

P-ISSN: 2774-4574 ; E-ISSN: 363-4582
TRILOGI, 6(3), Juli-Sep 2025 (38-46)
©2025 Lembaga Penerbitan, Penelitian,
dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP3M)
Universitas Nurul Jadid Paiton Probolinggo
DOI: [10.33650/trilogi.v6i3.12412](https://doi.org/10.33650/trilogi.v6i3.12412)



Analisis Life Cycle Assessment (LCA) Produksi Tahu Bakso Skala Rumahan: Dampak Lingkungan dan Solusi

Alan Mustapa

Universitas Negeri Semarang, Indonesia
alanmustapa30@students.unnes.ac.id

Dian Khoiriyani Putri

Universitas Negeri Semarang, Indonesia
diankhoiryaniputri20@students.unnes.ac.id

Muh. Adrikni Al Hakim

Universitas Negeri Semarang, Indonesia
masalhakim@students.unnes.ac.id

Amin Pujiati

Universitas Negeri Semarang, Indonesia
amin.pujiati@mail.unnes.ac.id

Inaya Sari Melati

Universitas Negeri Semarang, Indonesia
inaya.sari@mail.unnes.ac.id

Abstract

The home-based food industry, including tofu and meatballs, plays an important role in supporting the local economy and overcoming environmental poverty challenges. This study aims to analyze the environmental impact of home-based tofu and meatball production using ISO and OpenLCA standards. The analysis covers all stages of production, from raw material acquisition, washing, grinding, mixing, filling, steaming, to cooling. The Life Cycle Inventory (LCI) results show that each stage contributes to the use of energy, air, and raw materials, with the steaming process having the greatest impact on the most dominant category compared to other stages. Recommended measures include energy efficiency through heat insulation and biogas use, selection of local suppliers, use of low-chemical raw materials, air washing recycling, and utilization of organic waste for compost or biogas. This study proves the need for sustainable production strategies in the home-based food industry, not only to minimize environmental impact, but also to strengthen competitiveness and local economic sustainability.

Keywords: Environmental Impact; Home-Based Food Industry; Life Cycle Assessment; Sustainable Production; Tofu Meatballs.

Abstrak

Industri pangan skala rumahan, salah satunya tahu bakso, berperan penting dalam mendukung ekonomi lokal sekaligus mengatasi tantangan kemiskinan lingkungan. Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak lingkungan produksi tahu bakso skala rumahan menggunakan standar ISO dan OpenLCA. Analisis mencakup seluruh tahapan produksi mulai dari akuisisi bahan baku, pencucian, penggilingan, pencampuran, pengisian adonan, pengukusan, hingga pendinginan. Hasil *Life Cycle Inventory* (LCI) menunjukkan bahwa setiap tahap berkontribusi terhadap penggunaan energi, udara, dan bahan baku, dengan proses pengukusan memberikan dampak terbesar pada kategori paling dominan dibandingkan tahapan lainnya. Rekomendasi yang disarankan meliputi efisiensi energi melalui isolasi panas dan penggunaan biogas, pemilihan pemasok lokal, penggunaan bahan baku kimia rendah, daur ulang pencucian udara, serta pemanfaatan limbah organik untuk kompos atau biogas. Penelitian ini membuktikan perlunya strategi produksi berkelanjutan di industri pangan rumahan, tidak hanya untuk meminimalkan dampak lingkungan, tetapi juga memperkuat daya saing dan kepunahan ekonomi lokal.

Katakunci: Dampak Lingkungan; Industri Pangan Rumahan; Penilaian Siklus Hidup; Produksi Berkelanjutan; Tahu Bakso.

1 Pendahuluan

Studi menunjukkan Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) memberi sumbangan nyata terhadap pertumbuhan suatu daerah (Kurniawan & Nuringsih, 2022; Wahyuni *et al.*, 2024). Khususnya di Kota Semarang, produksi tahu bakso menunjukkan bagaimana pemanfaatan bahan dan tenaga kerja lokal dapat mendorong nilai tambah ekonomi serta memperkuat daya tahan komunitas terhadap gejolak pasar (Wahyuni *et al.*, 2024). Selain itu, adopsi model bisnis yang berorientasi pada sumber daya lokal juga berpotensi menjaga ketersediaan sumber daya alam dan mendukung keberlanjutan jangka panjang usaha mikro tersebut (Rizki *et al.*, 2023).

Dampak lingkungan dari produksi pangan semakin mendapat perhatian. Banyak usaha pangan mikro dan kecil belum menerapkan praktik ramah lingkungan, sehingga berisiko menurunkan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat. Contohnya, produksi tahu skala kecil menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar yang umumnya 7–15 L limbah per 1 kg kedelai tergantung pada praktiknya. Hal tersebut, dinilai mengandung bahan organik tinggi seperti *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang sering dilaporkan pada orde ribuan mg/L misalnya BOD 5.000–10.000 mg/L; COD 7.500–14.000 mg/L, jauh melampaui baku mutu pembuangan. Pengolahan sebelum pembuangan oleh industri kecil

umumnya belum memadai sehingga berpotensi mencemari badan air (Li *et al.*, 2021).

Lebih lanjut kajian audit menunjukkan konsumsi air untuk produksi tahu mencapai 25 L/kg kedelai dan menghasilkan 14.5 L/kg limbah BOD/COD yang amat tinggi. Karena baku mutu nasional mengatur ambang BOD/COD pada orde ratus mg/L (Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2014), limbah tahu yang tidak diolah menimbulkan risiko pencemaran serius dan menuntut intervensi pengolahan skala UMKM (Ningsih *et al.*, 2024). Ketidakhahaman akan berdampak pada limbah industri, penggunaan bahan baku yang berpotensi merusak lingkungan, dan cara pengolahan yang kurang baik dapat menimbulkan kontroversi (Supardi *et al.*, 2024). Selain itu, pengelolaan yang buruk dapat menyebabkan penurunan kualitas produk (Suryandani, 2022). Oleh karena itu, penting untuk menerapkan metode evaluasi yang dapat membantu memahami dan mengurangi dampak negatif tersebut.

Salah satu metode yang dapat digunakan adalah *Life Cycle Assessment* (LCA), yaitu metode untuk menilai dampak lingkungan suatu produk dari bahan baku hingga pembuangan, sekaligus mengidentifikasi titik kritis yang perlu diperbaiki. (Amrullah & Yasmi, 2023; Rossanty *et al.*, 2022). Penerapan LCA pada industri tahu bakso dapat membantu mengelola penggunaan bahan baku, energi, serta limbah, sehingga mendukung keberlanjutan lingkungan sekaligus usaha.

Di Semarang, produksi tahu bakso berkembang pesat dan kini menjadi salah satu produk olahan pangan unggulan di tingkat lokal. Data Pemerintah Kota menunjukkan terdapat 7.681 UMKM yang terdaftar di berbagai sektor, termasuk usaha olahan pangan yang mencakup tahu bakso. Contoh nyata pertumbuhan usaha ini terlihat pada Tahu Bakso Ibu Pudji yang bermula dari skala kecil dan kini memiliki sekitar lima *outlet* di wilayah Ungaran, Semarang, dan Salatiga dengan estimasi produksi harian mencapai 15.000–20.000 buah. Kondisi tersebut menggambarkan potensi ekonomi dan peran sosial industri tahu bakso dalam menyerap tenaga kerja dan memperkuat ekonomi lokal. Sehingga, penting untuk mengkaji kondisi spesifik industri ini, termasuk tantangan yang menghadangnya seperti akses terhadap sumber daya, persaingan pasar, dan kesadaran lingkungan para pelaku industri (Suryandani, 2022).

Penelitian LCA dalam konteks industri pangan juga menunjukkan adanya perkembangan yang signifikan dalam penerapan teknologi dan inovasi untuk mengurangi dampak lingkungan. Banyak penelitian terkini yang membahas penerapan LCA dalam berbagai produk pangan lokal dan nasional yang menunjukkan pentingnya pemahaman akan dampak lingkungan (Supardi *et al.*, 2024; Yarmaliza *et al.*, 2022). Inovasi seperti pengolahan limbah menjadi bernilai atau penggunaan teknologi ramah lingkungan dalam produksi menjadi fokus studi terkini. Hal ini menunjukkan bahwa ada kebutuhan mendesak untuk mengadopsi pendekatan berkelanjutan dalam produksi pangan yang dapat mendorong industri untuk beradaptasi dengan permintaan konsumen yang semakin meningkat akan produk yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (Kristanto *et al.*, 2023).

Kebaruan penelitian ini, berfokus pada tahu bakso industri rumahan Sabrina di Kota Semarang, sebuah produk olahan lokal yang relatif jarang dikaji dengan pendekatan LCA. Sebagian besar studi LCA sebelumnya lebih menitikberatkan pada komoditas tahu dan tempe berskala besar. Misalnya, penelitian yang dilakukan oleh Herdhiansyah *et al.*, (2022) dan Sari *et al.*, (2021) yang mengulas emisi dan konsumsi energi di industri tahu konvensional. Namun, belum ada kajian LCA terperinci yang menyoroti tahu bakso sebagai produk turunan tahu dengan proses produksi lebih kompleks: melibatkan tambahan daging, tepung, serta tahap pengukusan dan pendinginan. Oleh sebab itu, penelitian ini mengisi kekosongan tersebut dengan mengukur dampak lingkungan proses

produksinya, merumuskan rekomendasi praktis untuk praktik produksi yang lebih berkelanjutan, dan edukasi bagi pelaku usaha kecil, serta sebagai bahan pertimbangan para pengambil kebijakan.

Secara teoritis, penelitian ini berlandaskan pada kerangka keberlanjutan industri pangan dengan menekankan aspek dampak lingkungan. Pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) diposisikan sebagai alat analisis utama untuk mengukur beban lingkungan dari proses produksi. Perspektif sosial-ekonomi yang dikemukakan oleh Firmansyah, (2023) melengkapi analisis ini dengan menegaskan bahwa pemahaman terhadap dampak lingkungan dapat mendorong perubahan perilaku konsumen sekaligus memberikan dasar bagi kebijakan produksi pangan berkelanjutan. Dengan demikian, kerangka konseptual penelitian ini memadukan LCA, edukasi lingkungan, dan dukungan kebijakan sebagai pijakan untuk mendorong praktik produksi pangan yang lebih berkelanjutan pada skala usaha kecil.

Kajian ini, diharapkan tidak hanya dapat menghasilkan data yang berguna bagi industri skala rumahan. Akan tetapi, berimplikasi terhadap kebijakan pengembangan masyarakat yang mendukung industri pangan yang berkelanjutan. Selain itu, diupayakan agar bisa meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya memilih produk pangan yang berkelanjutan serta mendukung upaya pelestarian lingkungan. Dengan demikian, industri pangan skala rumahan dapat terus tumbuh sambil menjaga kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Berangkat dari latar belakang masalah di atas, penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang lengkap terkait analisis LCA pada produksi tahu bakso industri rumahan Sabrina yang terletak di Kota Semarang. Dengan struktur penelitian yang sistematis, diharapkan dapat memberikan panduan bagi pelaku usaha dan pemangku kepentingan dalam menghasilkan produk yang lebih berkualitas dan berkelanjutan. Penelitian ini juga diharapkan mampu memperkuat pemahaman akan keselarasan antara pertumbuhan ekonomi lokal dan konservasi lingkungan dalam konteks industri pangan rumahan di Indonesia.

2 Metode

Penelitian ini menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) *cradle to gate* (dari bahan baku sampai keluar pabrik) dengan pendekatan kuantitatif deskriptif. Analisis proses ini mengikuti standar internasional yang ditetapkan dalam ISO 14044 yang memberikan kerangka kerja untuk memancarkan dampak lingkungan dari produk,

sepanjang siklus hidupnya dari awal hingga akhir. Dalam konteks ini, analisis pada setiap tahapan LCA dilakukan menggunakan OpenLCA dengan dukungan database Ecoinvent 3.5. Berbagai alat ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi dan mengukur input serta output bahan dan energi, serta dampak lingkungan yang terkait dengan produksi tahu bakso.

Adapun objek dari penelitian ini, yaitu pada industri rumahan tahu bakso Sabrina di Kota Semarang. Data diperoleh melalui wawancara tidak terstruktur dengan pemilik usaha. Waktu penelitian terhitung dari bulan April-Juni 2025. Tahapan LCA yang dilakukan terdiri dari beberapa fase penting: definisi tujuan dan ruang lingkup, *Life Cycle Inventory (LCI)*, *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)*, dan interpretasi. Pada tahap awal, definisi tujuan dan cakupan ruang memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi aspek-aspek yang harus dianalisis serta menetapkan parameter yang relevan untuk studi ini. Selanjutnya, dalam fase LCI, data yang berkaitan dengan semua input dan output energi dan material dalam proses produksi dikumpulkan untuk membangun basis data yang lengkap dan akurat.

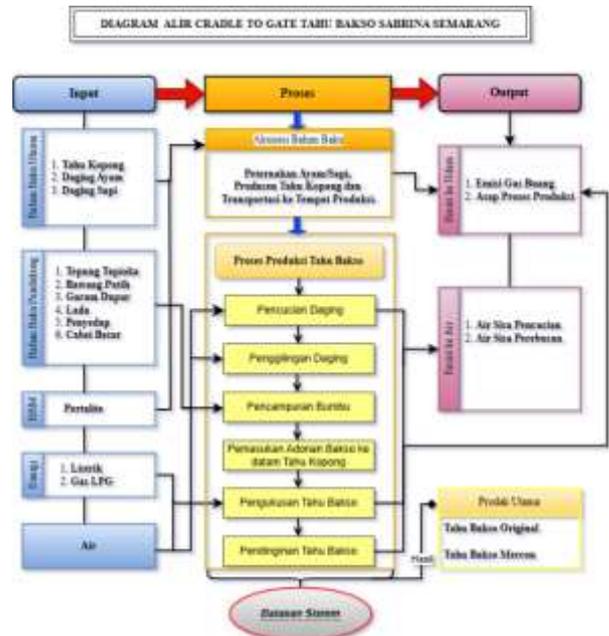
Setelah tahap analisis inventarisasi, dampak dilakukan menggunakan metode LCIA untuk memancarkan dampak lingkungan dari semua komponen dan proses yang terlibat dalam produksi tahu bakso. Pendekatan ini mencakup beberapa kategori dampak seperti potensi pemanasan global, eutrofikasi, dan pengurangan sumber daya, yang semuanya berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik tentang dampak total dari produk yang dihasilkan (Chitaka & Goga, 2023). Terakhir, tahap interpretasi merupakan aspek krusial di mana hasil analisis sebelumnya dijelaskan dan disajikan. Hasil penelitian ini dapat memberikan wawasan penting kepada pelaku usaha dan pemangku kepentingan tentang tindakan mitigasi yang perlu diambil, serta strategi untuk meningkatkan kelangsungan hidup serta mengurangi dampak negatif pada lingkungan dari proses produksi tahu bakso.

Selain itu, penerapan metode *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)* pada produksi tahu bakso juga memungkinkan dilakukan perbandingan antar skenario produksi untuk mengidentifikasi titik-titik kritis yang paling berkontribusi terhadap beban lingkungan. Misalnya, penggunaan energi pada tahap perebusan atau konsumsi air dalam proses pencucian kedelai dapat menjadi hotspot yang perlu dioptimalkan. Dengan demikian, LCIA tidak hanya menyoroti dampak lingkungan yang

muncul, tetapi juga memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan inovasi teknologi dan efisiensi proses produksi. Pendekatan ini membantu memastikan bahwa upaya pengurangan emisi dan penggunaan sumber daya dilakukan secara terarah, terukur, dan dapat dipertanggungjawabkan dalam kerangka keberlanjutan industri pangan berbasis UMKM.

3 Hasil dan Diskusi

Life Cycle Inventory (LCI)



Gambar 1. Diagram Alir Produksi

Gambar 1 di atas, merupakan batasan sistem LCA cradle to gate (dari bahan baku sampai keluar pabrik). Proses produksi tahu bakso skala rumahan di Industri Sabrina Kota Semarang terdiri atas tiga tahap utama: 1) input adalah semua sumber daya yang digunakan dalam proses produksi; 2) proses akuisisi bahan baku dan produksi yang meliputi: pencucian, penggilingan, pencampuran, pengisian adonan, pengukusan, dan pendinginan; 3) output berupa produk utama serta emisi yang dihasilkan. Tahapan awal adalah tahap input yang merupakan unit input bahan baku utama, bahan baku pendukung, bahan bakar minyak, energi, dan air. Dalam pembuatan tahu bakso, yang menjadi bahan baku utama, yaitu; tahu koyong, daging ayam, dan daging sapi. Selain bahan baku utama, dalam proses produksi tahu bakso membutuhkan yang namanya bahan baku pendukung; tepung tapioka, bawang putih, garam dapur, lada, penyedap, cabai besar. Di sisi lain, pertalite sebagai bahan bakar minyak yang merupakan unit input. Kemudian listrik dan gas LPG sebagai energi dalam tahap awal, dan air

menjadi sumber daya alam yang sangat penting dalam produksi tahu bakso.

Ketika tahap input telah tersedia, selanjutnya masuk pada tahap proses produksi. Akuisisi bahan baku merupakan proses penjemputan bahan baku utama, bahan baku pendukung, dan bahan bakar minyak. Tahu kopong diperoleh dari tempat produksi langsung, begitu juga dengan daging ayam dan sapi yang didapatkan dari peternakan yang sudah siap digiling. Produsen tahu bakso menjemput sendiri semua bahan baku tersebut menggunakan sepeda motor ke tempat produksinya. Dari akuisisi bahan baku, tahap berikutnya adalah proses produksi tahu bakso yang nantinya menjadi batasan sistem dalam penilaian dampak lingkungan. Proses produksi tahu bakso, diantaranya; pencucian daging, penggilingan daging, pencampuran bumbu, memasukkan adonan ke dalam tahu kopong, pengukusan tahu bakso, dan pendinginan. Setiap tahap input mengarah ke proses, baik proses akuisisi bahan baku dan proses produksi tahu bakso yang menjadi batasan sistem dalam penelitian ini.

Selanjutnya masuk pada tahap terakhir yang merupakan luaran dari proses panjang produksi tahu bakso. Output yang dihasilkan dari proses akuisisi bahan baku dan proses produksi tahu bakso, yang menyumbang dampak negatif terhadap lingkungan, berdasarkan Gambar 1 di atas, terdapat dua emisi yang menjadi dampak dari produksi tahu bakso; emisi ke udara dan emisi ke air. Emisi ke udara berkaitan dengan gas rumah kaca/gas buang dan asap proses produksi. Selain itu, emisi ke air juga menjadi output-nya yang didapatkan dari proses air sisa pencucian dan air sisa perebusan. Adapun produk utama dari proses produksi tahu bakso yaitu, tahu bakso original dan tahu bakso mercon.

Berdasarkan Analisis *Life Cycle Inventory* (LCI) menunjukkan, bahwa produksi 1000 unit tahu bakso membutuhkan bahan utama berupa 3 kg daging ayam, 0,5 kg daging sapi, dan 50 buah tahu kopong. Konsumsi energi terbesar terjadi pada tahap pengukusan, yaitu 138 MJ dari gas LPG untuk setiap 1000 unit tahu bakso dan penggunaan air sebesar 19 kg (dalam analisis LCA, air biasanya diukur dalam satuan kilogram (kg) karena satuan massa ini konsisten dan dapat digunakan untuk semua bentuk air). Nilai 138 MJ, relatif tinggi jika dibandingkan dengan studi pada industri tahu konvensional yang melaporkan konsumsi energi termal sekitar 90–110 MJ per 1000 unit produk (Herdhiansyah *et al.*, 2022; Nugroho *et al.*, 2024).

Perbedaan tersebut disebabkan oleh proses produksi tahu bakso yang lebih kompleks karena melibatkan tambahan bahan daging dan tepung serta waktu pengukusan yang lebih lama dibanding tahu biasa. Selain faktor kompleksitas bahan, tingginya konsumsi energi pada tahap pengukusan juga dipengaruhi oleh beberapa aspek lain. Pertama, tekstur adonan tahu bakso yang lebih padat dibanding tahu biasa, hal ini memerlukan waktu pengukusan lebih lama untuk memastikan kematangan merata. Kedua, kandungan air dan protein pada daging memerlukan panas lebih besar untuk mencapai tekstur matang. Ketiga, skala produksi rumah tangga menggunakan peralatan sederhana dengan efisiensi energi rendah sehingga terjadi pemborosan panas. Keempat, ketiadaan isolasi panas dan pemanfaatan ulang uap menyebabkan kebutuhan energi semakin meningkat. Sementara itu, tahap pencucian daging menggunakan 7 kg air, dan tahap penggilingan memerlukan 0,25 kWh listrik serta 1,9 kg air. Rangkuman input utama ditampilkan pada Tabel 1 sebagai berikut.

Table 1. Inventarisasi Produksi Tahu Bakso

Tahap Proses	Material / Energi Utama	Jumlah Penggunaan
Akuisisi bahan baku	Daging ayam	3,0 kg
	Daging sapi	0,5 kg
	Tahu	50 buah
Pencucian	Air	7,0 kg
Penggilingan	Listrik	0,25 kWh
	Air	1,9 kg
Pengukusan	Gas LPG	138 MJ
	Air	19,0 kg
Pendinginan	Listrik	0,1 kWh

Sumber: (Data Olahan, 2025).

Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Analisis dampak yang dihasilkan merupakan dampak dari proses tahu bakso sebanyak 1000 unit tahu bakso atau sebanyak 50 buah per hari. Proses pembuatan tahu bakso yang terdiri dari proses akuisisi bahan baku, pencucian daging, penggilingan daging, pencampuran bumbu, memasukkan adonan ke dalam tahu, pengukusan tahu bakso, dan pendinginan tahu bakso.

Hasil analisis dampak lingkungan menunjukkan bahwa tidak semua tahap berkontribusi secara sama terhadap beban lingkungan. Empat tahap dengan kontribusi paling menonjol adalah: akuisisi bahan baku, pencucian daging, pengukusan, dan pendinginan. Berikut hasil analisis LCIA dari empat proses yang memiliki dampak terhadap lingkungan. Adapun rangkuman keempat dampak tersebut, peneliti sajikan dalam bentuk bagan yang dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Akuisisi bahan baku

Tahapan awal dalam rantai produksi tahu bakso, yakni akuisisi bahan baku, menunjukkan tingkat kontribusi tertinggi terhadap berbagai kategori dampak lingkungan berdasarkan pendekatan Life Cycle Assessment (LCA). Proses ini melibatkan perolehan berbagai input penting seperti tahu, daging, air, dan energi, yang secara keseluruhan berperan besar dalam membentuk jejak lingkungan dari sistem produksi.

Pada kategori potensi pemanasan global (*Global Warming Potential/GWP*), emisi gas rumah kaca yang berasal dari proses ini mencapai nilai sebesar 0,0225 kg CO₂-Eq (lihat Gambar 2) untuk batas bawah dan atas, yang mengindikasikan tingginya intensitas karbon dari kegiatan terkait. Hal ini umumnya bersumber dari proses pertanian, distribusi logistik, dan penggunaan energi berbasis fosil selama pengadaan bahan mentah. Dampak signifikan lainnya tampak dalam kategori toksisitas terhadap manusia (*human toxicity*), baik dalam cakupan waktu 20, 100, maupun 500 tahun, dengan nilai yang konsisten sebesar 0,00540576 kg 1,4-DCB-Eq (lihat Gambar 2). Nilai ini menggambarkan eksistensi senyawa berbahaya yang berpotensi mengganggu kesehatan manusia, yang kemungkinan besar berasal dari penggunaan bahan kimia dalam pertanian serta emisi dari transportasi dan proses

pengolahan awal. Temuan ini mengindikasikan bahwa tahapan akuisisi bahan mentah merupakan sumber utama tekanan lingkungan dalam sistem produksi tahu bakso. Kondisi ini sejalan dengan temuan Sari *et al.*, (2021) yang menegaskan bahwa transportasi kedelai di industri tahu Jakarta Barat menjadi penyumbang utama emisi karbon

Selain itu, pada aspek potensi pengasaman lingkungan (*acidification potential*), nilai tertinggi tercatat sebesar 0,00321 kg SO₂-Eq (pendekatan generik), dan 0,002322 kg SO₂-Eq (pendekatan rerata Eropa). Ini menunjukkan bahwa aktivitas pada tahap ini berkontribusi terhadap peningkatan emisi senyawa asam seperti sulfur dioksida, yang dapat merusak ekosistem darat maupun perairan melalui fenomena hujan asam.

Adapun untuk potensi eutrofikasi (*eutrophication potential*) yang berkaitan dengan akumulasi nutrisi berlebih seperti fosfor dan nitrogen di lingkungan akuatik diperoleh nilai sebesar 0,0054 kg NO_x-Eq dan 0,000585 kg PO₄-Eq. Akumulasi nutrisi ini berpotensi menyebabkan gangguan keseimbangan ekosistem air, seperti ledakan populasi alga dan penurunan kadar oksigen.

Sementara itu, dampak dari oksidasi fotokimia (*photochemical oxidation*) tercatat sebesar $2,88 \times 10^{-6}$ kg ethylene-Eq, yang meskipun relatif kecil, tetap menunjukkan adanya kontribusi terhadap pembentukan ozon di lapisan troposfer, yang bisa berdampak pada kualitas udara dan kesehatan manusia, khususnya di wilayah perkotaan atau area industri padat.

Pencucian daging

Proses pencucian daging dalam siklus produksi tahu bakso menunjukkan kontribusi yang sangat rendah terhadap keseluruhan dampak lingkungan yang dianalisis. Dalam hal ini, satu-satunya kategori dampak yang teridentifikasi berasal dari potensi eutrofikasi (*eutrophication potential*), dengan nilai sebesar $7,62 \times 10^{-6}$ kg PO₄-Eq berdasarkan pendekatan generik tanpa batas waktu (*without long term*). Meski kecil, proses ini tetap penting diperhatikan mengingat penggunaan air yang tinggi dapat memengaruhi ketersediaan air bersih dalam jangka panjang.

Pengukusan tahu bakso

Tahap pengukusan dalam proses produksi tahu bakso memberikan kontribusi yang sangat signifikan terhadap kategori eutrofikasi (*eutrophication potential*). Nilai yang tercatat dalam pendekatan generik tanpa batas waktu adalah sebesar 17.600 kg PO₄-Eq (lihat Gambar

2), sebuah angka yang sangat tinggi dibandingkan dengan tahapan lainnya dalam siklus produksi. Potensi eutrofikasi yang sangat besar ini menunjukkan adanya kemungkinan pelepasan zat-zat seperti fosfat atau senyawa nitrogen ke lingkungan perairan, yang dapat memicu gangguan serius pada keseimbangan ekosistem akuatik. Dampak eutrofikasi yang ekstrem ini dapat menyebabkan fenomena seperti ledakan populasi alga (*algal bloom*), penurunan kadar oksigen terlarut (*hypoxia*), dan kematian massal organisme air seperti ikan. Tingginya nilai ini kemungkinan besar terkait dengan penggunaan energi intensif selama proses pemanasan, serta potensi pencemaran dari uap atau limbah hasil proses pengukusan apabila tidak dikelola dengan benar. Dampak besar dari tahap ini konsisten dengan studi Herdhiansyah et al., (2022) dan Nugroho et al., (2024), yang melaporkan bahwa proses pemasakan dalam industri tahu menyumbang emisi dan polutan terbesar.

Pendinginan

Oksidasi fotokimia (*photochemical oxidation*), mencerminkan potensi pembentukan ozon troposfer akibat emisi senyawa reaktif seperti hidrokarbon dan nitrogen oksida, tercatat nilai sebesar $5,59 \times 10^{-6}$ kg ethylene-Eq (lihat Gambar 2). Nilai ini, meskipun kecil, tetap menandakan adanya potensi pencemaran udara akibat proses pendinginan, terutama bila energi yang digunakan berasal dari sumber berbasis fosil. Kategori toksisitas terhadap manusia (*human toxicity*) juga menunjukkan nilai yang sama dalam ketiga pendekatan waktu (*infinite*, 20a, 500a), yaitu sebesar $1,12 \times 10^{-5}$ kg 1,4-DCB-Eq. Angka ini menunjukkan bahwa terdapat potensi pelepasan zat berbahaya yang berdampak terhadap kesehatan manusia dari proses ini, kemungkinan berkaitan dengan emisi tak langsung dari pembangkit energi atau bahan pendingin yang digunakan dalam sistem refrigerasi.

Dari sisi perubahan iklim (*climate change*), yaitu berdasarkan *lower limit* dari potensi pemanasan global, tercatat kontribusi sebesar $1,12 \times 10^{-5}$ kg CO₂-Eq. Meskipun nilainya jauh lebih kecil dibanding tahapan akuisisi bahan baku, tetap mencerminkan adanya emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari konsumsi energi pada proses ini. Kategori lain yang juga terpengaruh adalah potensi pengasaman lingkungan (*acidification potential*) dengan pendekatan rerata Eropa. Nilai yang tercatat adalah 0,00011664 kg SO₂-Eq dan 0,000139968 kg SO₂-Eq, yang mencerminkan emisi senyawa asam seperti sulfur dioksida (SO₂) ke atmosfer. Emisi ini dapat berdampak pada keasaman tanah dan perairan,

serta berkontribusi terhadap fenomena hujan asam bila tidak ditangani dengan baik.

Hasil LCA menunjukkan bahwa pengukusan merupakan titik kritis (*hotspot*) dalam produksi tahu bakso, baik dari sisi konsumsi energi maupun dampak terhadap lingkungan perairan. Hal ini memperkuat urgensi penerapan strategi efisiensi energi, misalnya melalui isolasi panas atau substitusi energi LPG dengan biogas.

Selain itu, akuisisi bahan baku juga menjadi isu penting. Jarak transportasi yang cukup jauh dan penggunaan input peternakan yang tidak ramah lingkungan meningkatkan kontribusi karbon. Oleh karena itu, penggunaan pemasok lokal dan bahan baku rendah kimia dapat menjadi alternatif mitigasi.

Jika dibandingkan dengan penelitian serupa di industri tahu konvensional Herdhiansyah et al., (2022) dan Sari et al., (2021) pola dampak yang dihasilkan memiliki kesamaan, yakni dominasi emisi pada tahap pemasakan. Dengan demikian, intervensi pada tahap ini diyakini mampu memberikan reduksi dampak paling signifikan.

Lebih jauh, hasil penelitian ini sejalan dengan tren kebijakan energi nasional yang mendorong industri pangan kecil untuk mengadopsi energi terbarukan serta pengelolaan limbah terpadu (Centre, 2025). Penerapan teknologi sederhana seperti pemanfaatan biogas, daur ulang air pencucian, serta pengomposan limbah organik tidak hanya berpotensi menurunkan jejak lingkungan, tetapi juga menambah nilai ekonomi bagi pelaku usaha kecil.

4 Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa produksi tahu bakso skala rumahan memiliki dua titik kritis utama yang paling berkontribusi terhadap dampak lingkungan, yaitu tahap pengukusan dan akuisisi bahan baku. Tahap pengukusan menyumbang potensi eutrofikasi yang sangat tinggi, sedangkan akuisisi bahan baku berdampak besar terhadap pemanasan global dan toksisitas manusia. Sementara itu, tahap pencucian dan pendinginan memberikan kontribusi relatif kecil namun tetap signifikan pada penggunaan energi dan air. Implikasi praktis dari temuan ini adalah perlunya penerapan strategi produksi berkelanjutan melalui: (1) efisiensi energi, misalnya dengan isolasi panas dan pemanfaatan biogas sebagai substitusi LPG; (2) pemilihan bahan baku lokal dan ramah lingkungan untuk mengurangi jejak transportasi; serta (3) pengelolaan limbah melalui daur ulang air pencucian dan pemanfaatan limbah organik menjadi kompos atau energi alternatif.

Penelitian ini juga membuka ruang bagi kajian lebih lanjut terkait evaluasi teknologi ramah lingkungan di industri pangan rumahan, serta analisis biaya manfaat penerapan energi terbarukan dalam produksi tahu bakso. Dengan demikian, hasil ini tidak hanya berkontribusi pada pengembangan ilmu *Life Cycle Assessment* di sektor pangan, tetapi juga mendukung tercapainya praktik produksi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan di tingkat usaha kecil.

5 Referensi

- Amrullah, E., & Yasmi, M. R. (2023). Model Pengukuran Kinerja Rantai Pasok Berkelanjutan Pada Industri Kecil: Systematic Literatur Review. *INTECOMS: Journal of Information Technology*, 6(2), 838–852. <https://doi.org/10.31539/intecom.v6i2.7151>
- Centre, C. (2025). *Decarbonising Indonesia's manufacturing sector: Case studies from the food and beverage, textile and chemical industries*.
- Chitaka, T. Y., & Goga, T. (2023). The Evolution of Life Cycle Assessment in the Food and Beverage Industry: A Review. In *Cambridge University Press*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/plc.2023.4>
- Firmansyah, A. A. (2023). Diversifikasi Roti Sorgum Lokal Unggulan Untuk Menuju Ketahanan Pangan Global Nusantara Yang Sehat. *EcoProfit: Sustainable and Environment Business*, 1(1), 34–46. <https://doi.org/10.61511/ecoprofit.v1i1.2023.104>
- Herdhiansyah, D., Sari, S. A., Sakir, S., & Asriani, A. (2022). The implementation of life cycle assessment (LCA) in the processing industry Tofu: A case study of Konawe Selatan district, Indonesia. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 27(4), 1–11. <https://doi.org/10.14456/apst.2022.57>
- Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2014). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. In <https://jdih.maritim.go.id/>. <https://jdih.maritim.go.id/en/peraturan-menteri-negara-lingkungan-hidup-no-5-tahun-2014>
- Kristanto, E., Dwi Pramono, R. W., & Hadianti, A. (2023). Produktivitas Penggunaan Lahan Perkotaan Di Pulau Jawa. *Jurnal Multidisiplin West Science*, 2(07), 523–533. <https://doi.org/10.58812/jmws.v2i07.496>
- Kurniawan, J. H., & Nuringsih, K. (2022). Pengaruh Orientasi Pasar, Orientasi Kewirausahaan, Dan Media Sosial Terhadap Kinerja Umkm Makanan Khas Jambi. *Jurnal Muara Ilmu Ekonomi Dan Bisnis*, 6(1), 176. <https://doi.org/10.24912/jmie.v6i1.13357>
- Li, T., Zhan, C., Guo, G., Liu, Z., Hao, N., & Ouyang, P. (2021). Tofu processing wastewater as a low-cost substrate for high activity nattokinase production using *Bacillus subtilis*. *BMC Biotechnology*, 21(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12896-021-00719-1>
- Ningsih, L. M., Mazancová, J., Hasanudin, U., & Roubík, H. (2024). Energy audits in the tofu industry; an evaluation of energy consumption towards a green and sustainable industry. *Environment, Development and Sustainability*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05109-z>
- Nugroho, M. E., Setyono, P., & Rachmawati, S. (2024). Analisis Emisi Gas Rumah Kaca Dengan Life Cycle Assessment (LCA) Dan Analytical Hierarchy Process (AHP) Industri Tahu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(6), 1504–1512. <https://doi.org/10.14710/jil.22.6.1504-1512>
- Putu Rossanty, N. L., Daud, S., Anisah, A., & Armawati, A. (2022). Penyuluhan Wirausaha Home Industry Untuk Meningkatkan Kreativitas Karang Taruna Desa Matansala. *Sasambo: Jurnal Abdimas (Journal of Community Service)*, 4(4), 673–680. <https://doi.org/10.36312/sasambo.v4i4.903>
- Rizki, V. A., Raden, J. S., & Rimba Putri, I. R. (2023). Pengembangan Potensi Pangan Lokal Di Kecamatan Candimulyo Magelang. *Jurnal Masyarakat Madani Indonesia*, 2(2), 92–97. <https://doi.org/10.59025/js.v2i1.80>
- Sari, I., Kuniawan, W., & Sia, F. (2021). Dampak lingkungan produksi tahu di Jakarta Barat menggunakan pendekatan penilaian siklus hidup. *OP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 896)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1755-1315/896/1/012050>
- Supardi, N., Asjur, A. V., & Jusriani, R. (2024). Peningkatan Gemar Makan Ikan Pada Balita Melalui Pelatihan Diversifikasi Ikan Kembang Sebagai Strategi Pencegahan Stunting. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 8(1), 103. <https://doi.org/10.31764/jmm.v8i1.19625>

- Suryandani, S. (2018). Analisis Komparatif Pendapatan Agroindustri Tahu Dan Tempe Di Desa Cot Gapu Kecamatan Kota Juang Kabupaten Bireuen. *Jurnal Sains Pertanian (JSP)*, 2(5), 511– 523.
- Wahyuni, S., Samnuzulsari, T., Suryaningsih, S., Igiyasi, T. S., Niko, N., & Qurdiansyah, A. (2024). Membangun Kemandirian Ekonomi Perempuan Suku Laut Melalui Home Industry Berbasis Sumber Daya Dan Potensi Lokal Di Pulau Lipan Kabupaten Lingga. *Room of Civil Society Development*, 3(1), 21–29. <https://doi.org/10.59110/rcsd.304>
- Yarmaliza, Y., Farisni, T. N., Fitriani, F., Zakiyuddin, Z., Reynaldi, F., & Syahputri, V. N. (2022). Edukasi Ekonomi Kreatif Masyarakat Pesisir Menuju Ketahanan Pangan Keluarga Di Masa Pandemi Covid 19. *LOGISTA - Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(1), 27. <https://doi.org/10.25077/logista.6.1.27-31.2022>