

PENILAIAN DAMPAK LINGKUNGAN MENGGUNAKAN *LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)* PADA PROSES PRODUKSI TEMPE DI SIKS

Devi Apriyanti¹⁾, Faishal Arham Pratikno²⁾, Christopher Davito Prabandewa Hertadi³⁾

¹⁾Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi Kalimantan

^{2,3)}Program Studi Teknik Logistik, Institut Teknologi Kalimantan

e-mail: ¹⁾12211020@student.itk.ac.id, ²⁾faishal.arham@lecturer.itk.ac.id,

³⁾christopher.davito@lecturer.itk.ac.id

ABSTRAK

Sentra Kawasan Industri Kecil Somber (SIKS) merupakan pusat produksi tahu dan tempe, dimana salah satu pelaku usahanya memproduksi tempe sebanyak 100 kg kedelai setiap hari. Proses produksi tempe di SIKS memberikan kontribusi signifikan terhadap dampak lingkungan, terutama pada tahap perebusan kedelai yang menggunakan kayu sebagai sumber energi utama. Penggunaan kayu menghasilkan emisi gas rumah kaca seperti CH₄, CO₂, dan N₂O dalam jumlah yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan dari proses produksi tempe di SIKS menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA) dengan bantuan software SimaPro. Hasil analisis menunjukkan bahwa tahap perebusan merupakan penyumbang dampak terbesar dengan nilai 51,5 Pt, yang disebabkan oleh penggunaan kayu bakar. Sebagai strategi perbaikan, dilakukan simulasi penggantian bahan bakar ke LPG, yang menunjukkan penurunan dampak signifikan menjadi 4,44 Pt. Strategi ini juga mencerminkan prinsip keberlanjutan, yaitu dengan mengupayakan penggunaan sumber energi yang lebih bersih dan efisien demi mengurangi beban lingkungan. Dengan demikian, penggunaan LPG dinilai efektif dalam menurunkan dampak lingkungan pada kategori human health, ecosystem, dan resources dalam proses produksi tempe di SIKS.

Kata kunci: Dampak Lingkungan, Produksi Tempe, Life Cycle Assessment (LCA), Keberlanjutan

ABSTRACT

The Small-Scale Industrial Zone of Somber (SIKS) serves as a center for tofu and tempeh production, where one of the producers processes approximately 100 kg of soybeans into tempeh daily. The tempeh production process in SIKS contributes significantly to environmental impacts, particularly during the soybean boiling stage, which uses firewood as the primary energy source. The use of firewood generates higher emissions of greenhouse gases such as CH₄, CO₂, and N₂O compared to other types of fuel. This study aims to analyze the environmental impacts of the tempeh production process in SIKS using the Life Cycle Assessment (LCA) method supported by SimaPro software. The analysis results indicate that the boiling stage contributes the highest impact, with a score of 51.5 Pt, mainly due to the use of firewood. As an improvement strategy, a simulation was conducted by replacing firewood with liquefied petroleum gas (LPG), which showed a significant reduction in environmental impact to 4.44 Pt. This strategy also reflects the principle of sustainability by promoting the use of cleaner and more efficient energy sources to reduce the environmental burden. Therefore, the use of LPG is considered effective in reducing environmental impacts in the categories of human health, ecosystem, and resources in the tempeh production process at SIKS.

Keywords: Environmental Impact, Tempeh Production, Life Cycle Assessment (LCA), Sustainability

PENDAHULUAN

Sentra Kawasan Industri Kecil Somber (SIKS) merupakan kawasan produsen tahu dan tempe yang berdiri sejak tahun 2000. Sentra ini adalah sentra khusus produksi pengolahan tahu dan tempe yang berlokasi di Somber, Margo Mulyo, Kecamatan Balikpapan Barat, Kalimantan Timur. Sentra ini juga menjadi salah satu bentuk nyata dari eksistensi IKM di sektor pangan [1]. Hal ini dikarenakan mayoritas pelaku usaha di SIKS secara konsisten memproduksi tahu dan tempe setiap harinya dalam jumlah besar untuk dipasarkan ke berbagai wilayah di Balikpapan, baik melalui pasar tradisional, pedagang keliling, hingga

warung makan [2]. Pemerintah Kota Balikpapan mengembangkan pembangunan sentra industri kecil ini sebagai upaya dalam rangka memenuhi kebutuhan pasokan pangan lokal.

Proses produksi tempe di SIKS yang biasa dilakukan oleh satu pelaku usaha untuk sekali proses produksi membutuhkan 100 kg kedelai sebagai bahan baku utamanya. Selain itu, proses perebusan kedelai menggunakan kayu sebagai sumber energi. Rata-rata kebutuhan kayu bakar untuk proses perebusan kedelai sebanyak 1050 kg, yang mana dalam satu hari menghabiskan rata-rata 35 kg kayu sebagai bahan bakar.

Aktivitas industri ini memiliki kontribusi yang cukup besar terhadap lingkungan. Hal tersebut dapat dilihat dari salah satu proses pada pengolahan tempe, yaitu proses perebusan kedelai dengan bahan bakar kayu. Berdasarkan *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* Tahun 2006 menyatakan bahwa nilai faktor emisi CH₄, CO₂, dan N₂O pembakaran kayu jauh lebih besar dibandingkan dengan jenis bahan bakar lainnya [3]. Hal ini juga dibuktikan pada penelitian yang dilakukan oleh Nugroho *et al.* [4] mengemukakan bahwa dalam kegiatan produksi pada industri tahu juga berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Hal ini disebabkan oleh penggunaan energi berbasis fosil dan biomassa, seperti kayu bakar dan solar, serta konsumsi listrik dan aktivitas respirasi, yang semuanya menyumbang terhadap emisi gas rumah kaca. Selain itu, dalam penelitian Rahmawati *et al.* [5] mengemukakan bahwa emisi CO₂ merupakan kontributor utama pemanasan global dan perubahan iklim yang mampu menimbulkan dampak bagi manusia dan lingkungan sehingga memilih alternatif bahan bakar biogas atau LPG yang dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti kayu untuk proses memasak bubur kedelai.

Penelitian ini memfokuskan pengukuran dampak lingkungan pada proses produksi tempe dengan menelaah komponen input seperti bahan baku, air, dan energi, serta output berupa emisi, limbah padat, dan limbah cair yang dihasilkan selama proses produksi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Gumulya [6] hal tersebut merupakan salah satu usaha untuk menciptakan produksi yang ramah lingkungan dengan mempertimbangkan dampak yang ditimbulkan oleh daur hidup produk. Perlunya penerapan suatu metode untuk menganalisis terkait penggunaan energi, emisi, dan limbah yang dihasilkan dari sebuah proses produksi. Salah satu metode yang sering digunakan untuk dapat mengevaluasi hal tersebut adalah *Life Cycle Assessment (LCA)*.

Pendekatan *Life Cycle Assessment (LCA)* secara menyeluruh dapat mengevaluasi dampak lingkungan yang dihasilkan dari suatu aktivitas produk atau jasa. Penelitian sebelumnya terkait analisis dampak lingkungan juga telah banyak dilakukan diantaranya penerapan LCA pada produksi minyak kayu putih [7] penelitian tersebut menunjukkan hasil bahwa penggunaan bahan bakar kayu merupakan yang paling besar memberikan kontribusi pada kategori *Fossil Fuels* sebesar 78%. Selain itu metode LCA juga dapat dilakukan untuk menganalisis proses produksi Aluminium pada penelitian Suhariyanto (2023) [8]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan tujuh dampak kategori yang dihasilkan dengan kontribusi terbesar HTP disebabkan dari penggunaan batangan aluminium dengan nilai 1,32E+003 kg DCB. Strategi yang dapat diusulkan untuk pengurangan dampak lingkungan adalah menerapkan produksi bersih. Kemudian, Abdilah dan Cahyana [9] meneliti tentang dampak lingkungan yang dihasilkan dari industri pupuk. Hasil tersebut menunjukkan dampak lingkungan terbesar berasal dari proses distribusi, dengan emisi GRK mencapai 173.200.616 ton CO₂ dan asidifikasi 14.672,67 ton SO₂. Alternatif yang diberikan adalah mengganti truk 8 ton dengan truk gandeng berkapasitas 50 ton untuk menekan dampak distribusi tersebut.

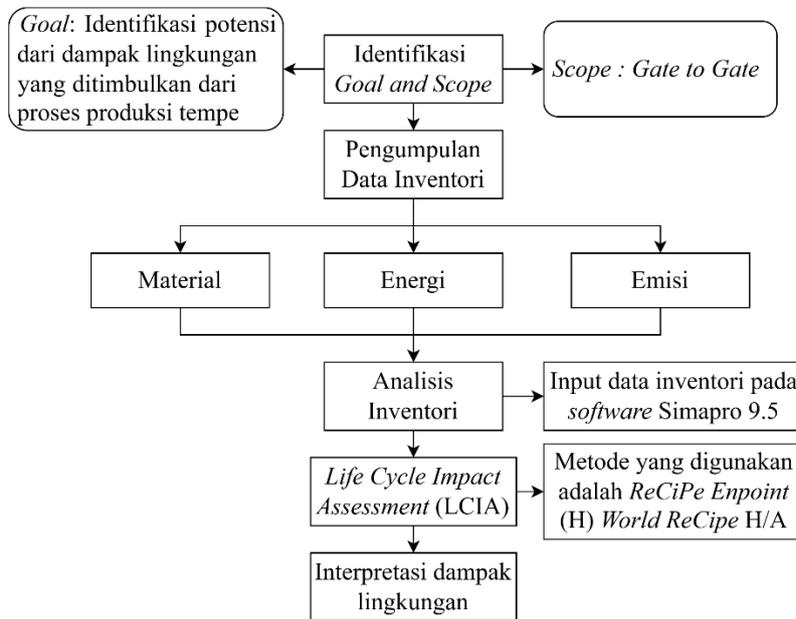
Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah disebutkan, penelitian ini memfokuskan untuk menganalisis potensi dampak lingkungan yang diakibatkan dari proses produksi tempe dengan ruang lingkup *gate to gate*, yaitu hanya pada proses produksi saja. Proses-proses ini meliputi proses pencucian kedelai 1, proses perebusan, proses perendaman kedelai, proses penggilingan kedelai, proses pencucian kedelai 2, proses peragian, dan proses

pembungkusan. Tujuan penelitian ini dilakukan adalah untuk memberikan masukan tentang dampak lingkungan sehingga mengurangi dampak akibat aktivitas produksi. Selain itu, penelitian ini diharapkan menghasilkan strategi yang dapat menekan jejak lingkungan pada proses produksi, sehingga turut mendukung pembangunan industri kecil menengah (IKM) yang berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian terdiri dari tiga tahap utama. Tahap pertama meliputi identifikasi permasalahan serta penetapan tujuan penelitian. Tahap kedua mencakup kegiatan pengumpulan dan pengolahan data, serta tahap ketiga adalah proses analisis dan pembahasan hasil yang diperoleh. Pada Gambar 1, pengolahan data dilakukan dengan metode LCA yang terdiri dari empat langkah, yaitu *goal and scope* atau penentuan tujuan dan ruang lingkup, *life cycle inventory* atau analisis inventori, *life cycle impact assessment* atau penilaian dampak lingkungan, dan *interpretation* atau interpretasi hasil.

Tahap awal dimulai dengan penetapan tujuan dan ruang lingkup studi untuk menggambarkan keterkaitan antara produk dan batasan sistem yang ditetapkan. Tahap berikutnya adalah *Life Cycle Inventory* (LCI), yang dilakukan dengan mengumpulkan data terkait proses produksi, termasuk kebutuhan bahan dan energi serta emisi yang dihasilkan. Selanjutnya, dilakukan *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), yaitu analisis terhadap potensi dampak lingkungan berdasarkan data yang diperoleh dari LCI. LCIA bertujuan untuk memahami serta mengevaluasi besarnya dampak lingkungan yang ditimbulkan sepanjang siklus hidup produk. Dalam penelitian ini, pendekatan LCIA yang digunakan adalah metode *ReCiPe Endpoint* dengan memilih tiga kategori dampak lingkungan yang dihasilkan yaitu *Human Health*, *Ecosystem* dan *Resources*. Terakhir, tahap interpretasi yang bertujuan untuk memberikan pemahaman teoritis terhadap hasil LCA serta untuk merekomendasikan strategi pengurangan dampak lingkungan dari proses produksi tempe di SIKS.



Gambar 1. Tahapan LCA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses produksi tempe yang diproduksi di Sumber, Margo Mulyo, Kecamatan Balikpapan Barat, Kalimantan Timur beroperasi setiap harinya dengan memperhatikan keamanan pasokan bahan baku utamanya, yaitu kedelai. Bab ini membahas tentang tahapan pengumpulan dan pengolahan data dengan mengikuti tahapan LCA.

Goal and Scope

Goal atau tujuan pada penelitian ini adalah untuk menghitung berapa besar dampak yang dihasilkan pada proses produksi tempe di IKM yang berada di SIKS. Tujuan ini dilakukan untuk mengetahui proses apa saja yang memiliki dampak terhadap lingkungan berdasarkan material dan energi yang digunakan. *Scope* atau ruang lingkup pada penelitian ini adalah *gate to gate* pada proses pembuatan tempe saja. Selain itu terdapat satuan fungsional yang merupakan ukuran fungsional yang digunakan untuk meninjau dampak lingkungan dari suatu sistem produk.

Tujuan dari satuan ini adalah untuk menyediakan acuan yang terstandarisasi dalam normalisasi data inventori [10]. Satuan fungsional yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu kali proses produksi tempe, yaitu sebanyak 100 kg kedelai. Analisis penilaian dampak yang dilakukan dengan menggunakan metode *ReCipe Endpoint (H)*. Potensi dampak lingkungan ditinjau dari 3 kategori dampak yaitu *Human Health*, *Ecosystem*, dan *Resources* dengan penentuan dampak kategori dominan pada nilai *weighting* dan *single score* yang paling tinggi.

Life Cycle Inventory (LCI)

Tahap LCI merupakan tahapan berupa data proses produksi tempe yang didapatkan melalui observasi, wawancara, dan juga pengukuran. Data ini berupa informasi terhadap material yang digunakan, bahan bakar atau energi serta produk dan buangan yang dihasilkan dari proses produksi tempe yang akan dijadikan input dan output pada analisis *Life Cycle Assessment* seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Life Cycle Inventory* Proses Produksi Tempe

Proses Pencucian Kedelai 1				
Input	Kuantitas	Jumlah	Unit	Sumber
Kedelai	Massa	100	Kg	Wawancara
Air	Volume	905	Kg	Pengukuran
Bakul plastik	Massa	2,5	Kg	Estimasi
Output	Kuantitas	Jumlah	Unit	Sumber
Kedelai bersih	Massa	100	Kg	Pengukuran
Air buangan	Volume	905	Kg	Pengukuran
Proses Perebusan Kedelai				
Input	Kuantitas	Jumlah	Unit	Sumber
Kedelai	Massa	100	Kg	Wawancara
Air	Volume	200	Kg	Pengukuran
Kayu bakar	Energi	35	Kg	Pengukuran
Tong stainless	Massa	4	Kg	Estimasi
Output	Kuantitas	Jumlah	Unit	Sumber
Kedelai rebus	Massa	100	Kg	Wawancara
Air bekas rebusan	Volume	196,5	Kg	Estimasi
Emisi CO ₂	Emisi	61,152	Kg	Perhitungan
Emisi CH ₄	Emisi	16,38	Kg	Perhitungan
Emisi N ₂ O	Emisi	2,184	Kg	Perhitungan
Abu	Massa	1	Kg	Estimasi
Proses Perendaman Kedelai				
Input	Kuantitas	Jumlah	Unit	Sumber
Kedelai rebus	Massa	100	Kg	Wawancara
Air	Volume	300	Kg	Pengukuran
Drum plastik	Massa	50	Kg	Pengukuran
Output	Kuantitas	Jumlah	Unit	Sumber
Kedelai rendam	Massa	200	Kg	Estimasi
Air buangan	Volume	200	Kg	Pengukuran
Proses Penggilingan Kedelai				
Input	Kuantitas	Jumlah	Unit	Sumber
Kedelai rendam	Massa	200	Kg	Estimasi
Air	Volume	100	Kg	Estimasi
Listrik	Energi	1,125	kWh	Perhitungan
Output	Kuantitas	Jumlah	Unit	Sumber
Kedelai giling	Massa	230	Kg	Estimasi
Emisi CO ₂	Emisi	0,843	Kg	Perhitungan

Lanjutan Tabel 1. *Life Cycle Inventory* Proses Produksi Tempe

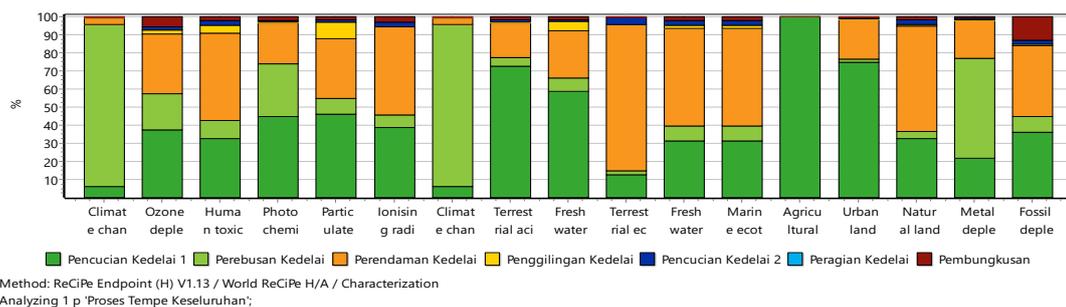
Proses Pencucian Kedelai 2				
Input	Kuantitas	Jumlah	Unit	Sumber
Kedelai giling	Massa	230	Kg	Estimasi
Air	Volume	905	Kg	Pengukuran
Bakul plastik	Massa	2,5	Kg	Estimasi
Output	Kuantitas	Jumlah	Unit	Sumber
Kedelai bersih	Massa	230	Kg	Estimasi
Air buangan	Volume	905	Kg	Pengukuran
Proses Peragian				
Input	Kuantitas	Jumlah	Unit	Sumber
Kedelai	Massa	230	Kg	Estimasi
Ragi	Massa	0,2	Kg	Wawancara
Output	Kuantitas	Jumlah	Unit	Sumber
Kedelai diberi ragi	Massa	230	Kg	Estimasi
Proses Pembungkusan				
Input	Kuantitas	Jumlah	Unit	Sumber
Kedelai diberi ragi	Massa	230	Kg	Estimasi
Plastik PP	Massa	1625	g	Pengukuran
Lilin putih	Massa	880	g	Pengukuran
Output	Kuantitas	Jumlah	Unit	Sumber
Tempe	Massa	253	Kg	Pengukuran

Hasil pengumpulan data yang tercantum dalam Tabel 1 selanjutnya dianalisis menggunakan *software* SimaPro versi 9.5. Penelitian ini menggunakan metode penilaian dampak lingkungan *ReCiPe Endpoint (H)* yang tersedia dalam *software* tersebut. Metode *ReCiPe Endpoint* menggabungkan pendekatan *midpoint* dan *endpoint* untuk mengevaluasi dampak lingkungan dengan representasi berupa *characterization*, *weighting*, *normalization*, dan *single score* (interpretasi).

Life Cycle Impact Assesment (LCIA)

Tahap ini dilakukan setelah tahap LCI, analisis LCIA dilakukan untuk mengetahui seberapa besar potensi dampak lingkungan yang dihasilkan dari tiga kategori dampak lingkungan; *human health*, *ecosystem*, dan *resources* pada setiap proses produksi tempe.

Tahap pertama pada analisis LCIA adalah *characterization*. Tahap ini merupakan tahap untuk membandingkan secara langsung hasil dari *Life Cycle Inventory* dalam setiap kategori yang berorientasi pada masalah lingkungan tunggal [11]. Output yang dihasilkan pada *characterization* dapat dilihat pada Gambar 2.

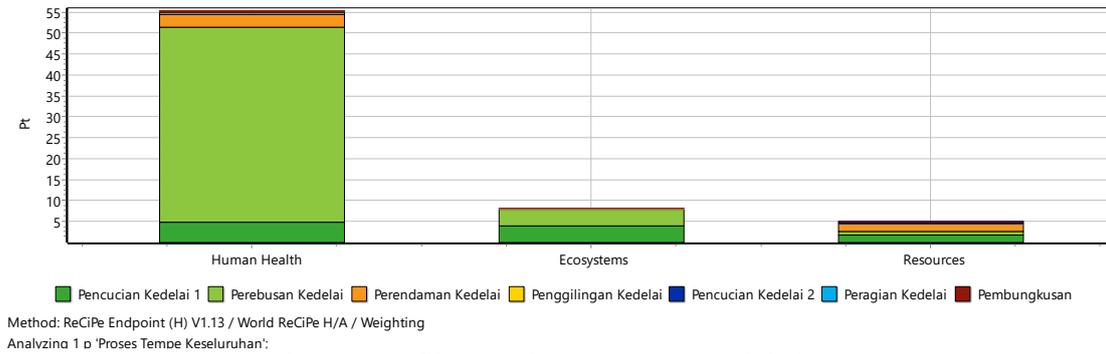


Gambar 2. Grafik *Characterization* Proses Produksi Tempe

Tabel 2. Total Nilai Dampak Lingkungan pada *Characterization*

Dampak Kategori	Total Nilai Tiap Proses							Total
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	
<i>Climate change human health</i>	0,00011	0,00158	6,22E-5	3,05E-6	6,22E-5	-	5,93E-6	0,00176
<i>Ozone depletion</i>	1,14E-6	6,23E-10	1E-9	6,74E-11	5,01E-11	-	1,76E-10	3,06E-9
<i>Human toxicity</i>	7,79E-6	2,32E-6	1,15E-5	1,04E-6	5,74E-7	-	5,58E-7	2,38E-5
<i>Photochemical oxidant formation</i>	1,38E-8	8,94E-9	6,88E-9	1,55E-10	3,44E-10	-	6,33E-10	3,03E-8
<i>Particulate matter formation</i>	4,55E-5	8,74E-6	3,24E-5	8,91E-6	1,62E-6	-	1,59E-6	9,88E-5
<i>Ionising radiation</i>	2,29E-8	4,22E-9	2,88E-8	1,19E-10	1,44E-9	-	1,81E-9	5,93E-8
<i>Climate change ecosystem</i>	6,21E-7	8,94E-6	3,52E-7	1,73E-8	1,76E-8	-	3,36E-8	9,99E-6
<i>Terrestrial acidification</i>	3,49E-9	2,45E-10	9,17E-10	3,11E-11	4,58E-11	-	9,18E-11	4,82E-9

secara setara, sehingga seluruh kategori disajikan dalam satuan yang seragam, yaitu *points* (Pt) yang didefinisikan sebagai satu per seribu beban lingkungan yang dihasilkan rata-rata oleh satu penduduk.



Gambar 4. Grafik *Weighting* Proses Produksi Tempe

Tabel 4. Output Tahap *Weighting* Setiap Proses

Proses	Kategori Kerusakan			Total	Unit
	Human Health	Ecosystem	Resources		
Pencucian Kedelai 1	4,78	3,99	1,7	10,47	Pt
Perebusan Kedelai	46,7	3,9	0,955	51,55	Pt
Perendaman Kedelai	3,11	0,182	1,8	5,092	Pt
Penggilingan Kedelai	0,381	0,00773	0,0464	0,43513	Pt
Pencucian Kedelai 2	0,155	0,00911	0,09	0,25411	Pt
Peragian Kedelai	-	-	-	-	Pt
Pembungkusan	0,237	0,0156	0,539	0,7916	Pt
TOTAL	55,3	8,1	5,13	68,6	Pt

Berdasarkan Gambar 4 yang dihasilkan dari *software* SimaPro pada tahap *weighting*, diperoleh nilai *impact assesment* dari setiap kategori dampak pada tahap *weighting* yaitu *human health* memiliki nilai total sebesar 55,3 pt. Dampak lingkungan kedua pada kategori *ecosystem* memiliki nilai total sebesar 8,1 pt. Terakhir, dampak lingkungan pada kategori *resources* memiliki nilai total sebesar 5,13 pt. Berdasarkan Tabel 4 di atas, proses perebusan kedelai memberikan dampak lingkungan tertinggi sebesar 46,7 pt. Hal ini disebabkan oleh penggunaan kayu sebagai bahan bakar, yang menghasilkan emisi dalam jumlah yang cukup besar.

Interpretation

Interpretation atau interpretasi adalah tahap terakhir dalam metode LCA dengan memberikan strategi perbaikan terhadap proses yang memiliki dampak paling besar terhadap lingkungan. Pada penelitian ini dilakukan analisis perhitungan pengeluaran emisi pada bahan bakar yang lebih bersih, salah satunya adalah LPG. Perhitungan ini akan dibandingkan dengan bahan bakar sebelumnya, yaitu kayu. Tabel 5 menunjukkan perbandingan hasil perhitungan nilai faktor emisi CO₂, CH₄, dan N₂O yang dihasilkan oleh bahan bakar LPG dan kayu, dimana faktor emisi LPG lebih kecil dibandingkan pembakaran kayu. Hal ini menunjukkan bahwa penggantian bahan bakar dari kayu bakar ke LPG merupakan alternatif perbaikan yang lebih ramah lingkungan dan berpotensi menurunkan dampak lingkungan, khususnya pada kategori *human health*, *ecosystem*, dan *resources*. Strategi ini juga mencerminkan prinsip keberlanjutan (*sustainability*), yaitu dengan mengupayakan penggunaan sumber energi yang lebih bersih dan efisien demi mengurangi beban lingkungan di masa kini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhannya. Penurunan emisi yang dihasilkan serta dampak negatif lainnya, dapat menjadi bagian dari upaya pembangunan industri kecil menengah (IKM) yang berkelanjutan.

Tabel 5. Perbandingan Pengeluaran Emisi Kayu Bakar dan LPG

Bahan Bakar	Kayu Bakar	LPG
Emisi CO ₂ (kg/hari)	61,152	17,91
Emisi CH ₄ (kg/hari)	16,38	0,2838
Emisi N ₂ O (kg/hari)	2,184	0,02838

Berdasarkan hal tersebut, dilakukan pengecekan ulang terhadap nilai dampak lingkungan menggunakan *software* SimaPro sebelum dan sesudah penerapan strategi perbaikan. Penelitian ini menganalisis emisi yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar yang lebih bersih, yaitu LPG, dan membandingkannya dengan bahan bakar sebelumnya, yakni kayu bakar.

Tabel 6. *Single Score* Perbandingan Sebelum dan Sesudah Strategi Perbaikan

Dampak Kategori	Nilai Dampak Proses Perebusan Kedelai	
	Sebelum	Sesudah
<i>Human Health</i>	46,6 Pt	2,29 Pt
<i>Ecosystem</i>	3,9 Pt	0,168 Pt
<i>Resources</i>	0,955 Pt	1,99 Pt
Total	51,5 Pt	4,44 pt

Hasil perbandingan yang ditunjukkan pada Tabel 6 memperlihatkan adanya penurunan pada nilai dampak lingkungan. Penurunan ini terlihat pada kategori *human health*, di mana nilai dampak menurun dari 46,6 pt menjadi 2,29 pt, atau terjadi pengurangan sebesar 44,31 pt. Pada kategori *ecosystem*, nilai dampak juga mengalami penurunan dari 3,9 pt menjadi 0,168 pt, atau terjadi pengurangan sebesar 3,732 pt. Sementara itu, pada kategori *resources*, terjadi sedikit peningkatan dari 0,955 pt menjadi 1,99 pt, yang berarti terdapat kenaikan sebesar 1,035 pt. Meskipun terdapat peningkatan pada satu kategori, penurunan total dampak lingkungan secara keseluruhan jauh lebih besar dibandingkan peningkatan yang terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun konsumsi sumber daya meningkat secara relatif kecil, manfaat yang diperoleh terhadap kesehatan manusia dan kualitas ekosistem jauh lebih signifikan. Secara keseluruhan, terjadi penurunan signifikan pada total nilai dampak lingkungan, dari 51,5 pt menjadi 4,44 pt, sehingga dapat disimpulkan bahwa strategi peralihan ke LPG dapat diimplementasikan oleh IKM Tempe di SIKS sebagai langkah nyata menuju proses produksi yang lebih berkelanjutan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis LCA menggunakan *software* SimaPro, proses perebusan kedelai pada produksi tempe di SIKS merupakan kontributor terbesar terhadap dampak lingkungan pada kategori *human health*, *ecosystem*, dan *resources*, dengan total skor sebesar 51,5 Pt. Setelah implementasi perbaikan, nilai dampak dari proses perebusan mengalami penurunan signifikan menjadi 4,44 Pt, yang berarti terjadi penurunan sekitar 91,4%. Oleh karena itu, strategi pengurangan dampak lingkungan dapat dilakukan dengan mengganti bahan bakar perebusan dengan sumber energi yang lebih bersih yaitu dengan mengganti bahan bakar ke LPG, sehingga dampak lingkungan dari proses produksi dapat diminimalkan atau bahkan dihilangkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah mendukung dan berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini, khususnya kepada LPPM Institut Teknologi Kalimantan yang telah menyediakan fasilitas yang memadai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Safitri and D.T. Sitaresmi, "Pengaruh Sentra Industri Kecil Sumber Terhadap Kondisi Sosial-Ekonomi di Kelurahan Muara Rapak, Balikpapan," *Ruang*, vol. 10, no.

- 1, pp. 27–36, 2024, doi: 10.14710/ruang.10.1.27-36.
- [2] T.B. Hasibuan and E.U.A. Gaffar, “Implementation of the Smart Economy Concept in Balikpapan City,” *Inov. J. Ekon. Keuang. dan Manaj.*, vol. 21, no. 1, pp. 14–24, 2025.
- [3] Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM, “Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca,” pp. 1–124, 2018, [Online]. Available: https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/56959-buku-pedoman-igrk-pembangkit-2018.pdf
- [4] M.E. Nugroho, P. Setyono, and S. Rachmawati, “Analisis Emisi Gas Rumah Kaca dengan Life Cycle Assessment (LCA) dan Analytical Hierarchy Process (AHP) Industri Tahu,” vol. 22, no. 6, pp. 1504–1512, 2024, doi: 10.14710/jil.22.6.1504-1512.
- [5] E. Rachmawati, S.W. Auvaria, S. Nengse, Y. Yusrianti, and T.T. Utama, “Analysis of Global Warming Potential in Tofu Industry (Case Study: Industry X, Gresik),” *J. Serambi Eng.*, vol. 7, no. 4, pp. 3994–4000, 2022, doi: 10.32672/jse.v7i4.4913.
- [6] D. Gumulya, “Pembelajaran dari Pengajaran Sustainable Product Design pada beberapa Universitas di United Kingdom, Australia, Denmark, the Netherlands, and the United States,” *J. Desain Indones.*, vol. 05, pp. 1–17, 2023, doi: 10.52265/jdi.v5i2.234.
- [7] M. Rasyid and R. Anggriani, “Penerapan Life Cycle Assessment (LCA) pada Proses Produksi Minyak Kayu Putih di Desa Sawa-Namlea,” *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 4, pp. 18970–18984, 2024.
- [8] T.T. Suhariyanto, H.M. Asih, A. Ichwanuddin, and M.I. Rasyid, “Penerapan Metode Life Cycle Assessment (LCA) Pada Proses Produksi Downlight Aluminium (Studi Kasus Di UPT Logam Yogyakarta),” *Jitmi*, vol. 6, no. 1, pp. 2685–6123, 2023.
- [9] M.A. Abdilah and A.S. Cahyana, “Analysis of Environmental Impact on Fertilizer Industry Using Life Cycle Assessment (LCA) Method,” *Procedia Eng. Life Sci.*, vol. 3, 2022, doi: 10.21070/pels.v3i0.1332.
- [10] A. Zulfikar, “Analisa Life Cycle Assessment pada Proses Produksi di UKM Murni Mandiri Kecamatan Ngancar, Kabupaten Kediri,” 2016.
- [11] E. Sarwono, D.E. Rahayu, H. Huda, I. Ibrahim, and M.I. Buraka, “Analisis Life Cycle Assessment (Lca) Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Rumah Sakit Pupuk Kaltim Bontang,” *J. Teknol. Lingkung. UNMUL*, vol. 8, no. 1, pp. 11–22, 2024.
- [12] P.A. Kholil, M.A. Budihardjo, F. Muhammad, and K. Karno, “Penilaian Daur Hidup Proses Distribusi BBM di PT Pertamina (Persero) Fuel Terminal Parepare,” *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 20, no. 3, pp. 685–695, 2022, doi: 10.14710/jil.20.3.685-695.
- [13] S.A. Devi and M. Mirwan, “Analisis Life Cycle Assessment (LCA) pada Proses Produksi Pupuk ZA II Menggunakan Metode Recipe 2016,” *INSOLOGI J. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 3, pp. 620–632, 2023, doi: 10.55123/insologi.v2i3.2074.