

# Life Cycle Assessment Industri Pangan Indonesia: Tinjauan Naratif

Priscilla Jasmine Kurniadi<sup>1</sup>, Natalia Dwi Wulandari<sup>2</sup>, Natania Faylinn Anggunjaya<sup>3</sup>, Allegra Wijaya<sup>4</sup>, Nuhayati<sup>5\*</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Departemen Rekayasa Perangkat Lunak, Universitas Prasetiya Mulya, Tangerang, Indonesia, 15339

<sup>5</sup> Departemen Teknologi Pangan, Universitas Prasetiya Mulya, Tangerang, Indonesia, 15339

**Abstrak:** Studi ini melakukan tinjauan naratif penerapan LCA pada industri pangan Indonesia selama periode 2020-2025. Jenis produk, sistem batas yang digunakan, dan dampak terhadap lingkungan dari segi *global warming potential* (GWP) atau *greenhouse emission* (GHE). 11 artikel diperoleh dari pangkalan data Google Scholar untuk dianalisis lebih lanjut. Hasil menunjukkan variasi signifikan antarproduk, tahu, tempe, gula tebu, kakao, dan kopi, dengan nilai emisi variatif. Perbedaan disebabkan oleh sumber energi, skala produksi, serta batasan sistem analisis (*cradle-to-gate*, *gate-to-gate*, *cradle-to-grave*). Industri yang masih menggunakan bahan bakar biomassa atau fosil cenderung menghasilkan emisi lebih tinggi, sedangkan pendekatan artisan dan energi terbarukan menunjukkan efisiensi lebih baik. Secara umum, mayoritas studi masih terbatas pada tahap hulu hingga produksi, belum mencakup seluruh siklus hidup produk. Oleh karena itu, diperlukan perluasan analisis menuju *cradle-to-grave* serta penerapan inovasi proses rendah emisi dan prinsip ekonomi sirkular guna memperkuat transisi menuju industri pangan yang berkelanjutan secara lingkungan.

**Kata Kunci:** Emisi Karbon, Indonesia, Industri Pangan, Keberlanjutan, *Life Cycle Assessment*

DOI:

<https://doi.org/10.47134/ijat.v3i1.5393>

\*Correspondence: Nurhayati

Email: [nurhayati@prasetiyamulya.ac.id](mailto:nurhayati@prasetiyamulya.ac.id)

Received: 10-11-2025

Accepted: 23-12-2025

Published: 18-01-2026



**Copyright:** © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (BY SA) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** This study conducted a narrative review of the application of LCA in the Indonesian food industry during the period 2020-2025. The types of products, boundary systems used, and environmental impacts in terms of global warming potential (GWP) or greenhouse emissions (GHE) were analyzed. Eleven articles were obtained from the Google Scholar database for further analysis. The results showed significant variations between products, such as tofu, tempeh, cane sugar, cocoa, and coffee, with varying emission values. The differences were due to energy sources, production scale, and analysis system boundaries (*cradle-to-gate*, *gate-to-gate*, *cradle-to-grave*). Industries that still use biomass or fossil fuels tend to produce higher emissions, while artisanal approaches and renewable energy sources show greater efficiency. In general, the majority of studies are still limited to the upstream production stages and do not cover the entire product life cycle. Therefore, it is necessary to expand the analysis towards *cradle-to-grave* and apply low-emission process innovations and circular economy principles to strengthen the transition to an environmentally sustainable food industry.

**Keywords:** Carbon Emissions, Indonesia, Food Industry, Sustainability, Life Cycle Assessment

## Pendahuluan

Industri pangan menjadi salah satu pilar utama bagi perekonomian Indonesia. Pada triwulan 1 2024, kontribusi industri tersebut terhadap 39,91% Produk Domestik Bruto (PDB) non migas, dan 6,97% terhadap PDB nasional (Fadilah, 2024). Populasi yang besar, urbanisasi yang cepat, dan pola konsumsi yang terus berubah menjadikan industri pangan di Indonesia tidak hanya sebagai sumber pertumbuhan ekonomi, tetapi di lain sisi menjadi topik penting dalam isu keberlanjutan lingkungan. Rantai pasok yang panjang, mulai dari bahan baku, produksi, distribusi, hingga konsumsi dan limbah menyebabkan potensi dampak lingkungan yang kompleks, sehingga memerlukan perhatian serius untuk menekan efek buruk yang dapat disebabkan.

Dalam kerangka industri berkelanjutan, metode *Life Cycle Assessment* (LCA) telah diakui secara internasional sebagai pendekatan sistematis guna mengevaluasi dampak lingkungan sepanjang siklus hidup produk atau sistem. Metodologi ini didasarkan pada standar internasional seperti ISO 14040/ISO 14044 dan telah diterapkan secara luas di berbagai sektor manufaktur hingga agroindustri (Sánchez-Burgos et al., 2025). Dalam konteks Indonesia, beberapa studi ditemukan telah melakukan analisis LCA industri makanan dan minuman Indonesia. Contohnya studi LCA pada industri tahu di Surakarta, Lumajang menunjukkan bahwa kuantitas input proses meningkatkan limbah cair dan padat yang tidak bisa dikelola, sehingga menjadi kontributor utama dampak lingkungan pencemaran lingkungan perairan (Musyarofah et al., 2025). Studi lain terhadap industri gula juga menunjukkan bahwa rantai pasok dari tebu hingga menjadi produk gula menyumbang emisi gas rumah kaca, asidifikasi, dan eutrofikasi yang signifikan, mengindikasikan perlunya penanganan limbah yang optimal guna menurunkan dampak buruk industri terhadap lingkungan (Cahyana et al., 2023). Meskipun demikian, kajian sistematis penerapan LCA dalam industri pangan secara luas di Indonesia belum banyak tersedia. Studi terkini fokus pada jenis produk tunggal dan tahap tertentu dalam rantai pasok. Gambaran menyeluruh mengenai jenis industri, teknis analisis dampak lingkungan yang digunakan, serta pengaruh lingkungan yang dilaporkan masih kurang terpetakan.

Studi ini bertujuan untuk melakukan tinjauan naratif terhadap literatur ilmiah yang relevan mengenai LCA pada produk industri pangan di Indonesia dalam periode 2020-2025. Fokus kajian mencakup identifikasi jenis industri/produk yang diteliti, sistem yang dianalisis, dan juga pengaruh lingkungan yang dilaporkan dari segi pengaruh terhadap lingkungan berupa pemanasan global (*Global Warming Potential*, GWP) atau emisi rumah kaca (*Greenhouse Emission*, GHE). Tinjauan ini diharapkan dapat membentuk peta pemahaman terkini dan memberi rekomendasi pengembangan bagi penelitian dan praktik industri terkait keberlanjutan lingkungan.

## Metodologi

Studi dilakukan secara deskriptif dengan pendekatan tinjauan naratif untuk merangkum dan menganalisis berbagai publikasi ilmiah yang relevan mengenai topik *life cycle assessment* industri makanan dan minuman di Indonesia. Literatur berupa artikel penelitian diperoleh dari basis data ilmiah *Google Scholar* yang dipublikasikan pada 2020 - 2025 menggunakan kata kunci pada laman pencarian ("*life cycle assessment*", "*Indonesia*", "*pangan*", "*produk*"). Setiap publikasi dikumpulkan dan dilakukan seleksi, yakni melakukan studi analisis daur hidup pada berbagai jenis industri pangan di Indonesia dan

diperoleh 11 artikel relevan. Setiap artikel dianalisis untuk mengidentifikasi jenis industri, ruang lingkup analisis dampak, dan pengaruhnya terhadap lingkungan, ditinjau dari dampak kinerja industri pada kondisi iklim.

## Hasil dan Pembahasan

### Overview Life Cycle Assessment

*Life Cycle Assessment* (LCA) merupakan metode analitis yang mengevaluasi beban lingkungan dari suatu produk, proses, atau sistem sepanjang daur hidupnya (Conradi-Galnares et al., 2025). LCA menekankan prinsip siklus hidup yang tidak menyebabkan pemindahan masalah, misalnya penurunan beban lingkungan di satu tahap menyebabkan peningkatan beban di tahap lainnya. Selain itu, metode ini memastikan transparansi, keterbukaan, kelengkapan, dan konsistensi dalam batas sistem, data, dan metode yang digunakan (Mudersbach et al., 2023).

LCA dilakukan dalam empat tahapan utama, yakni perumusan definisi dan ruang lingkup (*goal and scope definition*), inventarisasi data hidup (*life cycle inventory, LCI*), penilaian dampak (*life cycle impact assessment, LCIA*), dan interpretasi (*interpretation*), dan pelaporan hasil. Dalam pelaksanaannya, ditetapkan batasan sistem atau tahap yang dianalisis. Batasan sistem terdiri atas *cradle-to-grave* yang menilai seluruh siklus hidup, *cradle-to-gate* yang menilai siklus dari bahan baku sampai titik produk keluar dari fasilitas produksi, *gate-to-grave* yang menilai proses hilir dari tahap penggunaan produk hingga akhir masa pakai, dan juga sistem *gate-to-gate* yang terbatas pada penilaian dampak lingkungan pada tahap produksi (Kaynak et al., 2025). Implementasi LCA melalui alur dan sistem tersebut akan menghasilkan dampak lingkungan yang bisa dijadikan acuan untuk memodifikasi proses sehingga diperoleh proses dengan dampak paling minim pada seluruh siklus.

### Dampak Industri Pangan Indonesia terhadap Lingkungan

Tinjauan naratif menghasilkan 11 artikel relevan yang dipublikasikan pada tahun 2020-2025. Jenis produk industri yang dilaporkan terdiri atas tahu, tempe, gula tebu, produk kakao, dan produk kopi. Literatur revidu terhadap ke-15 artikel tersebut disajikan pada tabel 1.

**Tabel 1.** Literatur Revidu

Produk	Ruang Lingkup	Dampak Lingkungan	Referensi
	<i>Cradle-to-gate</i>	0,978 kg CO <sub>2</sub> -ekuivalen/kg tahu	(Sari et al., 2021)
Tahu	<i>Cradle-to-gate</i>	16,1043 kg CO <sub>2</sub> -ekuivalen/kg tahu	(Lolo et al., 2021)
	<i>Gate-to-gate</i>	11,2451 kg CO <sub>2</sub> -ekuivalen/kg tahu	(Nugraha et al., 2024)
Tempe	<i>Gate-to-gate</i>	0,619866 kg CO <sub>2</sub> -ekuivalen/kg tempe	(Supartono et al., 2020)
Gula Tebu	<i>Gate-to-gate</i>	0,2926 kg CO <sub>2</sub> -ekuivalen/kg gula tebu	(Ketrin & Rosariawari, 2024)

Produk	Ruang Lingkup	Dampak Lingkungan	Referensi
	<i>Cradle-to-gate</i>	1,44 kg CO <sub>2</sub> -ekuivalen/kg <i>dark chocolate</i> (termasuk kemasan)	(Nur et al., 2023)
Produk Kakao	<i>Cradle-to-gate</i>	73,1 kg CO <sub>2</sub> -ekuivalen/kg <i>dark chocolate</i> (termasuk kemasan)	(Dianawati et al., 2023)
	<i>Cradle-to-grave</i>	0,398 kg CO <sub>2</sub> -ekuivalen/kg <i>chocolate liquor</i> (termasuk kemasan)	(Darmawan & Mutalib, 2024)
	<i>Cradle-to-gate</i>	1,204 kg CO <sub>2</sub> -ekuivalen/kg kopi arabika bubuk organik	(Novita & Irfani, 2023)
Produk Kopi	<i>Cradle-to-gate</i>	Natural: 0,676; Anaerobik: 0,702; Lactic: 1,168; Hydro Honey: 0,788; Carbonic Maceration:0,713; masing-masing dalam satuan kg CO <sub>2</sub> -ekuivalen/kg kopi bubuk	(Irawan et al., 2024)
	<i>Cradle-to-gate</i>	187,5 kg CO <sub>2</sub> -ekuivalen/kg kopi robusta dekafeinasi	(Shofinita et al., 2025)

LCA pada industri pangan Indonesia, yang dampaknya dinyatakan dalam emisi kg CO<sub>2</sub>-ekuivalen, mengungkapkan keragaman signifikan dalam dampak lingkungan antarproduk dan antarstudi, menyoroti kompleksitas identifikasi hotspot emisi. Secara umum, batasan sistem studi mencakup *Cradle-to-gate*, *Gate-to-gate*, dan *Cradle-to-grave*, yang masing-masing memberikan perspektif dampak yang berbeda, mulai dari hulu-ke-pabrik hingga keseluruhan daur hidup produk.

Analisis kritis terhadap studi produk tahu menunjukkan adanya anomali data yang membutuhkan eksplorasi lebih lanjut. Ditemukan variasi GWP yang ekstrem, di mana satu studi *Gate-to-gate* melaporkan 11,245 kg CO<sub>2</sub>-ekuivalen/kg tahu (Nugraha et al., 2024), jauh lebih tinggi dibandingkan hasil *Cradle-to-gate* pada studi lain, 0,978 kg CO<sub>2</sub>-ekuivalen/kg tahu (Sari et al., 2021). Secara teoritis, dampak *Cradle-to-gate* seharusnya lebih besar atau setara, karena mencakup tahapan bahan baku. Disparitas ini disebabkan adanya perbedaan krusial dalam metodologi atau identifikasi *hotspot* emisi yang sangat tinggi pada proses pengolahan, seperti penggunaan bahan bakar yang tidak efisien atau emisi dari pengolahan limbah. Nugraha et al., (2024) menyebutkan bahwa proses pemasakan menjadi sumber emisi tertinggi karena bahan bakarnya menggunakan kayu bakar, sementara proses pemasakan pada studi Sari et al., (2021) menggunakan listrik. Lebih lanjut, studi Lolo et al., (2021) yang menganalisis sumber emisi tertinggi pada studi LCA tahu menunjukkan bahwa penggunaan sisa gergaji kayu dan biogas sebagai bahan bakar produksi tahu menjadi sumber emisi terbesar. Temuan ini mempertegas bahwa perbedaan bahan bakar menjadi salah satu faktor penentu emisi total yang akan ditimbulkan oleh proses, mengingat pembakaran kayu menyebabkan pelepasan *asa* yang mengandung CO<sub>2</sub> dalam jumlah besar ke atmosfer (Tika Ram & Hom Bahadur, 2020).

Studi terhadap industri tempe dan gula yang dilaporkan saat ini mencakup sistem *Gate-to-gate*. Tempe merupakan produk pangan lokal Indonesia yang banyak diminati,

dengan tingkat konsumsi 7,072 kg per kapita per tahun (Badan Pusat Statistik, 2024). Namun, kedelai yang menjadi bahan baku tempe hingga saat ini mayoritas masih dipasok oleh melalui impor luar negeri. Oleh karena itu, studi Gate-to-gate produksi tempe yang dilaporkan Supartono et al., (2020) dengan emisi 0,619866 kg CO<sub>2</sub>-ekuivalen/kg tempe dinilai belum merepresentasikan secara lengkap alur hidup dan dampak sebenarnya dari industri tersebut, sehingga dibutuhkan perluasan analisis terhadap industri tempe dari hulu ke hilir. Hal yang sama juga berlaku untuk gula tebu yang emisi produksinya mencapai 0,2926 kg CO<sub>2</sub>-ekuivalen/kg gula tebu sebagaimana dilaporkan oleh Ketrin & Rosariawari, (2024). Hal ini mengingatk pemrosesan tebu yang panjang, sehingga prosesnya perlu disesuaikan sedemikian sehingga diperoleh alternatif proses produksi yang meminimalisir sumber emisi.

Studi produk kakao berupa *dark chocolate* dan *liquor* menunjukkan perbedaan pada emisi yang dihasilkan. Studi oleh Nur et al., (2023) menunjukkan bahwa produk artisan menghasilkan emisi sebesar 1,44 kg CO<sub>2</sub>-ekuivalen/kg sementara studi oleh Dianawati et al., (2023) melaporkan emisi industri sebesar 73,1 kg CO<sub>2</sub>-ekuivalen/kg *dark chocolate*. Hal ini menunjukkan bahwa skala produksi yang besar, efisiensi proses yang rendah, serta rantai yang panjang bisa memperbesar emisi yang dihasilkan oleh satu jenis produk. Sementara itu, produk antara *dark chocolate (chocolate liquor)* menghasilkan emisi sebesar 0,398 kg CO<sub>2</sub>-ekuivalen/kg, menunjukkan bahwa tahap manufaktur sangat berperan signifikan terhadap emisi yang dihasilkan. Hal ini didukung oleh studi yang menyebutkan bahwa tahap bahan baku dan manufaktur produk kakao menghasilkan 70-97% emisi dari total seluruh siklus hidup (Wang & Dong, 2024).

Studi LCA terhadap produk turunan kopi pada sistem *Cradle-to-gate* berupa kopi bubuk dengan berbagai jenis dan pemrosesan menunjukkan hasil yang variatif. Novita & Irfani, (2022) melaporkan emisi sebesar 1,204 kg CO<sub>2</sub>-ekuivalen/kg kopi arabika bubuk organik dengan metode *wet process*, Irawan et al., (2024) melaporkan berbagai nilai emisi untuk beberapa metode pengolahan (0,676-1,168 kg CO<sub>2</sub>-ekuivalen/kg kopi bubuk). Shofinita et al., (2025) melaporkan nilai emisi sebesar 187,5 kg CO<sub>2</sub>-ekuivalen/kg. Variasi ekstrim ini mempertegas pengaruh proses terhadap emisi yang dihasilkan. Meski kopi yang diproses dengan organik yang memberikan efek lebih baik terhadap lingkungan dibandingkan kopi dengan pupuk non-organik (Rahmah et al., 2022), metode pemrosesan yang melibatkan jumlah air lebih banyak atau pelarut untuk mengekstrak kafein dari kopi berkontribusi terhadap peningkatan emisi. Namun, perlu dipahami bahwa pemrosesan kopi berkontribusi signifikan terhadap karakteristik sensori yang memiliki pangsa pasar tertentu (Elhalis et al., 2023). Hal ini mendorong perlunya inovasi proses yang menghasilkan karakter sensori unik dengan metode yang lebih ramah lingkungan.

## Simpulan

Tinjauan naratif *life cycle assessment* (LCA) industri pangan Indonesia periode 2020-2025 menunjukkan variasi emisi antarproduk dan antarstudi, mencerminkan kompleksitas proses produksi, perbedaan metodologi, batasan sistem, dan efisiensi energi di tiap sektor. Produk tahu, tempe, gula tebu, kakao, dan kopi menampilkan profil emisi yang beragam; perbedaan signifikan disebabkan oleh sumber energi yang digunakan, skala industri, dan

tahap proses yang dianalisis. Industri berbasis bahan bakar fosil atau biomassa terbukti menjadi penyumbang utama emisi, sementara pendekatan artisan dan penggunaan energi terbarukan relatif lebih efisien. Selain itu, sebagian besar studi masih terbatas pada sistem *Cradle-to-gate* dan *Gate-to-gate*, sehingga belum sepenuhnya mencerminkan dampak keseluruhan siklus hidup produk. Oleh karena itu, diperlukan perluasan ruang lingkup penelitian menuju *Cradle-to-grave* untuk mengetahui kontribusi nyata dari tahap penggunaan dan pembuangan produk. Di sisi lain, hasil studi menegaskan perlunya inovasi teknologi produksi rendah emisi, optimalisasi sumber energi, penerapan praktik keberlanjutan seperti efisiensi energi, pemanfaatan limbah organik, dan pendekatan ekonomi sirkular. Tinjauan ini membentuk dasar penting bagi pengembangan peta pemahaman LCA sektor pangan di Indonesia serta menjadi landasan bagi pengambil kebijakan dan pelaku industri untuk merancang strategi mitigasi emisi dan memperkuat transisi menuju sistem pangan yang berkelanjutan secara lingkungan.

## Referensi

- Badan Pusat Statistik. (2024). Rata-rata konsumsi per kapita seminggu beberapa macam bahan makanan penting, 2007-2024—Tabel Statistik—Badan Pusat Statistik Indonesia. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/OTUwIzE=/rata-rata-konsumsi-per-kapita-seminggu-beberapa-macam-bahan-makanan-penting--2007-2023.html>
- Cahyana, A. S., Sugiarti, I., Marodiah, I., dan Nurmalasari, I. R. (2023). Life cycle assessment of sugar industry supply chain: A comprehensive analysis of environmental impacts. *Academia Open*, 8(1). <https://doi.org/10.21070/acopen.8.2023.7114>
- Conradi-Galnares, E., Blandón-González, B., dan Marrero-Meléndez, M. (2025). Life cycle assessment (LCA) fundamental principles. In P. Mercader-Moyano & P. Porras-Pereira (Eds.), *Life Cycle Analysis Based on Nanoparticles Applied to the Construction Industry* (pp. 27–41). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-79115-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-79115-4_2)
- Darmawan, D., dan Mutalib, A. (2024). Evaluation of environmental impact on cocoa production and processing under life cycle assessment method: From beans to liquor. *Environmental Advances*, 15, 100481. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100481>
- Dianawati, D., Indrasti, N. S., Ismayana, A., Yuliasih, I., dan Djatna, T. (2023). Carbon Footprint analysis of cocoa product Indonesia using life cycle assessment methods. *Journal of Ecological Engineering*, 24(7), 187–197. <https://doi.org/10.12911/22998993/164750>
- Fadilah, I. (2024). Industri makanan & minuman RI moncer, memperin sebut ekspor tembus Rp 237 T. *detikFinance*. <https://finance.detik.com/industri/d-7473754/industri-makanan-minuman-ri-moncer-menperin-sebut-ekspor-tembus-rp-237-t?single=1>
- Irawan, A., Rabemanolontsoa, H., dan McLellan, B. C. (2024). Comprehensive environmental impact analysis of dry processing methods for specialty coffee beans in Bondowoso, Indonesia using life cycle assessment. *Biomass*, 4(3), 843–864. <https://doi.org/10.3390/biomass4030047>

- Kaynak, E., Piri, I. S., dan Das, O. (2025). Revisiting the basics of life cycle assessment and lifecycle thinking. *Sustainability*, 17(16), 7444. <https://doi.org/10.3390/su17167444>
- Ketrin, E., dan Rosariawari, F. (2024). Identifikasi dampak lingkungan dengan metode pendekatan life cycle assessment pada proses produksi pabrik gula. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(3), 9301–9308.
- Lolo, E. U., Gunawan, R. I., Krismani, A. Y., dan Pambudi, Y. S. (2021). Penilaian dampak lingkungan industri tahu menggunakan life cycle assessment (studi kasus: Pabrik tahu Sari Murni kampung Krajan, Surakarta). *Jurnal Serambi Engineering*, 6(4), 2337–2347. <https://doi.org/10.32672/jse.v6i4.3480>
- Mudersbach, M., Jürgens, M., Pohler, M., Spierling, S., Venkatachalam, V., Endres, H., dan Barner, L. (2023). Life cycle assessment in a nutshell—Best practices and status quo for the plastic sector. *Macromolecular Rapid Communications*, 46(8), 2300466. <https://doi.org/10.1002/marc.202300466>
- Musyarofah, A. A. S., Nuraeni, M. I., Rohmania, Q., Asyiah, I. N., dan Nuriman, N. (2025). Analisis produksi bersih berbasis life cycle assessment (LCA) pada industri tahu di Lumajang. *EDUPROXIMA: Jurnal Ilmiah Pendidikan IPA*, 7(1), 136–146. <https://doi.org/10.29100/.v7i1.5887>
- Novita, E., dan Irfani, M. E. (2023). Life cycle assessment of organic arabica coffee products. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 12(1), 186. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v12i1.186-200>
- Nugraha, A., Wahyu, Larassati, D., Putri, dan Wulandari, A., Dwi. (2024). The greenhouse gas analysis using life cycle assessment (LCA) in small scale tofu industry. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 34(2), 140–148. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2024.34.2.140>
- Nur, T., Hidayatno, A., Setiawan, A. D., Komarudin, K., dan Suzianti, A. (2023). Environmental impact analysis to achieve sustainability for artisan chocolate products supply chain. *Sustainability*, 15(18), 13527. <https://doi.org/10.3390/su151813527>
- Sánchez-Burgos, M. A., Conradi-Galnares, E., dan Dragatogiannis, D. (2025). Life cycle assessment (LCA) methodology. In P. Mercader-Moyano & P. Porrás-Pereira (Eds.), *Life Cycle Analysis Based on Nanoparticles Applied to the Construction Industry* (pp. 43–58). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-79115-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-031-79115-4_3)
- Sari, I. P., Kuniawan, W., dan Sia, F. L. (2021). Environmental impact of tofu production in West Jakarta using a life cycle assessment approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 896(1), 012050. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/896/1/012050>
- Shofinita, D., Lestari, D., Fiorine, F., Rochili, A., Raksajati, A., dan Achmadi, A. (2025). Life cycle assessment of decaffeinated coffee beans production. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 57(3), 315–326. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2025.57.3.3>

- 
- Supartono, W., S, A. F., D, I. S., P, K. S., S, M. F., dan R, M. R. (2020). Implementation of life cycle assessment on tempeh production at “Tempe Ibu Sujati”, Yogyakarta. *Agroindustrial Journal*, 7(2), 496. <https://doi.org/10.22146/aij.v7i2.64650>
- Tika Ram, P., dan Hom Bahadur, R. (2020). Hourly firewood consumption patterns and CO2 emission patterns in rural households of Nepal. *Designs*, 4(4), 46. <https://doi.org/10.3390/designs4040046>
- Wang, S., dan Dong, Y. (2024). Applications of life cycle assessment in the chocolate industry: A state-of-the-art analysis based on systematic review. *Foods*, 13(6), 915. <https://doi.org/10.3390/foods13060915>