

KAJIAN DAMPAK LINGKUNGAN PROSES PRODUKSI TEMPE BERDASARKAN ANALISIS DAUR HIDUP

Kinanthi Ratri Sary^{1*}, Wilma Nurrul Adzillah², Venny Ulya Bunga³

^{1,2,3}*Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik
 Universitas Singaperbangsa Karawang*

*e-mail: kinanthi264@gmail.com

ABSTRACT

Tempe production at the micro, small, and medium enterprise scale may cause environmental impacts due to water and energy use at each production stage. This study analyzes the environmental impacts of tempe production at Bapak Amin's MSME using the Life Cycle Assessment method. The system boundary was defined as gate to gate with a functional unit of 1 kg of tempe. Environmental impacts were assessed using the ReCiPe 2016 Midpoint (H) model through characterization and normalization. The results show that the boiling process contributed 7.61×10^{-2} kg CO₂ eq to GWP, 5.206×10^{-2} m³ to WCP, 3.44×10^{-6} kg P eq to MEP, and 9.35×10^{-10} kg CFC-11 eq to SOD. The soaking process contributed 2.52×10^{-3} m³ to WCP and 1.58×10^{-5} kg P eq to MEP, while the grinding process contributed 4.25×10^{-4} kg CO₂ eq to GWP. Soybean washing showed the highest WCP contribution at 5.28×10^{-3} m³ and was identified as the main hotspot due to high water use. These findings provide a basis for improving more sustainable tempe production at the MSME scale.

Keywords: *Life Cycle Assessment, Tempe Production, Environmental Impact, MSMEs, ReCiPe 2016*

ABSTRAK

Produksi tempe pada skala usaha mikro, kecil, dan menengah berpotensi menimbulkan dampak lingkungan akibat penggunaan air dan energi dalam setiap tahapan prosesnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan dari produksi tempe di UMKM Bapak Amin menggunakan metode Analisis Daur Hidup. Ruang lingkup penelitian ditetapkan secara *gate to gate* dengan unit fungsional 1 kg tempe. Penilaian dampak lingkungan dilakukan menggunakan model karakterisasi ReCiPe 2016 *Midpoint* (H) melalui tahap karakterisasi dan normalisasi. Hasil karakterisasi penelitian menunjukkan bahwa proses perebusan memberikan kontribusi terhadap kategori GWP sebesar $7,61 \times 10^{-2}$ kg CO₂ eq, WCP sebesar $5,206 \times 10^{-2}$ m³, MEP sebesar $3,44 \times 10^{-6}$ kg P eq, dan SOD sebesar $9,35 \times 10^{-10}$ kg CFC-11 eq. Proses perendaman berkontribusi terhadap WCP sebesar $2,52 \times 10^{-3}$ m³ dan MEP sebesar $1,58 \times 10^{-5}$ kg P eq. Proses penggilingan berkontribusi terhadap GWP sebesar $4,25 \times 10^{-4}$ kg CO₂ eq. Proses pencucian kedelai memberikan kontribusi terbesar terhadap WCP sebesar $5,28 \times 10^{-3}$ m³ dan teridentifikasi sebagai *hotspot* utama akibat tingginya penggunaan air. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam upaya perbaikan pengelolaan produksi tempe yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan pada skala UMKM.

Kata Kunci: Analisis Daur Hidup, Produksi Tempe, Dampak Lingkungan, UMKM, ReCiPe 2016



PENDAHULUAN

Tempe merupakan produk pangan tradisional Indonesia yang menjadi sumber protein nabati utama bagi masyarakat (Romulo dan Surya, 2021). Tingginya kebutuhan pangan ini mendorong produksi tempe nasional terus meningkat hingga mencapai 2,80 juta ton pada tahun 2022 (Dwiane dkk., 2025). Besarnya angka tersebut mencerminkan konsumsi tempe yang mencakup sekitar 50% dari total konsumsi kedelai nasional (Luthfi dkk., 2025). Kabupaten Karawang sendiri, rata-rata konsumsi tempe mencapai 0,14 kg/kapita/minggu (Badan Pusat Statistik, 2023). Hal tersebut menunjukkan bahwa industri tempe skala UMKM memiliki peran strategis dalam memenuhi kebutuhan pangan di wilayah tersebut.

Proses produksi pada UMKM yang diteliti meliputi perebusan, perendaman, penggilingan, pencucian, peragian, pengemasan, dan pemeraman (Aprilia, 2025). Lokasi penelitian ini memiliki kapasitas 100 kg tempe per hari dengan peralatan sederhana sehingga merepresentasikan karakteristik usaha kecil-menengah yang belum mencapai skala industri besar. Aktivitas produksi tersebut menghasilkan limbah padat, cair, maupun gas (Supartono dkk., 2020). Pengelolaan limbah di tingkat UMKM umumnya belum optimal karena keterbatasan dana dan pengetahuan (Puspawati, 2017). Limbah cair seringkali dialirkan langsung ke badan air tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu (Ayuni dkk., 2022). Kondisi pembuangan limbah tanpa pengolahan berpotensi menurunkan kadar oksigen terlarut dan merusak ekosistem perairan (Suryaputra dkk., 2025). Selain itu, penggunaan energi seperti bahan bakar LPG juga berkontribusi pada peningkatan *Global Warming Potential* (Apriyanti dkk., 2025). Sebagai upaya memitigasi hal tersebut, diperlukan metode Analisis Daur Hidup guna menilai potensi dampak

lingkungan secara kuantitatif (Widrianto dkk., 2016). Pendekatan ini membantu mengidentifikasi kategori dampak baik bagi kesehatan manusia maupun lingkungan (Huijbregts *et al.*, 2017). Penelitian ini menggunakan model *ReCiPe Midpoint (H) 2016* dengan ruang lingkup *gate to gate* agar identifikasi dampak pada setiap unit proses. Melalui pendekatan tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis besaran dampak lingkungan yang dihasilkan guna mewujudkan pengelolaan produksi tempe yang berkelanjutan di Kabupaten Karawang.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di UMKM tempe milik Bapak Amin, Kabupaten Karawang, yang memiliki sekitar 1,00 kwintal tempe per proses produksi. Bahan penelitian meliputi kedelai mentah, kedelai matang, konsumsi air, ragi, plastik kemasan, lilin, LPG, dan listrik yang dikumpulkan sebagai data *input* proses produksi. Seluruh komponen tersebut kemudian diidentifikasi *output*-nya berupa emisi gas rumah kaca dan air limbah yang dihasilkan dari setiap tahapan proses. Peralatan pengumpulan data mencakup timbangan digital kapasitas 50 kg untuk pengukuran massa, wadah plastik 9 L dan 45 L untuk estimasi volume air, serta perangkat lunak *OpenLCA* untuk pengolahan data dampak lingkungan.

Prosedur penelitian ini menggunakan empat tahapan analisis daur hidup sesuai standar ISO 14040:2016. Tahap pertama adalah penentuan tujuan dan ruang lingkup untuk menggambarkan batasan sistem *gate to gate* yang dimulai dari proses perebusan hingga pemeraman. Penentuan unit fungsional pada tahap ini ditetapkan sebesar 1 kg produk tempe sebagai acuan perhitungan dampak. Tahap kedua adalah inventori siklus



hidup yang dilakukan dengan menghimpun seluruh data *input* berupa bahan baku dan energi serta data *output* berupa limbah dan emisi dari setiap unit proses. Data penggunaan air dikonversi menjadi satuan massa melalui perkalian volume dengan massa jenis air sebesar 1 kg/L. dengan mengalikan jumlah bahan bakar terhadap nilai kalor bersih sebesar 47,30 TJ/Gg serta faktor emisi CO₂ sebesar 63.100 kg/TJ, CH₄ sebesar 1,00 kg/TJ, dan N₂O sebesar 0,10 kg/TJ. Emisi listrik pada mesin penggiling dihitung berdasarkan daya alat dikalikan waktu operasional sesuai standar IPCC (2006), lalu dikalikan faktor emisi listrik wilayah Jawa-Madura-Bali sebesar 0,725 kg CO₂ /kWh (ESDM, 2020). Tahap ketiga adalah penilaian dampak lingkungan yang diolah menggunakan model karakterisasi ReCiPe 2016 *Midpoint* (H) melalui tahap karakterisasi dan

normalisasi untuk mengidentifikasi besaran dampak lingkungan. Tahap terakhir adalah interpretasi yang dilakukan untuk mengevaluasi hasil pengolahan data dan menyimpulkan dampak lingkungan yang dihasilkan dari rangkaian proses produksi tempe.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Eksisting Proses Produksi

Aktivitas produksi tempe di UMKM Bapak Amin secara berurutan mulai dari perebusan hingga pemeraman dengan menggunakan bahan bakar LPG dan energi listrik untuk mesin penggiling. Identifikasi aliran massa dan energi dilakukan untuk memetakan beban lingkungan pada setiap tahapan, yang diringkas dalam data inventori pada Tabel 1.

Tabel 1. Data inventori per Proses Produksi Tempe

| Proses Perebusan Kedelai | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------|------------------------------------|----------------------------|
| No | <i>Input</i> | Satuan | <i>Ouput</i> | Satuan |
| 1 | Massa kedelai mentah | 65,52 kg | Massa kedelai matang | 12,00 kg |
| 2 | Kebutuhan air | 243,00 kg | Air limbah | 84,00 kg |
| 3 | Massa bahan bakar (LPG) | 3,00 kg | Emisi CO ₂ | 8,95 kg |
| | | | Emisi CH ₄ | 1,40 × 10 ⁻⁴ kg |
| | | | Emisi N ₂ O | 1,00 × 10 ⁻⁵ kg |
| Proses Perendaman Kedelai | | | | |
| No | <i>Input</i> | Satuan | <i>Ouput</i> | Satuan |
| 1 | <i>Massa kedelai matang</i> | 152,00 kg | <i>Massa kedelai matang rendam</i> | 157,82 kg |
| 2 | Kebutuhan air | 216,00 kg | Air limbah | 210,00 kg |
| Proses Penggilingan Kedelai | | | | |
| No | <i>Input</i> | Satuan | <i>Ouput</i> | Satuan |
| 1 | Massa kedelai matang | 157,82 kg | Massa kedelai tanpa kulit | 137,76 kg |
| | | | Limbah kulit ari kedelai | 19,80 kg |
| 2 | Penggunaan listrik | 0,07 kWh | Emisi CO ₂ | 0,05 kg |



| Proses Pencucian Kedelai | | | | |
|---------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|
| No | Input | Satuan | Output | Satuan |
| 1 | Massa kedelai matang tanpa kulit ari | 137,76 kg | Massa kedelai bersih | 132,95 kg |
| 2 | Kebutuhan air | 540,00 kg | Air limbah | 513,00 Kg |
| Proses Peragian Kedelai | | | | |
| No | Input | Satuan | Output | Satuan |
| 1 | Massa kedelai matang bersih | 132,95 kg | Massa tempe siap peragian | 123,03 kg |
| 2 | Ragi | 0,11 kg | | |
| Proses Pengemasan Kedelai | | | | |
| No | Input | Satuan | Output | Satuan |
| 1 | Massa kedelai beragi | 123,03 kg | Massa tempe siap fermentasi | 120,91 kg |
| 2 | Penggunaan plastik (packaging) | 3,79 kg | | |
| 3 | Lilin | 0,01 kg | | |
| Proses Pemeraman Kedelai | | | | |
| No | Input | Satuan | Output | Satuan |
| 1 | Massa kedelai siap fermentasi | 120,91 kg | Tempe jadi | 117,70 kg |

(Sumber: Penulis, 2025)

Hasil pengumpulan data yang tercantum dalam Tabel 1, selanjutnya dianalisis menggunakan perangkat lunak *OpenLCA*. Penelitian ini menggunakan metode penilaian dampak lingkungan *ReCiPe 2016 Midpoint (H)* yang tersedia dalam perangkat lunak tersebut. Metode *ReCiPe Midpoint* mengevaluasi dampak lingkungan dengan representasi berupa karakterisasi dan normalisasi untuk mengidentifikasi besaran dampak serta *hotspot* lingkungan.

Dampak Lingkungan Dari Proses Produksi Tempe

Berdasarkan pada hasil simulasi perangkat lunak *OpenLCA*, dampak *mayor* dari produksi tempe di UMKM Bapak Amin didominasi oleh empat kategori utama, yaitu *Water Consumption (WCP)*, *Global Warming Potential (GWP)*, *Marine Eutrophication (MEP)*, dan *Stratospheric*

Ozone Depletion (SOD). Secara spesifik, identifikasi aliran proses menunjukkan bahwa hanya empat proses yang memiliki pengaruh terhadap potensi dampak lingkungan. Tahap itu terdiri dari proses perebusan, perendaman, penggilingan, dan pencucian. Sementara itu, tahap peragian, pengemasan, dan pemeraman tidak menunjukkan kontribusi pada kategori dampak karena tidak adanya penggunaan energi dan limbah yang dihasilkan.

Proses Perebusan Kedelai.

Proses perebusan kedelai memiliki cakupan dampak lingkungan yang lebih beragam dibandingkan tahapan lainnya karena melibatkan konsumsi energi dan air secara bersamaan. Hasil perhitungan karakterisasi dan normalisasi dampak proses ini disajikan pada Tabel 2.



Tabel 2. Hasil Penilaian Dampak Lingkungan Proses Perebusan Kedelai

| Kategori Dampak | Karakterisasi | Satuan | Normalisasi |
|-----------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| GWP | $7,61 \times 10^{-2}$ | kg CO ₂ eq | $9,53 \times 10^{-6}$ |
| WCP | $2,06 \times 10^{-3}$ | m ³ | $7,74 \times 10^{-6}$ |
| MEP | $3,44 \times 10^{-6}$ | kg N eq kg CFC11 | $7,47 \times 10^{-7}$ |
| SOD | $9,35 \times 10^{-10}$ | eq | $1,56 \times 10^{-8}$ |

Hasil penilaian dampak lingkungan pada penelitian ini menunjukkan bahwa proses perebusan kedelai teridentifikasi sebagai kontributor utama pada kategori *Global Warming Potential* (GWP) dengan nilai sebesar 8,95 kg CO₂ eq. Temuan ini sejalan dengan studi *Institute for Essential Services Reform* (2024) yang menyatakan bahwa mayoritas emisi UMKM berasal dari pembakaran bahan bakar fosil. Meskipun demikian, nilai GWP dalam penelitian ini lebih rendah dibandingkan literatur Supartono (2020), hal ini disebabkan oleh efisiensi penggunaan LPG yang hanya sebesar 3,00 kg per proses dibandingkan 12,00 kg pada literatur tersebut. Emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pembakaran LPG dianggap sebagai ancaman bagi ekosistem dan manusia (Fuadati, 2024).

Selain memicu pemanasan global, pembakaran LPG pada tahap perebusan juga berdampak pada kategori *Stratospheric Ozone Depletion* (SOD). Sebagai gas yang stabil di atmosfer bawah, gas N₂O mampu bertahan lama hingga mencapai lapisan stratosfer dan terurai menjadi senyawa nitrogen perusak ozon yang meningkatkan risiko paparan radiasi ultraviolet berbahaya (Revel *et al.*, 2025).

Di sisi lain, proses perebusan kedelai juga menunjukkan nilai *Water Consumption* (WCP) yang cukup signifikan akibat penggunaan air sumur bor sebanyak 243,00 L untuk mengolah 65,52 kg kedelai. Intensitas penggunaan air tersebut tercatat sebesar 3,70 L/kg, angka yang tergolong cukup tinggi jika dibandingkan dengan UMKM Tempe Ibu Siti Lestari yang hanya membutuhkan 2,00 L/kg kedelai (Safitri, 2022). Selain konsumsi air, beban pencemar pada kategori *Marine Eutrophication* (MEP) juga teridentifikasi bersumber dari air limbah sisa perebusan yang mengandung amoniak dan nitrat. Keberadaan senyawa tersebut terjadi akibat pelarutan komponen organik kedelai ke dalam air selama proses pemanasan (Cundari *et al.*, 2022).

Proses Perendaman Kedelai

Proses perendaman kedelai merupakan salah satu tahapan yang berpotensi menimbulkan dampak lingkungan, terutama terkait penggunaan air. Hasil perhitungan karakterisasi dan normalisasi dampak proses ini disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Penilaian Dampak Lingkungan Proses Perendaman Kedelai

| Kategori Dampak | Karakterisasi | Satuan | Normalisasi |
|-----------------|-----------------------|----------------|-----------------------|
| WCP | $2,52 \times 10^{-3}$ | m ³ | $9,46 \times 10^{-6}$ |
| MEP | $1,58 \times 10^{-5}$ | kg N eq | $3,44 \times 10^{-6}$ |

Berdasarkan Tabel 3, proses perendaman kedelai didominasi oleh isu pengelolaan air, terutama pada kategori WCP dengan total konsumsi sebesar

216,00 kg untuk aktivitas produksi dan 81,00 kg untuk aktivitas pendukung. Kebutuhan air yang besar ini diperlukan agar seluruh kedelai yang telah



mengembang setelah perebusan dapat terendam secara sempurna (Dewi dkk., 2025).

Selain konsumsi air, proses ini juga memberikan dampak pada kategori MEP sebesar kg N eq, yang tercatat lebih tinggi dibandingkan tahap perebusan. Tingginya nilai MEP dipicu oleh aktivitas fermentasi bakteri asam laktat secara alami yang menghasilkan lendir dan asam laktat. Fermentasi bakteri asam laktat secara alami yang menghasilkan lendir dan asam laktat terlarut dalam air. Kondisi asam tersebut sengaja dibentuk sebagai tahap fermentasi awal guna menciptakan lingkungan yang sesuai bagi pertumbuhan

kapang *Rhizopus sp.*, . Namun, keberadaan kandungan lendir inilah yang secara signifikan meningkatkan beban pencemaran pada kategori MEP (Dewi dkk., 2025).

Proses Penggilingan Kedelai

Proses penggilingan kedelai merupakan salah satu tahapan produksi yang menggunakan energi listrik sehingga berpotensi menimbulkan dampak lingkungan. Hasil perhitungan karakterisasi dan normalisasi dampak proses ini disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Penilaian Dampak Lingkungan Proses Penggilingan Kedelai

| Kategori Dampak | Karakterisasi | Satuan | Normalisasi |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <i>GWP</i> | $4,25 \times 10^{-4}$ | kg CO ₂ eq | $5,32 \times 10^{-8}$ |

Berdasarkan pada Tabel 4, proses penggilingan kedelai memberikan kontribusi terbesar pada kategori GWP, yaitu sebesar $4,25 \times 10^{-4}$ kg CO₂ eq. Pada proses ini, tidak ditemukan kategori dampak lingkungan lain yang memberikan kontribusi signifikan. Dampak GWP pada tahap ini berasal dari penggunaan energi listrik untuk mengoperasikan mesin penggiling kedelai. Konsumsi listrik sebesar 0,07 kWh secara tidak langsung memicu emisi GRK CO₂ sebesar 0,05 kg

dari sektor pembangkitan energi. Bahan bakar pembangkit di sistem JAMALI masih menggunakan bahan bakar fosil sehingga berkontribusi terhadap peningkatan potensi pemanasan global.

Proses Pencucian Kedelai

Proses pencucian kedelai merupakan tahapan dengan penggunaan air dalam jumlah besar. Hasil perhitungan karakterisasi dan normalisasi dampak proses ini disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Penilaian Dampak Lingkungan Proses Pencucian Kedelai

| Kategori Dampak | Karakterisasi | Satuan | Normalisasi |
|------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|
| <i>WCP</i> | $5,28 \times 10^{-3}$ | m ³ | $1,98 \times 10^{-5}$ |

Proses pencucian kedelai berdasarkan Tabel 5. menunjukkan kontribusi hanya pada kategori WCP sebesar $5,28 \times 10^{-3}$ m³. Nilai WCP ini menjadi *hotspot* karena penggunaan air nya yang mencapai 540,00 L untuk proses produksi tempe dan 81,00 L untuk aktivitas pendukung. Tingginya intensitas air ini sejalan dengan literatur Apriyanti (2025)

bahwa pencucian kedelai paling sebagai proses dengan penggunaan air yang paling besar diantara proses yang lainnya. Menurut literatur dari Dewi dkk., (2025) juga menyatakan bahwa pencucian kedelai membutuhkan air yang cukup banyak untuk membersihkan lendir yg bersisa dan partikel asing lainnya. Meskipun limbah cair dari proses ini besar, karakteristiknya



berbeda dengan limbah perendaman maupun perebusan. Menurut Destri dkk., (2025), polutan pada air pencucian ini didominasi oleh padatan tersuspensi seperti pecahan biji kedelai.

Proses Peragian Kedelai

Berbeda dengan tahapan sebelumnya, proses peragian teridentifikasi tidak menghasilkan dampak signifikan karena tidak adanya penggunaan material maupun energi. Proses peragian disini hanya menggunakan jumlah ragi sebesar 0,11 kg yang berfungsi sebagai starter biologis untuk tahap awal menyatukan kedelai (Arianti, 2016). Temuan ini sejalan dengan literatur dari Apriyanti (2025), yang menyatakan bahwa tahap peragian tidak memberikan kontribusi beban pencemar dikarenakan fungsi utamanya untuk pengondisian biologis.

Proses Pengemasan Kedelai

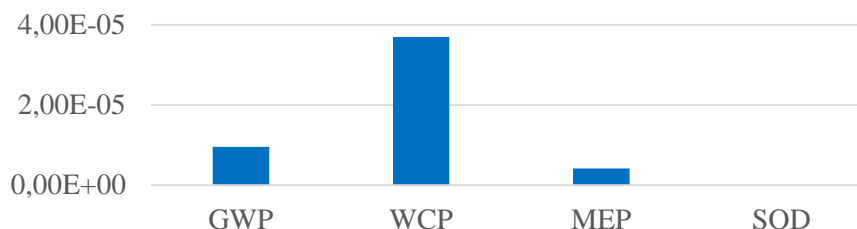
Berdasarkan hasil analisis, proses pengemasan memberikan kontribusi dampak lingkungan yang sangat rendah dibandingkan dengan proses perebusan. *Input* material pada proses ini adalah lilin dan plastik (*packaging*). Meskipun lilin bisa menghasilkan emisi CO₂ saat dibakar, namun kuantitas penggunaannya sangat kecil sehingga dianggap tidak signifikan terhadap dampak lingkungan. Hal ini sejalan dengan literatur, bahwa emisi dari

pembakaran lilin dari penelitian ini tidak dihitung ataupun dijadikan sebagai data *ouput* (Apriyanti dkk., 2025). Selain itu, penggunaan plastik dalam proses produksi tempe tersebut digunakan sepenuhnya untuk membungkus produk sehingga tidak menghasilkan limbah padat.

Proses Pemeraman Kedelai

Sama halnya dengan proses peragian, proses pemeraman kedelai diketahui tidak memberikan dampak lingkungan yang signifikan. Hal ini dikarenakan proses pemeraman merupakan proses fermentasi secara alami dalam kondisi aerobik selama 48 jam untuk mengoptimalkan pertumbuhan kapang (Dewi dkk., 2025). Selain durasi tersebut, fermentasi berjalan tanpa memerlukan *input* energi listrik maupun bahan bakar. Kondisi ini sejalan dengan literatur Apriyanti dkk., (2025) yang menyatakan bahwa tahap pemeraman tidak menghasilkan limbah langsung maupun konsumsi sumber daya sehingga tidak diperhitungkan sebagai kontributor beban lingkungan dalam batasan sistem analisis ini.

Setelah dilakukan karakterisasi dan normalisasi per proses, maka diperlukan total normalisasi untuk melihat dampak terbesar dari proses produksi tempe UMKM Bapak Amin. Hasil normalisasi dari empat dampak yang teridentifikasi ini dapat dilihat pada Gambar 1. berikut.



Gambar 1. Hasil Total Normalisasi Proses Produksi Tempe

Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa nilai normalisasi tertinggi yaitu kategori dampak WCP yang sebesar 0,0043. Hal ini dikarenakan banyaknya penggunaan air

untuk proses perebusan, perendaman, pencucian pada produksi tempe dan aktivitas pendukung seperti pencucian alat dan lantai. Proses produksi tempe memang



banyak memerlukan penggunaan air terutama di pencucian yang bertujuan untuk membersihkan kedelai dari kotoran dan lender sisa perendaman (Sofiah dkk., 2023).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi pada produksi tempe di UMKM Bapak Amin menimbulkan beberapa dampak lingkungan untuk 1 kg tempe dalam proses nya. Pada proses perebusan dengan kategori GWP sebesar $7,61 \times 10^{-2}$ kg CO₂ eq, WCP sebesar $5,206 \times 10^{-3}$ m³, MEP sebesar $3,44 \times 10^{-6}$ kg P eq, dan SOD sebesar $9,35 \times 10^{-10}$ kg CFC11 eq. Pada proses perendaman dengan kategori WCP sebesar $2,52 \times 10^{-3}$ m³ dan MEP sebesar $1,58 \times 10^{-5}$. Proses penggilingan dengan kategori GWP sebesar $4,25 \times 10^{-4}$ kg CO₂ eq. Sedangkan untuk proses pencucian ke sebesar WCP sebesar $5,28 \times 10^{-3}$ m³. Tahap pencucian kedelai tercatat sebagai *hotspot* utama karena tingginya penggunaan air memberikan kontribusi terbesar terhadap WCP.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyanti, D., Pratikno, A., Davito, C., Hertadi, P., Studi, P., Logistik, T., & Kalimantan, I. T. 2025. Penilaian Dampak Lingkungan Menggunakan Life Cycle Assessment (Lca) Pada Proses Produksi Tempe Di SIKS. In *Jurnal Mitra Teknik Industri* (Vol. 4, Issue 1).
- Arianti, M. S. 2016. Analisis Quality Control untuk Menjaga Kualitas Produk Tempe pada Usaha Home Industri Tempe Bapak Joko Purwanto di Kelurahan Lok Bahu Kecamatan Sungai Kunjang Samarinda. *Adm. Bisnis*, 4(4), 1016-1030.
- Ayuni, S., Silvia Putri, E., Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat, P., & Kesehatan Masyarakat, F. 2022. Pengelolaan Limbah Industri Tempe Rumah Tangga Di Kecamatan Meurebo Kabupaten Aceh Barat. *Jurnal Mahasiswa Kesehatan Masyarakat*, 2(2).
- Badan Pusat Statistik. 2023. Banyaknya Industri Mikro dan Kecil menurut Kabupaten/Kota (Unit).
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. SNI ISO 14040:2016 - Manajemen lingkungan — Penilaian daur hidup (ISO 14040:2006, IDT)..
- Cundari, L., Sukandar, M. R., & Nurusman, F. (2023). tempeh industry wastewater treatment using mix natural adsorbents (zeolite, bentonite, water hyacinth-activated carbon): effect of mass ratio and dosage of mix adsorbents on turbidity and pH. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 14, 41-52.
- Destri, E., Rejo, A., & Hanum, L. 2025. Identification of Tempeh Wastewater Quality and Analysis of Producer Behavior towards Waste Management in Plaju Ulu. *Sriwijaya Journal of Environment*, 9(3), 178-185.
- Dewi, R. S., Soleha, N., Mulida, S., Ummi, A. C., & Arifah, M. 2025. Proses pembuatan tempe home industry berbahan dasar kedelai di Laudendang Dusun 7. *Jurnal Inovasi Manajemen, Kewirausahaan, Bisnis dan Digital*, 2(2), 83–95. <https://doi.org/10.61132/jimakebidi.v2i2.509>
- Dwiane, I. K. A., Rafika, I., Lutfi, M., Surlan, R., & Jaya, A. H. 2025. Analisis Pendapatan Usaha Tempe CV. Cahaya Tempe Di Desa Malei Kecamatan Pedongga Kabupaten Pasangkayu. *EKOMA: Jurnal Ekonomi, Manajemen, Akuntansi*, 4(3), 5610-5620.



- Fuadati, A. Z., Prastowo, E., Munawarti, A., & Arimarsetiowati, R. 2025. Responses of Two Cocoa Varieties to Environmental Stress Conditions. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 47(2), 268-278.
- Huijbregts, M. A., Steinmann, Z. J., Elshout, P. M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., & Van Zelm, R. 2017. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *The international journal of life cycle assessment*, 22(2), 138-147.
- Institute for Essential Services Reform. 2024. Mendorong dekarbonisasi UMKM di Indonesia. <https://iesr.or.id/mendorong-dekarbonisasi-umkm-di-indonesia/>. Diakses pada 18 Januari 2026.
- IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Energy, Chapter 2 — Stationary Combustion, Subcategory: Manufacturing Industries and Construction.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2020. Petunjuk teknis pemantauan, evaluasi, dan pelaporan (PEP) pelaksanaan Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAD-GRK)
- Luthfi, L., Azhar, A., Sumardi, S., Harahap, J., & Mahyar, H. 2025. Peningkatan Produktivitas dan Kualitas Keripik Tempe Ibu Dahlia dengan Menggunakan Mesin Pengiris Keripik dan Kompor Gas Tekanan Tinggi. *Jurnal Vokasi*, 9(1), 55-63.
- Puspawati, S. W. 2017. Alternatif pengolahan limbah industri tempe dengan kombinasi metode filtrasi dan fitoremediasi. In *Seminar Nasional Teknologi Pengolahan Limbah XV 2017*
- Revell, L. E., Tummon, F., Salawitch, R. J., Stenke, A., & Peter, T. 2015. The changing ozone depletion potential of N₂O in a future climate. *Geophysical Research Letters*, 42(22), 10-047.
- Romulo, A., & Surya, R. 2021. Tempe: A traditional fermented food of Indonesia and its health benefits. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 26, 100413.
- Safitri, I. N., Zunariyah, I. N., Putri, I. R. A., Aprilianigrum, I., Dewi, N., & Ayu, H. (2022). Implementasi Alat Pengupas Dan Penyaring Kulit Ari Kacang Kedelai Untuk Meningkatkan Kapasitas Produksi Tempe Pada Omah Tempe Lestari Di Desa Kajen. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Sidoluhur*, 2(02), 212-218.
- Sofiah, S., Ramayanti, C., Junaidi, A., & Africano, F. 2023. Peningkatan Kualitas Produksi Tempe dan Manajemen Keuangan Pada Pengusaha Tempe Di Perumahan Kopti Macan Lindungan. *IKRA-ITH ABDIMAS*, 7(3), 30-37
- Supartono, W., Fiwa, A., Sinthia, I., Saptari, K., Farhan, M., & Rizky, M. 2020. Implementation of Life Cycle Assessment on Tempeh Production at “Tempe Ibu Sujati”, Yogyakarta. In *Agroindustrial Journal* (Vol. 7, Issue 2)
- Windrianto, Y., Lucitasari, D. R., & Berlianty, I. 2016. Pengukuran Tingkat Eko-Efisiensi Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA) Untuk Menciptakan Produksi Batik Yang Efisien Dan Ramah Lingkungan (Studi kasus di UKM Sri Kuncoro Bantul). *Opsi*, 9(2), 143-149.

