

PENILAIAN DAMPAK LINGKUNGAN PROSES PRODUKSI TAHU DI JAKARTA BARAT MENGGUNAKAN METODE LIFE CYCLE ASSESSMENT

Environmental Impact Assessment of Tofu Production Process in West Jakarta using Life Cycle Assessment Method

Indah Permata Sari^{1*)}, Ferren Liling Sia²⁾, Anik Nur Habyba³⁾, Wawan Kurniawan⁴⁾

^{1,2,3,4)} Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti
e-mail : ¹⁾indah.permatasari@trisakti.ac.id ²⁾lieferren@gmail.com ³⁾anik@trisakti.ac.id
⁴⁾wawan.kurniawan@trisakti.ac.id

Abstract

The Indonesian population likes and demands processed soy products like tofu and tempeh. The daily mass production of tofu may have a detrimental effect on the environment. Using the Life Cycle Assessment approach, this study examines the environmental impact of the tofu production process in West Jakarta from cradle - to - grave. The 35 kg of tofu produced in each production batch served as the study's functional unit. The process of cultivating and transporting soybeans to the factory was included in the environmental impact analysis process. Tofu production data which includes washing, soaking, milling, cooking, screening, clumping and printing tofu were obtained from observational data, interviewing, and inventory data. and inventory data of the tofu production process. The equipment used such as plastic, stainless steel and wood tools are taken into account in the environmental impact analysis by taking into account the service life. The environmental impacts analyzed include the potential for global warming (GWP), acidification, the potential for depletion of the ozone layer (ODP), and eutrophication. Using Simapro software, environmental impact analysis was performed using the CML-IA methodology. The analysis's findings indicate that the following environmental effect values were produced: GWP of 34.2 kg CO₂ eq, acidification of 0.0551 kg SO₂ eq, ODP of 5.44E-7 kg CFC-11 eq, and eutrophication of 0 kg PO₄ eq. The process of cultivation and transportation of soybeans to the factory was the biggest contributor to the potential for global warming in tofu production.

Keywords: environmental impact; LCA; tofu production

PENDAHULUAN

Sebagian besar konsumsi kedelai di Indonesia berasal dari proses pembuatan tempe tempe, tahu, dan produk lain (Kristiningrum, Susanto, 2016). Tahu merupakan makanan yang mengandung protein yang dapat dikonsumsi sebagai pengganti daging. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), konsumsi tahu di Indonesia lebih tinggi dari konsumsi tempe. Sehingga produksi tahu juga akan tinggi seiring dengan meningkatnya permintaan dari konsumen.

Penilaian dampak lingkungan dari produk pangan yang dikonsumsi setiap hari dalam jumlah besar perlu dilakukan untuk mencapai industri pangan yang berkelanjutan. Salah satu metode yang efektif yang dapat digunakan adalah *Life cycle assessment* (LCA) (Ramos Huarachi, dkk. 2020). Konsumsi bahan dan energi dalam proses produksi suatu produk, mulai dari tahap perolehan bahan baku hingga konsumsi produk oleh konsumen dianalisis dengan metode LCA. Penerapan LCA pada industri tahu dilakukan sebagai bahan

pertimbangan dalam perbaikan proses produksi tahu sehingga dapat diterapkan proses produksi yang bersih dan berkelanjutan.

Studi tentang penerapan LCA pada produk pangan di Indonesia belum banyak dilakukan. Beberapa produk pangan yang telah dianalisis di Indonesia lingkungan antara lain produk tempe (Supartono et al., 2020) (Wiloso, dkk. 2019), minuman isotonic (Hamonangan et al., 2017), bihun tapioka (Dalimunthe, dkk. 2020), minuman herbal asam kunyit (Achmad Arba'i, Raden Faridz, 2019), produk susu (B Cahyaputri, Mo Yani, 2021) dan gula (Sirait, 2020). Ada beberapa peneliti yang telah menerapkan metode LCA pada produk tahu. Sukmana (2019), Kurniawati (2019) dan Rosyidah (2020) menggunakan LCA untuk menganalisis dampak lingkungan produk tahu dengan menggunakan batas sistem *gate-to-gate* yang hanya terfokus pada tahapan produksi tahu. Akan tetapi, perolehan bahan baku seperti budidaya kedelai dan transportasi kedelai ke pabrik tahu belum dianalisis sehingga penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menganalisis seluruh proses yang terlibat dalam pembuatan tahu sehingga perbaikan pada berbagai tahapan juga dapat dilaksanakan. Penelitian ini menggunakan batas sistem *cradle to gate* yang menganalisis proses budidaya kedelai dan transportasi kedelai ke pabrik tahu dalam menghitung dampak lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penilaian dampak lingkungan produk tahu dilakukan dengan menggunakan LCA yang terdiri dari empat tahapan utama, meliputi penetapan tujuan dan ruang lingkup, inventarisasi daur hidup (LCI), penilaian dampak daur hidup (LCIA) dan interpretasi (Wang, dkk. 2016).

Definisi Tujuan dan Ruang Lingkup

Definisi tujuan dan ruang lingkup adalah tahap awal dalam LCA. Penelitian

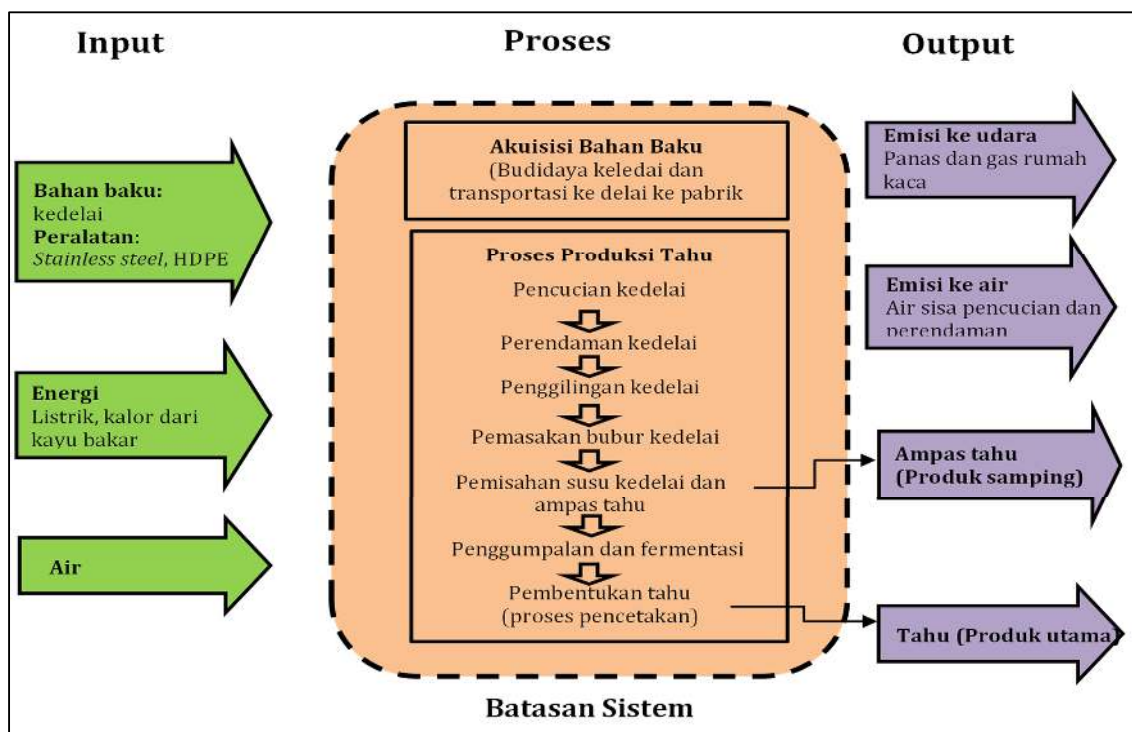
ini menggunakan batasan sistem *cradle to gate* dalam analisis dampak lingkungan produk tahu. Penelitian ini bertujuan untuk menilai dampak lingkungan dari seluruh proses yang terlibat dalam produksi tahu yang meliputi budidaya dan transportasi kedelai dan proses pembuatan tahu.

1. Unit fungsional

Satuan fungsional dalam penelitian ini adalah 35 kg tahu yang merupakan jumlah produksi tahu per batch.

2. Batasan sistem

Batas sistem *cradle to gate* digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari produksi tahu. Diagram sistem boundary pada Gambar 1 menunjukkan semua tahapan yang dianalisis dalam penelitian ini. Secara umum tahapan produksi tahu dikelompokkan menjadi dua tahapan, yaitu perolehan bahan baku dan tahapan pembuatan tahu. Perolehan bahan baku meliputi proses budidaya kedelai dan pengangkutan kedelai ke pabrik, sedangkan tahap produksi tahu meliputi proses pencucian, perendaman, penggilingan, pemasakan, penyaringan, penggumpalan dan pencetakan tahu.



Gambar 1. Diagram alir produksi tahu

3. Data and analysis

Perangkat lunak Simapro digunakan dalam penilaian dampak lingkungan produk tahu dengan memasukkan data input yang diperoleh di pabrik tahu. Data sekunder seperti data budidaya kedelai yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari database Ecoinvent. Dampak lingkungan yang meliputi potensi pemanasan global, potensi penipisan lapisan ozon, asidifikasi dan eutrofikasi dievaluasi menggunakan metode baseline CML-IA.

Inventarisasi Daur Hidup

Analisis menyeluruh dari semua tahapan dalam produksi tahu telah dilakukan dalam penelitian ini. Data budidaya kedelai dan transportasi kedelai ke pabrik tahu diperoleh dari database ecoinvent dan berbagai literatur. Sedangkan data pembuatan tahu diperoleh melalui observasi langsung selama proses produksi, wawancara dan pencatatan produksi oleh produsen. Tabel 1 menunjukkan data inventarisasi produksi tahu yang terdiri dari

data input dan output. Data input yang dianalisis meliputi bahan baku kedelai, air, energi dan peralatan yang digunakan selama proses produksi. Peralatan yang digunakan meliputi peralatan yang terbuat dari plastik, *stainless steel* dan kayu yang masa pakai alat tersebut diperhitungkan dalam analisis dampak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Inventarisasi

Analisis konsumsi bahan dan energi per batch produksi tahu dalam penelitian ini menggunakan metode LCA. Dalam satu batch produksi, dihasilkan 35 kg produk tahu. Bahan dan energi yang dikonsumsi dalam produksi 35 kg tahu disajikan pada Tabel 1. Sebagian besar kedelai yang merupakan bahan utama dalam proses produksi tahu diimpor dari Amerika. Database ecoinvent digunakan untuk menghitung dampak lingkungan dari budidaya kedelai di Amerika. Selain itu, proses pengangkutan bahan baku dari lokasi budidaya ke pabrik tahu juga dievaluasi. Pengiriman kedelai dari Amerika ke

Indonesia melalui beberapa moda transportasi diantaranya adalah transportasi kereta api untuk membawa kedelai dari lokasi budidaya kedelai ke pelabuhan-pelabuhan di Amerika. Selanjutnya kedelai diangkut ke pelabuhan-pelabuhan di Indonesia dengan kapal laut kemudian dikirim ke pabrik tahu dengan truk. Jarak yang ditempuh melalui laut diukur dengan Sea Distance sedangkan untuk transportasi darat digunakan Google Maps, hasil pengukuran jarak ini juga merujuk pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Wiloso (2019). Satuan yang dipakai dalam input jarak ini adalah tkm yang memasukkan massa kedelai yang dibutuhkan untuk

produksi 35 kg tahu sehingga satuan jarak km dapat dikonversi menjadi tkm.

Kedelai digunakan sebagai bahan baku dan air digunakan untuk membuat tahu. Selama produksi, peralatan HDPE dan stainless digunakan, yang kuantitas, massa, dan masa pakainya dihitung dalam analisis dampak lingkungan produk tahu. Energi listrik dan panas yang digunakan dalam pembuatan tahu dianalisis dalam penelitian ini. Penggunaan pompa air dan mesin penggiling kedelai merupakan sumber energi listrik sedangkan energi panas digunakan pada proses perebusan kedelai menggunakan kayu bakar.

Tabel 1. Data inventori produksi tahu

Proses	Input	Total
Akuisisi bahan baku: budidaya dan transportasi kedelai:	Biji kedelai (kg)	12.5
Chicago ke Portland Maine	Kereta api (tkm)	21.75
Portland Maine ke Cigading	Kapal (tkm)	172.79
Cigading ke Jakarta Barat (pabrik tahu)	Truk (tkm)	1.26
Pencucian kedelai	Kedelai (kg)	12.5
	Air (kg)	85.7
	Peralatan HDPE (kg)	0.031
Perendaman kedelai	Kedelai hasil cuci (kg)	12.5
	Air (kg)	28.57
	Peralatan HDPE (kg)	0.031
Penggilingan kedelai	Kedelai hasil rendam(kg)	15
	Listrik (kWh)	3.22
	Air (kg)	38.6
Pemasakan bubur kedelai	Bubur kedelai (kg)	53.6
	Air (kg)	57.14
	Listrik / kalor (MJ)	67.17
	Peralatan stainless steel (kg)	0.0075
	Transportasi (tkm)	0.375
Penyaringan susu kedelai	Bubur kedelai masak (kg)	107.14
	Air (kg)	31.07
	Peralatan fibre (kg)	0.0195
	Peralatan stainless steel (kg)	0.0075
Penggumpalan tahu	Susu kedelai (kg)	118.46
	koagulan (kg)	35.54
	Peralatan stainless steel (kg)	0.015
Pencetakan tahu	Gumpalan tahu (kg)	45
	Peralatan kayu (kg)	0.025

Analisis Dampak Lingkungan

Tahapan pembuatan tahu ditunjukkan pada Gambar 1 sedangkan nilai seluruh dampak lingkungan disajikan pada Tabel 2.

Produksi 35 kg tahu menghasilkan nilai GWP 34,2 kg CO₂ eq, sebesar yang dihasilkan 30,9 kg CO₂ eq diperoleh dari budidaya dan transportasi kedelai. Nilai GWP ini sejalan dengan hasil GWP oleh

Mejia terhadap produk tahu dengan nilai GWP sebesar 0,982 kg CO₂-eq untuk 1 kg tahu (Mejia, dkk. 2018). Selain itu, nilai GWP penelitian ini sesuai dengan nilai GWP produk tahu yang ada dalam database ecoinvent.

Hasil yang berbeda ditunjukkan oleh penelitian LCA produk tahu di Indonesia yang dilakukan oleh Sukmana (2019) yang menunjukkan hasil yang lebih tinggi. GWP yang lebih besar dihasilkan oleh penelitian

Sukmana dikarenakan pada penelitian ini memasukkan pengolahan limbah produksi tahu dalam analisis dampak lingkungan. Sedangkan hasil GWP yang lebih rendah ditunjukkan oleh hasil penelitian Kurniawati (2019). Perbedaan hasil ini disebabkan karena pada penelitian Kurniawati hanya menganalisis *gate to gate* yang mengevaluasi tahapan pembuatan tahu saja, sehingga diperoleh nilai GWP yang lebih kecil.

Tabel 2. Dampak lingkungan dari produksi 35 kg tahu.

Kategori dampak	Total
Potensi global warming (GWP100a); kg CO ₂ eq	34.2
Penipisan lapisan ozon (ODP); kg CFC-11eq	5.44E-7
Asidifikasi; kg SO ₂ eq	0.0551
Eutrofikasi; kg PO ₄ - eq	0.0549

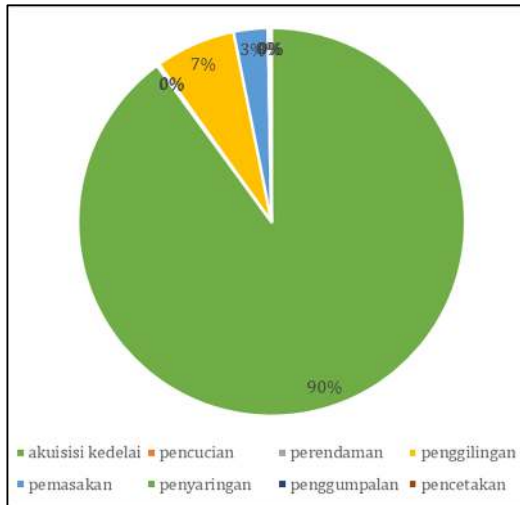
Studi ini juga mengevaluasi dampak lingkungan lainnya, yaitu eutrofikasi, asidifikasi dan potensi penipisan lapisan ozon (Tabel 2). Sekitar 78% dampak penipisan ozon dihasilkan pada tahap budidaya dan transportasi bahan baku. Nilai dampak asidifikasi dan eutrofikasi studi ini lebih kecil dibandingkan nilai yang diperoleh oleh Situmorang (2018). Perbedaan pendekatan yang digunakan menghasilkan nilai dampak yang berbeda. Dalam produksi tahu dihasilkan limbah berupa cairan yang langsung dibuang ke lingkungan tanpa melalui pengolahan limbah. Hal ini menyebabkan dampak lingkungan berupa asidifikasi dan eutrofikasi (Situmorang, Manik, 2018).

Interpretasi

Hasil analisis dampak lingkungan dengan menggunakan *software* Simapro menunjukkan bahwa nilai GWP yang ditimbulkan selama proses produksi 35 kg tahu adalah sebesar 34,2 kg CO₂ eq. Berdasarkan nilai total ini, dibuat rincian kontribusi GWP untuk tiap-tiap tahap produksi tahu seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Proses akuisisi kedelai yang terdiri dari tahap budidaya kedelai dan transportasi kedelai dari negara asal,

Amerika menuju pabrik tahu di Indonesia merupakan penyumbang utama GWP dalam proses produksi tahu dengan nilai sebesar 90%, diikuti dengan proses penggilingan kedelai dan pemasakan bubur kedelai. Hasil ini dapat dijadikan masukan bagi pemerintah Indonesia agar kedepannya dapat meningkatkan produksi kedelai di Indonesia sehingga Indonesia dapat mengurangi jumlah ekspor kedelai sehingga akan berdampak pada pengurangan potensi global warming.

Peluang peningkatan produksi kedelai di Indonesia masih terbuka lebar (Kaman Nainggolan, Muchjidin Rachmat, 2014). Upaya peningkatan produktivitas kedelai telah dilakukan di wilayah di Indonesia, seperti di daerah Bone dengan hasil adanya peningkatan produksi kedelai dari 1,2 menjadi 2,8 ton/ha (Asman et al., 2022), daerah Bengkulu yang menghasilkan peningkatan produksi kedelai sebesar 0,61 ton/ha untuk varietas Grobogan dan 1,12 ton/ha untuk varietas Wilis yang keduanya merupakan kedelai varietas unggul (Nusantara, dkk. 2019). Penelitian lain di Provinsi Jambi menunjukkan peningkatan produksi kedelai varietas unggul mencapai 0,7 ton/ha (Jumakir, dkk. 2021).



Gambar 2. Persentase GWP setiap tahapan proses produksi tahu

KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis dampak produksi tahu 35 kg dengan metode life cycle assessment. Dampak lingkungan yang dianalisis meliputi potensi pemanasan global, asidifikasi, potensi penipisan lapisan ozon, dan eutrofikasi dengan nilai masing-masing 34,2 kg CO₂ eq, 0,0551 kg SO₂ eq, 5,44E-7 kg CFC-11eq, dan 0,0549 kg PO₄-eq. Proses budidaya dan pengangkutan kedelai ke pabrik merupakan penyumbang terbesar potensi pemanasan global dari semua tahapan dalam produksi tahu. Sehingga dapat dilakukan perbaikan pada tahap perolehan bahan baku sehingga dapat tercapai proses produksi tahu yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Arba'i, Raden Faridz, A. A. J. (2019). Life Cycle Assessment (LCA) in Herbal Turmeric Acid Products at UD. *AL-Mansyuri* Kamal Bangkalan. *Agroindustrial Technology Journal*, 03(02), 78–94.
- Asman, A., Patandjengi, B., Haris Bahrin, A., Nur, M., Eny Dunga, N., & Adiansyah Syarifuddin, dan. (2022). PENINGKATAN PRODUKTIVITAS KEDELAI DI KABUPATEN BONE MELALUI PENDAMPINGAN PETANI KEDELAI DAN

INTRODUKSI TEKNOLOGI PUPUK HAYATI. *Jurnal Dinamika Pengabdian*, 7(2), 321–328.

- B Cahyaputri, Mo Yani, S. (2021). Implementasi penilaian daur hidup produk susu sapi segar (studi kasus koperasi peternak mjm). *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 31(1), 78–87.
- Dalimunthe, R. F., Sayekti, W. D., & Suryani, A. (2020). Analisis Daur Hidup Produk (Product Life Cycle) Bihun Tapioka Di Provinsi Lampung. *JIIA*, 8(2), 203–209.
- Hamonangan, S. P., Handayani, N. U., & Bakhtiar, A. (2017). Evaluasi Dampak Proses Produksi dan Pengolahan Limbah Minuman Isotonik Mizon Terhadap Lingkungan dengan Metode Life Cycle Assessment. *Industrial Engineering Online Journal*, 6(2), 1–14.
- Jumakir, Endrizal, & Taufiq Abdullah. (2021). Respons Pemberian Pupuk Hayati terhadap Peningkatan Produktivitas Kedelai di Lahan Rawa Pasang Surut. *PANGAN*, 30(1), 23–30.
- Kaman Nainggolan, & Muchjidin Rachmat. (2014). Prospek Swasembada Kedelai Indonesia. *PANGAN*, 23(1), 83–92.
- Kristiningrum, E., & Susanto, D. A. (2016). Kemampuan Produsen Tempe Kedelai Dalam Menerapkan Sni 3144:2009. *Jurnal Standardisasi*, 17(2), 99.
- Kurniawati, S. D., Supartono, W., & Suyantohadi, A. (2019). Life cycle assessment on a small scale tofu industry in Baturetno village - Bantu District - Yogyakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 365(1).
- Mejia, A., Harwatt, H., Jaceldo-Siegl, K., Sranacharoenpong, K., Soret, S., & Sabaté, J. (2018). Greenhouse Gas Emissions Generated by Tofu Production: A Case Study. *Journal of Hunger and Environmental Nutrition*, 13(1), 131–142.
- Nusantara, A. D., Bertham, Y. H., Junedi, A., Pujiwati, H., & Hartal, H. (2019).

- PEMANFAATAN MIKROBA UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN DAN HASIL KEDELAI DI TANAH PESISIR. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 21(1), 37–43.
- Ramos Huarachi, D. A., Gonçalves, G., de Francisco, A. C., Canteri, M. H. G., & Piekarski, C. M. (2020). Life cycle assessment of traditional and alternative bricks: A review. *Environmental Impact Assessment Review*, 80(September 2019), 106335.
- Rosyidah, M., Masruri, A., & Putra, R. A. (2020). Assessment (LCA) Method On Tofu Production. *International Journal of Science, Technology & Management*, 1(4), 428–435.
- Sirait, M. (2020). Studi Life Cycle Assessment Produksi Gula Tebu : Studi Kasus di Jawa Timur. *Rekayasa*, 13(2), 197–204.
- Situmorang, A., & Manik, Y. (2018). Life Cycle Assessment of Food Processing Systems in Toba Samosir Regency. *E3S Web of Conferences*, 73, 3–7.
- Sukmana, B., Surjandari, I., . M., Setiawan, A. A. R., & Wiloso, E. I. (2019). Global Warming Impacts Study of Tofu Products in Mampang Prapatan Small and Medium Enterprises with Life Cycle Assessment Methods. *Indonesian Journal of Life Cycle Assessment and Sustainability*, 2, 9–24.
- Supartono, W. (2020). Implementation of Life Cycle Assessment on Tempeh Production at “ Tempe Ibu Sujati ” , Yogyakarta. *Agroindustrial Journal*, 7(2), 496–500.
- Wang, Q. L., Li, W., Gao, X., & Li, S. J. (2016). Life cycle assessment on biogas production from straw and its sensitivity analysis. *Bioresource Technology*, 201(X), 208–214.
- Wiloso, E. I., Sinke, P., Muryanto, Setiawan, A. A. R., Sari, A. A., Waluyo, J., Putri, A. M. H., & Guinée, J. (2019). Hotspot identification in the Indonesian tempeh supply chain using life cycle assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(11), 1948–1961.