
IDENTIFIKASI PENCEMARAN LINGKUNGAN PROSES PRODUKSI PABRIK TAHU DENGAN LIFE CYCLE ASSESSMENT

Muhammad Imam Fu'adi

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

Email: Muhammadfuadi99@gmail.com

Mohamad Mirwan*

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

Email: mmirwan.tl@upnjatim.ac.id

Article Info

Article history:

Received: December 20,
2022

Accepted: January 15,
2023

Published: March 13,
2023

Page: 17-27

Keyword:

life_cycle_analysis,
produksi_tahu,
dampak_lingkungan

*Corresponding Author

Mohamad Mirwan

Abstract

This study evaluates the environmental impact of the tofu production process using Life Cycle Analysis (LCA) with Simapro software. The goal is to identify environmental consequences, analyze their causes, and propose management strategies to mitigate impacts. LCA helps determine which stages of a product's life cycle contribute most significantly to environmental degradation, and to assess these impacts throughout the process. The Eco-Indicator 99(H) method identifies three main environmental effects: inorganic respiration, climate change, and carcinogenic emissions. Key contributing factors include the use of coagulants, firewood, and electricity. Recommendations for reducing these impacts include improving device efficiency, replacing acetic acid with nigrin as a coagulant, and utilizing residual soy milk from the settling process. These changes aim to make the tofu production process more sustainable while minimizing its environmental footprint.

Penelitian ini mengevaluasi dampak lingkungan dari proses produksi tahu menggunakan analisis siklus hidup (LCA) dengan perangkat lunak Simapro. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi konsekuensi lingkungan, menganalisis penyebabnya, dan mengusulkan strategi manajemen untuk mengurangi dampaknya. LCA membantu menentukan tahapan dalam siklus hidup produk yang memberikan kontribusi paling signifikan terhadap kerusakan lingkungan, serta mengevaluasi dampak tersebut sepanjang proses produksi. Metode *Eco-Indicator 99(H)* mengidentifikasi tiga dampak lingkungan utama: respirasi anorganik, perubahan iklim, dan emisi karsinogenik. Faktor utama yang berkontribusi pada dampak ini antara lain penggunaan koagulan, kayu bakar, dan listrik. Rekomendasi untuk mengurangi dampak ini mencakup peningkatan efisiensi perangkat, penggantian asam asetat dengan nigrin sebagai koagulan, serta pemanfaatan sisa susu kedelai dari proses pemisahan. Perubahan ini bertujuan untuk membuat proses produksi tahu lebih berkelanjutan sambil meminimalkan jejak lingkungannya.

Copyright © 2023 The authors. JTMSI is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Program Studi Teknik Industri Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bojonegoro

Jl. Lettu Suyitno No.2, Glendeng, Kalirejo, Kec. Bojonegoro, Kab. Bojonegoro, Jawa Timur 62119.

E-mail: 0708099302@saintek.unigoro.ac.id

Pendahuluan

Usaha tahu di Indonesia merupakan salah satu usaha yang banyak diminati karena tahu dibuat dengan cara atau teknik yang sederhana. Itu sebabnya industri tahu berkembang cukup pesat^[1]. Secara lebih spesifik, rata-rata konsumsi tahu per kapita pada tahun 2021 sebesar 0,158 kg per minggu. Menurut Badan Pusat Statistik tahun 2019, Jumlah tersebut meningkat dibanding tahun 2020 yang sebesar 0,153 kg per minggu. Berdasarkan informasi tersebut, produk kedelai, termasuk tahu dalam negeri, saat ini belum bisa memenuhi kebutuhan masyarakat. Mayoritas pengelola pabrik tahu yang ada di Indonesia merupakan pabrik dengan skala kecil sampai tingkat menengah, serta beberapa dari pabrik tersebut belum memenuhi standarisasi yang telah dipersyaratkan dan berlaku di Indonesia. Berdasarkan latar belakang tersebut dapat mempengaruhi pada saat proses produksi di pabrik, dapat dari segi higienitas, proses pengelolaan outlet air di pabrik, serta sanitasi kebersihan di area pabrik. Limbah pabrik berupa air yang tercemar sering dijumpai tidak diolah dan pemilik usaha tidak bertanggung jawab atas limbahnya sehingga masyarakat di sekitar area pabrik terdampak dan merasa dirugikan^[2]. Pabrik Tahu yang terdapat pada penelitian ini merupakan IKM produksi tahu. IKM ini terletak di Sidoarjo. IKM ini hanya memproduksi tahu putih saja dan mampu memproduksi 400 kg kedelai per hari dengan total 10.000 potong tahu. Karena produktivitas yang tinggi tentunya berdampak pada lingkungan, maka perlu diperhatikan limbah yang dihasilkan serta dampak yang berasal dari proses produksi terhadap lingkungan^[1].

Limbah yang dihasilkan di pabrik langsung dibuang ke badan air dan mengalir keluar pabrik tanpa pengolahan lebih lanjut, cukup ditampung di 5 bak penampung dan diberi jarak 3-4 m kemudian diresapkan ke dalam tanah dan sisanya dibuang ke badan air belakang pabrik. Berbagai jenis pencemaran yang dihasilkan termasuk pencemaran terhadap air, udara, suara, serta tanah. Mengingat kualitas IKM tersebut menghasilkan berbagai macam pencemaran dan dapat merusak lingkungan, maka perlu diterapkan strategi langkah lebih lanjut dalam menghasilkan produk yang meminimalisir pencemaran terhadap lingkungan. Penilaian siklus hidup telah dikembangkan, salah satunya adalah penilaian dampak lingkungan yang diakibatkan oleh beroperasinya proses produksi. Life cycle assessment (LCA) adalah salah satu langkah yang dapat digunakan untuk mengetahui serta menganalisis dampak lingkungan dari suatu proses. Tujuan penerapan penilaian siklus hidup ini adalah untuk mengidentifikasi, menghitung, dan melaksanakan perbaikan lingkungan berkelanjutan yang merugikan atau menguntungkan, sebagian atau seluruhnya dari pertimbangan lingkungan, keberlanjutan penggunaan sumber daya alam dan pembuangan lingkungan^[3].

Berdasarkan permasalahan yang dipaparkan di atas, dalam mengetahui nilai dari besaran dampak maka perlu dilakukan uji coba penelitian maka perlu dilakukan penelitian proses produksi tahu terhadap lingkungan dengan menggunakan metode LCA berbasis gate to gate untuk dapat memberikan salah satu alternatif program perbaikan pabrik tahu yang lebih ekologis.

Proses Produksi Tahu

Proses produksi tahu merupakan salah satu industri yang banyak ditemukan di Indonesia, yang menggunakan kedelai sebagai bahan baku utama. Proses produksi tahu dimulai dari pemilihan kedelai yang berkualitas, perendaman kedelai untuk menghilangkan lapisan pelindungnya, penggilingan kedelai untuk menghasilkan susu kedelai, pemanasan susu kedelai, hingga tahap koagulasi untuk membentuk dadih. Koagulasi pada tahu umumnya menggunakan bahan kimia seperti asam asetat atau nigrin sebagai koagulan. Setelah itu, dadih yang terbentuk diproses lebih lanjut dengan pemisahan air dan pengemasan untuk siap didistribusikan. Selama proses ini, penggunaan

energi, air, dan bahan kimia menjadi faktor yang perlu diperhatikan karena dapat berkontribusi terhadap dampak lingkungan.

Proses Pengolahan Data

Proses pengolahan data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan Life Cycle Analysis (LCA) dengan perangkat lunak Simapro. LCA adalah metode yang digunakan untuk menilai dampak lingkungan dari suatu produk atau proses sepanjang siklus hidupnya, mulai dari tahap produksi hingga pembuangan akhir. Pengolahan data dilakukan dengan memasukkan data input dan output dari proses produksi tahu, seperti penggunaan bahan baku, energi, air, serta emisi yang dihasilkan, untuk menganalisis dampak lingkungan yang timbul. Dalam hal ini, metode Eco-Indicator 99(H) digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur tiga dampak utama yaitu respirasi anorganik, perubahan iklim, dan emisi karsinogenik. Proses pengolahan data LCA memungkinkan untuk melihat secara menyeluruh kontribusi setiap tahapan produksi terhadap dampak lingkungan.

Faktor Penyebab Dampak Lingkungan

Dampak lingkungan dalam produksi tahu dipengaruhi oleh berbagai faktor yang terkait dengan bahan baku, energi, dan proses produksi itu sendiri. Salah satu faktor utama adalah penggunaan koagulan. Koagulan seperti asam asetat atau nigrin digunakan untuk mengendapkan protein dalam susu kedelai, namun penggunaan asam asetat yang berlebihan dapat menghasilkan limbah kimia yang mencemari lingkungan, terutama air. Penggunaan kayu bakar juga menjadi faktor penting, terutama di industri tahu tradisional yang masih bergantung pada bahan bakar tersebut untuk proses pemanasan. Penggunaan kayu bakar berkontribusi pada emisi gas rumah kaca dan polusi udara, yang berdampak negatif terhadap kualitas udara dan perubahan iklim. Selain itu, penggunaan energi listrik dalam proses penggilingan, pemanasan, dan pemisahan dapat menyebabkan konsumsi energi yang tinggi dan emisi karbon dioksida, terutama jika energi yang digunakan berasal dari sumber yang tidak ramah lingkungan. Terakhir, penggunaan air yang berlebihan untuk mencuci kedelai dan peralatan produksi juga dapat memperburuk dampak lingkungan, terutama jika air tersebut tidak dikelola dengan baik dan berpotensi mencemari sumber daya air sekitar.

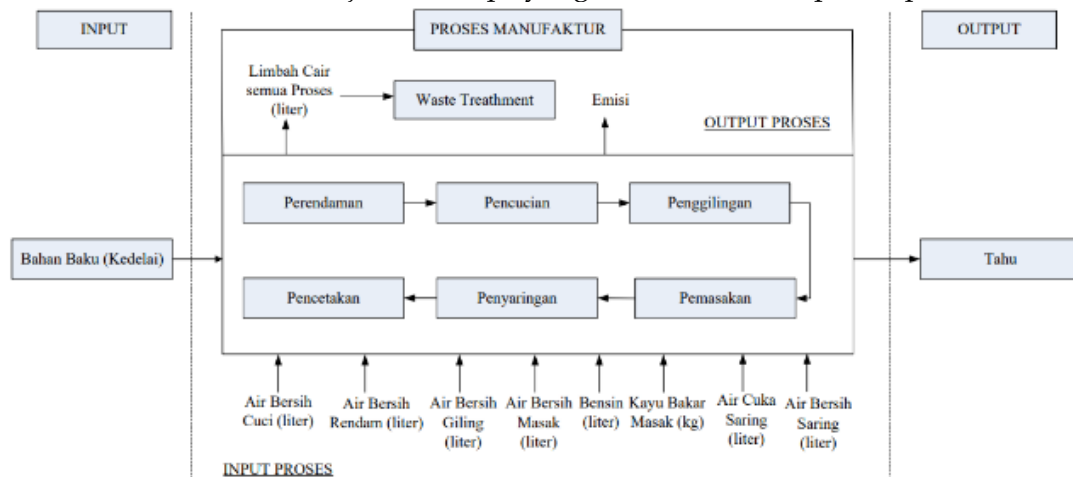
Rekomendasi Alternatif Perbaikan

Untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh proses produksi tahu, terdapat beberapa alternatif perbaikan yang dapat diterapkan. Salah satunya adalah peningkatan efisiensi perangkat. Dengan mengganti perangkat yang lebih efisien, seperti alat pemanas dan penggiling, industri tahu dapat mengurangi konsumsi energi listrik dan bahan bakar, yang pada gilirannya akan mengurangi emisi dan pemborosan sumber daya. Penggantian koagulan asam asetat dengan nigrin merupakan langkah lain yang dapat mengurangi dampak lingkungan. Nigarine adalah bahan alami yang lebih ramah lingkungan dan dapat mengurangi limbah kimia yang dihasilkan dalam proses produksi tahu. Selanjutnya, pemanfaatan sisa susu kedelai yang dihasilkan selama proses pemisahan dapat menjadi alternatif untuk mengurangi pemborosan. Sisa susu kedelai ini bisa dimanfaatkan untuk produk lain, seperti pakan ternak, sehingga mengurangi dampak lingkungan dari limbah yang dihasilkan. Selain itu, penggunaan energi terbarukan seperti biomassa atau energi surya untuk menggantikan kayu bakar dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan keberlanjutan industri tahu. Terakhir, pengelolaan air yang lebih baik dengan menggunakan sistem daur ulang air dalam proses produksi dapat mengurangi penggunaan air bersih dan mencegah pencemaran, sehingga menjaga

kelestarian sumber daya air di sekitar kawasan produksi. Penerapan langkah-langkah ini diharapkan dapat mengurangi dampak lingkungan dan membuat industri tahu lebih berkelanjutan.

Metode Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan menentukan lingkup penelitian dan unit fungsi yang akan dianalisis. Cakupan lingkup yang dianalisis bersifat gate to gate, yang mencakup semua unit dalam proses produksi tahu, yaitu perendaman, pencucian, penggilingan, pemasakan, penyaringan, pengendapan, pencetakan, dan pematangan. Unit fungsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 kg tahu. Setelah itu, dilakukan pengamatan lapangan dan wawancara dengan pemilik usaha untuk memperoleh data yang dibutuhkan. Gambar 1 menunjukkan scope yang dianalisis dalam proses produksi tahu[1].



Gambar 1. Scope yang dianalisis dalam proses produksi tahu

Sumber: Data Pribadi

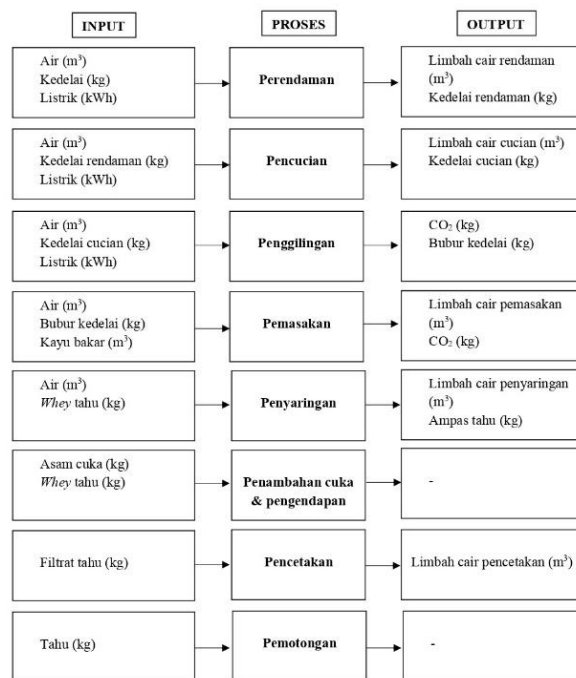
Tahap berikutnya adalah analisis data, di mana data yang dikumpulkan dimasukkan ke dalam aplikasi Simapro untuk dilakukan life cycle inventory. Data yang diperlukan meliputi volume bahan mentah, nilai energi yang digunakan pada setiap tahapan proses produksi, serta produk tambahan seperti limbah dan emisi yang dihasilkan selama proses produksi tahu. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Eco-Indicator 99, yang dipilih karena sesuai dengan kondisi lapangan dan merupakan pengembangan dari metode Eco-Indicator 95. Meskipun metode ini menunjukkan 11 dampak lingkungan, penelitian ini hanya fokus pada tiga dampak terbesar. Penilaian dampak lingkungan dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu karakterisasi, normalisasi, pembobotan, dan skor tunggal. Pada tahap karakterisasi, data dari siklus hidup inventaris masing-masing kategori dibandingkan. Normalisasi diperoleh dengan membagi ciri-ciri karakterisasi dengan nilai normalisasi, sementara pembobotan dilakukan dengan mengalikan hasil evaluasi dengan faktor pembobot. Langkah terakhir adalah menggabungkan semua potensi dampak lingkungan menjadi skor tunggal, yang digunakan untuk mengidentifikasi dampak lingkungan dari setiap proses produksi.

Hasil dan Pembahasan

1. Proses Produksi Tahu

Proses produksi tahu merupakan serangkaian tahapan yang melibatkan berbagai input dan output, yang berkontribusi terhadap hasil akhir yaitu produk tahu. Di dalam proses ini, terdapat beberapa langkah penting mulai dari perendaman kedelai, pencucian, penggilingan, pemasakan, hingga pematangan tahu. Setiap tahapan memanfaatkan bahan baku seperti kedelai, air, dan energi dalam bentuk listrik serta

kayu bakar. Di samping itu, penggunaan bahan kimia seperti asam cuka dan pemanfaatan energi dari pompa juga turut mempengaruhi proses produksi ini. Diagram alir yang ditampilkan memberikan gambaran rinci tentang input dan output pada setiap tahap, yang memberikan informasi mengenai pengelolaan sumber daya dan limbah yang dihasilkan selama proses.



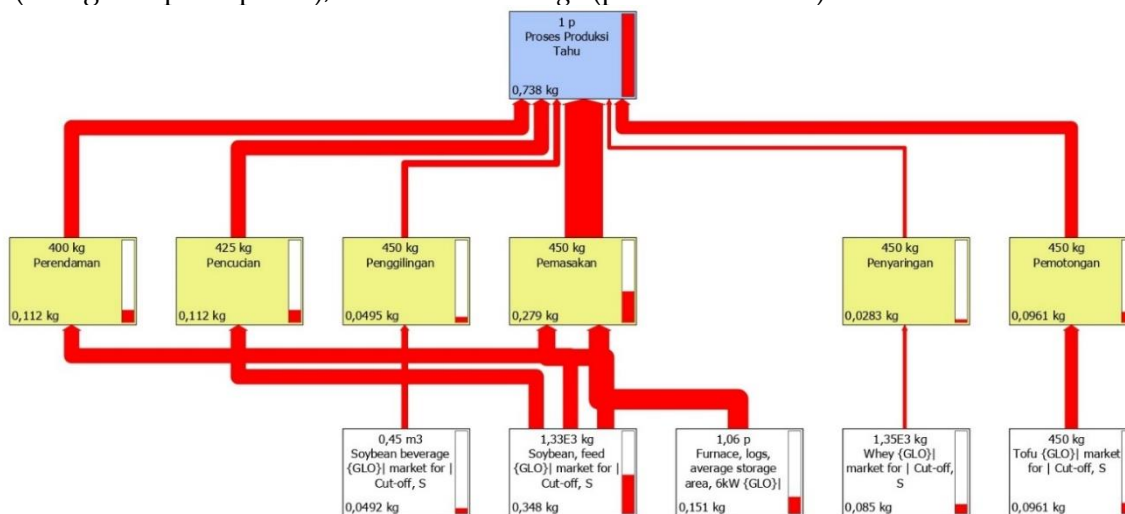
Gambar 2. Proses Produksi Tahu
Sumber: Data Pribadi

Dalam proses produksi tahu, penggunaan bahan kimia seperti asam cuka dan energi listrik memiliki peran yang sangat penting. Bahan kimia yang digunakan adalah 5 kg asam asetat yang ditambahkan dalam tahap penambahan cuka dan pengendapan. Konsumsi energi dihasilkan dari pompa dengan konsumsi listrik sebesar 5 kWh per hari. Setiap tahap produksi tahu menghasilkan limbah yang perlu dikelola dengan baik, seperti limbah cair dari perendaman, pencucian, pemasakan, dan pemotongan. Proses ini menunjukkan pentingnya pengelolaan input dan output dengan efisien untuk mengurangi dampak lingkungan, sekaligus meningkatkan kualitas dan keberlanjutan produksi. Diagram alir yang terlampir memberikan pemahaman yang lebih dalam mengenai tahapan proses yang berhubungan langsung dengan efisiensi penggunaan bahan baku dan pengelolaan limbah di setiap tahap.

2. Proses Pengolahan Data

Software simapro digunakan untuk pengolahan data LCA, aplikasi tersebut memiliki kekurangan diantaranya minimnya *database* sehingga hal ini diantisipasi dengan melakukan pendekatan terhadap material yang tersedia^[5]. Hasil pengolahan data ini menghasilkan *network result* yang menunjukkan bahwa sebagian atau bahkan seluruh proses yang ada berdampak pada lingkungan. *Network result* menunjukkan bahwa dampak lingkungan disebabkan oleh perendaman, pencucian, penggilingan, pemasakan, penyaringan, pengendapan, pencetakan, dan pemotongan. Tanda arah panah yang menunjukkan arah ke atas pada *network* dapat mewakili dampak lingkungan yang ada di proses produksi. Garis merah mewakili hubungan antara bahan input terhadap proses yang ada. Ketebalan pada garis merah menunjukkan urgensi dari masing masing proses dan dampaknya. Minimnya garis hijau menunjukkan bahwa

semua bahan kimia yang dihasilkan tidak dapat diolah secara sempurna sehingga tetap berdampak terhadap lingkungan. Tiga dampak utama dari penelitian ini adalah *carcinogens* (zat-zat yang bersifat karsinogenik atau beracun), *respiratory inorganics* (anorganik pernapasan), serta *climate change* (perubahan iklim).



Gambar 3. Network Result LCA
Sumber: Hasil Simapro (2022)

Tabel karakterisasi yang menyajikan hasil evaluasi dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi tahu, dengan menggunakan kategori dampak yang berbeda. Setiap kategori menggambarkan dampak yang terukur dalam unit tertentu, seperti kadar karsinogen, perubahan iklim, dan penggunaan lahan. Melalui karakterisasi ini, dapat terlihat potensi dampak yang dihasilkan pada berbagai aspek, mulai dari emisi gas rumah kaca hingga konsumsi sumber daya alam. Data ini penting untuk memahami sejauh mana produksi tahu berkontribusi terhadap perubahan lingkungan dan untuk merencanakan langkah-langkah mitigasi yang sesuai.

Tabel 1. Karakterisasi

Impact Category	Unit	Total
Carcinogens	DAILY	0,0010991
Resp. organics	DAILY	0,0000039
Resp. inorganics	DAILY	0,0040557
Climate change	DAILY	0,0013868
Radiation	DAILY	0,0000020
Ozone layer	DAILY	0,0000001
Ecotoxic	PAF*m2yr	758,7465900
Acidification / Eutrophication	PDF*m2yr	58,6690710
Land use	PDF*m2yr	-65756,8930000
Minerals	MJ surplus	44,7177290
Fossil fuels	MJ surplus	1108,5221000

Berdasarkan tabel karakterisasi yang telah disajikan, dapat disimpulkan bahwa dampak lingkungan dari proses produksi tahu meliputi berbagai kategori, dengan perubahan iklim dan konsumsi bahan bakar fosil sebagai dua dampak terbesar. Meskipun beberapa kategori, seperti penggunaan lahan, menunjukkan dampak negatif yang signifikan, evaluasi ini memberikan gambaran yang jelas mengenai area-area yang perlu mendapatkan perhatian lebih dalam upaya pengurangan dampak lingkungan.

Dengan memahami karakterisasi ini, langkah-langkah perbaikan dan mitigasi dapat diimplementasikan untuk meningkatkan keberlanjutan dan mengurangi jejak ekologis dari industri tahu.

Tabel damage assessment ini menyajikan penilaian terhadap dampak lingkungan dari proses produksi tahu berdasarkan berbagai kategori dampak. Setiap kategori menunjukkan sejauh mana aktivitas produksi berkontribusi terhadap kerusakan lingkungan, dengan fokus pada aspek-aspek seperti karsinogen, perubahan iklim, penggunaan lahan, dan konsumsi bahan bakar fosil. Penilaian ini memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai seberapa besar pengaruh setiap kategori terhadap keberlanjutan lingkungan, serta membantu dalam merencanakan strategi mitigasi yang lebih efektif.

Tabel 2. Damage Assessment

Impact Category	Unit	Total
Carcinogens	DAILY	0,0010991
Resp. organics	DAILY	0,0000039
Resp. inorganics	DAILY	0,0040557
Climate change	DAILY	0,0013868
Radiation	DAILY	0,0000020
Ozone layer	DAILY	0,0000001
Ecotoxic	PAF*m2yr	758,7465900
Acidification / Eutrophication	PDF*m2yr	58,6690710
Land use	PDF*m2yr	-65756,8930000
Minerals	MJ surplus	44,7177290
Fossil fuels	MJ surplus	1108,5221000

Dari hasil damage assessment, dapat dilihat bahwa kategori perubahan iklim dan konsumsi bahan bakar fosil memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan, sedangkan penggunaan lahan menunjukkan dampak negatif yang cukup besar. Penilaian ini memberikan wawasan yang berguna untuk mengidentifikasi area-area kritis dalam proses produksi yang perlu diperbaiki. Melalui pemahaman yang lebih mendalam terhadap dampak yang dihasilkan, langkah-langkah mitigasi yang tepat dapat diambil untuk mengurangi jejak ekologis industri tahu, sehingga proses produksi menjadi lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Hasil uji normalisasi terhadap berbagai kategori dampak lingkungan dari berbagai tahap proses produksi menunjukkan variasi signifikan dalam kontribusi masing-masing tahap terhadap berbagai parameter dampak. Tabel yang dianalisis mencakup kategori dampak seperti karsinogen, organik respirasi, perubahan iklim, dan penggunaan lahan, di mana setiap tahap—mulai dari perendaman hingga pemotongan—memiliki dampak yang berbeda. Data ini memberikan wawasan penting mengenai bagaimana proses produksi mempengaruhi lingkungan, serta menyoroti pentingnya evaluasi menyeluruh dalam setiap tahap untuk mengurangi dampak negatif yang dihasilkan, terutama pada aspek yang lebih kritis seperti perubahan iklim dan ekotoksitas.

Tabel 3. Normalisasi

Impact category	Total	Perendaman	Pencucian	Penggilingan	Pemasakan	Pengendapan	Pencetakan	Pemotongan
Carcinogens	0,125411	0,031620	0,031620	0,002780	0,047151	0,001714	0,001459	0,007609
Resp. organics	0,000450	0,000106	0,000106	0,000015	0,000173	0,000007	0,000005	0,000033
Resp. inorganics	0,462756	0,110389	0,110389	0,025050	0,159551	0,006610	0,005757	0,039253
Climate change	0,158236	0,037549	0,037549	0,008706	0,058087	0,001557	0,001375	0,012037
Radiation	0,000227	0,000019	0,000019	0,000020	0,000090	0,000008	0,000005	0,000062
Ozone layer	0,000017	0,000002	0,000002	0,000002	0,000004	0,000001	0,000000	0,000005
Ecotoxicity	0,013263	0,001442	0,001442	0,001049	0,005998	0,000411	0,000343	0,002235
Acidification /Eutrophication	0,010255	0,001467	0,001467	0,000826	0,002595	0,000578	0,000555	0,002212
Land use	-11,494305	-3,745872	-3,745872	-0,001174	-4,187358	0,063725	0,063696	-0,005145
Minerals	0,005925	0,000677	0,000677	0,000278	0,003251	0,000188	0,000152	0,000552
Fossil fuels	0,146879	0,021782	0,021782	0,028158	0,054888	0,008449	0,004957	0,001907

Secara keseluruhan, hasil uji normalisasi ini memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana berbagai tahap produksi berkontribusi terhadap dampak lingkungan yang berbeda. Proses seperti pemasakan dan penggilingan menunjukkan dampak yang lebih besar pada kategori tertentu, sedangkan beberapa tahap lain berhasil mengurangi dampaknya, seperti yang terlihat pada kategori penggunaan lahan. Temuan ini penting untuk merancang strategi pengurangan dampak yang lebih efektif di setiap tahap produksi, dengan fokus pada tahap yang memiliki kontribusi terbesar terhadap kerusakan lingkungan.

Hasil dari analisis weighting atau single score memberikan gambaran komprehensif mengenai dampak lingkungan yang dihasilkan oleh berbagai kategori dalam proses produksi. Dalam tabel yang dianalisis, kategori dampak seperti karsinogen, perubahan iklim, dan penggunaan lahan memiliki kontribusi yang berbeda terhadap total skor, dengan nilai negatif yang mencerminkan pengurangan dampak, terutama pada kategori penggunaan lahan. Sementara itu, kategori lainnya, seperti emisi gas rumah kaca dan ekotoksitas, memberikan kontribusi positif yang perlu diperhatikan untuk mengurangi dampak lingkungan. Analisis ini berguna untuk memahami prioritas pengurangan dampak dalam proses produksi.

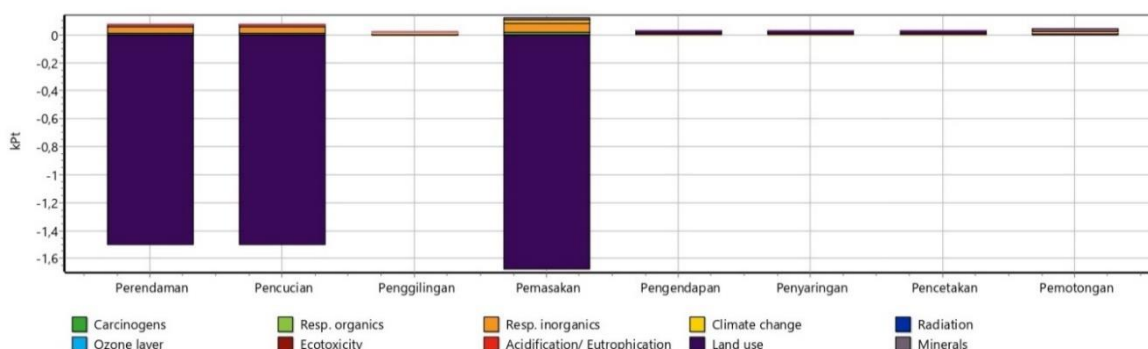
Tabel 4. Weighting / Single Score

Impact Category	Unit	Total
Total	kPt	-4,258915
Carcinogens	kPt	0,050164
Resp. organics	kPt	0,000180
Resp. inorganics	kPt	0,185102
Climate change	kPt	0,063295
Radiation	kPt	0,000091
Ozone layer	kPt	0,000007
Ecotoxicity	kPt	0,005305
Acidification / Eutrophication	kPt	0,004102
Land use	kPt	-4,597722
Minerals	kPt	0,001185
Fossil fuels	kPt	0,029376

Note: Hasil Running Simapro (2022)

Secara keseluruhan, hasil weighting menunjukkan bahwa kategori penggunaan lahan dan karsinogen memberikan kontribusi paling signifikan terhadap total dampak lingkungan negatif, dengan nilai negatif yang menunjukkan penurunan dampak pada beberapa tahap. Di sisi lain, kategori seperti perubahan iklim dan penggunaan bahan bakar fosil masih menunjukkan dampak positif yang perlu diminimalkan. Temuan ini memberikan dasar yang kuat untuk merancang kebijakan dan strategi mitigasi yang lebih efisien, dengan fokus pada pengurangan dampak pada kategori-kategori yang paling signifikan.

Grafik ini menunjukkan distribusi dampak lingkungan berdasarkan kategori pada berbagai tahap proses produksi. Setiap kategori dampak, seperti karsinogen, perubahan iklim, dan penggunaan lahan, diperlihatkan pada sumbu vertikal, sementara tahap proses produksi seperti perendaman, pencucian, penggilingan, hingga pemotongan, diwakili pada sumbu horizontal. Hasilnya menunjukkan bahwa tahap pemasakan memberikan dampak terbesar pada kategori-kategori tertentu, terutama dalam hal perubahan iklim dan respirasi anorganik. Sebaliknya, tahap lain, seperti pengendapan dan pemotongan, memiliki dampak yang lebih kecil. Analisis ini memberikan gambaran jelas mengenai kontribusi masing-masing tahap dalam menghasilkan dampak lingkungan.



Gambar 4. Single Score

Sumber: Hasil Running Simapro (2022)

Secara keseluruhan, grafik ini menyoroti pentingnya fokus pada tahap pemasakan, yang menunjukkan dampak terbesar pada kategori perubahan iklim dan respirasi anorganik. Selain itu, pengurangan dampak pada tahap-tahap lainnya seperti

pemotongan dan pengendapan juga perlu diperhatikan. Dengan memprioritaskan pengurangan dampak di tahap yang paling signifikan, proses produksi dapat dioptimalkan untuk meminimalkan dampak lingkungan, terutama pada kategori yang memberikan kontribusi besar terhadap kerusakan lingkungan.

3. Faktor Penyebab Dampak Lingkungan

Dampak karsinogenik dihasilkan dari penggunaan koagulan berbahan asam asetat dalam proses pembuatan tahu. Asam cuka tidak hanya menghasilkan limbah, tetapi juga dapat menyebabkan bau yang tidak menyenangkan saat terhirup, serta berpotensi merusak lingkungan. Proses produksi tahu yang menggunakan cuka memerlukan konsumsi air dalam jumlah besar, yang berisiko menambah tekanan terhadap sumber daya air lokal. Selain itu, konsumsi cuka berlebihan dapat menyebabkan gangguan pada asam lambung^[6]. Dampak respiratory inorganics muncul akibat paparan bahan kimia dari koagulan yang digunakan, di mana beberapa polutan yang memengaruhi kesehatan saluran pernapasan meliputi amonia, sulfur dioksida, nitrogen oksida, nitrogen monoksida, partikel berukuran <2,5 mm, dan sulfur trioksida^[7]. Dampak perubahan iklim terjadi karena setiap unit produksi membutuhkan listrik, yang sebagian besar dihasilkan dari pembakaran batu bara di Indonesia. Proses ini menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂), yang berkontribusi terhadap pemanasan global. Emisi polutan lain yang turut berpengaruh termasuk karbon dioksida, etana, metana, sulfur heksafluorida, dinitrogen monoksida, dan karbon monoksida^[8].

4. Faktor Penyebab Dampak Lingkungan

Salah satu alternatif yang efektif digunakan sehingga dapat meneliminasi dampak tersebut. Rekomendasi yang dapat dilakukan antara lain meningkatkan efisiensi peralatan (Skenario 1) dan mengganti asam asetat dengan Nigarin dan hasil fermentasi sisa proses pengendapan (Skenario 2). Peralatan listrik dan pompa yang sudah lama pakai dapat menurunkan kinerja peralatan tersebut. Karena peralatan yang sudah lama pakai mengkonsumsi lebih banyak energi daripada yang baru^[9]. Mengganti peralatan usang dengan model yang lebih baru adalah tindakan yang tepat dalam situasi ini. Merawat peralatan adalah cara lain untuk meningkatkan efisiensi selain mengganti peralatan yang sudah usang. Merawat alat dengan benar dapat meningkatkan masa pakainya. Selain itu menerapkan tindakan pencegahan tambahan termasuk menjadi hijau, menetapkan jam operasi pompa, mengarahkan semua staf untuk menggunakan peralatan keselamatan saat bekerja, mengonsumsi makanan sehat dan mengonsumsi vitamin, serta menjaga kebersihan pribadi dan tempat kerja.

Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian Identifikasi Pencemaran Lingkungan Proses Produksi Pabrik Tahu Dengan Life Cycle Assessment adalah menurut metode yang dipilih, metode pabrik Eco-Indicator 99 (H) yang digunakan untuk menilai potensi dampak lingkungan dari proses produksi tahu menunjukkan 11 dampak, antara lain karsinogen, respirasi anorganik dan organik, mineral, perubahan iklim, radiasi, lapisan ozon, ekotoksitas, penggunaan lahan, pengasaman/eutrofikasi, mineral, dan bahan bakar fosil. Karsinogen, anorganik pernapasan, dan perubahan iklim adalah tiga efek utama dari prosedur ini. Namun, unit perendaman, pencucian, dan pemasakan merupakan unit yang memiliki dampak terbesar terhadap lingkungan selama proses produksi tahu. Faktor penyebab munculnya dampak respiratory inorganics dan carcinogens pada proses produksi tahu berasal dari pemberian bahan kimia berupa koagulan. Sementara itu, dampak climate change muncul dari penggunaan listrik dan kayu bakar, dan rekomendasi

perbaiki alternatif yang dapat diberikan antara lain peningkatan efisiensi pabrik dan penggantian koagulan asam asetat dengan koagulan nigrarin dan hasil fermentasi sisa proses pengendapan. Selain itu, diperlukan langkah-langkah lain untuk mencegah, memitigasi, dan mengurangi dampak lingkungan, antara lain penghijauan di sekitar pabrik, mengatur jam operasional pompa, dan menginstruksikan seluruh pekerja di pabrik tahu untuk lebih memperhatikan penggunaan alat-alat keselamatan kerja, makan makanan bergizi dan vitamin selama bekerja, serta menjaga kebersihan diri dan lingkungan kerja.

Daftar Pustaka

- [1] N. Mahastuti, "Analisis Gate to Gate dengan Metode Eco Indicator 99 (H) pada Pengukuran Eko Efisiensi di Industri Kecil (Studi Kasus: IKM Tahu Kampung Purwogondo, Kecamatan Kartasura, Sukoharjo)," Skripsi Tek. Ind., vol. 99, p. 19, 2017.
- [2] S. Sally, Y. P. Budianto, M. W. K. Hakim, and W. El Kiyat, "Potensi Pemanfaatan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas Untuk Skala Industri Rumah Tangga Di Provinsi Banten," *Agrointek*, vol. 13, no. 1, p. 43, 2019, doi: 10.21107/agrointek.v13i1.4715.
- [3] ISO, "Environmental assessment - Life cycle assessment - Principles and framework," *Int. Stand. Organ.*, vol. 1997, pp. 1-20, 2020.
- [4] V. N. Wahyuni, "ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN DENGAN METODE LIFE CYCLE ASSESMENT (LCA) TERHADAP KOAGULAN ALUMINIUM SULFAT DAN POLY ALUMINIUM CHLORIDE (PAC) DI IPAM NGAGEL SURABAYA," 2020.
- [5] A. Z. Qonita, P. Studi, T. Lingkungan, F. Teknik, and J. Timur, "Skripsi Life Cycle Assessment (Lca) Sebagai Metode Identifikasi Dampak Life Cycle Assessment (Lca)," 2020.
- [6] E. Dharmawan, "ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN PADA AKTIVITAS PRODUKSI PEMBUATAN TAHU MENGGUNAKAN METODE LCA (LIFE CYCLE ASSESMENT) DAN EKOEFISIENSI PADA IKM TAHU BU NING DI DEMAK," *Univ. Islam SULTAN AGUNG SEMARANG*, 2019.
- [7] E. Rahmawati, "ANALISIS LIFE CYCLE ASSESMENT UNTUK MENENTUKAN DAMPAK LINGKUNGAN PADA PROSES PRODUKSI TAHU DI INDUSTRI KECIL 'UD. X' DESA SIDOJANGKUNG, KECAMATAN MENGANTI, GRESIK," 2022.
- [8] E. Rahmawati, 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.
- [9] T. Agung Rachmanto, A. U. Farahdiba, and G. A. Nurbaiti, "Life Cycle Assessment (Lca) Sebagai Metode Kajian Dampak Lingkungan Proses Pengolahan Air Bersih Di Instalasi Pengolahan Air (Ipa) Siwalanpanji," *EnviroUS*, vol. 2, no. 2, pp. 21-27, 2022, doi: 10.33005/enviroUS.v2i2.102.