

PENINGKATAN KUALITAS LINGKUNGAN PROSES PRODUKSI OLAHAN KAYU MANIS DENGAN PENDEKATAN *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA)

M. PALDO RAMA¹, RIZKI AZIZ^{1*}, YOMMI DEWILDA¹, M. FACHRI RIDWAN¹

1. Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas

*Email : rizkiaziz@eng.unand.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daur hidup produk cassia stick, menilai potensi dampak lingkungan 20 kg cassia stick kemasan, dan memberikan rekomendasi perbaikan pada proses produksi. Penelitian ini menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA) dengan pendekatan gate-to-gate menggunakan software SimaPro 9.5 serta mengacu pada SNI ISO 14040:2016. Metode penilaian dampak lingkungan yang digunakan adalah CML IA Baseline. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dampak lingkungan dari 2,00E+01 kg cassia stick kemasan meliputi Global Warming Potential (GWP100a) sebesar 2,23E+01 kg CO₂-eq, Ozone Depletion Potential (ODP) sebesar 2,43E-07 kg CFC-11-eq, Human Toxicity Potential (HTP) sebesar 6,44E+00 kg 1,4-DB-eq, Freshwater Ecotoxicity Potential (FEP) sebesar 8,32E+00 kg 1,4-DB-eq, Photochemical Oxidation Potential (POFP) sebesar 5,73E-03 kg C₂H₂-eq, Eutrophication sebesar 5,25E-02 kg PO₄-eq, serta Acidification sebesar 5,17E-02 kg SO₂-eq. Analisis skenario perbaikan menunjukkan bahwa modifikasi alat pemotong menjadi alat pemotong otomatis menggunakan motor listrik berdaya 2,00E+00 HP dengan kecepatan putaran 1,40E+03 rpm mampu menurunkan dampak lingkungan sebesar 7,69%–60.1%.

Kata kunci: *cassia stick, dampak lingkungan, gate-to-gate, LCA*

ABSTRACT

This study analyzes the life cycle of cassia sticks, evaluates the environmental impact of 20 kg of packaged cassia sticks, and provides recommendations for process improvements. The Life Cycle Assessment (LCA) method is applied with a gate-to-gate approach using SimaPro 9.5 software and referring to SNI ISO 14040:2016. The CML IA Baseline method is used for environmental impact assessment. The results show that the environmental impact of 2.00E+01 kg of packaged cassia sticks includes a Global Warming Potential (GWP100a) of 2.23E+01 kg CO₂-eq, Ozone Depletion Potential (ODP) of 2.43E-07 kg CFC-11-eq, Human Toxicity Potential (HTP) of 6.44E+00 kg 1,4-DB-eq, Freshwater Ecotoxicity Potential (FEP) of 8.32E+00 kg 1,4-DB-eq, Photochemical Oxidation Potential (POFP) of 5.73E-03 kg C₂H₂-eq, Eutrophication of 5.25E-02 kg PO₄-eq, and Acidification of 5.17E-02 kg SO₂-eq. The improvement scenario analysis shows that modifying the cutting tool into an automatic cutting tool using a 2.00E+00 HP electric motor with a rotation speed of 1.40E+03 rpm can reduce the environmental impact by 7,69%–60.1%.

Keywords: *Cassia stick, gate-to-gate, impact assessment, LCA*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu negara penghasil rempah-rempah terbesar di dunia, salah satunya adalah kayu manis (*Cinnamomum burmannii*). Tumbuhan kayu manis adalah tanaman yang kulit, batang, cabang, serta dahannya dapat digunakan sebagai rempah-rempah yang berbentuk gulungan kering kulit pohon (Asrini dkk., 2021). Produk olahan kulit kayu manis merupakan komoditas ekspor rempah yang mengalami peningkatan yang signifikan. Performa komoditas ini sangat tergantung pada tingkat daya saing serta berbagai perubahan yang terjadi baik di dalam negeri maupun di tingkat global (Muttoharoh dkk., 2018). Volume ekspor kayu manis Indonesia ke pasar dunia mencapai 48.899.734 kg atau setara dengan 37.04 % dari total ekspor kayu manis dunia (Mubarakah dan Nurhayati, 2020).. Data dari *United Nation Commodity Trade* pada tahun 2018 menunjukkan nilai ekspor kayu manis Indonesia pada tahun 2017 sebesar US\$ 148,1 juta meningkat menjadi US\$ 151,3 juta dan pada tahun 2020 (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2023).

Cassia stick merupakan produk rempah yang berasal dari kulit kayu manis yang dipotong dengan panjang tertentu dan berbentuk gulungan. Proses produksinya meliputi beberapa tahapan, mulai dari pengambilan bahan baku di alam hingga pengolahan di pabrik, yang melibatkan penggunaan energi listrik serta bahan bakar minyak, seperti bahan bakar kendaraan. Penggunaan energi dalam proses produksi rempah berpotensi menimbulkan dampak lingkungan. Penelitian oleh Arbai dkk. (2019) pada produk jamu kunyit asam menunjukkan dampak *climate change* sebesar $2,63E+03$ kgCO₂eq dan dampak eutrofikasi sebesar $1,998E-02$ kg PO₄-eq untuk setiap 1 kg produk, disebabkan oleh limbah produksi serta emisi dari penggunaan listrik dan gas LPG. Penelitian lain pada produksi gula tebu dengan unit fungsional 225 ton menunjukkan nilai *Global Warming Potential* (GWP) sebesar 466 kg CO₂-eq akibat tingginya konsumsi listrik (Sirait, 2020). Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang mampu menganalisis potensi dampak lingkungan sepanjang daur hidup produk guna mengevaluasi setiap tahapan proses serta merumuskan rekomendasi perbaikan untuk meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi dampak lingkungan.

Life Cycle Assessment (LCA) merupakan suatu pendekatan yang digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari suatu produk sepanjang seluruh tahapan daur hidupnya. Metode LCA yang diterapkan dalam penelitian ini mengacu pada standar ISO 14040:2016 (ISO 14040, 2016). Analisis LCA terdiri atas empat tahapan utama, yaitu pendefinisian tujuan dan ruang lingkup, *Life Cycle Inventory* (LCI), *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), serta interpretasi hasil LCA yang diikuti dengan perumusan rekomendasi perbaikan. Penerapan LCA bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh setiap tahapan proses, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam upaya meminimalkan potensi kerusakan lingkungan dan meningkatkan kinerja lingkungan suatu produk (Paramita dkk., 2023).

Penerapan LCA pada produk *cassia stick* bertujuan untuk mengevaluasi besarnya dampak lingkungan yang dihasilkan selama proses produksinya serta mengidentifikasi potensi pengurangan dampak lingkungan melalui penerapan skenario perbaikan, sehingga produk yang dihasilkan dapat lebih ramah lingkungan. Batasan sistem pada penelitian ini menggunakan pendekatan *gate-to-gate*, yang berfokus pada tahapan proses produksi *cassia stick*. Perangkat lunak yang digunakan dalam pelaksanaan LCA adalah SimaPro 9.5 dengan *database Ecoinvent 3.8*. Penilaian dampak lingkungan dilakukan menggunakan metode CML IA-*Baseline* untuk mengidentifikasi dan membandingkan kontribusi dampak lingkungan pada setiap tahapan dalam daur hidup produk yang dianalisis (Ridwan dkk.,

Peningkatan Kualitas Lingkungan Proses Produksi Olahan Kayu Manis dengan Pendekatan Life Cycle Assessment (LCA)

2024). CML-IA *Baseline* digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana suatu proses berkontribusi terhadap berbagai permasalahan lingkungan melalui pendekatan *midpoint impact assessment*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan neraca massa dan neraca energi produk *Cassia stick* berdasarkan LCI, menghitung dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi menggunakan pendekatan LCIA, serta merumuskan rekomendasi perbaikan guna meminimalkan dampak lingkungan produksi *cassia stick* berdasarkan tahapan interpretation dalam studi LCA. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar pengambilan keputusan bagi para pemangku kepentingan dalam upaya mengurangi potensi dampak lingkungan sekaligus meningkatkan efisiensi proses produksi, sehingga produk yang dihasilkan menjadi lebih ramah lingkungan dan berpotensi membuka peluang pasar baru.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah: (1) menganalisis siklus hidup 20 kg *cassia stick*, (2) menghitung serta menganalisis dampak lingkungan yang timbul dari proses produksi *cassia stick*, dan (3) memberikan saran perbaikan untuk meningkatkan siklus hidup produksi *cassia stick*.

2. METODE

2.1 Pengumpulan Data

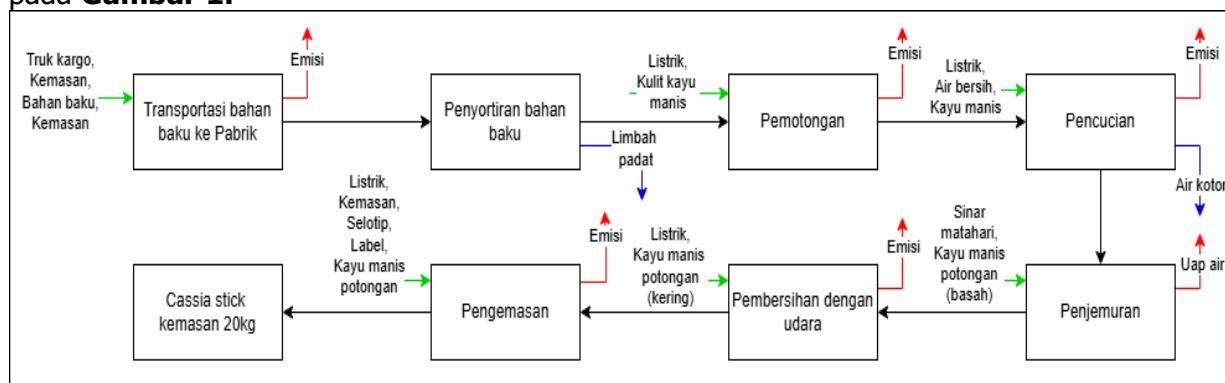
Pengumpulan data dilakukan dengan menyesuaikan unit proses menggunakan tabel inventori dan diagram alir proses untuk mengetahui *input* dan *output*. Data dalam LCA terbagi menjadi *foreground data* (data primer) dan *background data* (data sekunder). Data primer merujuk pada informasi spesifik yang dibutuhkan untuk memodelkan sistem yang diteliti. Data primer dikumpulkan melalui wawancara dengan narasumber, observasi langsung ke lapangan, serta pengukuran yang dilakukan secara langsung. Observasi dilakukan untuk mengamati keseluruhan proses produksi dari baku baku sampai terbentuk produk. Wawancara dilakukan dengan pihak yang ahli di bidangnya untuk memperoleh data yang relevan. Pengukuran langsung pada lokasi dilakukan dengan cara menimbang berat material sebelum dan sesudah di proses pada setiap proses produksi. Penimbangan dilakukan sebanyak tiga (3) kali untuk memastikan data yang diperoleh valid dan dapat dijadikan acuan dalam perhitungan.

Data sekunder mencakup informasi terkait produksi seperti bahan generik, energi, jarak transportasi, dan pengelolaan limbah (PRé Consultants, 2016). Data ini diperoleh dari penelitian sebelumnya yang relevan, buku, jurnal, *database* SimaPro yaitu Ecoinvent 3.8, dan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC).

2.2 Pendefinisian Tujuan dan Ruang Lingkup (Batasan sistem dan Unit Fungsional)

Penentuan tujuan dilakukan dengan mengidentifikasi alasan melakukan LCA pada industri ini. Tujuan dilakukan LCA ini yaitu menghitung potensi dampak lingkungan dari proses produksi *cassia stick* dan memberikan rekomendasi perbaikan untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan. Ruang lingkup lingkup memberikan gambaran jelas tentang apa yang akan dianalisis, bagaimana analisis akan dilakukan, dan sejauh mana hasil yang dapat diterapkan atau dibandingkan. Ruang lingkup pada penelitian ini terdiri dari unit fungsional dan batasan sistem. Unit fungsional yang digunakan pada penelitian ini yaitu 20 kg *cassia stick* kemasan.

Batasan sistem pada penelitian ini menggunakan pendekatan *gate-to-gate*. *Gate-to-gate* merupakan penilaian yang dilakukan mulai dari pengambilan bahan dari alam sampai terbentuk produk jadi setelah diolah di pabrik. Batasan sistem untuk penelitian ini terdapat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Batasan Sistem Produksi 20 Kg Cassia stick

2.3 Analisis Inventori

Analisis inventori akan memodelkan data *input* dan *output* setiap proses produksi ke dalam bentuk tabel. Data *input* mencakup penggunaan bahan baku, energi, air, dan moda transportasi. Sementara itu, data *output* terdiri dari produk *cassia stick* serta emisi yang dibuang ke lingkungan pada setiap proses produksinya. Data inventori yang diperoleh kemudian akan dianalisis dan digunakan sebagai dasar untuk melakukan analisis dampak lingkungan (NSF International, 2017).

2.4 Penilaian Dampak Lingkungan

Data analisis inventori yang dihasilkan akan digunakan untuk menilai potensi dampak lingkungan. Metode penilaian dampak lingkungan yang digunakan yaitu CML-IA *Baseline* (Muralikrishna & Manickam, 2017). Penilaian dampak lingkungan dilakukan dengan tiga tahap yaitu klasifikasi dampak, karakterisasi dampak, dan normalisasi dampak. Klasifikasi dampak berperan dalam mengatur dan menggabungkan hasil analisis inventori ke dalam kategori dampak. Kategori dampak lingkungan yang dianalisis yaitu *Global Warming Potential* (GWP), *Ozone layer Depletion Potential* (ODP), *Human Toxicity Potential* (HTP), *Freshwater Ecotoxicity Potential* (FEP), *Photochemical Oxidation Potential* (POFP), *Acidification Potential* (AP), dan *Eutrophication Potential* (EP).

Tahap kedua dalam penilaian dampak lingkungan yaitu karakterisasi. Karakterisasi dampak dalam LCA adalah tahap di mana hasil inventori siklus hidup (LCI) dihitung menjadi indikator-indikator potensial dampak lingkungan. Pada tahap ini, berbagai jenis emisi dan penggunaan sumber daya yang diidentifikasi dalam LCI dikaitkan dengan kategori dampak lingkungan tertentu. Setiap substansi dalam inventori diberi karakterisasi yang menunjukkan potensi dampak lingkungan menggunakan nilai faktorasi. Nilai faktor karakterisasi tergantung pada metode yang dipakai untuk menilai dampak lingkungan dan biasanya sudah terdapat dalam *software* SimaPro 9.5. Pada tahapan karakterisasi, dampak yang sudah didapatkan tidak bisa dibandingkan dengan kategori dampak lainnya sehingga diperlukan normalisasi.

Pada tahapan normalisasi, hasil karakterisasi dampak dibandingkan dengan nilai referensi atau *baseline*. Tujuan normalisasi adalah untuk memberikan perspektif mengenai besarnya dampak lingkungan yang dihasilkan oleh suatu produk atau proses dibandingkan dengan

Peningkatan Kualitas Lingkungan Proses Produksi Olahan Kayu Manis dengan Pendekatan Life Cycle Assessment (LCA)

total dampak lingkungan dalam suatu wilayah atau skala tertentu. Normalisasi dampak dilakukan dengan mengalikan hasil karakterisasi dengan faktor normalisasi.

2.5 Interpretasi

Tahapan interpretasi dalam LCA meliputi hasil analisis inventarisasi dan penilaian dampak. Interpretasi ini dapat menghasilkan kesimpulan atau rekomendasi untuk kebijakan pengembangan di masa depan. Interpretasi merupakan langkah terakhir dalam analisis LCA. Pada tahap ini, dilakukan analisis terhadap penilaian dampak lingkungan. Analisis yang dilakukan yaitu analisis komparasi, analisis kontribusi, analisis sensitivitas, serta memberikan saran perbaikan untuk mengurangi dampak lingkungan yang timbul dari proses produksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Inventori

Tahap analisis inventori melibatkan penyusunan daftar data yang telah dikumpulkan serta mengidentifikasi data tersebut sebagai *input* dan *output*. Perhitungan inventori disesuaikan dengan unit fungsional yang digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan. Tabel 1 menampilkan data inventori untuk 20 kg produk *cassia stick* kemasan.

Tabel 1. Analisis Inventori

No	Proses	Parameter	Jumlah	Satuan
Transportasi Bahan baku ke Pabrik				
1	<i>Input</i>	Transport Kulit Kayu Manis	3,21	tkm
		Transport Kemasan	0,492	tkm
	<i>Output</i>	Emisi Transportasi Solar		
		<i>Nitrogen Oxide (NO_x)</i>	5,68	g/kg <i>fuel</i>
		<i>Non-Methane Volatile Organic Compound (NMVOC)</i>	2,32	g/kg <i>fuel</i>
		Karbon Monoksida(CO)	72	g/kg <i>fuel</i>
		Karbon Dioksida (CO ₂)	3200	g/kg <i>fuel</i>
		Metana (CH ₄)	0,06	g/kg <i>fuel</i>
Bahan Baku				
		Kulit Kayu Manis	25	kg
		Kemasan	0,5	kg
Limbah				
		Tali Plastik	0,05	kg
		Karung Goni	0,25	kg
Penyortiran				
2	<i>Input</i>	Kulit Kayu Manis	25	kg
		Tenaga Manusia	50	kcal
	<i>Output</i>	Kulit Kayu Manis	23,75	kg
		Limbah Padat	1,25	kg
Pemotongan				
3	<i>Input</i>	Kulit Kayu Manis	23,75	kg
		Energi Listrik	7,26	kWh
	<i>Output</i>	Karbon Dioksida(CO ₂)	5,62206339	kg
		Dinitrogen Oksida (N ₂ O)	0,00011575	kg
		Metana (CH ₄)	6,3657E-05	kg
		<i>Total Dust Concentration</i>	16,21	mg
		Limbah Potongan	3,75	kg
		Kayu Manis Potongan	20	kg

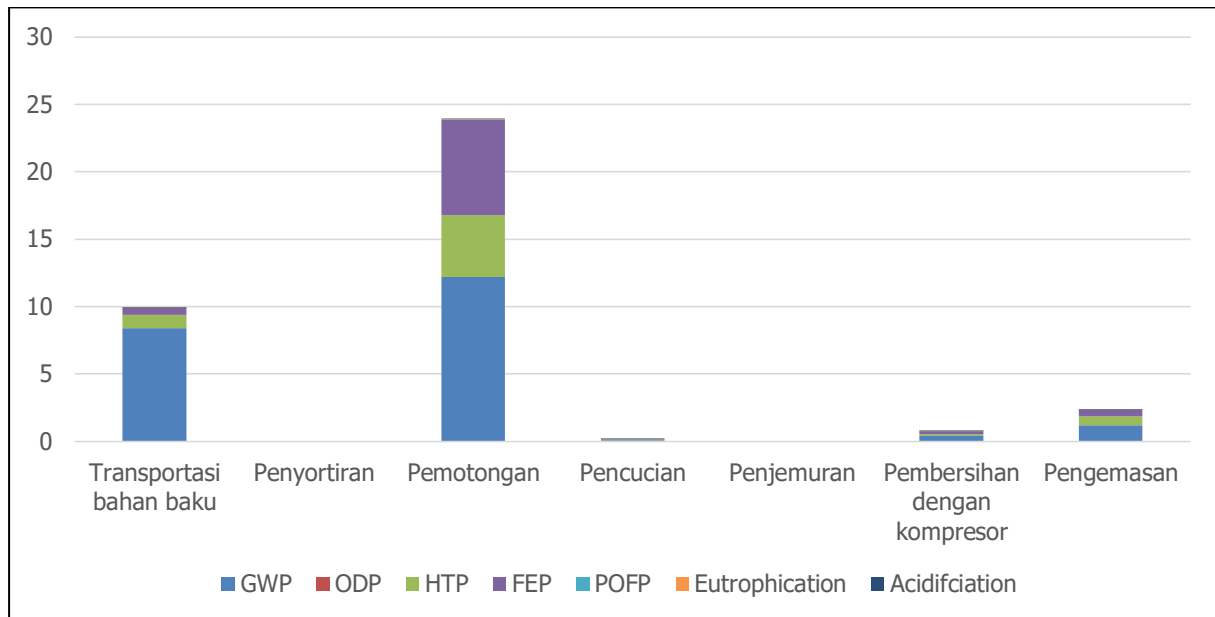
No	Proses	Parameter	Jumlah	Satuan	
Pencucian					
4	<i>Input</i>	Kayu Manis Potongan	20	kg	
		Air	16,8	kg	
		Energi Listrik	0,025	kWh	
	<i>Output</i>	Emisi Ke Air			
		Zat Padat Terlarut	$2,789 \times 10^3$	kg	
		Zat Padat Suspensi	$4,2 \times 10^5$	kg	
		BOD	$1,888 \times 10^3$	kg	
		COD	$4,155 \times 10^3$	kg	
		Emisi Penggunaan Listrik			
		Karbon Dioksida(CO ₂)	0,01935972	kg	
	Dinitrogen Oksida (N ₂ O)	$3,99 \times 10^{-7}$	kg		
	Metana (CH ₄)	$2,192 \times 10^{-7}$	kg		
	Bahan Baku				
	Kayu Manis Potongan Basah	22,5	kg		
Limbah					
	Air Kotor	14,3	kg		
Penjemuran					
5	<i>Input</i>	Kayu Manis Potongan Basah	22,5	kg	
		Sinar Matahari	631,44	watt/m ²	
	<i>Output</i>	Kayu Manis Potongan Kering	19,5	kg	
		Penguapan Air	3	kg	
Pembersihan dengan kompresor					
6	<i>Input</i>	Kayu manis Potongan	19,5	kg	
		Energi Listrik	0,2	kWh	
	<i>Output</i>	Karbon Dioksida(CO ₂)	0,15487778	kg	
		Dinitrogen Oksida (N ₂ O)	$1,75 \times 10^{-6}$	kg	
		Metana (CH ₄)	$3,188 \times 10^{-6}$	kg	
		Kayu Manis Potongan	19,5	kg	
Pengemasan					
7	<i>Input</i>	Kulit Kayu Manis Potongan	19,5	kg	
		Kemasan	0,5	kg	
		Energi Listrik	0,0225	kWh	
		Selotip	5	g	
		Label	3	g	
	<i>Output</i>	Karbon Dioksida(CO ₂)	0,0174	kg	
		Dinitrogen Oksida (N ₂ O)	$3,58 \times 10^{-7}$	kg	
		Metana (CH ₄)	$1,97 \times 10^{-7}$	kg	
		<i>Cassia stick</i> kemasan	20	kg	

3.2 Penilaian Dampak Lingkungan

Penilaian dampak lingkungan dilakukan dalam perangkat lunak Simapro 9.5 dengan menggunakan pendekatan metode CML-IA *Baseline*. Metode ini digunakan karena penilaian lingkungan dilakukan secara menyeluruh dan mencakup emisi dari gas rumah kaca, penggunaan energi, dan ketersediaan database yang mencukupi (Iswara dkk., 2020). Berdasarkan hasil analisis, proses pengeringan, pemisahan kulit kayu manis dari batang, dan penyortiran tidak memberikan dampak lingkungan yang signifikan. Hal ini disebabkan karena proses pemisahan dan penyortiran dilakukan menggunakan tenaga manusia, yang hanya

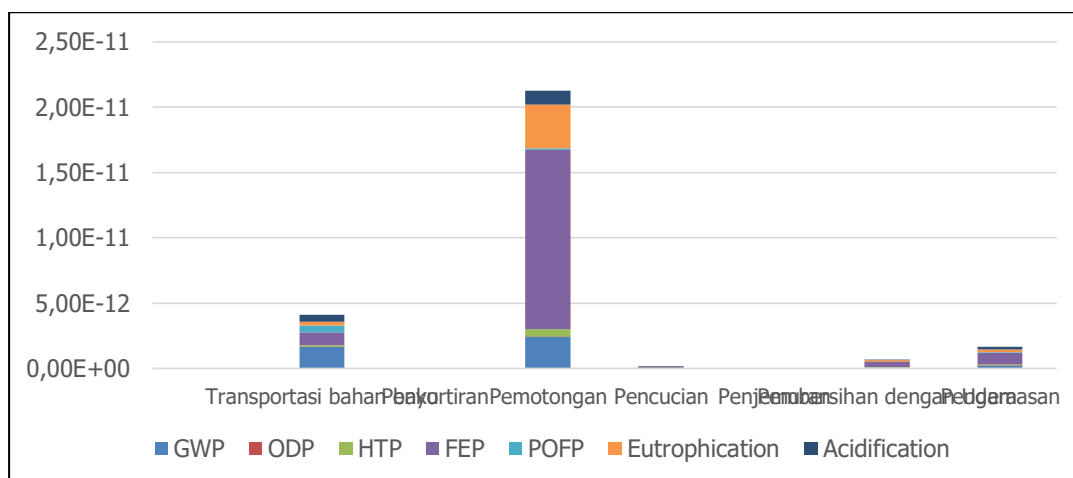
Peningkatan Kualitas Lingkungan Proses Produksi Olahan Kayu Manis dengan Pendekatan Life Cycle Assessment (LCA)

menghasilkan emisi CO₂ tidak langsung dari metabolisme tubuh dan tidak diperhitungkan dalam LCA karena jumlahnya sangat kecil serta merupakan bagian dari proses biologis yang berkelanjutan (Tampubolon dkk., 2021). Proses penjemuran juga tidak menghasilkan emisi karena memanfaatkan energi sinar matahari langsung, yang menurut IPCC (2006) tidak dikategorikan sebagai sumber emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, penjemuran dengan sinar matahari merupakan metode pengeringan yang ramah lingkungan dengan emisi gas rumah kaca langsung yang mendekati nol. Hasil karakterisasi dampak lingkungan produksi 20 kg *Cassia stick* disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Hasil Karakterisasi Dampak Lingkungan

Proses normalisasi adalah tahap mengubah nilai karakterisasi dampak menggunakan faktor normalisasi yang diterapkan dalam metode CML-IA *Baseline*, sehingga nilai dampak lingkungan dapat diperbandingkan. Hasil dari proses normalisasi ini dapat dilihat pada **Gambar 3**.

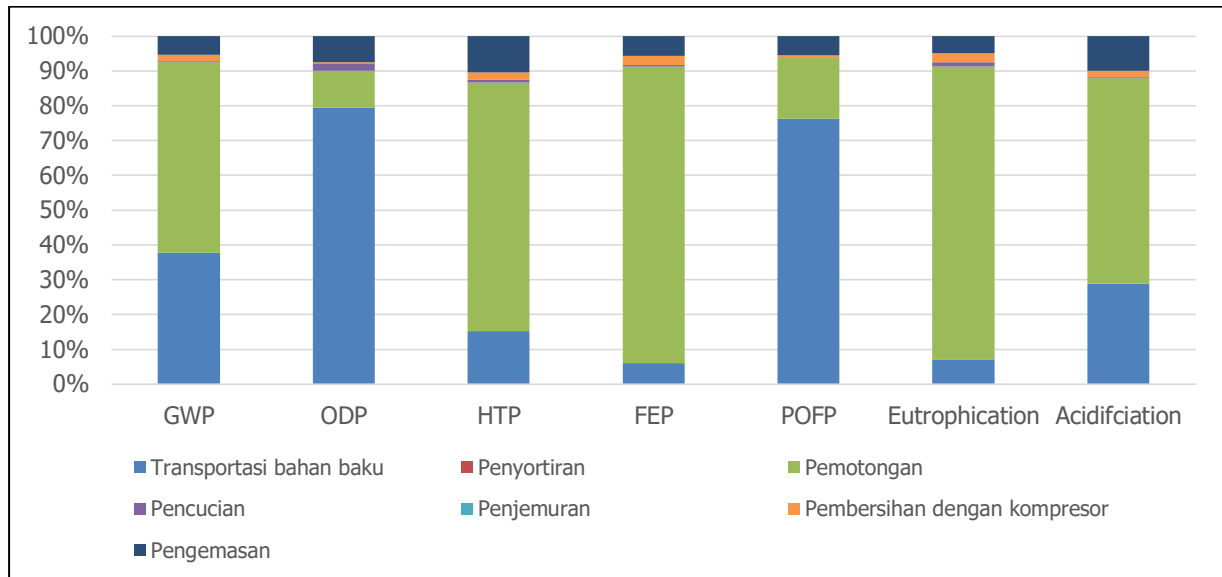


Gambar 3. Hasil Normalisasi Dampak Lingkungan

3.3 Interpretasi

3.3.1 Analisis Komparasi

Hasil analisis komparasi didapatkan dari *software* SimaPro 9.5 dan ditunjukkan pada **Gambar 4**. Proses pemotongan dan transportasi merupakan proses yang memberikan dampak lingkungan yang paling signifikan pada lingkungan. Proses pemotongan memberikan dampak lingkungan tertinggi pada kategori dampak HTP, FEP, dan EP. Proses transportasi memberikan dampak pada tertinggi pada kategori dampak GWP, ODP, POFP, dan AP. Hal ini disebabkan karena pada proses transportasi menggunakan solar sebagai bahan bakar moda transportasi yang memiliki nilai oktan rendah dibandingkan dengan pertamax.



Gambar 4. Analisis Komparasi

3.3.2 Analisis Kontribusi

Gas CO₂, NO_x, dan CH₄ merupakan gas yang menghasilkan dampak tertinggi pada kategori dampak GWP, masing-masing sebesar 4,32E-12, 1,91E-14, dan 7,53E-14. Penggunaan bahan bakar solar menghasilkan emisi tersebut melalui hasil pembakaran bahan bakar kendaraan. Dampak lingkungan ODP disebabkan oleh emisi Halon 1301 sebesar 2,49E-15 yang dihasilkan dari proses transportasi, terutama dari mesin pendingin kendaraan. Proses pemotongan memberikan dampak tertinggi pada kategori dampak HT dan FEP dikarenakan penggunaan listrik berbahan bakar batubara. Kedua dampak ini disebabkan oleh logam, yaitu logam Selenium (IV) sebesar 2,83E-13 dan logam Nickel (II) sebesar 7,25E-12. Logam Selenium dihasilkan dari pembakaran batubara di pembangkit listrik tenaga uap. Pembangkit listrik berbahan bakar batubara berkontribusi lebih dari 50% terhadap total emisi logam selenium secara global. Pembakaran langsung batubara juga memberikan kontribusi sebesar 90% dari total emisi selenium atmosfer dari pembakaran batubara (Guo dkk., 2024). Gas CO dan SO₂ merupakan emisi yang paling berkontribusi dalam menyebabkan POFP, masing-masing sebesar 5,02E-13 dan 1,31E-13. Emisi ini banyak dihasilkan dari pembakaran bahan bakar, terutama pada proses transportasi bahan baku dari sumber ke pabrik. Fosfat memberikan kontribusi terbesar terhadap eutrofikasi. Fosfat paling banyak dihasilkan pada proses pemotongan, yaitu sebesar 3,30E-12. Dampak acidification disebabkan oleh emisi SO₂ sebesar 9,84E-13 dan NO_x sebesar 8,41E-13, dengan proses yang paling berkontribusi adalah transportasi bahan baku. Emisi utama yang menyebabkan dampak ini berasal dari pembakaran bahan bakar minyak.

Peningkatan Kualitas Lingkungan Proses Produksi Olahan Kayu Manis dengan Pendekatan Life Cycle Assessment (LCA)

3.3.3 Analisis Sensitivitas

Berdasarkan analisis kontribusi, penebangan pohon, pembakaran bahan bakar pada truk dan penggunaan energi listrik pada proses pemotongan merupakan kontributor terbesar terhadap dampak lingkungan. Penggunaan energi pada kedua proses tersebut menghasilkan emisi berupa CO₂, CO, NO_x, CH₄, NMVOC, dan logam. Emisi yang dihasilkan ini merupakan emisi yang menjadi kontributor terbesar pada setiap kategori dampak yang dianalisis. Oleh sebab itu, dilakukan analisis sensitivitas pada kedua proses tersebut dengan mengubah nilai input guna melihat seberapa berpengaruh inputan nilai yang dilakukan.

Skenario analisis sensitivitas (SV) proses produksi *cassia stick* yaitu skenario 1 (SV1) dan skenario 2 (SV2) mengurangi jarak transportasi sebesar 5% dan 10%. Skenario 3 (SV3) dan skenario 4 (SV4) dengan mereduksi pemakaian listrik sebesar 5% dan 10%.

Tabel 2 menunjukkan bahwa keempat skenario yang dibuat dan direncanakan menyebabkan perubahan pada nilai dampak lingkungan. Skenario 1 dan 2 dapat mengurangi dampak lingkungan sebesar 0,14%-3,76% untuk skenario 1 dan 0,58%-7,44% untuk skenario 2, skenario 3 dan skenario 4 menyebabkan penurunan dampak lingkungan sebesar 0,04%-4,31% dan 0,86%-8,52% berturut-turut.

Tabel 2. Hasil Analisis Sensitivitas

Kategori Dampak	Hasil Analisis				
	Initial	SV1	SV2	SV3	SV4
GWP	100%	99,28%	98,83%	98,38%	96,59%
ODP	100%	96,26%	92,56%	99,96%	99,14%
HTP	100%	99,27%	98,50%	96,48%	92,90%
FEP	100%	99,66%	99,42%	95,69%	91,48%
POFP	100%	99,68%	99,15%	99,15%	98,28%
Acidification	100%	99,04%	98,08%	96,92%	94,01%
Eutrophication	100%	99,86%	99,67%	95,86%	91,66%

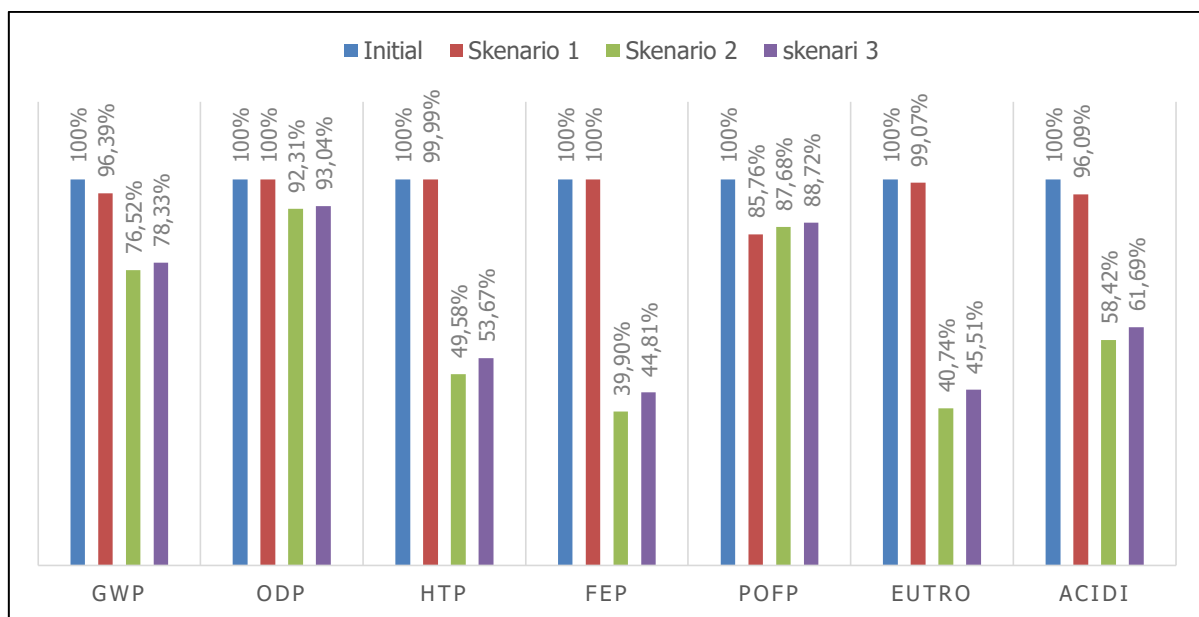
3.3.4 Rekomendasi Perbaikan

Berdasarkan analisis sensitivitas rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan dalam mengurangi dampak lingkungan dapat dilakukan dengan beberapa cara. Pertama, proses transportasi bahan baku yang menggunakan kendaraan bahan bakar solar menghasilkan dampak lingkungan dari proses pembakaran bahan bakar tersebut. Rekomendasi perbaikan yang dapat diusulkan adalah dengan mengubah bahan bakar kendaraan dari solar ke biosolar. Emisi gas polutan menurun seiring dengan meningkatnya kandungan biodiesel dalam campuran, penelitian Andalia dkk (2018) menunjukkan bahwa emisi gas terendah yaitu sekitar 4,142% (NO_x); 12,50% (SO₂) dan 7,9% (CO₂) yang terdapat pada campuran 25% biodiesel dalam bahan bakar (B25). Selain itu, dapat juga dilakukan dengan pengoptimalan waktu pemakaian mesin pemotong dengan mengoptimalkan proses. Menurut laporan dari *American Council for an Energy-Efficient Economy* (ACEEE) (2017) menunjukkan bahwa penggunaan teknologi efisiensi tinggi dan optimalisasi proses dalam industri manufaktur dapat mengurangi konsumsi energi secara signifikan. Terakhir perbaikan yang dapat dilakukan yaitu dengan penggunaan energi terbarukan sebagai sumber energi di pembangkit listrik dapat mengurangi CO₂ sebesar 90% dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar fosil (Sun dkk., 2024).

Berdasarkan analisis perbaikan ini, maka dirancang skenario perbaikan sebagai berikut skenario 1 dengan mengganti bahan bakar solar menjadi bahan bakar biosolar. Skenario 2

dengan memodifikasi mesin pemotong menggunakan motor listrik yang berdaya 2 HP dengan kecepatan putar sebesar 1.400 rpm, dapat memaksimalkan waktu pemotongan untuk 3 kg kulit kayu manis selama 11 menit (Batubara dkk., 2021). Penggantian mesin pemotong dapat mengurangi pemakaian listrik sebesar 70%. Skenario 3 yaitu dengan pemasangan panel surya yang dapat mereduksi daya listrik sebesar 63% (Kinasti dkk., 2019).

Hasil rekomendasi perbaikan hasil dapat dilihat pada **Gambar 5**. Hasil menunjukkan komparasi dampak lingkungan dari skenario perbaikan yang telah direkomendasikan. Hasil analisis menunjukkan penurunan potensi dampak lingkungan untuk masing-masing skenario. Skenario 2 merupakan scenario terbaik untuk mengurangi dampak lingkungan karna dapat menurunkan dampak sebesar 7,69-60,1%.



Gambar 5. Hasil Skenario Perbaikan

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis daur hidup produk 20 kg *cassia stick* di PT.STS dengan pendekatan *gate-to-gate* maka dapat disimpulkan tahapan proses produksi mencakup transportasi bahan baku, penyortiran, pemotongan, pencucian, penjemuran, pembersihan dengan udara, dan pengemasan. Bahan baku yang digunakan yaitu kulit kayu manis sebesar 25 kg, dengan input tambahan yaitu energi listrik, air, bahan kemasan, dan bahan bakar kendaraan untuk transportasi dengan jarak tempuh 129,4 km. Emisi utama yang dihasilkan dari daur hidup *cassia stick* yaitu CO₂, CO, CH₄, dan NO_x serta pencemar lainnya. Karakterisasi dampak pada tahap analisis penilaian dampak lingkungan diperoleh nilai *global warming potential* (GWP) sebesar 22,26 kg CO₂ eq, *ozone depletion potential* (ODP) sebesar 2,43 x 10⁻⁷ kg C₂H₂ eq, *human toxicity potential* (HTP) sebesar 6,44 kg 1,4 DB eq, *freshwater ecotoxicity potential* (FEP) sebesar 8,32 kg 1,4 DB eq, *photochemical oxidation potential* (POFP) sebesar 5,73 x 10⁻³ kg C₂H₂ eq, *eutrophication* (EP) sebesar 5,25 x 10⁻² kg PO₄ eq, dan *acidification* (AP) sebesar 5,17 x 10⁻² kg SO₂ eq. Modifikasi alat pemotong menjadi alat pemotong otomatis menggunakan motor listrik 2 HP dengan kecepatan putaran 1.400 rpm merupakan rekomendasi perbaikan yang dapat mengurangi dampak lingkungan paling tinggi

Peningkatan Kualitas Lingkungan Proses Produksi Olahan Kayu Manis dengan Pendekatan Life Cycle Assessment (LCA)

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Andalas yang telah memberikan dukungan pendanaan untuk penelitian ini melalui kontrak nomor 248/UN16.19/PT.01.03/PSS/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Andalia, W., Sukarmansyah., & Fauzie, A. (2018). Analisis Emisi Gas Buang Hasil Pembakaran Solar dan Biosolar (B25) pada Fire Tube Boiler. *Poros*, 16(1), 86-93.
- Arba'i, A., Faridz, R., & Jakfar, A. A. (2019). Life cycle assessment (Lca) pada produk jamu kunyit asam Di ud. *Al mansyurien Kamal bangkalan. Agroindustrial Technology Journal*, 3(2), 78.
- Asrini, Y. N., Hadijah, S., & Nurhayani, N. (2021). Analisis Ekspor Kayu Manis Indonesia Ke Amerika Serikat. *E-Journal Perdagangan Industri Dan Moneter*, 9(2).
- Batubara, F. Y., Zulnadi, Z., Irzal, I., Djinis, M. E., & Yudistira, Y. (2021). Rancang Bangun dan Uji Kinerja Mesin Pemotong Kulit Manis. *Agroteknika*, 5(1), 75–86.
- Direktorat Jenderal Perkebunan, K. P. R. I. (2023). *Statistik Perkebunan Non Unggulan Nasional 2020-2022*.
- Guo, K., Li, Y., Wang, J., Sui, Z., Wang, T., & Pan, W.-P. (2024). A Review on Selenium In Coal-Fired Power Plants: Contents and Forms in Coal, Determination Methods, Migration, Transformation, and Control Technologies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(5). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.113579>
- International Organization for Standardization (ISO). (2016). *ISO 14040: Environmental Management - Life Cycle Assessment -Principles and Framework*. ISO Geneva, Switzerland.
- IPCC (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- Iswara, A. P., Farahdiba, A. ., Nadhifatin, E. N., Pirade, F., Andikaputra, G., Muflihah, I., & Boedisantoso, R. (2020). A Comparative Study of Life Cycle Impact Assessment Using Different Software Programs. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 506(1).
- Kinasti, R. M. A., Putri, A., Lestari, E., Sofyan, M., Kustanrika, I. W., Hidayawanti, R., & Sangadji, I. B. (2019). Sosialisasi dan Instalasi Panel Surya Sebagai Energi Terbarukan Menuju Kesadaran Lingkungan Indonesia Bebas Emisi. *TERANG*, 2(1), 16–24.
- Mubarokah, I., & Nurhayati, E. (2020). Analisis Pengembangan Ekspor Kayu Manis Indonesia. *Ecoplan*, 3(1), 1–11.
- Muttoharoh, V., Nurjanah, R., & Mustika, C. (2018). Analisis Daya Saing dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Ekspor Kopi Arabika Indonesia di Pasar Internasional. *E-Jurnal Perspektif Ekonomi Dan Pembangunan Daerah*, 7(3), 127–136.
- NSF International. (2017). *ISO 14040: Environmental Management -Life Cycle Assessment-Principles and Framework*.
- Paramita, D., Aziz, R., & Indah, S. (2023). Evaluation of waste management performance in Pariaman city using life cycle assessment (LCA). *CIVED*, 10(3), 899909I.
- PRé Consultants. (2016). *Introduction to LCA with SimaPro*. Creative Commons.
- Ridwan, M. F., Aziz, R., & Regia, R. A. (2024). Application of life cycle assessment on processing of beef Rendang products using steam cauldron technology. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 25(9), 298-310.
- Sirait, M. (2020). Studi life cycle assessment Produksi Gula Tebu : Studi Kasus Di Jawa Timur. *Rekayasa*, 13(2), 197-204.
- Sun, J., Xie, Y., Zhou, S., & Dan, J. (2024). The Role of Solar Energy in Achieving Net Zero

M. PALDO RAMA¹, RIZKI AZIZ^{1*}, YOMMI DEWILDA¹, M. Fachri ridwan¹

Emission and Green Growth: A Global Analysis. *Economic Change and Restructuring*, 57(46).

Tampubolon, J. R. P., Breighnmamana, J., Simarmata, J., & Mardjan, A. (2021). Laporan Penilaian Siklus Hidup (Life Cycle Assessment) 7 Komoditas Pangan Bijak Nusantara. In SWITCH ASIA.