih besar dibandingkan model STAN yang memproyeksikan kehilangan sekitar 22% dan output 144,07 kg. Selisih ini mencerminkan potensi kehilangan ekonomi yang signifikan, mengingat biaya bahan baku mencapai Rp700.000.000 per tahun dan berkorelasi dengan biaya pengelolaan limbah Rp100.000.000 per tahun. Dengan total biaya operasional Rp835.600.000 per tahun, tahap pulping menjadi prioritas utama perbaikan efisiensi. Hotspot berikutnya terdapat pada tahap hulling, yang menentukan rendemen akhir green beans.

Data riil menunjukkan kehilangan 14,5 kg kulit tanduk dengan output 70,3 kg green beans, sedangkan model STAN memproyeksikan 18,05 kg loss dan 76,97 kg output (efisiensi 81%). Meskipun kehilangan riil lebih kecil dari model, tahap ini tetap krusial karena setiap kehilangan biji merupakan kerugian ekonomi langsung tanpa proses pemulihan nilai. Selain itu, tahap fermentasi dan pencucian teridentifikasi sebagai hotspot utilitas akibat konsumsi air yang berkontribusi pada biaya variabel, meskipun massa limbah cair relatif kecil. Secara keseluruhan, integrasi MFA–LCC menjadi dasar perumusan SOP pengurangan limbah dan optimalisasi mesin, termasuk pemanfaatan limbah kulit kopi (58,69 kg/batch) menjadi produk bernilai tambah seperti kompos dan cascara. Strategi ini diharapkan memperkuat kelayakan finansial yang saat ini menunjukkan NPV Rp109.839.471, BCR 1,015, dan Payback Period 7 tahun, sekaligus meningkatkan efisiensi material, keberlanjutan lingkungan, dan profitabilitas usaha.

Analisis Integrasi MFA-LCC Untuk Pengembangan SOP Pemanfaatan Limbah Padat Pulping Kopi Arabika Di Kopi Wanoja Kamojang Kabupaten Bandung

Analisis aliran material (MFA) yang dilakukan pada proses pengolahan kopi Arabika di Kopi Wanoja menunjukkan adanya potensi inefisiensi yang signifikan pada tahap awal proses. Berdasarkan data neraca massa, tahap *pulping* memberikan kontribusi limbah padat terbesar, yakni 40,63 kg/batch kulit ceri kopi dari total 58,69 kg/batch akumulasi limbah padat keseluruhan. Temuan ini mengonfirmasi bahwa unit *pulping* merupakan *critical hotspot* pertama dalam sistem produksi. Tingginya volume limbah pada tahap ini secara biologis disebabkan oleh struktur buah kopi itu sendiri, di mana bagian *exocarp* (kulit luar) dan *mesocarp* (daging buah) secara alami mencakup porsi massa terbesar dari buah kopi utuh. Literatur Zainuridin dan Mutisari (1995), menyebutkan bahwa limbah kulit buah kopi biasanya mencapai 48% hingga 60% dari total berat kopi gelondong basah. Hal ini menjelaskan mengapa secara fisik, pemisahan biji dari kulitnya pada tahap *pulping* akan selalu menghasilkan volume residu yang dominan dibandingkan tahap lainnya seperti *hulling*.

Jika dibandingkan dengan penelitian lain, inefisiensi pada tahap *pulping* di Kopi Wanoja tergolong sangat tinggi. Penelitian oleh Juwita et al. (2017) menyatakan bahwa pengolahan kopi umumnya menghasilkan limbah kulit berkisar antara 40% hingga 45%. Sementara itu, model teknis dari Bantacut & Rahayu (2022) memproyeksikan bahwa kehilangan massa (loss) pada tahap *pulping* seharusnya dapat ditekan hingga 22%. Perbedaan yang mencolok antara kondisi riil di Kopi Wanoja yang mencatat kehilangan massa 53,44% pada tahap *pulping* dengan standar model literatur 22% menunjukkan adanya inefisiensi teknis yang serius. Hal ini dapat dipicu oleh beberapa faktor, seperti pengaturan mesin *pulper* yang belum optimal sehingga menyebabkan banyak bagian produktif ikut terbuang, atau karakteristik kadar air ceri kopi di wilayah Kamojang yang cukup tinggi dibandingkan dengan kopi arabika di wilayah lainnya, sehingga menambah massa beban limbah basah.

Ketidaksesuaian ini memiliki dampak ekonomi yang besar karena biaya pembelian bahan baku ceri kopi merupakan komponen biaya operasional terbesar bagi Kopi Wanoja, mencapai Rp700.000.000 per tahun. Setiap persentase kehilangan massa yang melebihi standar model mencerminkan bahan baku yang telah dibeli tidak terkonversi menjadi produk bernilai jual, melainkan justru menambah *disposal cost* atau biaya pengelolaan limbah. Argumentasi mengenai hotspot tersebut diperkuat melalui analisis LCC yang mencakup seluruh siklus hidup proses. Pada Unit Pengolahan Kopi Wanoja, biaya investasi awal (akuisisi) sebesar Rp305.000.000 didominasi secara mutlak oleh pengadaan alat produksi utama, yaitu mesin *huller* (Rp270.000.000) dan mesin *pulper* (Rp35.000.000). Profil investasi ini menunjukkan perbedaan mencolok dengan proyeksi kapasitas pada literatur Albana (2022), di mana rencana pengembangan justru didominasi oleh biaya konstruksi dan bangunan sebesar Rp252.000.000 yang mencakup pembangunan gudang sebesar Rp180.000.000 dan pabrik tambahan sebesar Rp72.000.000. Dalam literturnya, Albana menganggarkan penambahan mesin *huller* baru dengan harga yang lebih rendah yaitu Rp40.000.000 serta mesin sortir biji kopi sebesar Rp50.000.000. Lebih lanjut, meskipun terdapat kesamaan struktur manajerial, penelitian ini melakukan pemutakhiran terhadap Harga Pokok Penjualan (HPP) menjadi Rp138.000 per kg guna menyesuaikan dengan fluktuasi ekonomi terkini, meningkat dari data sekunder sebelumnya yang berada di angka Rp112.000 per kg.

Meskipun biaya investasinya besar, beban finansial sesungguhnya muncul pada biaya operasional tahunan yang mencapai Rp835.600.000, di mana komponen terbesarnya adalah pembelian bahan baku ceri kopi sebesar Rp700.000.000. Temuan ini sejalan dengan teori Hunkeler et al. (2008) yang menyatakan bahwa transparansi biaya di seluruh siklus hidup adalah kunci untuk mengungkap biaya tersembunyi (*hidden costs*), termasuk inefisiensi yang memicu biaya operasional tinggi. Inefisiensi pada MFA berkorelasi linear dengan LCC, setiap ton limbah padat yang tidak terkelola meningkatkan potensi kerugian ekonomi. Dengan kehilangan massa di tahap *pulping* mencapai 53,44% (jauh di atas standar model 22% menurut Bantacut & Rahayu, (2022)), perusahaan menanggung biaya bahan baku yang tidak terkonversi menjadi produk bernilai jual. Secara teoretis, biaya pemeliharaan sebesar Rp30.000.000 per tahun juga berisiko meningkat seiring tingginya beban kerja mesin akibat rasio input air dan ceri yang tidak seimbang. Hal ini teridentifikasi dari penggunaan air proses di tahap *pulping* yang mencapai 184,7 kg/batch, sehingga total massa yang harus diproses oleh mesin mencapai 369,4 kg/batch. Pengendalian rasio ini sangat krusial karena biaya utilitas air meskipun saat ini hanya Rp600.000 per tahun, ditentukan hanya berdasarkan estimasi visual operator yang berisiko memicu ketidakpastian biaya variabel dalam jangka panjang. Selain itu, belum adanya segmentasi infrastruktur finansial yang terpisah antara unit operasional utama dengan unit pengolahan limbah, sehingga biaya

pengelolaan limbah sebesar Rp100.000.000 saat ini masih terintegrasi secara manajerial di dalam beban tenaga kerja.

Integrasi antara temuan MFA dan LCC membuktikan hipotesis bahwa identifikasi titik kritis aliran massa merupakan dasar valid bagi efisiensi biaya. Dengan mengetahui bahwa limbah padat kulit ceri mencapai 69% dari total limbah padat, maka intervensi manajerial difokuskan pada reduksi biaya pembuangan melalui optimalisasi proses. Menurut Baars & Heidrich (2022), meskipun MFA efektif untuk efisiensi material, aplikasinya dalam sektor agroindustri kopi masih sangat terbatas. Kebanyakan penerapan MFA lebih banyak ditemukan di sektor energi dan manufaktur (Budihardjo et al., 2023). Dengan demikian, pendekatan ini mengisi celah literatur dalam hal integrasi data fisik dan finansial untuk keberlanjutan agroindustri. Dari perspektif ekonomi manajerial, pengurangan limbah padat di sumbernya tidak hanya menurunkan biaya operasional langsung tetapi juga memitigasi risiko biaya lingkungan jangka panjang. Hal ini menunjukkan adanya korelasi positif yang kuat antara volume limbah yang terukur melalui MFA dengan struktur biaya yang dipetakan dalam LCC. Hal ini sejalan dengan teori Hunkeler et al. (2008), yang menyatakan bahwa LCC memungkinkan perusahaan melihat beban biaya jangka panjang, termasuk biaya penanganan limbah yang sering kali diremehkan dalam akuntansi biaya konvensional.

Sebagai langkah solutif atas permasalahan tersebut, hasil integrasi MFA dan LCC diterjemahkan ke dalam penyusunan SOP baru yang secara fundamental berbeda dengan kondisi eksisting di Kopi Wanoja. Sebelum adanya SOP ini, pengelolaan limbah dilakukan tanpa pedoman tertulis, contohnya penggunaan air proses hanya didasarkan pada estimasi visual operator yang memicu ketidakpastian biaya variabel. Dibandingkan dengan studi Rahmah et al. (2023) yang menggunakan LCC sebatas untuk evaluasi skenario pemanfaatan biomassa. Perbedaan dalam penelitian ini lebih unggul karena menyediakan panduan operasional harian atau SOP yang dapat diimplementasikan untuk menekan biaya operasional. Efektivitas SOP ini terlihat dari kemampuannya melakukan intervensi pada *pulping hotspot* yang saat ini mencatat kehilangan massa sebesar 53,44%, dengan target stabilisasi rendemen green bean pada angka $\pm 41,4\%$.

Tingkat efektivitas pendekatan ini juga dibuktikan melalui transformasi pengelolaan limbah dari sistem konvensional *end-of-pipe* yang selama ini membebani perusahaan dengan biaya pengelolaan sebesar Rp100.000.000 per tahun menjadi strategi produksi bersih yang menghasilkan pendapatan baru dari teh *cascara* atau kompos. Berbeda dengan literatur (Baars & Heidrich, 2022) yang menyebutkan aplikasi MFA untuk SOP agroindustri masih sangat terbatas, penelitian ini membuktikan bahwa sinergi data fisik MFA dan data moneter LCC memungkinkan lebih efektif dalam mendeteksi biaya tersembunyi (*hidden costs*) dibandingkan pengamatan visual semata. Literatur lain dari Jasch (2009) juga mendukung efektivitas metode ini dengan menyatakan bahwa penggabungan data aliran fisik (MFA) dan biaya (LCC) melalui *Environmental Management Accounting* (EMA) adalah cara paling efektif untuk mengungkap titik-titik *hotspots* lingkungan dan ekonomi secara sinkron. Capaian ini memvalidasi bahwa pendekatan integratif MFA-LCC adalah instrumen yang efektif dibandingkan metode akuntansi konvensional karena mampu menjawab secara sekaligus di mana material hilang dan berapa biaya total yang sebenarnya ditanggung selama siklus hidup produksi untuk merumuskan strategi perbaikan berkelanjutan di industri pengolahan kopi.

KESIMPULAN

Analisis *Material Flow Analysis* (MFA) berhasil mengidentifikasi tahap pulping sebagai sumber pembangkitan limbah padat terbesar dalam proses pengolahan kopi Arabika di Kopi Wanoja, dengan produksi limbah kulit ceri sebesar 40,63 kg/batch atau 53,44% dari total input ceri kopi. Total limbah padat sistem mencapai 58,69 kg/batch, di mana 69% didominasi oleh kulit ceri. Berdasarkan *Life Cycle Costing* (LCC), total investasi awal aset produksi sebesar Rp305.000.000, sedangkan biaya operasional tahunan mencapai Rp835.600.000 dengan komponen terbesar pada pembelian bahan baku Rp700.000.000. Analisis juga mengungkap adanya biaya tersembunyi pengelolaan limbah sebesar Rp100.000.000 per tahun yang masih terintegrasi dalam biaya tenaga kerja.

Integrasi MFA dan LCC membuktikan bahwa inefisiensi fisik pada tahap pulping berkorelasi langsung dengan kerugian finansial, ditunjukkan oleh selisih kehilangan massa riil (53,44%) yang jauh lebih tinggi dibandingkan standar literatur (22%). Kondisi ini menyebabkan bahan baku tidak terkonversi optimal menjadi produk, melainkan menambah biaya disposal. Meskipun demikian, investasi dinilai layak secara finansial dengan NPV Rp109.839.471, BCR 1,015, dan Payback Period

pada tahun ke-7. Hasil integrasi ini kemudian diterjemahkan ke dalam SOP baru yang berfokus pada pengendalian rasio input ceri-air, pemantauan rendemen kuantitatif, serta pemanfaatan limbah kulit kopi menjadi kompos dan teh cascara, guna menstabilkan rendemen green bean sekitar $\pm 41,4\%$ sekaligus mengubah biaya pembuangan menjadi potensi pendapatan baru.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A. (2023). Proses Pengupasan Kulit Buah Kopi Robusta (*Coffea canephora* L.) Menggunakan Mesin Viss *Pulper* Di PTPN XII Kebun Renteng Afdeling Rayap Jember.
- Albana, M. H. (2022). Capacity Planning Of Additional Production Capacity Project: Study Case Wanoja Coffee Final Project.
- Baars, J., & Heidrich, O. (2022). Quo vadis MFA ? Integrated material flow analysis to support material efficiency Mohammad Ali Rajaeifar 1. 1487–1503. <https://doi.org/10.1111/jiec.13288>
- Baars, J., Domenech, T., Bleischwitz, R., Melin, H. E., & Heidrich, O. (2021). Circular economy strategies for electric vehicle batteries reduce reliance on raw materials. *Nature Sustainability*, 4(1), 71–79.
- Baars, J., Rajaeifar, M. A., & Heidrich, O. (2022). Quo vadis MFA? Integrated *Material Flow Analysis* to support material efficiency. *Journal of Industrial Ecology*, 26(4), 1487-1503.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Standar Nasional Indonesia: Mutu biji kopi (SNI 01-2907-2008). BSN.
- Bantacut, T., & Putri Rahayu, A. (2022). Closed Production for Wet Processing of Arabica Coffee. *International Journal of Advanced Research*, 10(11), 743–753. <https://doi.org/10.21474/ijar01/15725>
- Jasch, C. (2009). Environmental and material flow cost accounting: principles and procedures.
- Jasch, C. (2009). *Environmental and material flow cost accounting: principles and procedures*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Junus, T.D & Fitria, D. (2015). Pengambilan Keputusan Investasi dengan Metode LCCA, Sustainability Division PT ASDI Swasatya
- Khalil, M. (2016). Pengaruh Pemberian limbah kulit kopi (*Coffea* sp.) amoniasi sebagai pakan alternatif terhadap pertambahan bobot ayam broiler. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Biologi*, 1(1).
- Manik, J. K. M., & Andriani, D. R. (2021). Kelayakan finansial dan sensitivitas usahatani tanaman sela kopi arabika di Kecamatan Sidikalang Kabupaten Dairi. Skripsi, Universitas Brawijaya.
- Oktaviani, N., Suriadikusumah, A., & Arifin, M. (2024). Perubahan Iklim Mikro dan Produksi Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) pada Daerah Aktivitas Geothermal PLTP Kamojang di Kabupaten Bandung. *Agrikultura*, 35(3), 400-412.
- Panggabean, E. (2011). Panduan lengkap kopi: Budidaya, pengolahan, dan bisnis. Penebar Swadaya.
- Rahardjo, P. (2012). Kopi: Panduan budidaya dan pengolahan kopi arabika dan robusta. Penebar Swadaya.
- Rahmah, D. M., Mardawati, E., Kastaman, R., Pujianto, T., & Pramulya, R. (2023). Coffee Pulp Biomass Utilization on Coffee Production and Its Impact on Energy Saving , CO 2 Emission Reduction , and Economic Value Added to Promote Green Lean Practice in Agriculture Production.
- Rimantho, D., Noor, E., Eriyatno, & Hefni, E. (2019). Penilaian aliran limbah elektronika di menggunakan Material Flow Analysis (MFA). 17(1), 120–129. <https://doi.org/10.14710/jil.17.1.120-129>
- Sarvina, Y., June, T., Surmaini, E., Nurmawati, R., & Hadi, S. S. (2020). Strategi peningkatan produktivitas kopi serta adaptasi terhadap variabilitas dan perubahan iklim melalui kalender budidaya. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 14(2), 65-78.
- Sugiyono. (2019). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Alfabeta.
- UNEP (United Nations Environment Programme). (2007). Cleaner Production: A Training Resource for Industry.
- United Nation Environment Programme (UNEP), 2006, Secretariat of the Basel Convention, Geneva, Switzerland. (diakses pada : www.basel.int).
- Velez, A. M., et al. (2016). Life cycle assessment of wet coffee processing in Colombia: an environmental approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(9), 1251–1262.

- Widayanti, S., & Kresna, D. M. (2010). Perilaku konsumen penikmat kopi tubruk dan kopi instan 1 1. 1–11.
- Widyasanti, A., & Alifiansyah, muharram. (2023). Pemanfaatan limbah kulit. 4(2), 54–61.
- Winata, S. V. (2016). Perancangan Standard Operating Procedure (Sop) Pada Chocolab. 1(April).
- Yuwita, F., Ifmalinda, I., & Makky, M. (2023). Prediction of caffeine and protein of arabica coffee beans using near infrared spectroscopy (NIRS). *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 12(4), 852-862.