

Industri Tahu Rakyat dalam Tinjauan *Life Cycle Assessment*

The Micro Tofu Industry In Life Cycle Assessment Perspective

Taufan Ratri Harjanto^{1*}, Mustafidatul Khasanah², Arsita Nur Rizkia Putri³

^{1,2,3} Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap
Email: ¹taufanratiharjanto@pnc.ac.id

*Penulis korespondensi: taufanratiharjanto@pnc.ac.id

Direview: 1 September 2022

Diterima: 4 Oktober 2022

ABSTRAK

Tahu merupakan jenis makanan yang disukai dan banyak diproduksi oleh masyarakat Indonesia. Keberadaan Industri tahu akan berdampak terhadap kualitas lingkungan hidup. Untuk mengurangi dampak tersebut, diperlukan analisis terkait daur hidup suatu produk atau *Life Cycle Assessment* (LCA). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan produk tahu yang ramah lingkungan, dan menentukan bagian proses yang berpotensi tinggi mencemari lingkungan pada industri tahu rakyat. Metode penelitian menggunakan pendekatan *cradle to gate*, yang berfokus pada proses pengolahan bahan baku menjadi produk berupa tahu putih dan tahu goreng. Tahapan penelitian ini berdasarkan SNI ISO-14040, yaitu penentuan tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, penilaian dampak daur hidup, dan interpretasi. Hasil penelitian didapatkan bahwa tahu goreng berpotensi tinggi mencemari lingkungan dibandingkan tahu putih yaitu dengan nilai kontribusi tahu putih sebesar 0,121 pt dan nilai kontribusi tahu goreng sebesar 2,83 pt, hal tersebut berdasarkan nilai tertinggi pada isu penting (*hotspot*) terkait dengan kategori dampak, yaitu *global warming potential* sebesar 154 kg CO₂(eq), potensi penipisan ozon sebesar 1,43.10⁻⁵ kg CFC-11(eq), potensi hujan asam sebesar 3,83.103 kg SO₂(eq), potensi eutrofikasi sebesar 145 kg PO₄ P-lim, penggunaan energi sebesar 154 kg CO₂(eq), dan kesehatan manusia sebesar 0,822 DALY. Berdasarkan analisis kontribusi, *hotspot* pada hasil penilaian dampak daur hidup industri tahu rakyat yaitu pada proses pengorengan dan pengadaan bahan baku utama yang digunakan yaitu *raw material* berupa kedelai. Alternatif perbaikan yang dapat dilakukan dengan mengganti bahan utama *soybean seed* menjadi *soybean slurry* serta mengganti minyak kelapa sawit menjadi minyak kedelai dalam penggorengan. Kayu bakar diganti biogas.

Kata kunci: *Cradle to gate, industri tahu, life cycle assessment, tahu goreng, tahu putih,*

ABSTRACT

Tofu is a type of food that is preferred and widely produced by Indonesian people. The existence of the tofu industry will have an impact on the quality of the environment. To reduce this impact, an analysis related to the Life Cycle Assessment (LCA) is required. The research aims to determine eco-friendly tofu products and the part of the process that has a high potential to pollute the environment in the micro tofu industry. The research method uses a cradle-to-gate approach, which focuses on the processing of raw materials into products in the form of white tofu and fried tofu. The stages of this research are based on SNI ISO-14040: goal and scope, inventory analysis, life cycle impact assessment, and interpretation. The results showed that fried tofu has a high potential to pollute the environment compared to white tofu, namely the contribution value of white tofu is 0.121 pt and the contribution value of fried tofu is 2.83 pt, this is based on the highest value on important issues (hotspots) related to the impact category, namely global warming potential is 154 kg CO₂(eq), ozone depletion potential is 1.43.10⁻⁵ kg CFC-11(eq), acid rain potential is 3.83.103 kg SO₂(eq), eutrophication potential is 145 kg PO₄ P-lim, energy use is 154 kg CO₂(eq), and human health is 0.822 DALY. Based on the contribution analysis, hotspots on the results of the life cycle assessment of the micro tofu industry are in the frying process and the procurement of the main raw material used, soybeans. Alternative improvements can be made by changing the main ingredient of soybean seed into soybean slurry and replacing palm oil with soybean oil in frying. Firewood into biogas.

Keywords: *Cradle to gate, tofu industry, life cycle assessment, fried tofu, white tofu,*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang kaya dengan keanekaragaman budaya khususnya makanan. Industri makanan di Indonesia meningkat tiap tahunnya baik industri skala menengah maupun skala besar. Tahu merupakan makanan yang disukai dan populer bagi masyarakat Indonesia, sehingga banyak industri tahu yang dikelola secara rakyat dan makro. Keberadaan industri tahu dapat ditemui di setiap daerah yang secara umum berdekatan dengan permukiman penduduk. Industri tahu akan memberikan dampak langsung maupun tidak langsung terhadap lingkungan, misalnya limbah yang cair, gas, dan padat dari hasil proses produksi. Apabila limbah tersebut tidak mendapatkan perhatian, maka akan berdampak buruk terhadap lingkungan secara global. Salah satu usaha untuk meminimalisir hal tersebut, diperlukan analisis terkait daur hidup suatu produk atau *Life Cycle Assessment* (LCA). Menurut Hanafi dkk., (2021), LCA merupakan pendekatan untuk menilai suatu sistem produk dari hulu ke hilir secara kuantitatif. LCA menjadi metode untuk mengetahui sumber daya yang digunakan, konsumsi energi, biaya dan menganalisis dampak lingkungan dalam satu siklus hidup. Metode LCA ini dapat memberikan alternatif solusi perbaikan terhadap dampak yang kemungkinan terjadi dalam suatu proses. Penelitian tentang industri tahu skala rakyat belum banyak yang melakukan, oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian terhadap daur hidup produk pada industri tahu untuk mengetahui proses produksi tahu mulai dari bahan baku sampai menjadi suatu produk serta menentukan produk yang ramah lingkungan, sehingga dapat menentukan alternatif solusi perbaikan untuk mengurangi bagian proses yang berpotensi tinggi mencemari lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan mengacu pada langkah-langkah studi *Life Cycle Assessment* (LCA) berdasarkan SNI ISO-14040, yaitu penentuan tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, penilaian dampak daur hidup, serta interpretasi. Tahapan produksi pembuatan tahu diawali dengan proses perendaman kacang kedelai dengan menggunakan air selama 4-10 jam, selanjutnya proses penggilingan kacang kedelai dengan menggunakan mesin diesel sehingga menjadi bubuk kedelai. Bubuk kedelai tersebut masuk ke tahap perebusan dengan menambahkan asam cuka, kemudian tahapan penyaringan yaitu memisahkan hasil rebusan pada proses sebelumnya. Tahap selanjutnya adalah pencetakan dengan menambahkan air asaman yang dihasilkan dari proses perebusan. Tahap terakhir yaitu pencetakan dan pengepresan tahu. Tahu yang dihasilkan berupa tahu putih dan tahu goreng.

Batasan sistem teknis menggunakan pendekatan *cradle to gate* terdiri dari beberapa komponen yang ditinjau di dalam produksi tahu dari pengadaan bahan baku sampai dengan hasil produk, penggunaan transportasi, energi listrik, dan penggunaan bahan bakar. Teknik pengambilan data yang dilakukan yaitu menggunakan data primer (data spesifik) dan data sekunder (generik). Data primer yang digunakan berupa data hasil pengukuran langsung dan data perhitungan dengan sistem wawancara ke lokasi industri tahu. Adapun data sekunder yang digunakan yaitu *Selected Generic* berupa literatur dari jurnal guna mengetahui rumus perhitungan dan kandungan dari hasil uji parameter terkait.

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Konsumsi Bahan Bakar} \times \text{FE} \times \text{NCV} \quad (1)$$

Keterangan :

Konsumsi Bahan Bakar = Konsumsi Bahan Bakar (Kg/Tahun)

FE = Faktor Emisi Bahan Bakar (ton CO₂)

NCV = Nilai *Net Calorific Value* atau Volume Bahan Bakar

(Nugrahyu et al., 2017)

$$\text{Emisi CO}_2 (\text{fossil}) = \text{Konsumsi Bahan Bakar} \times \text{FE} \quad (2)$$

Keterangan :

Konsumsi Bahan Bakar = Konsumsi Bahan Bakar (Kg/Tahun)

FE = Faktor Emisi Bahan Bakar (ton CO₂)

(Zacky et al., 2014)

$$\text{Emisi NO} = \text{EC} \times \text{EF} \quad (3)$$

Keterangan :

EC = Konsumsi Energi
 EF = Faktor Emisi

(Zacky et al., 2014)

SimaPro versi 9.3.0.3. merupakan salah satu *software* yang digunakan dalam kajian *Life Cycle Assessment* (LCA). *Software* ini mampu membantu mengelola data mengenai aspek-aspek dampak lingkungan dari produk maupun jasa secara sistematis dan konsisten. Metode penilaian dampak dari kajian yang dilakukan berdasarkan SNI ISO-14044, hasil kajian dianalisis dengan mengklasifikasikan ke dalam kategori dampak yang wajib dikaji sesuai dengan PERMEN LHK 01/2021.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Inventori

Data *input* dan *output* material dalam sistem dikelompokkan pada tahapan analisis inventori. Inventori data terdiri dari kebutuhan bahan baku, air, energi, transportasi dan emisi. Inventarisasi emisi merupakan semua komponen yang terlibat di dalam batasan sistem secara menyeluruh. **Tabel-1** menunjukkan data inventori pada produksi tahu. Bahan baku utama proses pembuatan tahu adalah kedelai. Bahan lain yang digunakan pada pembuatan tahu hanya sebagai bahan tambahan. **Tabel-2** menunjukkan inventori emisi yang dilepaskan terhadap lingkungan.

Tabel-1. *Life Cycle Inventory* Produksi Tahu Kapasitas 180 Kg Bahan Baku Perhari

Bahan Masukan (<i>Input</i>)	Satuan	Kuantitas	Deskripsi prosedur pengambilan sampel
<i>Input : Bahan Baku Utama</i>			
Kacang kedelai	Kg	180	Bahan baku utama yang digunakan pada industri tahu ini yaitu kedelai. Kedelai yang digunakan didapatkan dari pengepul. Prosedur pengambilan data ini dilakukan melalui teknik wawancara dengan pemilik industri tahu yang membeli kedelai ke lokasi pengepul tersebut.
<i>Input : Bahan Baku Pendukung</i>			
Air	L	850	Air menjadi bahan baku pendukung yang digunakan pada proses pembuatan tahu. Air tersebut didapatkan dari sumur sebagai sumber air. Prosedur pengambilan data ini dilakukan dengan memompa air sumur hingga wadah/penampung penuh.
Air Asaman	L	50	Air asaman menjadi bahan baku pendukung yang digunakan pada proses pembuatan tahu. Air asaman tersebut didapatkan dari hasil proses perebusan. Prosedur pengambilan sampel ini dilakukan dengan mengalirkan air asaman ke suatu bak penampung khusus.
Asam Cuka	L	0,200	Asam cuka menjadi bahan baku utama yang digunakan pada industri tahu. Asam cuka ini didapatkan dari toko makanan. Prosedur pengambilan data ini dilakukan melalui teknik wawancara dengan pemilik industri tahu.
<i>Input : Bahan Bakar Cair</i>			
Solar	L	8	Solar menjadi bahan bakar cair utama dalam transportasi dan penggunaan mesin diesel di industri tahu. Solar tersebut didapatkan dari pom bensin terdekat. Prosedur pengambilan data dilakukan

			dengan menghitung jumlah kebutuhan solar sesuai dengan jarak yang ditempuh.
Minyak	L	30	Minyak menjadi bahan baku pendukung yang digunakan pada pembuatan tahu goreng. Minyak yang digunakan didapatkan dari Pasar. Prosedur pengambilan data ini dilakukan melalui teknik wawancara dengan pemilik industri tahu.
Input : Bahan Bakar Padat			
Kayu Bakar	Kg	8	Kayu bakar menjadi bahan bakar utama dalam proses produksi tahu pada industri tahu. Kayu bakar yang digunakan didapatkan dari Pengepul kayu bakar. Prosedur pengambilan data ini dilakukan melalui teknik wawancara dengan pemilik industri tahu.
Input : Listrik			
Listrik	Watt	900	Listrik menjadi bahan baku pendukung yang digunakan pada proses pembuatan tahu. Kebutuhan listrik tersebut untuk penerangan dan mengambil air dari sumur sebagai sumber air kebutuhan proses. Prosedur pengambilan data ini dilakukan dengan memperhitungkan kebutuhan listrik yang digunakan.
Bahan Keluaran (Output) Termasuk Produk			
Output : Produk Utama			
Tahu Putih	Kg	92	Tahu menjadi bahan keluaran utama yang dihasilkan pada proses pembuatan tahu. Adapun jenis tahu yang dihasilkan berupa tahu putih, tahu goreng. Tahu putih tersebut didapatkan dari hasil proses pengepresan. Tahu goreng tersebut didapatkan dari hasil proses penggorengan. Prosedur pengambilan data ini dilakukan dengan penimbangan langsung hasil produksi tahu.
Tahu Goreng	Kg	60	
Output : Emisi ke Udara			
CO ₂ (fossil)	Kg	17,6	Asap dihasilkan dari asap pembakaran yang tidak sempurna kendaraan sebagai alat transportasi. Emisi gas buang yang paling signifikan dari kendaraan mobil adalah Karbon monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Oksida sulfur (SO _x), Timbal (Pb), dan Sulfur dioksida (SO ₂). Hal tersebut terjadi karena pembakaran tidak sempurna yang terjadi dalam mesin kendaraan. Emisi gas buang tersebut berpotensi menyebabkan pemanasan global. Prosedur pengambilan data dengan teknik perhitungan matematis.
CO ₂	Kg	13,44	Selain dari asap kendaraan, juga menghasilkan output dari asap pada proses produksi. Yang mana, bahan bakar yang digunakan termasuk kontaminan hidrokarbon aromatik yang mudah menguap. Kemudian, penggunaan kayu bakar pada saat pembakaran menghasilkan gas nitrogen dioksida dan formaldehid. Prosedur pengambilan data dengan teknik perhitungan matematis

Output : Emisi ke air	Satuan	Kuantitas	Deskripsi prosedur pengambilan sampel
BOD	L	4.383	<i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD) menjadi bahan keluaran berupa emisi ke air yang dihasilkan pada proses pembuatan tahu. BOD tersebut didapatkan dari hasil proses perebusan yaitu berasal dari air asaman. Prosedur pengambilan sampel ini dilakukan dengan mengambil sampel air asaman dan air sisa produksi pada industri tahu yang dianalisa dengan metode SNI 6989.72-2009 dan dilakukan perhitungan BOD, berdasarkan hasil uji di laboratorium tersertifikasi
COD	L	6.575	<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) menjadi bahan keluaran berupa emisi ke air yang dihasilkan pada proses pembuatan tahu. COD tersebut didapatkan dari hasil proses perebusan yaitu berasal dari air asaman. Prosedur pengambilan sampel ini dilakukan dengan mengambil sampel air asaman dan air sisa produksi pada industri tahu yang dianalisa dengan metode SNI 6989.73-2019 dan dilakukan perhitungan COD berdasarkan hasil uji di laboratorium tersertifikasi.

Output : Emisi ke tanah	Satuan	Kuantitas	Deskripsi prosedur pengambilan sampel
pH	Kg	6,0	pH menjadi bahan keluaran berupa emisi ke tanah yang dihasilkan pada proses pembuatan tahu. pH tersebut didapatkan dari hasil proses pembakaran kayu bakar yaitu berasal dari abu hasil pembakaran. Prosedur pengambilan sampel ini dilakukan dengan mengukur pH tanah tempat pembuangan abu pembakaran dengan <i>soil meter</i> .

Tabel-2. Inventarisasi Emisi pada Produksi Tahu Kapasitas 180 Kg Bahan Baku Perhari

Emisi Udara				
No	Senyawa	Unit	Tahu Putih	Tahu Goreng
1	<i>Carbon dioxide</i>	kg	37,7	16,2
2	<i>Carbon dioxide, fossil</i>	kg	65,9	50,8
3	<i>Carbon dioxide, biogenic</i>	kg	0,047	101
4	<i>Carbon monoxide</i>	gr	57,6	273
5	<i>Nitrogen dioxide</i>	kg	697	697
6	<i>Nitrogen oxide</i>	gr	272	556
7	<i>Sulfur Dioxide</i>	gr	82,6	86,3
8	<i>Sulfur Oxides</i>	gr	0,0321	46,8
9	<i>Methane</i>	gr	147	852
10	<i>Cobalt</i>	mg	0,427	3,07
Emisi Air				
No	Senyawa	Unit	Tahu Putih	Tahu Goreng
1	<i>Sulfur</i>	mg	67,3	88,7
2	<i>Sulfate</i>	g	21,8	11,8
3	<i>Suspended solids</i>	kg	1,22	1,87
4	<i>Nitrogen</i>	gr	0,0169	3,22
5	<i>COD, Chemical Oxigen Demand</i>	kg	6,47	6,47
6	<i>Ammonia</i>	mg	723	709
7	<i>Acidity</i>	kg	4,5	4,5
8	<i>BOD</i>	kg	4,31	4,31
9	<i>Cadmium</i>	mg	6,74	3,57
10	<i>Phosphate</i>	mg	707	276
Emisi Tanah				
No	Senyawa	Unit	Tahu Putih	Tahu Goreng
1	<i>Arsenic</i>	µg	57,4	22,3
2	<i>Barium</i>	mg	1,04	0,774

3	<i>Cadmium</i>	mg	95,1	37
4	<i>Calcium</i>	g	28,3	11
5	<i>Lead</i>	mg	304	118
6	<i>Merkuri</i>	mg	1,16	0,453
7	<i>Selenium</i>	µg	7,23	2,82
8	<i>Silver</i>	ng	3,18	3,05

3.2. Penilaian Dampak/*Impact Assessment*

Penilaian dampak daur hidup bertujuan untuk mengelompokkan dan menilai dampak lingkungan yang signifikan. Prosedur penilaian dampak daur hidup (*Life Cycle Impact Assessment/LCIA*) menggunakan perangkat lunak (*software*) SimaPro versi 9.3.0.3. Analisis dampak pada penilaian daur hidup ini menggunakan metode Impact 2002+.

Penilaian dampak dilakukan berdasarkan kategori dampak yang wajib dikaji berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2021, yang terdiri dari *global warming potential*, potensi penipisan ozon, potensi hujan asam, potensi eutrofikasi, penggunaan energi, dan kesehatan manusia.

a. Potensi Pemanasan Global

Emisi penyebab *global warming* yang dihasilkan oleh industri tahu rakyat pada produk tahu goreng setara dengan 93,8 kg CO₂(eq), dan tahu putih setara dengan 154 kg CO₂(eq). Perbedaan hasil tersebut berasal dari penggunaan bahan bakar berupa solar pada transportasi serta kayu bakar pada proses produksi. Polutan yang dihasilkan akan tersebar dan pola penyebarannya yang luas, mengikuti udara, angin, dan perubahan elevasi sumber yang memberikan dampak buruk terhadap lingkungan (Harista, 2020). Pengaruh *global warming* ini pun sebanding dengan peningkatan temperatur rata-rata global pada permukaan bumi yang meningkat 0,74 ± 0,18 °C selama 100 tahun terakhir (Damayanti, 2013).

b. Potensi Penipisan Ozon

Dampak potensi penipisan ozon yang dihasilkan oleh industri tahu rakyat pada produksi tahu putih sebesar 1,9.10⁻⁶ kg CFC-11_(eq), dan pada produksi tahu goreng sebesar 1,43.10⁻⁵ kg CFC-11_(eq). Hal tersebut dikarenakan penggunaan bahan bakar yang tinggi selama proses pembuatan tahu. *Chlorofluorocarbon* (CFC) mengandung klorin, fluorin, dan karbon. CFC ini merupakan faktor utama penipisan lapisan ozon.

c. Potensi Hujan Asam

Dampak potensi hujan asam yang dihasilkan oleh industri tahu rakyat pada produksi tahu putih sebesar 3,83.10³ kg SO₂(eq), pada produksi tahu goreng sebesar 3,83.10³ kg SO₂(eq). Hal tersebut dikarenakan penggunaan bahan bakar fosil berupa solar yang mengandung sulfur pada transportasi selama proses produksi. Sulfur tersebut merupakan pengotor dalam bahan bakar fosil serta nitrogen di udara yang bereaksi dengan oksigen membentuk sulfur dioksida dan nitrogen dioksida (Nasihah, 2017).

d. Potensi Eutrofikasi

Dampak Eutrofikasi yang dihasilkan oleh industri tahu rakyat pada produksi tahu putih sebesar 145 kg PO₄ P-lim, pada produksi tahu goreng sebesar 145 kg PO₄ P-lim. Eutrofikasi adalah proses pertumbuhan berlebih pada badan air yang disebabkan senyawa nutrisi seperti nitrogen dan fosfat. Limbah air asaman ini mengandung bahan organik yang tinggi, hal ini ditunjukkan dengan nilai COD sebesar 6.575 mg/L, disebabkan oleh adanya limbah berupa air asaman yang dibuang ke badan air, sehingga mempengaruhi kualitas ekosistem air. Masuknya nutrisi dalam badan air, terutama fosfat akan menyebabkan eutrofikasi (Garno, 2016).

e. Penggunaan Energi

Penggunaan energi selama proses produksi berdasarkan analisis perhitungan dampak penggunaan energi pada produksi tahu putih akan menghasilkan 93,8 kg CO₂(eq) dan 154 kg CO₂(eq) pada produksi tahu goreng. Penggunaan energi ini berasal dari awal proses hingga akhir. Penggunaan pompa air dan penerangan menggunakan energi listrik. Sistem kelistrikan di Indonesia masih menggunakan sumber utama bahan bakar fosil batubara. Pembakaran batubara akan menghasilkan gas SO₂ dan *particulate matter* (PM). Sumber energi lain yang digunakan pada proses produksi adalah biomassa (kayu bakar). Total *resources* pada penggunaan energi untuk produksi tahu putih sebesar dan 949 MJ *primary* pada produksi tahu goreng sebesar 1450 MJ *primary*.

f. Kesehatan Manusia

Dampak terhadap kesehatan manusia untuk produksi tahu putih sebesar 0,0622 DALY, dan produksi tahu goreng sebesar 0,822 DALY. DALY adalah *Disability Adjusted Life Year* adalah angka kematian yang disebabkan oleh disabilitas, kematian *premature* dan penyakit serta *road injury*. Semakin tinggi nilai DALY

maka kualitas kesehatan manusia tidak baik. *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) menyatakan bahwa penggunaan kayu bakar pada saat pembakaran menghasilkan gas nitrogen dioksida dan formaldehid. Sifat dari gas nitrogen dioksida bersifat iritan, reaktif, tidak larut dalam air, oksidan eksogen, dan terdeposit dalam saluran pernafasan bagian bawah. Sedangkan sifat dari gas formaldehid adalah iritan, reaktif, dapat larut dalam air, dan menurunkan sistem imun.

3.3. Interpretasi

Interpretasi merupakan langkah lebih lanjut dari tahapan penilaian dampak daur hidup atau LCA. Analisis isu penting (*hotspot*) yakni mengidentifikasi dan menganalisis hal yang paling berkontribusi dalam sistem produk yang dikaji. Adapun *hotspot* pada hasil penilaian dampak daur hidup industri tahu rakyat yaitu proses penggorengan dan pengadaan bahan baku utama yang digunakan yaitu *raw material* berupa kedelai. Isu penting pada hasil penilaian dampak daur hidup tersebut terdapat pada proses penggorengan dan pengadaan bahan baku utama yang digunakan yaitu kedelai memiliki dampak yang cukup tinggi dibandingkan dengan proses lainnya.

a. Analisis Kontribusi

Tabel-3. Kontribusi Penting

Nama Bagian Proses/Bahan	Single Score (Pt)	
	Tahu Putih	Tahu Goreng
Pengadaan Bahan Baku Utama (Kedelai)	0,121	0,047
Proses Penggorengan	-	2,83

Hasil kontribusi pada penggunaan kacang kedelai sebesar 0,121 Pt, berdasarkan kebutuhan kedelai sebanyak 180 kg akan menghasilkan tahu putih 92 kg dan 60 kg tahu goreng. Kontribusi terbesar berada pada penggunaan minyak sebesar 2,83 Pt. Hal tersebut disebabkan oleh penggunaan minyak goreng dari kelapa sawit dalam proses penggorengan untuk menghasilkan produk tahu goreng. Jumlah minyak yang digunakan selama satu kali produksi sebesar 30 L.

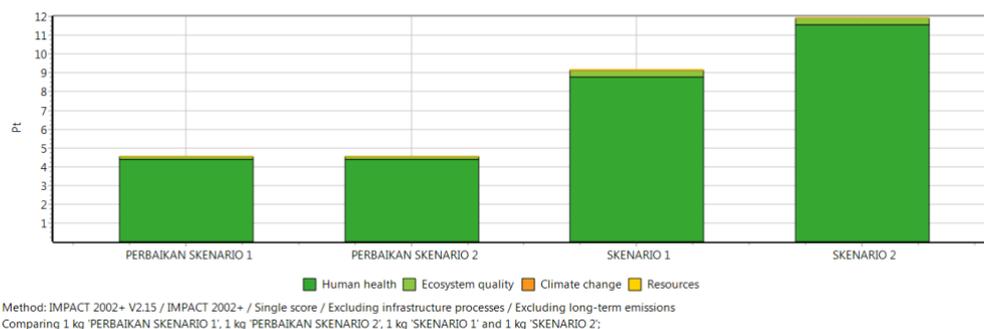
b. Analisis Perbaikan

Rekomendasi analisis perbaikan berdasarkan hasil analisis kontribusi metode *single score* adalah penggantian bahan baku utama *soybeen seed* dengan *soybeen slurry* serta mengganti minyak kelapa sawit dengan minyak kedelai untuk proses penggorengan.

Tabel-4. Hasil Perbaikan

Nama Bagian Proses/Bahan	Skenario Sebelum Perbaikan (Pt)		Skenario Sesudah Perbaikan (Pt)	
	S1(Tahu Putih)	S2 (Tahu Goreng)	S1(Tahu Putih)	S2 (Tahu Goreng)
Bahan Kedelai	0,121	0,047	0,029	0,015
Proses Penggorengan	-	2,830	-	0,010

Hasil Perbaikan pada **Tabel-4**, dibuat tabel *single score* untuk melihat perubahan perbaikan dan penurunan kontribusi dampak lingkungan (reduksi *hot spot*). Tabel *single score* disajikan dalam **Gambar-1**.



Gambar-1. Single Score Skenario Perbaikan

Berdasarkan analisis perbaikan, pada **Gambar-1**, menunjukkan bahwa terjadi penurunan antara proses sebelum dilakukan tahap perbaikan dengan setelah dilakukan tahap perbaikan. Pada skenario awal sebelum dilakukan analisis perbaikan menimbulkan beberapa dampak seperti *global warming*, hujan asam, eutrofikasi, kesehatan manusia yang disebabkan oleh 2 faktor penting dalam proses daur hidup industri tahu rakyat diantaranya pada bahan baku utama yaitu kedelai dan proses penggorengan. Skenario 1 (S1) yang berisi data produk tahu putih menghasilkan kontribusi sebesar 0,121 Pt untuk bahan kedelai, sedangkan untuk proses penggorengan 0,047 Pt. Adapun skenario 2 (S2) yang berisi data produk tahu goreng menghasilkan kontribusi sebesar 2,83 Pt untuk proses penggorengan.

Dilakukan analisis perbaikan dari 2 proses yang menjadi isu penting terhadap lingkungan yaitu dengan skenario mengganti bahan baku utama kedelai (*soybean seed*) dengan bubur kedelai (*soybean slurry*) dan penggantian minyak pada proses penggorengan. Bahan baku yang digunakan yaitu *soybean seed*, memberikan kontribusi besar terhadap lingkungan karena secara alamiah *soybean seed* memiliki kandungan senyawa organik yang tinggi berupa kandungan protein, hidrogen sulfida, karbohidrat, lemak, dan asam amino (Setyawati dkk., 2019). Penggunaan *soybean slurry*, untuk meminimalisir penggunaan kedelai dalam jumlah banyak dan dapat meminimalisir atau mengurangi proses penggilingan di tahap awal proses. sehingga dapat mengurangi jumlah limbah dan emisi ke udara.

Selain perbaikan pada bahan baku, dilakukan analisis perbaikan pada proses penggorengan. Pada proses penggorengan kontribusi terbesar disebabkan oleh penggunaan minyak goreng sebesar 30 L dalam 1x produksi. Analisis perbaikannya yaitu dengan mengganti minyak berbahan dasar kelapa sawit dengan menggunakan minyak berbahan dasar kedelai atau minyak kedelai. Minyak kedelai dapat diperoleh dari penggunaan kembali limbah biji kedelai yang dibuat secara mandiri, sehingga dapat memutus siklus hidup minyak yang pada akhirnya dapat meminimalisir pencemaran. Kandungan minyak kedelai berupa asam lemak tidak jenuh yang cukup tinggi; dapat dihidrogenasi secara efektif; mengandung antioksidan alami yang sama sekali tidak hilang dalam proses pengolahan (Ishak, 2011), sangat menguntungkan sebagai minyak ramah lingkungan yang akan berdampak baik pada *human health* dan lingkungan.

Pada proses penggorengan perbaikan juga dilakukan dengan mengganti bahan bakar yang digunakan yaitu kayu bakar dengan biogas. Kayu bakar sebagai bahan bakar dalam proses produksi menimbulkan beberapa limbah yang dapat mencemari lingkungan seperti, asap dan abu sisa pembakaran yang apabila dibiarkan begitu saja menyebabkan pH tanah menjadi asam sehingga tanaman di sekitar industri menjadi kurang subur. Asap pembakaran dengan kayu bakar yang mengandung senyawa CO_x, NO_x, dan SO_x yang tentunya menyumbang pencemaran udara di pemukiman sekitar industri tahu ini. Biogas sebagai bahan bakar pengganti kayu bakar berasal dari ampas tahu yang dihasilkan dari penguraian sampah organik limbah tahu.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian didapatkan bahwa tahu goreng berpotensi tinggi mencemari lingkungan dibandingkan tahu putih yaitu dengan nilai kontribusi tahu putih sebesar 0,121 pt dan nilai kontribusi tahu goreng sebesar 2,83 pt, hal tersebut berdasarkan nilai tertinggi pada isu penting (*hotspot*) terkait dengan kategori dampak, yaitu *global warming potential* sebesar 154 kg CO₂(eq), potensi penipisan ozon sebesar 1,43.10⁻⁵ kg CFC-11(eq), potensi hujan asam sebesar 3,83.10³ kg SO₂(eq), potensi eutrofikasi sebesar 145 kg PO₄ P-lim, penggunaan energi sebesar 154 kg CO₂(eq), dan kesehatan manusia sebesar 0,822 DALY. Berdasarkan analisis kontribusi, *hotspot* pada hasil penilaian dampak daur hidup industri tahu rakyat yaitu pada proses penggorengan dan pengadaan bahan baku utama yang digunakan yaitu *raw material* berupa kedelai. Alternatif perbaikan yang dapat dilakukan dengan mengganti bahan utama *soybean seed* menjadi *soybean slurry* serta mengganti minyak kelapa sawit menjadi minyak kedelai dalam penggorengan. Kayu bakar diganti biogas.

SARAN

Untuk peningkatan dan memperkaya *data base* LCA yang komprehensif pada produksi tahu di Indonesia, penelitian yang akan datang dapat dilakukan melalui metode *cradle to grave* dengan inventarisasi *soybean seed* dan *soybean slurry*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program Studi Sarjana Terapan Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan Politeknik Negeri Cilacap yang telah memfasilitasi penelitian ini sehingga dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Damayanti, D. P. (2013). Global Warming in the Perspective of Environmental Management Accounting (EMA). *Jurnal Ilmiah ESAI*, 7 (1), 1 -14
- Elijošiūtė, E., Balciukevičiūtė, J., & Denafas, G. (2012). Life cycle assessment of compact fluorescent and incandescent lamps: comparative analysis. *Journal Environmental Research, Engineering and Management*, 61(3), 65–72.
- Garno, Y. S. (2016). Dampak Eutrofikasi Terhadap Struktur Komunitas dan Evaluasi Metode Penentuan Kelimpahan Fitoplankton. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 13(1), 67. <https://doi.org/10.29122/jtl.v13i1.1406>
- Hanafi, J., Hermana, J., Siregar, K., Chairani, E., Azis, M. M., Iswara, A. P., Adiansyah, J. S., Pramulya, R., Setiawan, A. A. R., Rusdiyanto, G., Yosephine, Syafrudin, A., Ayu, A. P., & Adiwijaya, D. (2021). Pedoman Penyusunan Laporan Penilaian Daur Hidup (LCA). Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI.
- Ishak, I. (2011). Penetapan Asam Lemak Linoleat dan Linolenat pada Minyak Kedelai secara Kromatografi Gas. *Jurnal Saintek*, 6(01), 1–6.
- Nasihah, M. (2017). Efek Hujan Asam terhadap Pertumbuhan Tanaman. *Jurnal Envscience*, 1(1), 27–30. <https://doi.org/10.30736/jev.v1i1.92>
- Nugrahayu, Q., Nurjannah, N. K., & Hakim, L. (2017). Oksida Dari Sektor Permukiman Di Kota Yogyakarta Menggunakan Ipccestimasi Emisi Karbon Di Guidelines. *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan*, 9(1), 25–36.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 1 Tahun 2021 tentang Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan Dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup
- Setyawati, H., LA, S. S., & Andjar Sari, S. (2019). Penerapan Penggunaan Serbuk Biji Kelor Sebagai Koagulan Pada Proses Koagulasi Flokulasi Limbah Cair Pabrik Tahu Di Sentra Industri Tahu Kota Malang. *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, 8(1), 21–31. <https://doi.org/10.36040/industri.v8i1.669>
- Zacky, A., Supriyadi, A., R, A., Kusumawanto, A., Wicaksono, A., Maeztri, D., Wijaya, E., Saptayani, G., Manik, K., Ambarsari, L., Suhud, Tri, R., Shinta, Sirait, Syamsidar, T., & Nugroho, W. A. (2014). *Pedoman Teknik Perhitungan Baseline Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Berbasis Energi*. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS) Deputi Bidang Sumber Daya Alam dan Lingkungan Hidup <https://www.cdc.gov/niosh/>, diakses 1 Agustus 2022, 10.15