

**IMPLEMENTASI *LIFE CYCLE ASSESSMENT* PADA PROSES  
PRODUKSI TAHU DI INDUSTRI KECIL “UD.X” DESA SUMBERSARI,  
KECAMATAN MEGALUH, KABUPATEN JOMBANG**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk melengkapi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T)

Pada Program Studi Teknik Lingkungan



**UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A**

**Disusun Oleh:**

**FIRDAUS DIEN ISTIGHFAR**

**NIM. H05219007**

**Dosen Pembimbing:**

**Shinfi Wazna Auvaria, S.T., M.T.**

**Yusrianti, M.T.**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL  
SURABAYA**

**2023**

# PERNYATAAN KEASLIAN

## PERYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Firdaus Dien Istighfar

NIM : H05219007

Program Studi : Teknik Lingkungan

Angkatan : 2019

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiasi dalam penelitian Tugas Akhir saya yang berjudul "Implementasi *Life Cycle Assessment* Pada Proses Produksi Tahu Di Industri Kecil "UD.X" Desa Sumbersari, Kecamatan Megaluh, Kabupaten Jombang". Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 26 April 2023

Yang menyatakan,



(Firdaus Dien Istighfar)

NIM.H05219007

## LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING



UNIVERSITAS ISLAM NEGERI  
SUNAN AMPEL  
SURABAYA

KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031 - 8410298 Fax. 031 - 8413300  
E-Mail : [samtekie@uinsby.ac.id](mailto:samtekie@uinsby.ac.id) Website : [www.uinsby.ac.id](http://www.uinsby.ac.id)

### LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR

Nama : Firdans Dien Istighfar  
NIM : H05219007  
Judul Tugas Akhir : Implementasi Life Cycle Assessment Pada Proses Produksi Tahu  
Di Industri Kecil "U.D.X" Desa Sumborsari, Kecamatan Megatulu,  
Kabupaten Jombang

Telah disetujui untuk pendaftaran Tugas Akhir

Surabaya, 11 April 2023

Dosen Pembimbing 1

Shifri Wazna Auvaria, M.T.

NIP. 198603282015032001

Dosen Pembimbing 2

Yusranti, M.T.

NIP.1982102220014032001

## PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

### PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Tugas Akhir Oleh,

NAMA : Firdaus Dien Istighfar

NIM : H05219007

JUDUL : Implementasi *Life Cycle Assessment* Pada Proses Produksi Tahu  
Di Industri Kecil "UD.X" Desa Sumbersari, Kecamatan Megaluh,  
Kabupaten Jombang

Telah dipertahankan di depan tim penguji skripsi  
Surabaya, 14 April 2023

Mengetahui,  
Dosen Penguji,

Dosen Penguji I

Shifni Wazna Auvaria, S.T., M.T.  
NIP. 198603282015032001

Dosen Penguji II

Yusranti, M.T.  
NIP. 198210222014032001

Dosen Penguji III

Suhitiya Nengse, S.T., M.T.  
NIP. 199010092020122019

Dosen Penguji IV

Dedy Suprayogi, M.KL  
NIP. 198512112014031002

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
Sunan Ampel Surabaya



Amrul Hamdani, M.Pd.  
NIP. 196507312000031002

## LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI



UIN SUNAN AMPEL  
SURABAYA

**KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA  
PERPUSTAKAAN**

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax. 031-8413300  
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

### LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : FIRDAUS DIEN ISTIGHFAR  
 NIM : H05219007  
 Fakultas/Jurusan : SAJNS DAN TEKNOLOGI/TEKNIK LINGKUNGAN  
 E-mail address : firdausistighfar9@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

Skripsi  Tesis  Desertasi  Lain-lain (.....)

yang berjudul :

### **IMPLEMENTASI LIFE CYCLE ASSESSMENT PADA PROSES PRODUKSI TAHU DI INDUSTRI KECIL "UD.X" DESA SUMBERSARI, KECAMATAN MEGALUH, KABUPATEN JOMBANG**

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 8 Mei 2023

Penulis

**(FIRDAUS DIEN ISTIGHFAR)**

## ABSTRAK

Industri Kecil Menengah (IKM) memiliki peran penting strategis dalam memperkuat dan meningkatkan kehidupan perekonomian masyarakat pada wilayah Kabupaten. Pada kegiatan industri tidak hanya memberikan dampak yang menguntungkan, kegiatan industri juga memberikan dampak yang merugikan yaitu limbah industri yang dihasilkan tak terkecuali industri tahu. “UD. X” adalah salah satu industri tahu kedelai yang didirikan pada tahun 1995 di Desa Sumpalsari, Megaluh, Kabupaten Jombang yang tergolong industri kecil. Pada saat ini pengolahan kedelai menjadi tahu pada “UD.X” rata-rata sebanyak 657 kg per hari. Bahan bakar pemasakan berasal dari kayu sisa industri mebel dan emisi yang dihasilkan langsung dibuang melalui cerobong asap. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi *input* dan *output* dari proses produksi tahu “UD. X” Desa Sumpalsari, Megaluh, Jombang. menghitung dan menganalisis nilai dampak dengan metode *Life Cycle Assessment (LCA)* dari proses produksi tahu “UD. X” Desa Sumpalsari, Megaluh, Jombang serta menganalisis alternatif bahan bakar pada proses produksi tahu “UD. X” Desa Sumpalsari, Megaluh, Jombang ditinjau dari dampak yang dihasilkan. Analisis data dilakukan dengan metode *Life Cycle Assessment (LCA)* menggunakan software OpenLCA 1.11.0. Dampak yang dikaji ditinjau dari metode penilaian dampak TRACI 2.1. Pada proses produksi tahu “UD.X” Desa Sumpalsari menghasilkan semua dampak yang dikaji pada TRACI 2.1, beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya dampak tersebut yaitu penggunaan listrik, penggunaan kayu bakar, dan penggunaan asam asetat.

Kata Kunci: Industri tahu, Life Cycle Assessment (LCA), OpenLCA, dan TRACI 2.1.

## ABSTRACT

*Small and Medium Industries (IKM) have an important strategic role in strengthening and improving the economic life of the community in the Regency area. In industrial activities not only have a beneficial impact, industrial activities also have a detrimental impact, namely the industrial waste produced is no exception to the tofu industry. "UD. X" is a soybean tofu industry that was founded in 1995 in Sumbersari Village, Megaluh, Jombang Regency which is classified as a small industry. At this time the processing of soybeans into tofu at "UD.X" averaged 657 kg per day. The fuel for cooking comes from wood left over from the furniture industry and the resulting emissions are discharged directly through the chimney. The purpose of this research is to identify the inputs and outputs of the tofu production process "UD. X" Sumbersari Village, Megaluh, Jombang. calculating and analyzing the impact value using the Life Cycle Assessment (LCA) method of the tofu production process "UD. X" Sumbersari Village, Megaluh, Jombang as well as analyzing alternative fuels in the tofu production process "UD. X" Sumbersari Village, Megaluh, Jombang in terms of the resulting impact. Data analysis was performed using the Life Cycle Assessment (LCA) method using OpenLCA 1.11.0 software. The impacts studied were reviewed using the TRACI 2.1 impact assessment method. In the production process of "UD.X" tofu, Sumbersari Village produced all the impacts studied in TRACI 2.1, several factors causing these impacts, namely the use of electricity, the use of firewood, and the use of acetic acid.*

*Keywords: Tofu industry, Life Cycle Assessment (LCA), OpenLCA, and TRACI 2.1.*

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING .....	i
PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
MOTTO .....	v
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
1.5. Batasan Penelitian .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>8</b>
2.1. Definisi Limbah.....	8
2.2. Sumber-Sumber Limbah .....	11
2.3. Industri Tahu .....	12
2.4. Dampak Industri Tahu Terhadap Lingkungan .....	14
2.5. Produksi Bersih .....	16
2.6. Life Cycle Assessment (LCA).....	18
2.6.1. Defenisi Life Cycle Assessment (LCA).....	18

2.6.2.	Metodologi Life Cycle Assessment (LCA) .....	18
2.7.	<i>Software</i> OpenLCA 1.11.0. ....	23
2.8.	Metode TRACI 2.1 .....	25
2.8.1.	<i>Ozone Layer Depletion</i> .....	26
2.8.2.	<i>Global Warming</i> .....	26
2.8.3.	<i>Smog</i> .....	27
2.8.4.	<i>Acidification</i> .....	27
2.8.5.	<i>Eutrophication</i> .....	28
2.8.6.	<i>Carcinogenic and Non-carcinogenic</i> .....	29
2.8.7.	<i>Ecotoxicity</i> .....	29
2.9.	Integrasi Keislaman.....	30
2.10.	Penelitian Terdahulu .....	33
BAB III METODE PENELITIAN.....		42
3.1.	Umum.....	42
3.2.	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	42
3.3.	Kerangka Operasional .....	45
3.4.	Kerangka Pikir Penelitian.....	48
3.5.	Tahap Pelaksanaan Penelitian.....	49
3.5.1.	Tahap Persiapan .....	49
3.5.2.	Tahap Pelaksanaan .....	50
3.5.3.	Pengambilan Sampel Limbah Cair.....	52
3.5.4.	Analisis Life Cycle Assessment.....	53
3.5.5.	Uji Validasi .....	55
BAB IV GAMBARAN UMUM.....		56
4.1.	Industri Tahu “UD.X” Desa Sumbersari, Kec. Megaluh, Kabupaten Jombang.....	56

4.2. Proses Produksi Tahu UD. X Desa Sumpersari, Kec. Megaluh, Kabupaten Jombang. ....	57
4.2.1 Proses Perendaman.....	58
4.2.2 Proses Pencucian.....	59
4.2.3 Proses Penggilingan .....	59
4.2.4 Proses Pemasakan .....	60
4.2.5 Proses Penyaringan .....	61
4.2.6 Proses Penggumpalan .....	62
4.2.7 Proses Pengepresan .....	63
4.2.8 Proses Pematangan .....	64
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>65</b>
5.1. Analisis LCA Proses Produksi Tahu .....	65
5.2. Analisis Hotspot Proses Produksi Tahu .....	116
5.3. Analisis Alternatif Bahan Bakar.....	118
5.3.1. Biogas.....	119
5.3.2. LPG .....	121
5.4. Uji Validitas data Menggunakan Microsoft Excel .....	125
<b>BAB VI PENUTUP .....</b>	<b>128</b>
6.1. Kesimpulan.....	128
6.2. Saran.....	129
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>130</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>142</b>

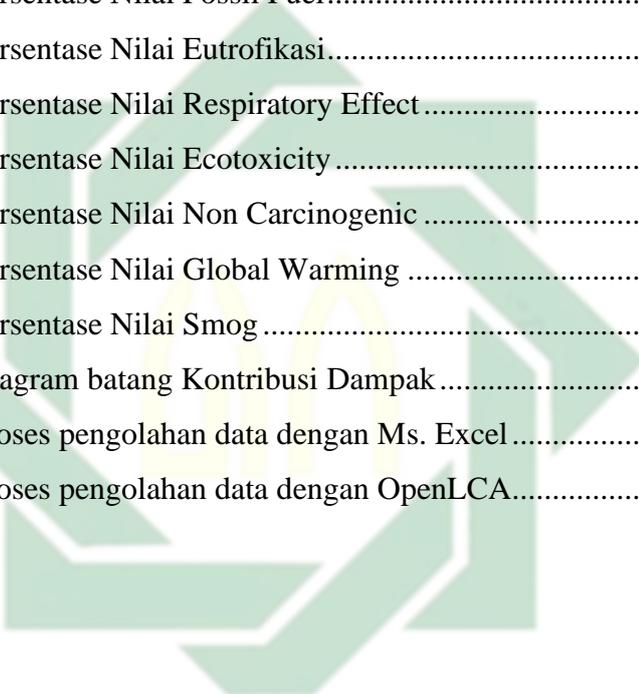
## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Simbol OpenLCA.....	24
<b>Tabel 2. 2</b> Penelitian Terdahulu.....	33
<b>Tabel 3. 1</b> Baku mutu air limbah bagi usaha pengolahan kedelai.....	53
<b>Tabel 5. 1</b> <i>Life cycle inventory</i> pada proses perendaman kedelai.....	68
<b>Tabel 5. 2</b> <i>life cycle inventory</i> pada proses pencucian kedelai.....	70
<b>Tabel 5. 3</b> <i>Life cycle inventory</i> pada proses penggilingan.....	73
<b>Tabel 5. 4</b> Faktor emisi dan NCV.....	75
<b>Tabel 5. 5</b> <i>Input</i> data pada proses pemasakan kedalam OpenLCA 1.11.0.....	77
<b>Tabel 5. 6</b> <i>Life cycle inventory</i> pada proses penyaringan.....	79
<b>Tabel 5. 7</b> <i>Life cycle inventory</i> pada proses penggumpalan.....	81
<b>Tabel 5. 8</b> <i>Life cycle inventory</i> pada proses pengepresan.....	83
<b>Tabel 5. 9</b> <i>Life cycle inventory</i> pada proses pemotongan.....	84
<b>Tabel 5. 10</b> Nilai Normalisasi TRACI 2.1.....	88
<b>Tabel 5. 11</b> Hasil dari <i>impact analysis</i> OpenLCA 1.11.0.....	89
<b>Tabel 5. 12</b> Nilai <i>Carcinogenics</i> .....	90
<b>Tabel 5. 13</b> Nilai <i>Ozone Depletion</i> .....	92
<b>Tabel 5. 14</b> Nilai <i>Acidification</i> .....	94
<b>Tabel 5. 15</b> Nilai <i>Fossil Fuel</i> .....	96
<b>Tabel 5. 16</b> Nilai Eutrofikasi.....	99
<b>Tabel 5. 17</b> Nilai <i>Respiratory Effect</i> .....	101
<b>Tabel 5. 18</b> Nilai <i>Ecotoxicity</i> .....	103
<b>Tabel 5. 19</b> Nilai <i>Non Carcinogenic</i> .....	105
<b>Tabel 5. 20</b> Nilai <i>Global Warming</i> .....	107
<b>Tabel 5. 21</b> Nilai <i>Smog</i> .....	110
<b>Tabel 5. 22</b> Kesetaraan biogas dengan energi lain.....	120
<b>Tabel 5. 23</b> Faktor Emisi.....	123
<b>Tabel 5. 24</b> Perbandingan pengeluaran emisi antara kayu bakar dan LPG.....	124

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Diagram Proses Produksi Tahu .....	13
<b>Gambar 2. 2</b>	Model Penerapan Produksi .....	16
<b>Gambar 2. 3</b>	Fase LCA .....	19
<b>Gambar 3. 1</b>	Peta Lokasi Penelitian "UD.X" Industri Tahu .....	43
<b>Gambar 3. 2</b>	Lokasi Penelitian Tugas Akhir .....	44
<b>Gambar 3. 3</b>	Diagram Alir Penelitian .....	45
<b>Gambar 3. 4</b>	Diagram alir penelitian .....	48
<b>Gambar 3. 5</b>	Kerangka Pikir Penelitian .....	49
<b>Gambar 3. 6</b>	klasifikasi data primer dan data sekunder proses produksi tahu.....	51
<b>Gambar 3. 7</b>	Batas sistem penelitian .....	54
<b>Gambar 3. 8</b>	Batas sistem alternatif.....	54
<b>Gambar 4. 1</b>	Kondisi Eksisting Industri Tahu "UD.X" .....	56
<b>Gambar 4. 2</b>	Proses produksi tahu pada "UD. X" Desa Sumpersari .....	57
<b>Gambar 4. 3</b>	Proses perendaman kedelai pada "UD.X" Desa Sumpersari.....	58
<b>Gambar 4. 4</b>	Keranjang proses pencucian kedelai.....	59
<b>Gambar 4. 5</b>	Proses penggilingan kedelai pada "UD.X" Desa Sumpersari .....	60
<b>Gambar 4. 6</b>	proses pemasakan pada "UD.X" Desa Sumpersari .....	61
<b>Gambar 4. 7</b>	Proses penyaringan kedelai cair pada "UD. X" Desa Sumpersari..	62
<b>Gambar 4. 8</b>	Proses penggumpalan pada "UD. X" Desa Sumpersari .....	63
<b>Gambar 4. 9</b>	Proses pengepresan pada "UD. X" Desa Sumpersari.....	64
<b>Gambar 4. 10</b>	Proses pemotongan tahu pada "UD. X" Desa Sumpersari .....	64
<b>Gambar 5. 1</b>	Proses input inventori awal.....	66
<b>Gambar 5. 2</b>	input LCI proses perendaman ke OpenLCA 1.11.0 .....	69
<b>Gambar 5. 3</b>	Input LCI proses pencucian ke OpenLCA 1.11.0.....	70
<b>Gambar 5. 4</b>	Input LCI proses penggilingan ke OpenLCA 1.11.0.....	73
<b>Gambar 5. 5</b>	Input LCI proses pemasakan ke OpenLCA 1.11.0.....	78
<b>Gambar 5. 6</b>	Input LCI proses penyaringan ke OpenLCA 1.11.0.....	80
<b>Gambar 5. 7</b>	input LCI proses penggumpalan ke OpenLCA 1.11.0 .....	82
<b>Gambar 5. 8</b>	input LCI proses pengepresan ke OpenLCA 1.11.0.....	84
<b>Gambar 5. 9</b>	Input LCI proses pemotongan ke OpenLCA 1.11.0.....	85

<b>Gambar 5. 10</b> Flowchart proses produksi tahu .....	86
<b>Gambar 5. 11</b> Normalization factor pada OpenLCA.....	87
<b>Gambar 5. 12</b> Nilai Normalisasi dan pembobotan .....	87
<b>Gambar 5. 13</b> Hasil Impact Analysis OpenLCA 1.11.0 .....	89
<b>Gambar 5. 14</b> Presentase Nilai Carcinoenics.....	91
<b>Gambar 5. 15</b> Presentase Nilai Ozone Depletion .....	93
<b>Gambar 5. 16</b> Presentase Nilai <i>Acidification</i> .....	95
<b>Gambar 5. 17</b> Presentase Nilai Fossil Fuel.....	98
<b>Gambar 5. 18</b> Presentase Nilai Eutrofikasi.....	100
<b>Gambar 5. 19</b> Presentase Nilai Respiratory Effect .....	102
<b>Gambar 5. 20</b> Presentase Nilai Ecotoxicity .....	104
<b>Gambar 5. 21</b> Presentase Nilai Non Carcinogenic .....	106
<b>Gambar 5. 22</b> Presentase Nilai Global Warming .....	109
<b>Gambar 5. 23</b> Presentase Nilai Smog .....	112
<b>Gambar 5. 24</b> Diagram batang Kontribusi Dampak.....	113
<b>Gambar 5. 25</b> Proses pengolahan data dengan Ms. Excel .....	126
<b>Gambar 5. 26</b> Proses pengolahan data dengan OpenLCA.....	127



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Industri Kecil Menengah (IKM) memiliki peran penting strategis dalam memperkuat dan meningkatkan kehidupan perekonomian masyarakat pada wilayah Kabupaten (Sembiring, *et al.*, 2018). Industri kecil merupakan usaha yang bergerak pada sektor perekonomian yang bersifat produktif dan mampu berdiri sendiri, baik dilakukan oleh perorangan atau badan usaha dan bukan merupakan anak perusahaan atau cabang perusahaan. Ditengah-tengah krisis ekonomi, sektor industri kecil masih dapat bertahan karena sifat dari sektor industri kecil adalah padat karya yaitu tidak membutuhkan persyaratan tertentu, membutuhkan modal usaha yang sedikit, dan menggunakan teknologi yang sederhana (Arnold, *et al.*, 2020). Pada kegiatan industri tidak hanya memberikan dampak yang menguntungkan, kegiatan industri juga memberikan dampak yang merugikan yaitu limbah industri yang dihasilkan (Anggreini, *et al.*, 2021).

Dalam Peraturan Menteri Perindustrian No. 33 Tahun 2020 pada Lampiran I telah mengklasifikasikan golongan pokok industri dan kelompok industri, salah satu kelompok industri dari industri makanan yaitu industri tahu kedelai. Secara umum proses produksi tahu terdiri dari pemilahan kedelai, penimbangan kedelai, perendaman kedelai, pencucian kedelai, penggilingan kedelai, ekstraksi, penyaringan, pemasakan, penggumpalan, pemisahan whey, pembungkusan, pengepresan, pemasakan dan pengemasan (Djayanti, 2015). Industri tahu memiliki dampak negatif bagi lingkungan, yaitu pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah yang dihasilkan dari proses produksi tahu (Zulmi, *et al.*, 2018). Industri tahu juga menghasilkan limbah padat, limbah cair, dan limbah gas (Robin & Supendi, 2015).

Umumnya limbah padat industri tahu masih memiliki kandungan protein sehingga dapat digunakan sebagai bahan pakan ternak atau diolah menjadi tempe gembus (Subekti, 2011), namun apabila tidak segera

dimanfaatkan akan berbau kurang sedap dan mengganggu lingkungan (Haryanto, *et al.*, 2020). Sedangkan limbah cair pabrik tahu umumnya langsung dibuang melalui saluran pembuangan menuju ke sungai, jika aliran sungai cukup deras serta daya dukung lingkungan masih baik maka air buangan tersebut tidak menimbulkan masalah, namun apabila daya dukung lingkungan sudah terlampaui, air buangan yang mengandung bahan-bahan organik akan mengalami proses peruraian oleh mikroorganisme dapat mencemari lingkungan (Ananda, *et al.*, 2018). Limbah gas dari pabrik tahu salah satunya berasal dari limbah cair tahu yang menghasilkan gas metana mengakibatkan efek gas rumah kaca (Subekti, 2011).

Potensi dampak lingkungan yang disebabkan oleh sebuah proses produksi dapat diidentifikasi oleh suatu metode pendekatan khusus, yaitu *Life Cycle Assessment (LCA)*. *Life cycle assessment* dapat mengidentifikasi dan menganalisis potensi dampak lingkungan yang terjadi pada seluruh siklus hidup suatu produk serta dapat mengetahui unit-unit pengolahan mana yang berkontribusi menyumbang dampak terhadap lingkungan yang cukup signifikan (Nurbaiti, *et al.*, 2021). Terdapat beberapa tahapan dalam menganalisis menggunakan metode pendekatan *Life Cycle Assessment (LCA)*, yaitu tahap *Goal And Scope*, tahap *Life cycle inventory*, tahap *Life Cycle Impact Assessment* dan tahap Interpretasi.

Melakukan penelitian yang berkaitan dengan lingkungan termasuk upaya dalam mencegah kerusakan bumi karena Allah melarang manusia membuat kerusakan di bumi seperti dalam firman-Nya pada surat Al-A'raf ayat 85:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا ۚ ذَلِكُمْ خَيْرٌ لَّكُمْ إِن كُنْتُمْ مُؤْمِنِينَ

Yang artinya : “Janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi sesudah Tuhan memperbaikinya. Yang demikian itu lebih baik bagimu jika betul-betul kamu orang beriman” Q.S Al-A'raf ayat 85.

Dalam firman Allah SWT diatas telah melarang manusia untuk berbuat kerusakan di bumi, oleh karena itu pada penelitian ini mengidentifikasi potensi dampak lingkungan agar mengetahui solusi dari

dampak lingkungan tersebut sebelum terjadi kerusakan di bumi dan dalam hal ini dapat menambah keimanan. Penelitian terhadap dampak lingkungan juga bermanfaat bagi manusia lain, hal ini dapat menjadikan kita sebagai sebaik-baiknya manusia, seperti dalam sabda Rasulullah SAW dalam Hadist Riwayat Thabrani dan Daruquthni.

حَيْرُ النَّاسِ أَنْفَعُهُمْ لِلنَّاسِ

Yang artinya : “Sebaik-baik manusia adalah yang bermanfaat bagi manusia” HR. Thabrani dan Daruquthni.

Analisis dampak lingkungan menggunakan *Life Cycle Assessment* (LCA) dapat dilakukan dalam berbagai sektor industri, Berdasarkan penelitian analisis dampak lingkungan menggunakan *Life Cycle Assessment* (LCA) yang dilakukan oleh Rahmawati, *et al.*, 2022 pada industri tahu dengan kapasitas 600-800 kg kedelai perhari, dihasilkan kerusakan pada beberapa impact category. Kontribusi terbesar hingga terkecil adalah ekotoksisitas perairan laut sebesar 0,000209 Kg1,4 DB-eq, pemanasan global sebesar  $5,87 \times 10^{-5}$  KgCO<sub>2</sub>-eq, dan *fresh water aquatic* sebesar  $2,83 \times 10^{-5}$  Kg1,4 DB-eq. Beberapa dampak tersebut didapatkan dari tiga proses, yaitu proses penggilingan kedelai, proses pemasakan bubur kedelai, dan proses penggumpalan sari kedelai.

“UD. X” adalah salah satu industri tahu kedelai yang didirikan pada tahun 1995 di Desa Sumpersari, Megaluh, Kabupaten jombang yang tergolong industri kecil. Pada saat ini pengolahan kedelai menjadi tahu pada “UD.X” rata-rata sebanyak 657 kg per hari dengan jumlah pekerja 19 orang dan tahapan proses produksi dilakukan seperti pada umumnya. Bahan bakar pemasakan berasal dari kayu sisa industri mebel, pembakaran kayu dapat menghasilkan CO dengan konsentrasi 5000 ppm dalam sekali pembakaran sedangkan nilai ambang batas (NAB) yang berbahaya terhadap kesehatan adalah 1500 ppm (0,15 %) (Sunita, 2018), CO termasuk kontibutor meningkatnya efek rumah kaca dan menimbulkan fenomena pemanasan global dan perubahan iklim (Rahadiyan & Naniek, 2012). Sumber air proses pembuatan tahu kedelai bersumber dari air tanah. Pada proses produksi tahu oleh “UD. X” menghasilkan 3 jenis limbah,

yaitu limbah padat, limbah cair dan limbah gas dan sejak tahun 1995 belum menemukan alternatif dalam proses produksinya, dalam hal ini DLH Jombang juga telah melakukan pemantauan terkait dengan pencemaran yang dihasilkan dari “UD. X” dan diharapkan “UD. X” dapat menemukan cara dalam meminimalisir pencemaran yang terjadi.

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan diatas, diperlukan suatu penelitian yang dapat mengidentifikasi nilai dampak lingkungan yang dihasilkan oleh energi dan emisi selama proses produksi. Implementasi *Life Cycle Assessment* pada “UD.X” Desa Sumber Sari, Megaluh, Jombang ini akan memberikan informasi terkait penggunaan energi, limbah dan emisi yang dihasilkan dari proses produksi.

Penelitian LCA direncanakan menggunakan Software OpenLCA karena memiliki pilihan terluas dari database LCI dan berkelanjutan yang relevan serta konsisten yang tersedia di dunia (Arba & Thamrin, 2022). OpenLCA juga dapat digunakan secara mudah dan legal dengan cara pengoperasian yang sederhana (Astuti, 2019). Metode penilaian dampak yang digunakan yaitu TRACI 2.1 untuk mengidentifikasi dampak dari proses produksi tahu kedelai. Penilaian dampak lingkungan yang dikaji dalam penelitian ini sesuai dengan database TRACI 2.1 yaitu *ozone depletion, global warming, smog, acidification, eutrophication, carcinogenics, non-carcinogenics, respiratory effects, ecotoxicity and fossil fuel depletion.*

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## 1.2. Rumusan Masalah

Rumusan Masalah pada penelitian ini adalah:

1. Apa saja yang menjadi *input* dan *output* dari proses produksi tahu “UD. X” Desa Sumpersari, Megaluh, Jombang?
2. Bagaimana penilaian dampak lingkungan dengan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dari proses produksi tahu “UD. X” Desa Sumpersari, Megaluh, Jombang?
3. Bagaimana alternatif bahan bakar pada proses produksi tahu “UD. X” Desa Sumpersari, Megaluh, Jombang ditinjau dari dampak yang dihasilkan?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi *input* dan *output* dari proses produksi tahu “UD. X” Desa Sumpersari, Megaluh, Jombang.
2. Menghitung dan menganalisis nilai dampak dengan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dari proses produksi tahu “UD. X” Desa Sumpersari, Megaluh, Jombang.
3. Menganalisis alternatif bahan bakar pada proses produksi tahu “UD. X” Desa Sumpersari, Megaluh, Jombang ditinjau dari dampak yang dihasilkan.

## 1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh pada penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Bagi Akademisi
  - a) Peneliti mendapatkan pengetahuan terkait dengan teori dan praktis dari penerapan *Life Cycle Assessment* (LCA) pada industri atau pabrik terutama pada proses produksi.
  - b) Peneliti dapat memberikan referensi bagi para peneliti selanjutnya yang mengambil metode *Life Cycle Assessment* (LCA) pada kegiatan industri atau pabrik.

- c) Menyediakan informasi *input* dan *output* pada proses produksi tahu kedelai.
  - d) Pengembangan potensi *Life Cycle Assessment* (LCA) pada bidang industri kecil menengah (IKM).
  - e) Dapat dijadikan sebagai bahan rujukan, literatur dan sarana dalam menambah wawasan dan pengetahuan tentang *Life Cycle Assessment* (LCA).
2. Bagi Masyarakat
    - 1) Memberikan informasi terkait dengan aktivitas proses produksi tahu kedelai pada “UD. X” Desa Sumpersari, Megaluh, Jombang.
    - 2) Memberikan informasi terkait dengan dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi tahu kedelai pada “UD. X” Desa Sumpersari, Megaluh, Jombang.
  3. Bagi “UD. X” Desa Sumpersari, Megaluh, Jombang
    - 1) Hasil penelitian ini diharapkan menjadi acuan bagi “UD. X” Desa Sumpersari, Megaluh, Jombang dalam merencanakan penggunaan energi alternative yang ramah lingkungan.

### 1.5. Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini adalah:

1. Lokasi penelitian di Industri Kecil tahu “UD. X” Desa Sumpersari, Megaluh, Kabupaten Jombang.
2. Analisis data menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA).
3. Batasan analisis atau *scope* pada penelitian ini “*gate to gate*” yaitu pada tahap proses produksi tahu kedelai.
4. *Life cycle inventory* yang diperlukan pada penelitian ini yaitu data konsumsi energi dan material pada proses pembuatan tahu kedelai.
5. Penilaian dampak lingkungan yang dikaji dalam penelitian ini sesuai dengan database TRACI 2.1 yaitu *ozone depletion, global warming, smog, acidification, eutrophication, carcinogenics, non-*

*carcinogenics, respiratory effects, ecotoxicity and fossil fuel depletion.*

6. Dampak lingkungan akan dianalisis dengan *software* OpenLCA 1.11.0.
7. Fungsi *unit* yang digunakan adalah 1 kg tahu kedelai sebagai asumsi *modeling* perhitungan guna mempermudah proses perhitungan.
8. Uji validitas data menggunakan Ms. Excel pada salah satu dampak yang dikaji.



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Definisi Limbah

Limbah merupakan bahan atau barang sisa bekas dari suatu kegiatan atau proses produksi yang fungsinya sudah berubah dari aslinya (Kemenperindag, 1997). Limbah yang sering kita kenal dengan sampah merupakan suatu bahan buangan yang berasal dari proses hasil produksi industri dan rumah tangga dimana kehadirannya tidak dikehendaki karena dapat menurunkan kualitas lingkungan dan tidak memiliki nilai ekonomi (Taruan, *et al.*, 2019). Terdapat 3 jenis limbah yaitu limbah padat, limbah cair dan limbah gas.

Limbah padat merupakan sisa dari aktivitas industri atau rumah tangga yang berwujud padat. Umumnya, limbah padat ini kering dan hanya dapat dipindahkan dengan cara tertentu. Sumber limbah padat ini dapat berasal dari sisa makanan, sayuran, kayu, limbah industri kertas, plastik, besi bubuk, kain, dan lain sebagainya (Sari, 2021). Limbah padat dapat dibedakan menjadi enam kategori yaitu Limbah organik semi basah yang terdiri dari bahan organik yang mudah terdegradasi atau diurai oleh mikroorganisme, Limbah anorganik dan organik yang tidak dapat diurai seperti sampah anorganik padat atau organik yang cukup kering dan sulit terurai oleh mikroorganisme, Abu yang dihasilkan dari proses pembakaran. Sisa-sisa hewan yang berasal dari bangkai hewan seperti tikus, ikan, dan sapi, Penyapuan jalan (*street sweeping*) yang terjadi akibat proses penyapuan berbagai jenis sampah seperti daun, kertas, dan plastik yang berserakan di jalan, Limbah industri yang dihasilkan dari kegiatan industri dengan komposisi sampah ini bervariasi tergantung pada jenis industri yang dilakukan (Isnaini, 2020).

Limbah padat yang tersisa dari industri tahu berasal dari proses pembuatan tahu yang dikenal di Indonesia dengan nama ampas tahu. Ampas tahu mengandung serat makanan (42,8-52,1%), protein (23,14-33,4%) dan lemak (7,81-12%) (Saxena dan Rai, 2020). Ampas tahu merupakan hasil dari pengepresan bubur kedelai yang tidak terpakai

dalam pembuatan tahu. Limbah ini mempunyai sifat cepat membusuk dan berbau tidak sedap jika tidak segera ditangani. Ampas tahu dapat menyebabkan pencemaran karena pembusukan dari ampas tahu yang dibiarkan serta dapat menimbulkan bau busuk yang menyengat serta berwarna hitam (Pagoray dkk, 2021). Selain itu ampas tahu mengandung zat protein yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber pakan hewan dan sebagai sarana untuk mempercepat pertumbuhan mikroorganisme. Oleh karena itu, ampas tahu dapat diuji dalam beberapa penelitian dengan cara diproses atau tidak diproses sama sekali. (Masir dkk, 2020).

Menurut KepMenKes No.1204 Tahun 2004, limbah cair merupakan semua air buangan termasuk tinja dari rumah sakit yang berbahaya bagi kesehatan karena kemungkinan mengandung mikroorganisme, bahan kimia beracun dan radioaktif, sedangkan menurut PerMenLH No.5 Tahun 2014, limbah cair adalah sisa buangan yang berbentuk cair yang mengandung mikroorganisme pathogen, bahan kimia beracun, dan radioaktivitas (Nikho, 2020). Limbah cair dari industri merupakan permasalahan yang umum terjadi di lingkungan. Apabila tidak dilakukan pengolahan, limbah tersebut dapat mencemari lingkungan industri. Limbah industri cair merujuk pada buangan limbah yang memiliki kualitas buruk dan dapat mencemari air tanah maupun permukaan. Hal ini menjadi salah satu permasalahan yang penting pada era industri, oleh karena itu pengolahan limbah harus dilakukan selama proses produksi di industri berlangsung (Rahayu dkk, 2021).

Cairan limbah dari proses pembuatan tahu merupakan hasil pengolahan sisa kedelai yang tidak terbentuk dengan sempurna. Hal ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, terutama dari limbah cair yang memiliki bau kurang sedap dan berwarna kekuningan. Sifat limbah cair dari industri tahu yang memiliki kandungan pencemar organik tinggi dan keasaman rendah (pH 4-5) dapat menimbulkan masalah pencemaran. Zat organik dalam limbah cair tahu mengendap di badan air sehingga pengolahan limbah menjadi hal yang sangat penting. Industri tahu seringkali membuang limbah cair langsung ke lingkungan tanpa

pengolahan, sehingga dapat menyebabkan pembusukan dan perkembangan mikroorganisme patogen. Limbah cair tahu industri dapat berasal dari berbagai sumber, seperti air rebusan tahu atau pencucian kedelai dan peralatan memasak. Limbah cair ini seringkali dibuang begitu saja sebelum diolah, sehingga dapat menimbulkan bau tidak sedap dan mencemari lingkungan sekitarnya. (Nikho, 2020).

Sampah gas ialah jenis limbah yang menggunakan udara sebagai medianya. Udara secara alami mengandung unsur-unsur kimia seperti  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ , dan lain-lain. Penambahan gas ke udara melebihi konsentrasi alami udara dapat menurunkan kualitas udara. Kelebihan emisi gas dapat mencemari udara dan membahayakan kesehatan masyarakat. Polutan udara terdiri dari partikel dan gas. Partikel halus dapat terlihat dengan mata telanjang, seperti kelembaban, debu, asap, kabut, dan asap. Di sisi lain, polusi gas hanya terlihat melalui bau (untuk gas tertentu) atau sebagai akibat langsung (Isnaini, 2020). Limbah gas merupakan sisa (bahan buangan) yang berwujud gas. Sisa gas muncul dalam bentuk kabut/asap, sisa gas selalu bergerak-gerak sehingga penyebarannya sangat luas. Contoh kabut kabut knalpot kendaraan bermotor yang merugikan lingkungan, pembuatan bahan bakar minyak juga menghasilkan gas buangan, serta asap hasil dari proses produksi suatu industri (Hikmah, 2019).

Gas-gas yang biasanya terdapat pada limbah tahu adalah nitrogen ( $N_2$ ), oksigen ( $O_2$ ), hidrogen sulfida ( $H_2S$ ), amonium ( $NH_3$ ), karbon dioksida ( $CO_2$ ), dan metana ( $CH_4$ ). Gas-gas ini dihasilkan dari penguraian zat organik dalam limbah air buangan (Yulianto, 2020). Limbah tahu juga memiliki limbah gas, yaitu berupa asap beserta serpihan-serpihan sampah pembakaran yang ditimbulkan mengakibatkan masyarakat atau pekerja mengalami gangguan pernapasan seperti sesak dan batuk-batuk. Limbah gas dari industri tahu merupakan limbah berupa gas hasil pembakaran ketel yang dapat dilihat dalam bentuk asap, selalu bergerak sehingga penyebarannya sangat luas dan gas tersebut dibuang ke udara tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu (Haniyah, 2020).

## 2.2. Sumber-Sumber Limbah

Limbah dapat dibedakan berdasarkan sumber-sumbernya. Berikut merupakan sumber-sumber penghasil limbah diantaranya yaitu:

a. Limbah Rumah Tangga

Limbah rumah tangga adalah limbah yang asalnya dari kegiatan manusia dalam rumah atau lingkungannya. Limbah rumah tangga disebut juga limbah domestik atau limbah pemukiman, seperti, air cucian baju, piring, kendaraan, air sabun dari sehabis mandi, kotoran manusia, plastik yang sudah tidak digunakan, dan botol – botol plastik atau kaleng (Baru, 2022).

b. Limbah industri

Limbah ini berasal dari kawasan industri, termasuk sampah yang berasal dari pembangunan industri, dan segala sampah yang berasal dari proses produksi, misalnya : sampah-sampah pengepakan barang, logam, plastik, kayu, potongan tekstil, kaleng, dan sebagainya (Pardede dan Tofano, 2019)

c. Limbah pertanian

Limbah ini sebagai hasil dari perkebunan atau pertanian misalnya: jerami, sisa sayur-mayur, batang padi, batang jagung, ranting kayu yang patah, dan sebagainya (Pardede dan Tofano, 2019)

d. Limbah medis

Limbah medis merupakan produk sisa bahan habis pakai baik itu biologis maupun non biologis atau sampah yang sudah tidak bisa digunakan kembali yang dihasilkan dari berbagai kegiatan- kegiatan di fasilitas kesehatan seperti rumah sakit, puskesmas, klinik, maupun fasilitas kesehatan lainnya. Agar tidak menimbulkan risiko infeksi bagi masyarakat di sekitar fasilitas kesehatan dan staf kesehatan yang bekerja di sana, limbah medis harus dikelola dengan benar. Limbah medis terdiri dari bahan infeksius, peralatan medis bekas pakai, dan obat-obatan kadaluarsa, yang semakin meningkat setiap tahun seiring dengan peningkatan jumlah rumah sakit, puskesmas, balai pengobatan, dan laboratorium medis. Oleh karena itu, limbah medis

harus dikelola dengan hati-hati karena merupakan bahan yang berbahaya dan infeksius (Rangkuti dkk, 2023)

Pada Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1204/Menkes/SK/X/2004, dijelaskan bahwa limbah medis padat harus mengikuti beberapa tahapan dalam pengelolaannya. Tahapan- tahapan tersebut meliputi pemilahan, pengumpulan, pengepakan, pengangkutan, serta proses pengolahan dengan cara pemusnahan (Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 2004).

e. Limbah pertambangan

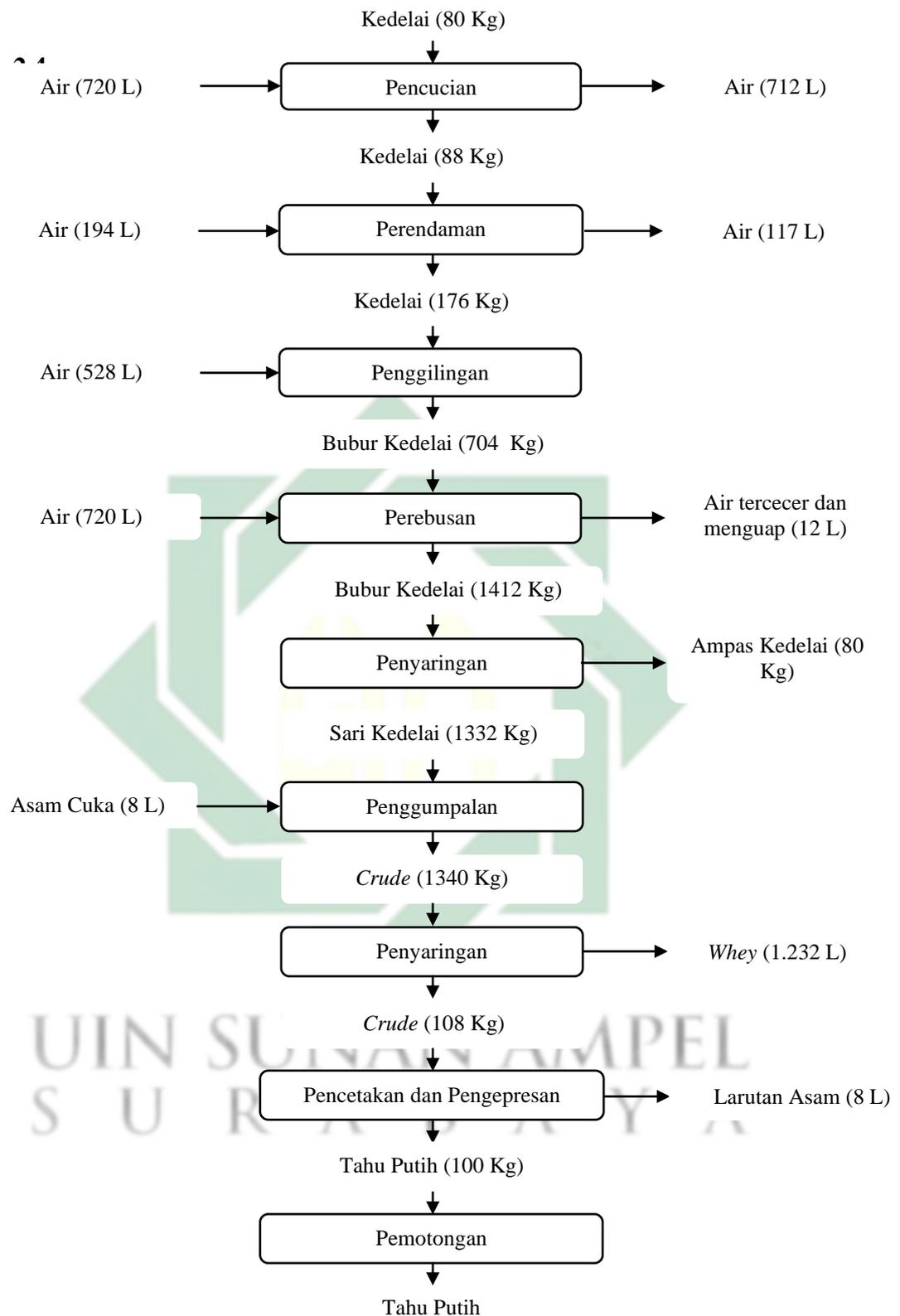
Sampah ini berasal dari daerah pertambangan, dan jenisnya tergantung dari jenis usaha pertambangan itu sendiri, misalnya: batubatuan, tanah/cadas, pasir, sisa-sisa pembakaran (arang), dan sebagainya (Pardede dan Tofano, 2019)

### 2.3. Industri Tahu

Industri adalah kegiatan ekonomi yang bertujuan dalam peningkatan kesejahteraan dan kemakmuran masyarakat dengan menggunakan atau memanfaatkan sumber daya yang ada, keuangan, dan lain-lain. Industri dapat membantu mendorong pertumbuhan ekonomi Negara dengan membuka lapangan pekerjaan secara luas. industri kecil merupakan bentuk perekonomian masyarakat indonesia yang apabila dapat berkembang akan mampu mengatasi dan memecahkan masalah-masalah dasar pembangunan di Indonesia serta industri kecil juga berperan dalam menciptakan suatu proses industrialisasi di Indonesia yang berkesinambungan (Prayoga, 2019). Tahu adalah bahan makanan yang terbuat dari endapan kacang kedelai yang telah mengalami beberapa tahapan, dan tahu juga termasuk jenis makanan tidak tahan lama setelah diproduksi (Satriawan, *et al.*, 2019). Industri tahu termasuk jenis usaha yang tergolong sebagai industri kecil karena skala dari industri tahu kecil, dapat meningkatkan keikutsertaan masyarakat, tenaga kerja dan faktor produksi lain digunakan serba terbatas, sehingga kapasitas dalam produksi tahu juga terbatas (Faqih et al., 2019).

Proses pembuatan tahu secara sederhana terdiri dari beberapa tahapan, yaitu perendaman kedelai kering dengan menggunakan air bersih selama 4 – 12 jam, pengupasan, perendaman air bersih selama 45 menit, penggilingan kedelai, perebusan, penyaringan bubur kedelai, pendidihan susu kedelai, penggumpalan dengan bahan penggumpal dan tahap terakhir yaitu pencetakan tahu (Arifin & Suherman, 2019). Berikut merupakan diagram alir proses produksi tahu yang tersaji pada **Gambar 2.1**.



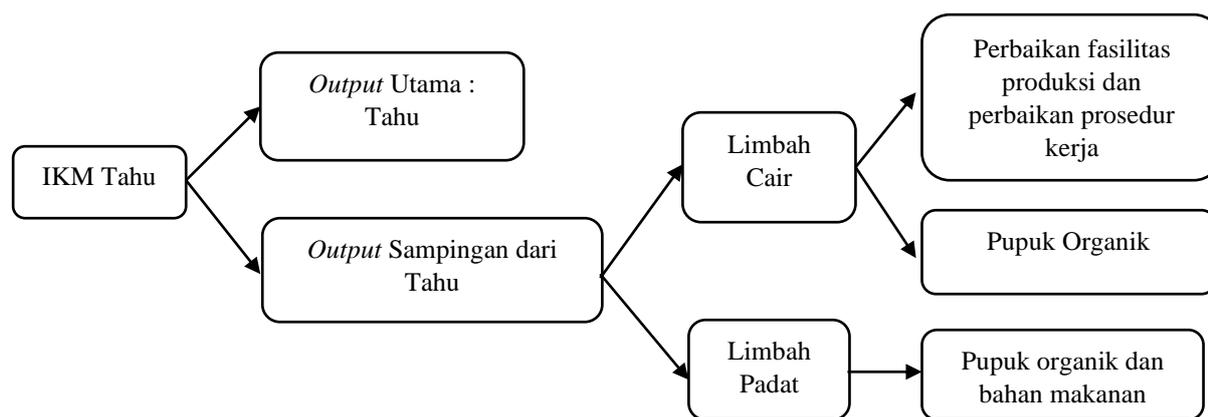


**Gambar 2. 1** Diagram Alir Proses Produksi Tahu

## 2.5. Dampak Industri Tahu Terhadap Lingkungan

Industri tahu menghasilkan limbah padat, limbah cair dan limbah gas (Robin & Supendi, 2015). Limbah pabrik tahu berbentuk padat seperti ampas tahu. Umumnya pada industri tahu menghasilkan limbah padat sekitar 40% dari total kapasitas produksi (faisal, *et al.*, 2016). Limbah padat dari proses produksi tahu dihasilkan dari proses penyaringan yang berupa ampas tahu dan pada proses penggumpalan. Umumnya limbah padat industri tahu masih memiliki kandungan protein sehingga dapat digunakan sebagai bahan pakan ternak atau diolah menjadi tempe gembus (Subekti, 2011), namun apabila tidak segera dimanfaatkan akan berbau kurang sedap dan mengganggu lingkungan (Haryanto, *et al.*, 2020).

Limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi tahu berasal dari proses perendaman, pencucian kedelai, pencucian peralatan proses produksi tahu, penyaringan dan pengepresan atau pencetakan tahu. Limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu sebagian besar adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yaitu air dadih atau whey (Ananda *et al.*, 2018). Dalam penelitian (Nadya & Handayani, 2020) telah menyimpulkan bahwa penelitian di IKM tahu penanganan limbah cair dilakukan dengan 2 (dua) cara, yaitu dengan perbaikan fasilitas produksi dan prosedur kerja serta memanfaatkan limbah cair dari proses produksi menjadi pupuk organik, sedangkan dalam penanganan limbah padat dari proses produksi dapat dimanfaatkan menjadi 2 (dua), yaitu diolah menjadi pupuk organik dan dapat dijadikan sebagai bahan makanan. Model penerapan produksi dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



**Gambar 2. 2** Model Penerapan Produksi  
(Sumber : Nadya & Handayani, 2020)

Limbah gas industri tahu terdapat pada air buangan limbah tahu dan pada proses pemasakan. Gas yang dihasilkan pada air buangan limbah tahu, yaitu gas nitrogen ( $N_2$ ), oksigen ( $O_2$ ), hidrogen sulfida ( $H_2S$ ), ammonia ( $NH_3$ ), karbondioksida ( $CO_2$ ), dan metana ( $CH_4$ ) (Putri, N. A., dkk., 2021). Pada proses pemasakan bahan bakar produksi pabrik tahu menggunakan kayu bakar dan pembakaran kayu bakar tersebut menghasilkan CO dengan konsentrasi 5000 ppm dalam sekali pembakaran sedangkan kadar yang berbahaya terhadap kesehatan adalah 1500 ppm (0,15 %) (Sunita, 2018), CO termasuk kontibutor meningkatnya efek rumah kaca dan menimbulkan fenomena pemanasan global dan perubahan iklim (Bovi Rahadiyan & Naniek, 2012).

## 2.6. Produksi Bersih

Proses produksi bersih merupakan suatu pendekatan yang mengarah kepada peningkatan efisiensi proses produksi, penggunaan teknik-teknik daur ulang dan pakai ulang, kemungkinan substitusi bahan baku yang lebih ekonomis dan tidak berbahaya serta perbaikan sistem operasi dan prosedur kerja. Penerapan produksi bersih pada industri dapat dilakukan dengan aplikasi minimasi limbah dan teknologi bersih. Pendekatan produksi bersih ini akan menurunkan biaya produksi, meningkatkan efisiensi dan produktivitas serta memperbaiki citra lingkungan dan hubungan dengan stakeholders lainnya. Dengan

demikian tujuan perusahaan yaitu laba, pertumbuhan dan keberlanjutan usaha akan tercapai (Hasianny, S., *et al.*, 2015)

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2018), produksi bersih adalah strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif, terpadu dan diterapkan secara terus menerus pada setiap kegiatan mulai dari hulu ke hilir yang terkait dengan proses produksi, produk dan jasa untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumberdaya alam, mencegah terjadinya pencemaran lingkungan dan mengurangi terbentuknya limbah pada sumbernya sehingga dapat meminimasi resiko terhadap kesehatan dan keselamatan manusia serta kerusakan lingkungan.

Penerapan Produksi Bersih perlu disosialisasikan pada industri tahu karena dapat membantu pencegahan dan menurunkan dampak lingkungan melalui siklus hidup produk. Siklus hidup produk dimulai dari penyediaan bahan baku hingga menjadi produk dan sampai pada pembuangan akhir. Strategi produksi bersih yang dapat diterapkan pada industri ini meliputi strategi dengan melihat proses dan melihat produk akhir (Djayanti, S. 2015).

Strategi dengan melihat proses berupa pencegahan kerusakan pada bahan baku, meminimumkan penggunaan energi, menghilangkan penggunaan bahan baku yang berbahaya dan beracun serta mengurangi kadar racun yang terkandung di emisi dan limbah sebelum meninggalkan proses. Strategi pada produk akhir dilakukan dengan mengurangi dampak lingkungan sepanjang daur hidup produk mulai dari pembuatan produk hingga pembuangan akhir. Produksi Bersih merupakan tindakan efisiensi pemakaian bahan baku, air dan energi, dan pencegahan pencemaran, dengan sasaran peningkatan produktivitas dan minimisasi timbulan limbah. Produksi bersih perlu diterapkan agar pemakaian bahan baku, air, energi dan pencegahan pencemaran dalam suatu produksi bisa diminimalkan semaksimal mungkin. Upaya untuk mencegah dan atau mengurangi timbulnya limbah industri tahu tempe, dimulai sejak pemilihan bahan, teknologi proses, penggunaan materi dan energi dan pemanfaatan produk sampingan pada suatu sistem produksi. Minimisasi

limbah dapat dilakukan dengan cara reduce, reuse, recycle, recovery (Bomantoro, S., 2015).

## 2.7. Life Cycle Assessment (LCA)

### 2.6.1. Defenisi Life Cycle Assessment (LCA)

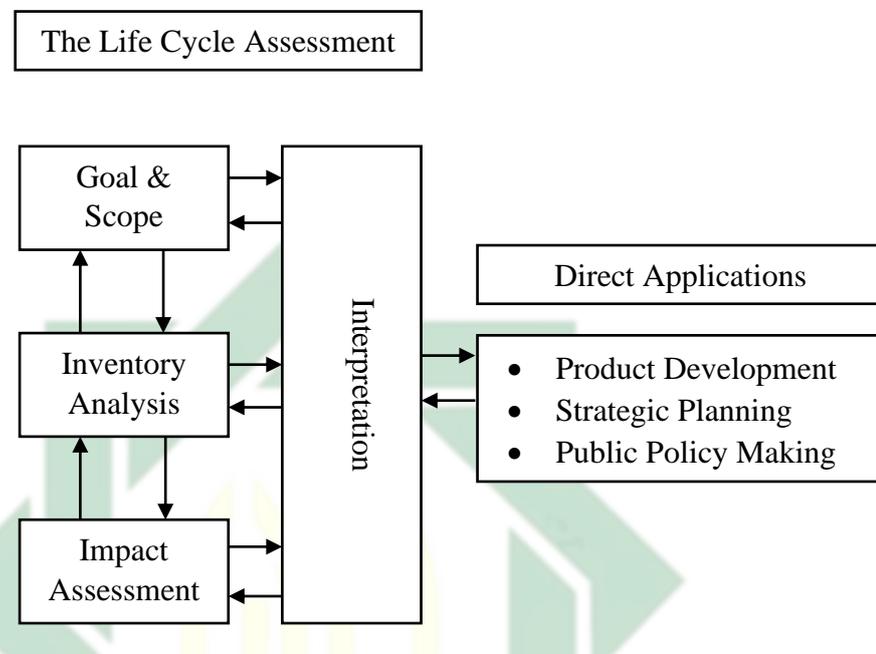
Definisi life cycle assessment telah dijelaskan dalam ISO 14040 (1997), LCA adalah suatu prosedur kuantitatif yang berfungsi untuk menilai aspek-aspek lingkungan dan potensial dampak yang terjadi terkait dengan produk. LCA berfungsi menganalisis potensi dari dampak lingkungan yang terjadi akibat ada suatu kegiatan, dengan cara mengetahui *input* yang digunakan, baik sumber daya alam maupun energi. Metode ini juga dapat memaksimalkan *output* dengan *input* yang sama, dapat mengurangi penggunaan bahan baku dan transportasi, sebagai penerapan pengendalian pencemaran dan mengurangi emisi yang ada pada lingkungan serta dapat memanfaatkan limbah (Chauhan *et al.*, 2011).

Beberapa manfaat atau nilai penting dari *Life Cycle Assessment* (LCA) sebagai berikut :

- 1) Meningkatkan pengambilan keputusan mengenai pemilihan produk dan sistem produksi.
- 2) Identifikasi dampak utama terhadap lingkungan dan tahapan siklus hidup produk.
- 3) Menyediakan tindakan perbaikan berbasis lingkungan (Pujadi & Yola, 2013).

### 2.6.2. Metodologi Life Cycle Assessment (LCA)

Dalam Standar sebuah Life Cycle Assessment dilakukan dalam empat fase yang berbeda. ISO 14040 telah mengkaji Metodologi pada Life Cycle Assessment (LCA) yang terdiri dari empat fase dan menunjukkan hubungan diantara keempat fase ini seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2. 3 Fase LCA

Sumber: ISO 14040, 1997

a) *Goal and Scope Defenition*

Merupakan tahap awal dalam melakukan analisis LCA.

Pada tahap ini dibuat dan ditentukan tujuan dari kajian LCA serta menentukan batasan atau ruang lingkup dalam pelaksanaan LCA. Pendefinisian tujuan dan ruang lingkup merupakan suatu fase untuk menentukan sebuah rencana kerja dari sebuah keseluruhan Life Cycle Assessment (LCA). Pada tahap ini mencakup deskripsi dari metode yang diaplikasikan untuk memperkirakan dampak potensi lingkungan dan dampak mana yang akan diperhitungkan.

b) *Functional Units*

Dalam penelitian LCA, sistem dievaluasi berdasarkan fungsi yang ditetapkan (Functional Units). Functional units (fu) ditentukan sebagai parameter *input* dan *output* dari

inventarisasi data yang memungkinkan perbandingan antar sistem yang dianalisis. Penentuan unit fungsional sangat penting bila LCA ditujukan untuk membandingkan produk.

c) *Life cycle inventory (LCI)*

Analisis inventori merupakan fase penilaian siklus hidup yang melibatkan kompilasi dan kuantifikasi *input* dan *output* untuk produk sepanjang siklus hidupnya didalam batasan (sistem produk) yang ditentukan dari tujuan penelitian. Data berikutnya yang harus dikumpulkan adalah data *input-output* untuk produksi bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan produk (termasuk bahan primer atau sekunder).

d) *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)*

Penilaian dampak lingkungan dilakukan sesuai dengan *goal and scope definition* yang telah ditentukan. Pada tahapan ini akan dilakukan pengelompokkan dan penilaian mengenai efek yang ditimbulkan terhadap lingkungan berdasarkan data-data yang diperoleh pada tahapan *life cycle inventory*. ISO mengembangkan standar untuk melakukan penilaian dampak berjudul ISO 14040, Life Cycle Assessment (LCA) ISO 14040 Series, yang menyatakan bahwa ada tiga langkah yaitu :

- 1) Kategori dampak, seleksi Langkah pertama dalam Life Cycle Impact Assessment (LCIA) adalah memilih kategori dampak yang akan dianggap sebagai bagian dari keseluruhan Life Cycle Assessment (LCA). Langkah ini harus diselesaikan sebagai bagian dari tujuan awal dan fase definisi lingkup untuk memandu proses pengumpulan data *Life cycle inventory* (LCI) dan membutuhkan peninjauan kembali mengikuti tahap pengumpulan data. Untuk Life Cycle Impact Assessment (LCIA) , dampak didefinisikan sebagai konsekuensi yang dapat disebabkan oleh *input* dan *output* aliran sistem

pada kesehatan manusia, tanaman, dan hewan, atau masa depan ketersediaan sumber daya alam.

- 2) Klasifikasi adalah untuk mengatur dan mungkin menggabungkan hasil *Life cycle inventory* (LCI) ke dalam kategori dampak. Untuk *Life cycle inventory* (LCI) item yang berkontribusi terhadap hanya satu kategori dampak, prosedur ini merupakan tugas yang sederhana. Sebagai contoh, emisi karbon dioksida dapat diklasifikasikan ke dalam kategori pemanasan global. Untuk *Life cycle inventory* (LCI) produk yang berkontribusi terhadap dua atau lebih kategori dampak yang berbeda, aturan harus ditetapkan untuk klasifikasi.
- 3) Karakterisasi memiliki faktor sebagai ciri kontribusi parameter inventaris tertentu ke kategori dampak yang ditetapkan memberikan cara praktis untuk kuantifikasi, kuantifikasi hanya dibuat dalam kategori dampak tertentu. Oleh karena itu karakterisasi hanya membahas kontribusi relatif di antara parameter inventarisasi yang ditetapkan untuk kategori tertentu.
- 4) Normalisasi merupakan proses yang membagi suatu nilai karakterisasi dari suatu kategori dampak suatu sistem produk dengan referensi normalisasi dari kategori dampak yang sama. Nilai normalisasi (dampak yang dinormalisasi), yang merupakan hasil dari langkah normalisasi, merepresentasikan kontribusi fraksional dari sistem produk terhadap kategori dampak tertentu. Alasan untuk melakukan normalisasi dalam studi LCA, yaitu memungkinkan pemeriksaan kesalahan data inventaris dan nilai karakteristik, memungkinkan interpretasi yang lebih baik dari nilai dampak yang diutamakan sehubungan dengan nilai dampak yang diutamakan dari kategori dampak lain, dan memberikan titik awal untuk

melakukan langkah pembobotan berikutnya. Normalisasi adalah langkah perantara antara karakteristik dan langkah pembobotan. Normalisasi bertujuan untuk menyeragamkan satuan dari seluruh kategori dampak (Ain, 2021)

- 5) Grouping atau pengelompokan memberikan kategori dampak ke dalam satu atau lebih set untuk lebih memudahkan interpretasi hasil ke wilayah tertentu yang menjadi perhatian. Biasanya, pengelompokan melibatkan menyortir atau peringkat di indikator.
- 6) Pembobotan merupakan proses menetapkan signifikansi relatif terhadap kategori dampak. Dalam pembobotan terdapat 2 pendekatan, yaitu pendekatan perspektif yang lebih luas dan hasil dari pendekatan ini bersifat kualitatif, sedangkan untuk perspektif yang lebih sempit bersifat kuantitatif yang hasilnya nilai tunggal atau bobot dampak dari suatu produk.
- 7) Evaluate and Document the Life Cycle Impact Assessment (LCIA) Results Potensi dampak untuk setiap kategori dipilih telah dihitung, keakuratan hasilnya harus diverifikasi. Akurasi harus cukup untuk mendukung tujuan untuk melakukan Life Cycle Assessment (LCA) sebagaimana didefinisikan dalam tujuan dan ruang lingkup. Seperti semua alat penilaian lainnya, Life Cycle Impact Assessment (LCIA) memiliki keterbatasan. Meskipun proses Life Cycle Impact Assessment (LCIA) mengikuti prosedur yang sistematis, ada banyak asumsi dan penyederhanaan, serta pilihan nilai subyektif tergantung pada metodologi Life Cycle Impact Assessment (LCIA) dipilih (SETAC, 2001)

e) Intrepretation

Interpretasi adalah langkah terakhir dari LCA yaitu mengevaluasi inventaris siklus hidup, penilaian dampak atau keduanya, dalam kaitannya dengan ruang lingkup yang ditetapkan dan dengan tujuan untuk memberikan rekomendasi. Interpretasi hasil adalah langkah terakhir dalam LCA. Interpretasi hasil terdiri dari dua langkah, yaitu identifikasi isu penting dan evaluasi. Pada tahap identifikasi isu penting, interpretasi hasil dilakukan untuk melihat konsistensi dalam inventarisasi *input*, *output*, dan penilaian dampak lingkungan. Tahapan ini bertujuan untuk menginterpretasikan data yang telah dikumpulkan hasil kajian LCI dan LCIA menjadi beberapa hal yang dapat digunakan sebagai bahan untuk pengambilan keputusan dan kebijakan. Dalam melakukan tahap interpretasi, untuk menentukan isu-isu penting lingkungan, metode analisis yang dapat dilakukan adalah metode pendekatan analisis kontribusi, yang bertujuan untuk mengidentifikasi data yang memiliki kontribusi terbesar terhadap lingkungan. Selain itu, digunakan juga metode analisis perbaikan hasil, sehingga dapat dirumuskan kesimpulan serta saran perbaikan bagi industri tahu kedepannya.

**2.8. Software OpenLCA 1.11.0.**

*Software* OpenLCA merupakan alat untuk menganalisis data yang satu-satunya software yang tidak berbayar, openLCA juga dapat digunakan secara mudah dan legal dengan cara pengoperasian yang sederhana (Astuti, 2019). OpenLCA merupakan *software* generasi terbaru dari greendelta sering digunakan dalam *Life Cycle Assessment* (LCA), software ini bersifat open publik yang dapat dengan mudah diakses secara gratis. OpenLCA mampu membantu menganalisis aspek-

aspek lingkungan dari produk maupun jasa secara sistematis dan konsisten (Lolo et al., 2022).

Terdapat fitur dan proses yang tersedia pada *software* OpenLCA, secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1) *Flows*, merupakan *input* dan *output* dari seluruh produk, material ataupun energi pada proses produksi suatu produk. Tipe *flow* yang terdapat pada OpenLCA adalah
  - a) *Elementary flows*, material ataupun energi yang berasal dari lingkungan yang masuk dan keluar dari/ke proses produksi,
  - b) *Product flows*, pertukaran material ataupun energi pada saat proses produksi,
  - c) *Waste flows*, material ataupun energi yang keluar dari proses produksi.
- 2) *Database*, OpenLCA memiliki pilihan terluas dari *database* LCI dan keberlanjutan yang relevan dan konsisten yang tersedia di seluruh dunia. Pada penelitian ini *database* yang dipakai adalah “Agribalyse V3.0.1 “ yang tidak berbayar pada Nexus web.
- 3) *Basic modelling*, elemen dalam *database* yang dibutuhkan untuk permodelan pada OpenLCA, berikut merupakan simbol yang ada pada OpenLCA ditampilkan pada **Tabel 2.1**.

**Tabel 2. 1** Simbol OpenLCA

No	Fitur	Simbol	Keterangan
1	<i>Flow</i>	<b>F</b>	Fitur merupakan semua produk, material ataupun energi baik <i>input</i> maupun <i>output</i> dalam suatu sistem yang sedang dianalisis
2	<i>Process</i>	<b>P</b>	Process adalah suatu kegiatan yang mengubah <i>input</i> menjadi <i>output</i>
3	<i>Product System</i>		Product system berisi semua proses dalam suatu produk yang sedang dianalisis yang dapat terdiri dari satu atau beberapa proses

No	Fitur	Simbol	Keterangan
4	<i>Project</i>		Project merupakan suatu bagian besar yang terdiri dari beberapa product system. Pada OpenLCA, project dapat membandingkan dampak dari berbagai product system yang ada didalamnya.

Sumber : Gmbh, 2016

Dari beberapa software yang ada dalam membantu menganalisis potensi dampak lingkungan memiliki keunggulan tersendiri dan berikut merupakan keunggulan dari software OpenLCA (Arba & Thamrin, 2022):

- 1) Dapat menghitung dampak lingkungan dari produk dan proses serta aspek ekonomi.
- 2) Memiliki pilihan terluas dari database LCI dan berkelanjutan yang relevan serta konsisten yang tersedia di dunia.
- 3) Paket metode penilaian dampak tersedia secara gratis.
- 4) Proses jaringan dan pemodelan grafis dapat dibuat secara manual dan otomatis.

## 2.9. Metode TRACI 2.1

TRACI 2.1 (the Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts) telah dikembangkan untuk metrik keberlanjutan, penilaian dampak siklus hidup, ekologi industri, dan penilaian dampak desain proses untuk mengembangkan produk, proses, fasilitas, perusahaan, dan komunitas yang semakin berkelanjutan (Bare, 2012).

Indikator ini mengidentifikasi Penilaian dampak yang dilakukan terhadap kategori dampak yang wajib dikaji dalam metode TRACI 2.1, antara lain *Ozone Depletion*, *Climate Change (Global Warming)*, *Smog*, *Acidification*, *Eutrophication*, *Human Toxicity*, *Respiratory Effects*, *Ecotoxicity And Fossil Fuel Depletion* (Hanafi & Riman, 2015). Berikut ini merupakan beberapa kategori dampak dalam TRACI 2.1.

### 2.9.1. *Ozone Layer Depletion*

Potensi penipisan ozon ( $O_3$ ) stratosfer. Stratospheric Ozone Depletion Potential (SODP) adalah penipisan lapisan ozon di stratosfer yang disebabkan oleh gas pencemar seperti Chlorofluorocarbon (CFC) dan Haloncarbon (HC) yang banyak ditemukan di refrigerator dan alat pendingin udara. Lapisan ozon stratosfer berfungsi sebagai pelindung bumi dari pancaran sinar Ultraviolet (UV) yang dapat membahayakan manusia dan lingkungan (Filimonau, 2015).

Pada penelitian (Harjanto, *et al.*, 2022) industri tahu juga menghasilkan *Chlorofluorocarbon* (CFC) mengandung klorin, karbon, dan fluorin. Pada pembuatan tahu goreng menghasilkan CFC sebesar  $1,43 \cdot 10^{-5}$  kg CFC-11<sub>(eq)</sub> yang bersumber dari proses pembuatan tahu. *Chlorofluorocarbon* (CFC) merupakan faktor utama penyebab dari penipisan lapisan ozon.

### 2.9.2. *Global Warming*

*Global warming* adalah isu penting yang terjadi akibat aktivitas ekonomi yang dilakukan dengan tidak memperhatikan dampak lingkungan yang menyebabkan meningkatnya temperatur di bumi pada beberapa tahun terakhir. Pemanasan global ini bersumber dari berbagai aktivitas-aktivitas manusia dimulai dari kegiatan pembakaran bahan bakar fosil, industri, dan penggundulan hutan dengan besar-besaran yang tentunya menyebabkan timbulnya emisi karbon dengan dampak yang ditimbulkan yakni efek rumah kaca yang juga menimbulkan efek jangka yang panjang terhadap kehidupan, dan diharuskan dalam mengurangi aktivitas yang dapat merusak hutan atau kegiatan yang mampu menimbulkan emisi (Wahyuni & Suranto, 2021).

Industri tahu juga menghasilkan gas yang berpotensi dalam peningkatan *global warming*, salah satunya yaitu gas metana ( $CH_4$ ). Gas metana yang mempunyai kadar tinggi dapat

berpengaruh mengurangi kadar oksigen pada atmosfer bumi sekitar 19,5% dan apabila gas metana yang berkadar tinggi bercampur dengan udara, dapat menyebabkan kebakaran dan ledakan, gas metana juga berdampak lebih besar terhadap *global warming* dibandingkan dengan gas karbondioksida (Mulyani, 2021).

### 2.9.3. *Smog*

*Smog* terbentuk pada musim panas yang disebabkan oleh sinar matahari bereaksi dengan emisi polusi dari kendaraan bermotor, industri, cat, pelarut dan uap bensin. Polutan yang bereaksi dengan sinar matahari musim panas akan membentuk *ozon ground level*, komponen utama suatu asap kabut (*smog*).

*Smog* berpengaruh terhadap kesehatan manusia. Paparan ozon dapat menyebabkan penyakit pernapasan diantaranya yaitu serangan asma, radan paru-paru dan lain-lain. Konsentrasi ozon yang melebihi standar kesehatan yaitu dimana konsentrasi polutan dalam asap kabut meningkat lebih dari tiga kali lipat dapat disimpulkan bahwa wilayah tersebut terindikasi sebagai wilayah dengan udara yang kotor (Gusnita, 2014).

### 2.9.4. *Acidification*

Pencemaran yang terjadi disebabkan oleh adanya pengasaman lingkungan disebut asidifikasi. Asidifikasi merupakan penghasil emisi berupa klorin dioksida ( $\text{SO}_2$ ), amonia ( $\text{NH}_3$ ), dan  $\text{NO}_x$  sebagai hasil dari pembakaran yang dapat meningkatkan kandungan asam yang dilepas ke atmosfer. Polutan penyebab asidifikasi mengandung  $\text{SO}_2$  berasal dari penggunaan bahan bakar, listrik, dan pembakaran sulfur. Terdapat reaksi oksidasi yang menghasilkan uap air yang berasal dari beberapa gas tersebut menghasilkan asam sulfat dan asam nitrat sehingga menyebabkan terjadinya hujan asam (Athirafitri, *et al.*, 2021).

Hujan asam disebabkan oleh aktivitas manusia seperti industri, pembangkit tenaga listrik, kendaraan bermotor dan pabrik pengolahan pertanian (terutama amonia). Gas-gas yang dihasilkan oleh proses ini dapat terbawa angin hingga ratusan kilometer di atmosfer sebelum berubah menjadi asam dan terdeposit ke tanah. Dampak Hujan asam adalah Air hujan yang asam tersebut akan meningkatkan kadar keasaman tanah dan air permukaan yang terbukti berbahaya bagi kehidupan ikan dan tanaman (Nasihah, 2017).

#### **2.9.5. Eutrophication**

Peningkatan kadar nutrien yang dapat menyebabkan berkembangnya tumbuhan di permukaan perairan sehingga berpotensi menurunkan kadar oksigen serta intensitas cahaya yang masuk ke perairan disebut eutrofikasi (Athirafitri, *et al.*, 2021). Sumber polutan utama pada eutrofikasi berasal dari pengolahan limbah cair jika limbah dibuang ke lingkungan (Astuti, 2019).

Eutrofikasi adalah peristiwa meningkatnya bahan organik dan nutrien terutama unsur nitrogen dan fosfor yang terakumulasi di badan air. Peningkatan bahan organik dan nutrien ini bersumber dari ekosistem perairan itu sendiri maupun diluar dari ekosistem (Adawiah, *et al.*, 2021). Limbah yang masuk dalam perairan merupakan salah satu penyebab dari eutrofikasi. Peningkatan limbah yang mengandung nitrat dan fosfat yang pada ekosistem perairan dapat membahayakan organisme didalamnya (Desanti, *et al.*, 2023).

Eutrofikasi juga dapat menyebabkan peningkatan kebutuhan oksigen pada perairan sehingga dapat berdampak pada ekosistem perairan tersebut. Air limbah sebagai salah satu sumber pencemaran perairan rata-rata mengandung patogen atau bakteri didalamnya, sehingga dapat mencemari perairan yang terdampak

dan dapat menimbulkan penyakit pada manusia dan binatang, serta mengurangi nilai estetika dari suatu lingkungan (Pangastuti, *et al.*, 2022).

Air diperlukan dalam sanitasi pekerja dan peralatan. Akumulasi penggunaan air yang besar dapat menyebabkan jumlah limbah cair yang dihasilkan oleh industri cukup tinggi, sehingga mempengaruhi jumlah emisi yang dihasilkan (Athirafitri, *et al.*, 2021). Emisi yang dihasilkan berupa fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) yang terkandung dalam suatu perairan. Eutrofikasi juga bisa ditentukan dari nilai Total Dissolved Solid (TDS) suatu perairan. Pada umumnya, akan terjadi eutrofikasi suatu perairan jika nilai TDS pada perairan tersebut  $> 100$  bpj (bagian per juta) (Astuti, 2019).

#### **2.9.6. Carcinogenic and Non-carcinogenic**

Karsinogenik merupakan senyawa yang menyumbang radikal bebas dalam tubuh dan jika berinteraksi dengan biomolekul seperti DNA dapat memicu terbentuknya sel kanker apabila terpapar pada manusia.

Senyawa karsinogenik berkontribusi terhadap pembentukan *reactive Oxygen Species* didalam tubuh. Jika berinteraksi dengan biomolekul (DNA) dapat menyebabkan terjadinya kerusakan DNA jika tidak diperbaiki dan dapat memicu terjadinya karsinogenesis (Dani I. dan Budiawan B., 2015).

#### **2.9.7. Ecotoxicity**

Ekotoksisitas perairan laut merupakan penilaian kategori dampak lingkungan yang mencakup dampak zat beracun pada ekosistem laut. Kategori dampak ini dinilai dari emisi zat beracun yang dilepaskan ke udara, air dan tanah (Rivaldi, *et al.*, 2022).

Ekotoksisitas secara umum mengacu bahaya pada hewan dan tumbuhan akuatik dan terestrial, termasuk manusia. Ekotoksikologi juga menentukan tingkat dan jenis kontaminan

penyebab kerusakan pada hewan dan tumbuhan. Pada pengujian ekotoksitas melibatkan penilaian toksisitas sampel lingkungan yang terkontaminasi pada organisme akuatik (Citra & Iswandari, 2020).

## 2.10. Integrasi Keislaman

Fenomena yang menarik untuk dikaji adalah munculnya musibah yang berkaitan dengan manusia. Bencana yang terjadi pada muka bumi ini seakan hasil dari sebuah hubungan, baik itu hubungan antara manusia dengan tuhan, manusia dengan alam dan alam dengan tuhan. Dalam hal tersebut sesungguhnya manusia berperan penting dalam menentukan arah tujuan hidupnya (Prayetno, 2018). Sebagaimana Allah SWT telah berfirman dalam QS. Al-Ra'du[13]:11 yang berbunyi:

لَهُ مَعْقَبَاتٌ مِّنْ بَيْنِ يَدَيْهِ وَمِنْ خَلْفِهِ يَحْفَظُونَهُ مِنْ أَمْرِ اللَّهِ إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّىٰ يُغَيِّرُوا مَا بِأَنْفُسِهِمْ وَإِذَا أَرَادَ اللَّهُ بِقَوْمٍ سُوءًا فَلَا مَرَدَّ لَهُ وَمَا لَهُمْ مِّنْ دُونِهِ مِن وَّالٍ

Artinya:

*“Baginya (manusia) ada malaikat-malaikat yang selalu menjaganya bergiliran, dari depan dan belakangnya. Mereka menjaganya atas perintah Allah. Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri. Dan apabila Allah Menghendaki keburukan terhadap suatu kaum, maka tak ada yang dapat menolaknya dan tidak ada pelindung bagi mereka selain Dia”*

Dalam hal ini, konteks atau pesan yang terkandung didalam Al-Qur'an tidak hanya soal agama, tetapi juga terdapat ilmu pengetahuan yang dapat membantu manusia dalam memanfaatkan alam semesta ini dengan ilmu pengetahuan yang dimilikinya agar lingkungan dapat terjaga dan tidak timbul suatu masalah lingkungan sebab manusia juga menjalankan tanggung jawabnya sebagai *khalifah* Allah SWT dimuka bumi, manusia harus mengubah apa yang terjadi dibumi sebab masalah lingkungan yang timbul disebabkan oleh manusia itu sendiri.

Bumi dan segala apa yang didalamnya adalah ciptaan Allah SWT untuk mencukupi kehidupan manusia agar dapat beraktivitas, seperti dalam surah Ali-Imron ayat 191 yang berbunyi :

رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَاطِلًا سُجْحًا فَفَعَلْنَا عَدَابَ النَّارِ

Artinya :

*“Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia; Mahasuci Engkau, lindungilah kami dari azab neraka”*.

Dari ayat diatas maka setiap manusia wajib hukumnya untuk menjaga lingkungan dan alam dari pencemaran dan kerusakan yang dapat mengganggu kehidupan manusia di bumi ini. Dapat disimpulkan bahwa penjagaan atas lingkungan dari pencemaran yang dapat menyebabkan kerugian hukumnya wajib (Habibaturrahim & Bakrie, 2020). Namun kenyataan yang dapat dilihat pada masa sekarang terjadi semakin banyak permasalahan lingkungan yang timbul akibat dari aktivitas manusia terutama pada bidang industri dan dalam hal ini sangat bertentangan dengan perintah Allah SWT dalam Surah Al-A'raf ayat 57 yang berbunyi:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya:

*“Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah (diciptakan) dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat kepada orang yang berbuat kebaikan”*.

Pada ayat diatas telah menjelaskan bahwa manusia dilarang untuk merusak bumi sebab Allah SWT telah menciptakan dengan sebaik-baiknya, dalam larangan ini telah mencakup semua bidang tak terkecuali pada bidang industri karena industri sangat jelas menyebabkan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, kita sebagai pemimpin dibumi atau *khalifah fil ard* harus menjaga bumi dengan cara melakukan penelitian yang berkaitan dengan alam atau lingkungan, agar dapat

mencegah dan memberikan solusi dari masalah yang timbul akibat dari manusia itu sendiri.



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

### 2.11. Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan penelitian terdahulu yang telah disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun	Judul	Hasil
1	Harjanto, <i>et al.</i> , (2022)	Industri Tahu Rakyat dalam Tinjauan <i>Life Cycle Assessment</i>	Berdasarkan analisis pada hasil penilaian dampak daur hidup industri tahu rakyat yaitu pada proses penggorengan serta pengadaan bahan baku yang digunakan adalah raw material berupa kedelai. Alternatif perbaikan dapat dilakukan dengan mengganti <i>soybean seed</i> menjadi <i>soybean slurry</i> dan mengganti minyak kelapa sawit menjadi minyak kedelai dalam proses penggorengan. Pemasakan bersumber dari kayu bakar diganti dengan biogas.
2	Lolo, <i>et al.</i> , (2021)	Penilaian Dampak Lingkungan Industri Tahu Menggunakan <i>Life Cycle Assessment</i> (Studi Kasus: Pabrik Tahu Sari)	Hasil dari penelitian ini yaitu tahapan penggilingan dan perebusan tahu adalah tahapan yang memiliki kontribusi besar terhadap dampak lingkungan yang meliputi: <i>acidification</i> ,

No	Nama dan Tahun	Judul	Hasil
		Murni Kampung Krajan, Surakarta)	<i>eutrophication, global warming, human toxicity dan photochemical oxidation</i> . Perhitungan dengan OpenLCA terlihat bahwa pokok dari permasalahan lingkungan yang paling besar yaitu pada pemakaian energi ketika proses produksi tahu, yaitu <i>steam boiler</i> berfungsi merebus bubur tahu dengan sisa kayu dan biogas, listrik berfungsi menggerakkan pompa air dan mesin penggilingan kacang kedelai.
3	I. Sari, <i>et al.</i> , (2022)	Penilaian Dampak Lingkungan Proses Produksi Tahu Di Jakarta Barat Menggunakan Metode <i>Life Cycle Assessment Environmental</i>	Penelitian ini adalah menganalisis dampak dari produksi tahu sebanyak 35 kg dengan pendekatan <i>life cycle assessment</i> . Potensi dampak lingkungan yang dianalisa antara lain, yaitu potensi pemanasan global, <i>asidifikasi</i> , potensi penipisan lapisan ozon, dan <i>eutrofikasi</i> dan hasil dari analisis tersebut dengan nilai masing-masing 34,2 kg

No	Nama dan Tahun	Judul	Hasil
			CO <sub>2</sub> eq , 0,0551 kg SO <sub>2</sub> eq, 5,44E-7 kg CFC-11eq, dan 0,0549 kg PO <sub>4</sub> -eq.
4	Rahmawati, et al., (2022)	Analisis <i>Life Cycle Assesment</i> Untuk Menentukan Dampak Lingkungan Pada Proses Produksi Tahu Di Industri Kecil “Ud. X” Desa Sidojukung, Kecamatan Menganti, Gresik	Hasil dari penelitian ini pada tahap normalisasi dampak menghasilkan 3 dampak lingkungan yang terbesar hingga terkecil, yaitu <i>marine aquatic ecotoxicity, global warming potential, dan fresh water aquatic</i> dengan jumlah sebesar 0,000309 Kg <sub>1,4</sub> DB-eq, 5,87 x 10 <sup>-5</sup> kgCO <sub>2</sub> -eq, dan 2,83 x 10 <sup>-5</sup> Kg <sub>1,4</sub> DB-eq. Rencana untuk Alternatif bahan bakar yaitu biogas yang bersumber dari limbah cair tahu proses produksi. Namun hasil analisis yang didapat adalah potensi gas limbah cair tahu tidak dapat memenuhi demand kayu bakar yang digunakan pada proses pemasakan rata-rata perharinya.
5	Lolo, et al., (2022)	Analisis Potensi Dampak Lingkungan Dari	Hasil dari penelitian ini adalah analisis dampak dengan pendekatan LCA

No	Nama dan Tahun	Judul	Hasil
		Budidaya Tebu Menggunakan Pendekatan <i>Life Cycle Assessment</i> (Lca)	menggunakan software OpenLCA 1.6 menunjukkan bahwa lima kategori dampak lingkungan terbesar adalah <i>climate change</i> , <i>eutrophication</i> , <i>acidification</i> , <i>human toxicity</i> , dan <i>photochemical oxidation</i> , 2 aktivitas pada budidaya tebu yang memberikan kontribusi tertinggi, yaitu proses pemeliharaan tebu, dan proses pembakaran terbuka limbah pascapanen, pemeliharaan tebu untuk dampak lingkungan <i>climate change</i> (98,82%), <i>eutrophication</i> (99,95%), pembakaran terbuka limbah pascapanen untuk dampak lingkungan <i>human toxicity</i> (73,54%), dan <i>photochemical oxidation</i> (84,93%),
6	Nugroho, <i>et al.</i> , (2019)	<i>Environmental Analysis Of Tofu Production In The Context Of Cleaner Production: Case</i>	Berdasarkan penelitian ini, Produksi tahu oleh industri rumah tangga di Kalimantan belum memenuhi indikator produksi bersih, meskipun

No	Nama dan Tahun	Judul	Hasil
		<i>Study Of Tofu Household Industries In Salatiga, Indonesia</i>	telah menggunakan bahan baku secara efisien dan memanfaatkan kembali limbah padat. Produksi masih menghasilkan limbah padat, asap, dan air limbah. Kandungan BOD5, COD, dan TSS air limbah tahu adalah 766 mg/L, 2.075 mg/L, dan 6.600 mg/L, yang melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh Pemerintah Indonesia.
7	Mejia, et al., (2018)	<i>Greenhouse Gas Emissions Generated by Tofu Production: A Case Study</i>	Penelitian ini Analisis difokuskan pada data produksi tahu dari Amerika Serikat; Meskipun analisis ini berfokus pada GRK dari produksi, akan bermanfaat untuk pekerjaan di masa depan untuk mempertimbangkan perspektif konsumsi dalam kaitannya dengan pola dan komposisi makanan. Misalnya, selain aspek lingkungan yang menguntungkan, tahu telah dikaitkan dengan manfaat gizi.38 Seratus gram tahu

No	Nama dan Tahun	Judul	Hasil
			<p>menyediakan 85 kkal, 10 g protein, dan 4,5 g lemak, yang sebagian besar tidak jenuh dan tidak mengandung kolesterol.</p> <p>Tahu adalah makanan bergizi tinggi protein yang dapat berkontribusi pada pengurangan CO<sub>2</sub>e dari sektor pertanian sebagai kemajuan teknologi (tahu adalah produk makanan yang direkayasa secara teknologi) dan melalui perubahan pola konsumsi makanan. Kesimpulannya, penelitian ini mendapat manfaat dari penggunaan yang lengkap, baru-baru ini,</p> <p>Analisis siklus hidup produksi tahu dari pertanian hingga pintu keluar pabrik mengungkapkan bahwa tahu, makanan nabati yang kaya protein, menghasilkan emisi gas rumah kaca yang relatif rendah.</p>
8	Pulansari & Nugraha, (2022)	<i>Analysis of the Implementation Life Cycle Assessment (</i>	Hasil dari penelitian ini, yaitu adanya indikasi potensi pencemaran

No	Nama dan Tahun	Judul	Hasil
		<i>LCA ) Method for Identification of Environmental Assessment in Liquid Waste Production Tofu at PT . XYZ</i>	lingkungan terutama pada limbah cair berupa nilai BOD sebesar 957 mg/l dan COD sebesar 1.437 mg/l. Hal ini menunjukkan bahwa pencemaran lingkungan perairan di daerah tempat produksi tahu tergolong sangat buruk karena memiliki nilai BOD yang melebihi batas maksimal 30mg/l dan COD 80mg/l.
9	Masayu, et al., (2020)	<i>Analysis of the Implementation Life Cycle Assessment ( LCA ) Method for Identification of Environmental Assessment in Liquid Waste Production Tofu at PT . XYZ</i>	Berdasarkan hasil pendekatan Life Cycle Assessment pada proses produksi menggunakan yang software SimaPro 7, diperoleh nilai <i>single score</i> sebesar 4076.345 Pt, dengan dampak lingkungan bagi Kesehatan Manusia sebesar 1701.54 (41.7%), Kualitas Ekosistem sebesar 1409.057 (34 , 6%), dan Sumberdaya sebesar 965.7484 (23.7%).  Beberapa faktor yang berdampak pada lingkungan antara lain penggunaan bahan bakar kayu pada proses pemasakan kedelai

No	Nama dan Tahun	Judul	Hasil
			<p>dan limbah dari proses pembuatan tahu.</p> <p>Berdasarkan dampak lingkungan diperoleh rekomendasi perbaikan dengan mengganti bahan bakar kayu dengan biogas yang memiliki dampak lingkungan rendah karena terbuat dari produk samping proses produksi tahu sendiri.</p>
10	Rahmalia, et al., (2021)	<p><i>A Study of Environmental Impact and Scenario Treatment using Life Cycle Assessment Approach in Tofu Industry</i></p>	<p>Hasil dari penelitian ini adalah Produksi tahu di industri tahu X menghasilkan 373 buah Deplesi abiotik MJ, 27.628 kg-CO<sub>2</sub> yang berkontribusi terhadap pemanasan global, 135.185 kg-PO<sub>4</sub> yang berkontribusi terhadap eutrofikasi, 0,053 kg-SO<sub>2</sub> yang berkontribusi terhadap pengasaman, dan 0,002 kg-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> yang berkontribusi terhadap oksidasi fotokimia.</p> <p>Berdasarkan perhitungan mass balance, skenario kedua dapat memenuhi baku mutu Peraturan</p>

No	Nama dan Tahun	Judul	Hasil
			Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 tentang Industri Tahu. Itu

Sumber: Hasil Analisa, 202



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## BAB III

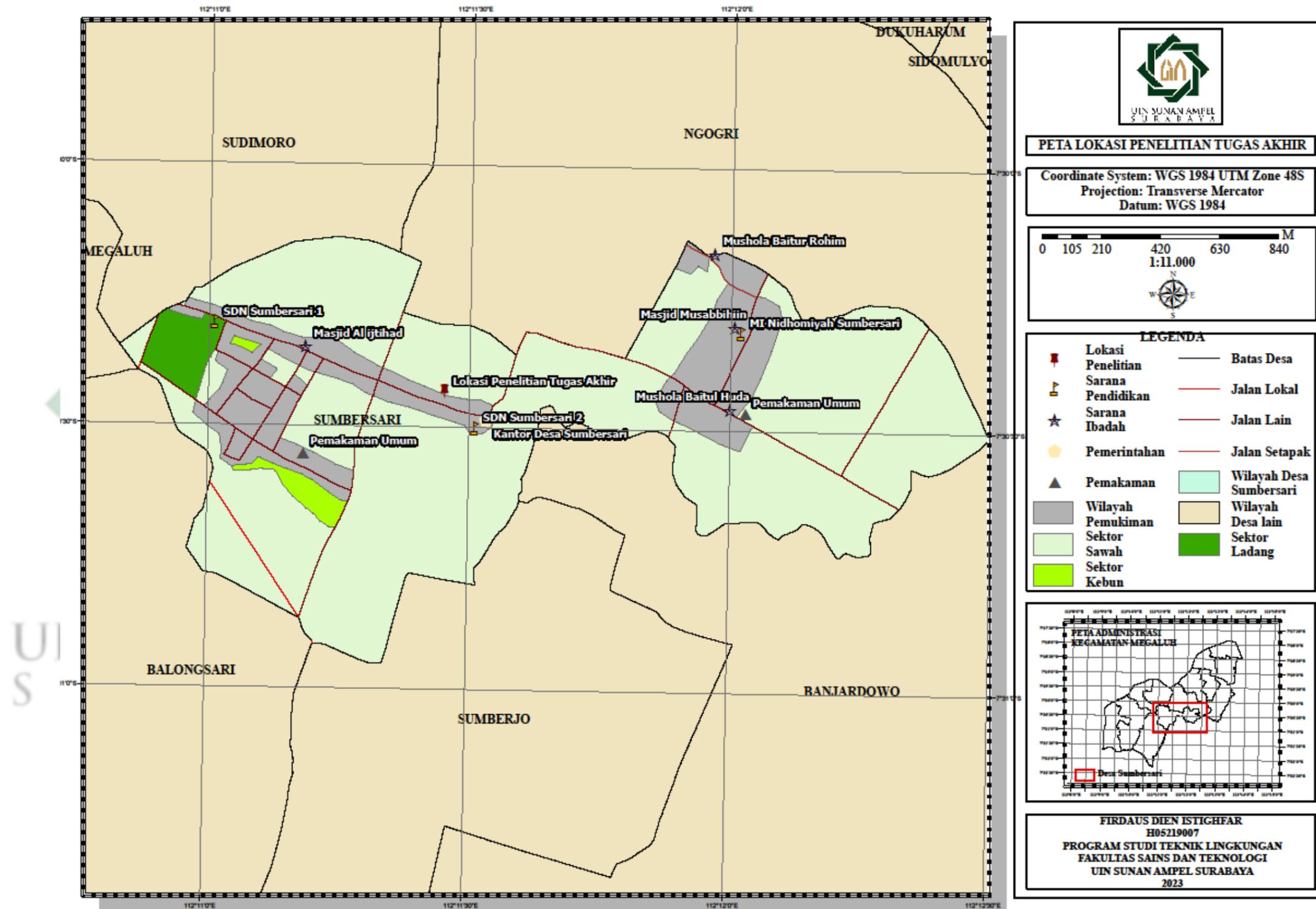
### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Umum

Penelitian ini menggunakan 2 (dua) metode, yaitu kualitatif dan kuantitatif. Menurut Heriyanto (2018), Penelitian kualitatif adalah penelitian yang melibatkan proses yang cukup kompleks karena bertujuan mengeksplorasi dan menceritakan pengalaman seseorang yang terlibat dalam sebuah aspek kegiatan yang diteliti. Sedangkan penelitian kuantitatif dapat memberikan hasil yang relative pasti karena memberikan bilangan-bilangan yang menggambarkan ukuran tertentu terkait dengan objek yang diteliti (Surayya, 2018). Pada penelitian ini data kualitatif diperoleh dari pihak “UD. X” Desa Sumpersari, Megaluh, Kabupaten Jombang dan observasi lapangan secara langsung pada lokasi penelitian yang direncanakan, sedangkan data kuantitatif diperoleh melalui *software* OpenLCA 1.11.0. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan Life Cycle Assessment (LCA) pada proses produksi tahu “UD. X” Desa Sumpersari, Megaluh, Kabupaten Jombang dengan metode TRACI 2.1 dan menentukan alternative bahan bakar pada proses produksi tahu.

#### 3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di “UD. X” Desa Sumpersari, Kecamatan Megaluh, Kabupaten Jombang, Jawa Timur tepatnya pada titik koordinat 7°30'25"S 112°11'26"E. Peta Lokasi “UD. X” Desa Sumpersari, Kecamatan Megaluh, Kabupaten Jombang dapat dilihat pada **Gambar 3.1** sedangkan lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian "UD.X" Industri Tahu

Sumber: Hasil Analisa, 2022



Gambar 3. 2 Lokasi Penelitian Tugas Akhir

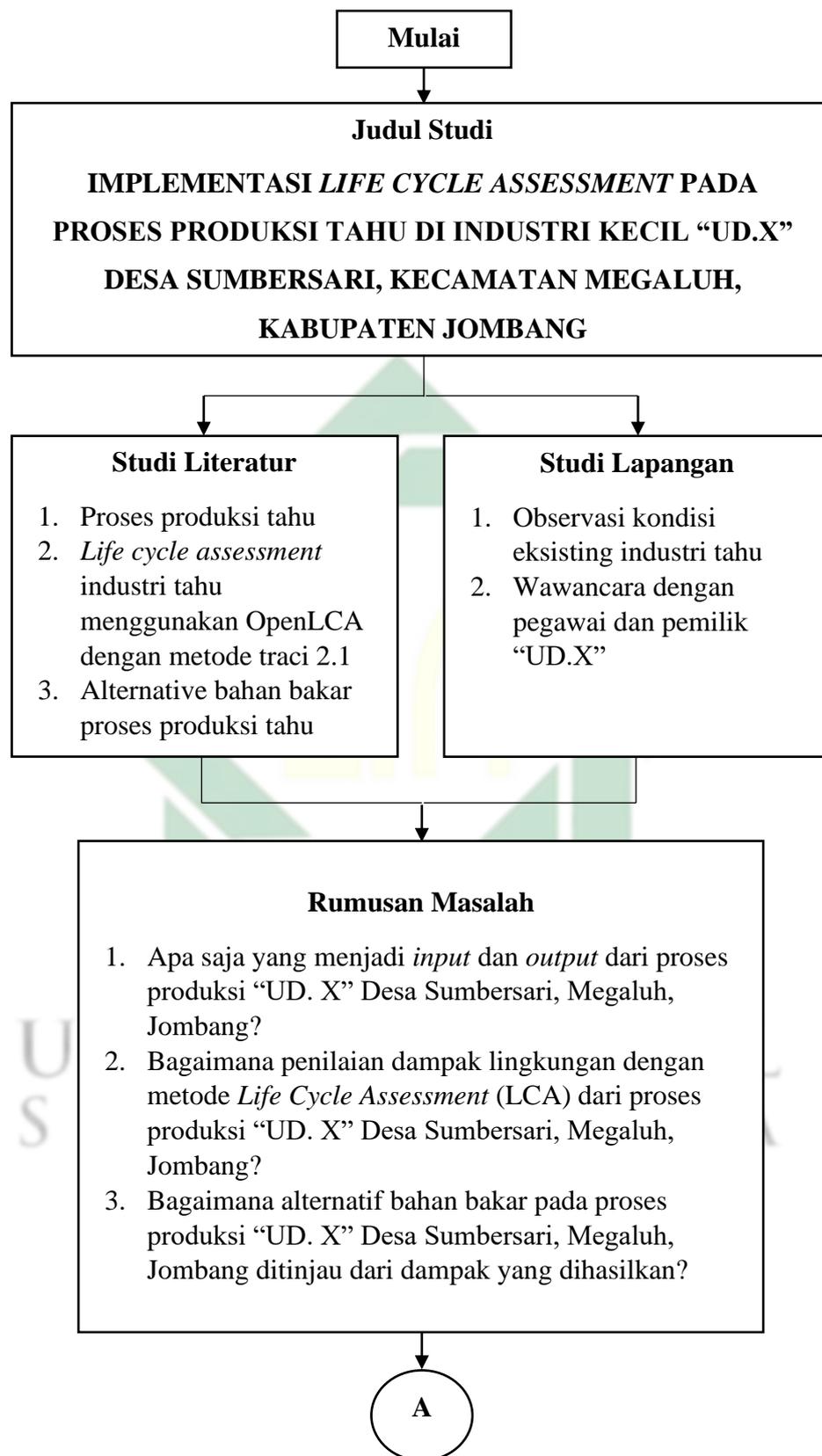
Sumber: Hasil Analisa, 2022

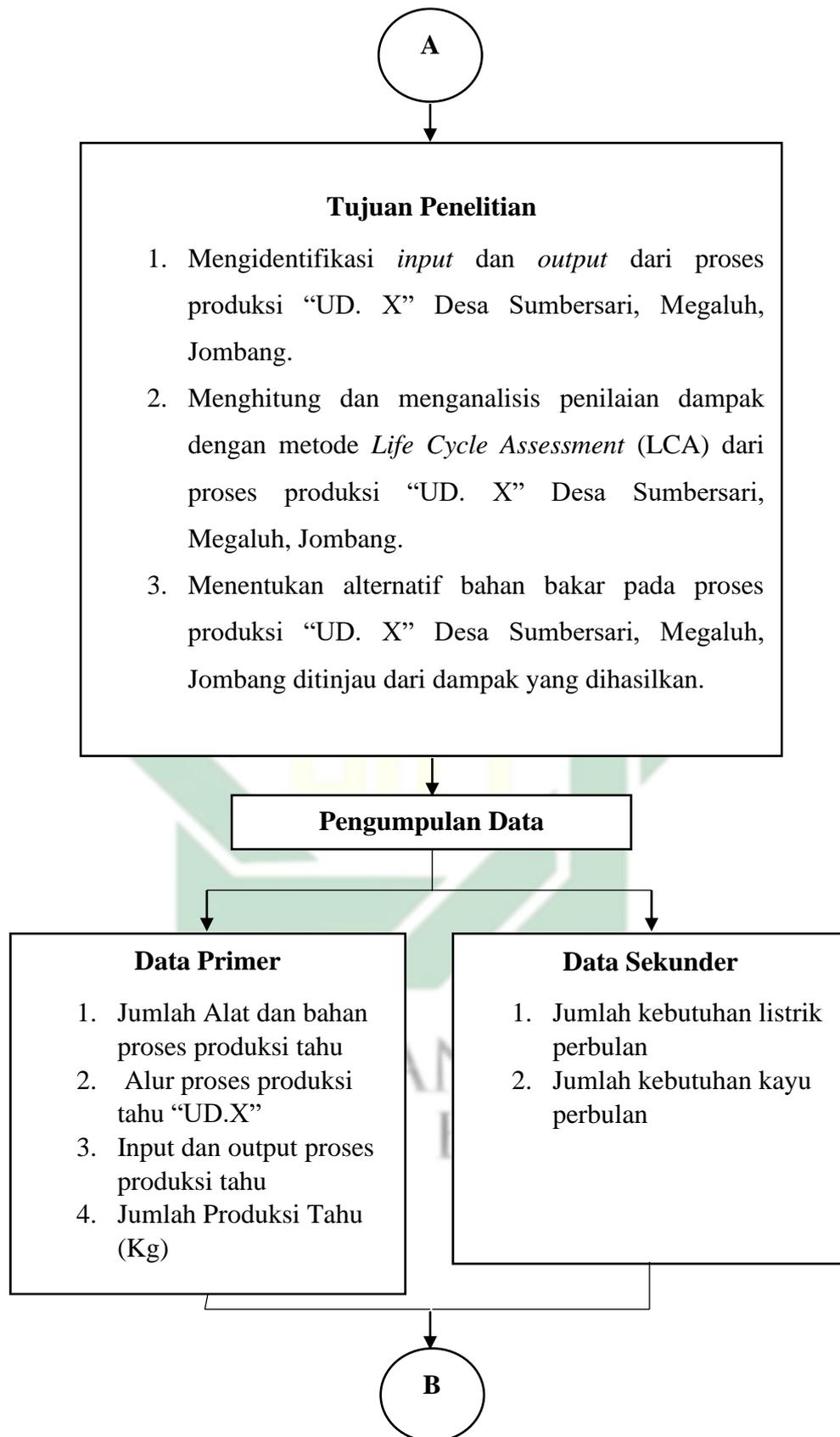
Penelitian ini dilakukan dalam kurun waktu 3 bulan di “UD. X” Desa Sumbersari, Megaluh, Kabupaten Jombang. Pada bulan Desember 2022 dilakukan pengenalan lokasi penelitian, pengumpulan data mengenai aspek yang akan diteliti pada 18 Desember 2022 sampai 31 Januari 2023, observasi lapangan dan dokumentasi dilakukan pada 15 Januari 2023 sampai 28 Februari, studi analisa secara langsung dan dengan literatur dilakukan pada 15 Januari 2023 sampai 1 Maret 2023. Bulan April masih diestimasikan dalam penelitian ini apabila terdapat data yang kurang lengkap.

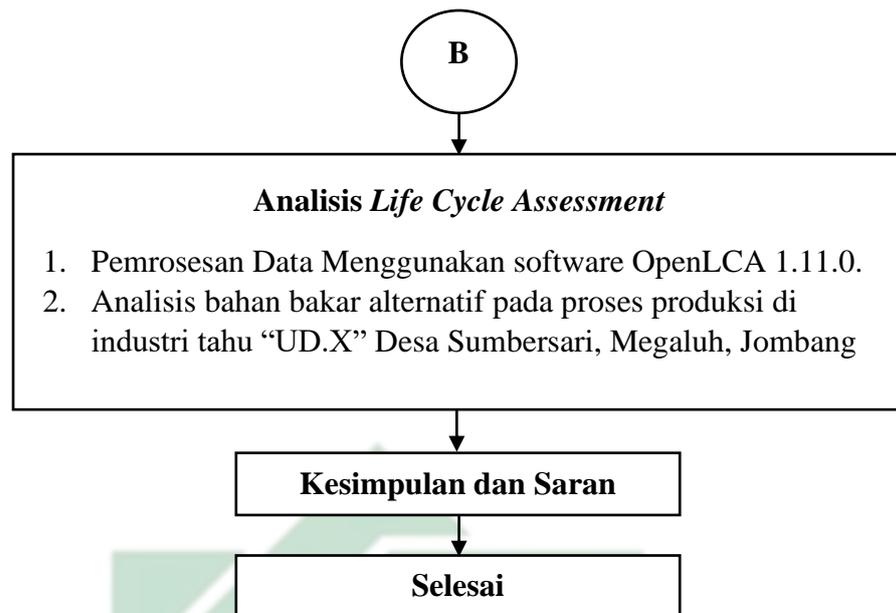
### **3.3. Kerangka Operasional**

Perencanaan merupakan hal yang penting sebelum melakukan hal lain dan perencanaan juga dianggap akan menjadi penentu serta memberi arah terhadap tujuan yang ingin dicapai. Perencanaan yang matang dan tersusun dengan baik memberikan pengaruh terhadap ketercapaian tujuan (Thamrin, 2014). Oleh karena itu pada penelitian ini terdapat tahap perencanaan yang tersaji pada diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A





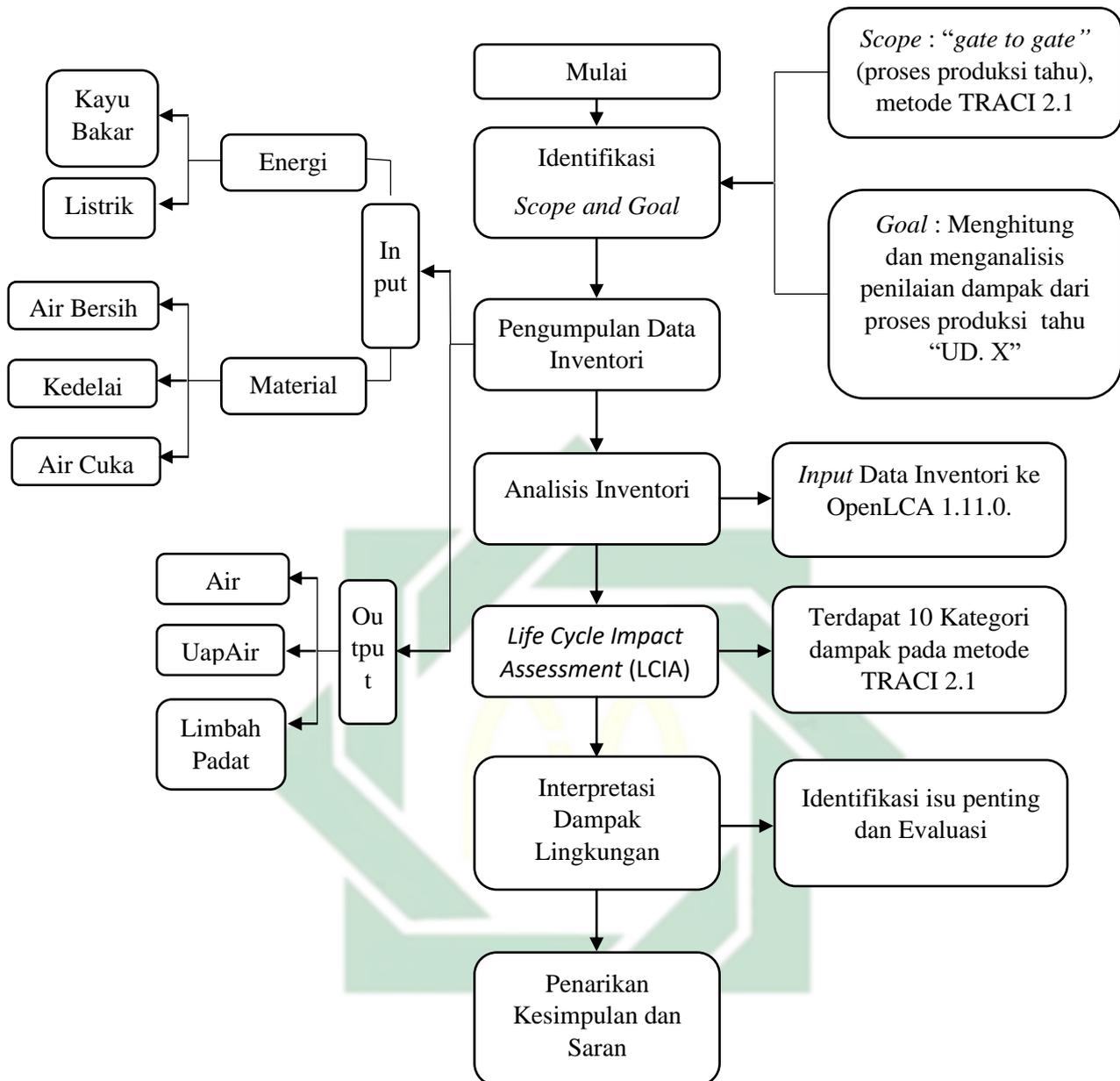


**Gambar 3. 4** Diagram alir penelitian  
 Sumber: Hasil Analisis, 2023

### 3.4. Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir penelitian disusun guna mempermudah prosedur penelitian, implementasi dilapangan dan penulisan laporan penelitian. Penelitian ini bertujuan menghitung dan menganalisis penilaian dampak dari proses produksi tahu “UD. X” Desa Sumpalsari, Kecamatan Megaluh, Kabupaten Jombang. Kerangka pikir penelitian dengan jelas dapat dilihat pada **Gambar 3.4.**

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A



Gambar 3.5 Kerangka Pikir Penelitian  
Sumber: Hasil Analisis, 2023

### 3.5. Tahap Pelaksanaan Penelitian

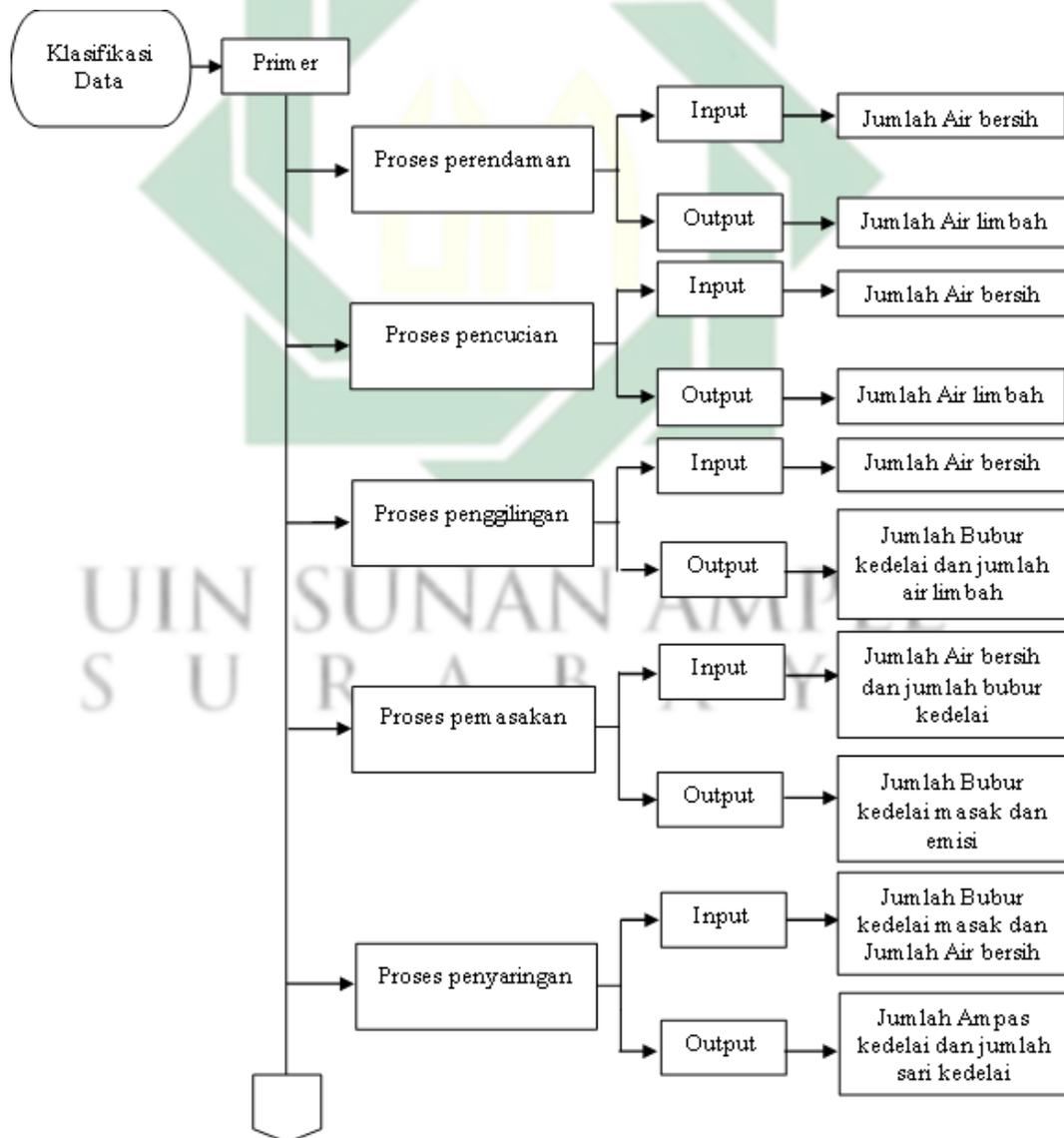
#### 3.5.1. Tahap Persiapan

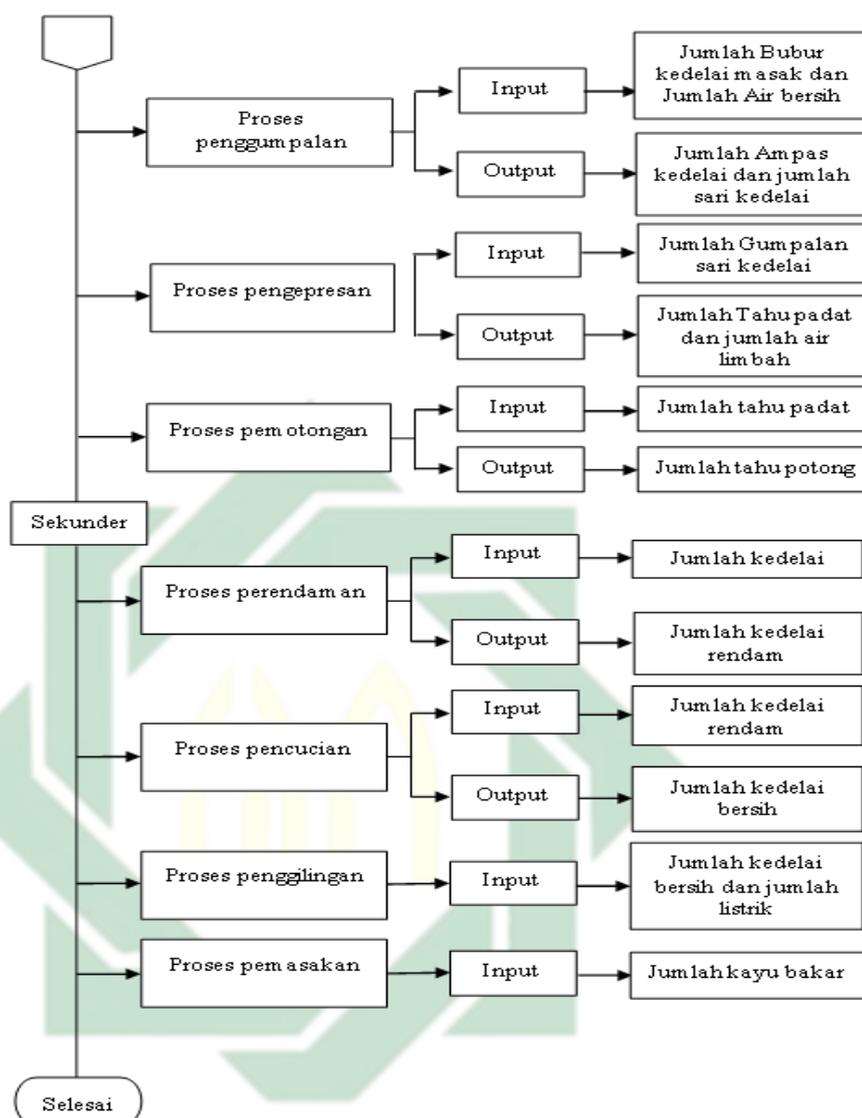
Tahap persiapan merupakan tahap awal dalam penelitian ini. Pada tahap ini terdapat proses administrasi yang diperoleh persetujuan pelaksanaan penelitian di “UD. X” Desa Summersari, Kecamatan Megaluh, Kabupaten Jombang. Tahap ini juga dilakukan studi literatur mengenai topik studi yang diambil dan merumuskan masalah serta tujuan dilakukannya penelitian.

### 3.5.2. Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan penelitian juga dilakukan di “UD. X” Desa Sumbersari, Kecamatan Megaluh, Kabupaten Jombang. Pada tahap pelaksanaan melakukan pengumpulan data, yaitu data primer dan data sekunder. Selanjutnya menganalisis data LCA menggunakan *software* OpenLCA 1.11.0.

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung atau melalui pengamatan langsung. Sedangkan data sekunder merupakan data yang didapatkan dari perusahaan terkait. Berikut merupakan klasifikasi data primer dan data sekunder proses produksi tahu yang tersaji dalam **Gambar 3.6**.





**Gambar 3. 6** klasifikasi data primer dan data sekunder proses produksi tahu  
Sumber : Hasil Analisis, 2022

Pada pengambilan data primer jumlah air bersih, jumlah bubur kedelai, jumlah sari kedelai, jumlah gumpalan sari kedelai menggunakan alat pengukuran berupa ember berkapasitas 7,5 kg karena pada proses tersebut menggunakan alat yang sama, sedangkan jumlah ampas tahu, jumlah tahu padat, jumlah tahu potong alat pengukur berupa timbangan digital berkapasitas 500 kg.

Pengambilan data sekunder jumlah kedelai, jumlah kedelai rendam, jumlah pemakaian listrik, dan jumlah kayu bakar

didapatkan dari pembukuan yang dilakukan oleh pemilik usaha “UD.X” Desa Sumpersari.

### 3.5.3. Pengambilan Sampel Limbah Cair

Pada tahap pengambilan sampel akan dilakukan sesuai dengan SNI 6989 Tahun 2008. Pada peralatan persyaratan alat pengambilan contoh harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- 1) Terbuat dari bahan yang tidak mempengaruhi sifat contoh
- 2) Mudah dicuci dari bekas contoh sebelumnya
- 3) Contoh mudah dipindahkan ke dalam botol penampung tanpa ada sisa bahan tersuspensi didalamnya
- 4) Mudah dan aman di bawa
- 5) Kapasitas alat tergantung dari tujuan pengujian

Jenis alat yang direncanakan dalam pengambilan sampel limbah cair yaitu botol biasa yang diberi pemberat karena sesuai dengan persyaratan SNI 6989 Tahun 2008.

UD. X Desa Sumpersari, Megaluh, Jombang sudah memiliki IPAL, oleh karena itu pengambilan sampel dilakukan pada saluran pembuangan air limbah sebelum ke perairan penerima. Pada pengujian dengan parameter suhu, kekeruhan, pH dan DO dilakukan pada hari H pengambilan sampel dan pada pengujian DO menggunakan Alat DO menter.

Pada pengujian sampel limbah cair UD.X Desa Sumpersari dilakukan 5 analisis baku mutu air limbah sesuai dengan parameter yang terdapat pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014. Berikut merupakan baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan pengolahan kedelai dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

**Tabel 3. 1** Baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan pengolahan kedelai

Parameter	Pengolahan Kedelai					
	Kecap		Tahu		Tempe	
	Kadar ) (mg/L)	Beban (kg/ton)	Kadar ) (mg/L)	Beban (kg/ton)	Kadar ) (mg/L)	Beban (kg/ton)
BOD	150	1,5	150	3	150	1,5
COD	300	3	300	6	300	3
TSS	100	1	200	4	100	1
pH	6 – 9					
Kuantitas air limbah Paling tinggi (m <sup>3</sup> /ton)	10		20		10	

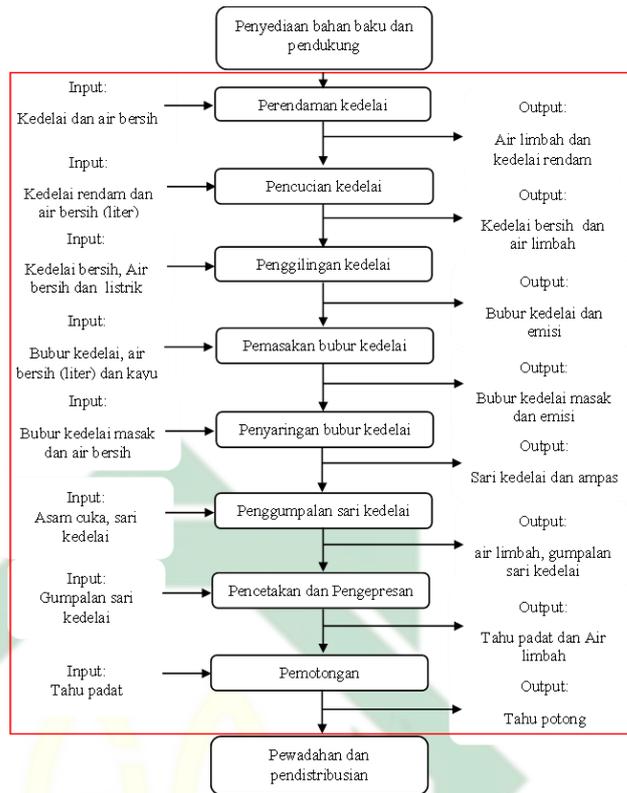
Sumber: KLH, 2014

#### 3.5.4. Analisis Life Cycle Assessment

Tahap ini dilakukan pengukuran dampak dari proses produksi tahu terhadap lingkungan dalam satu siklus hidup produk. Berikut merupakan 4 fase yang dilakukan dalam menganalisis data menggunakan LCA(ISO 14040, 1997) :

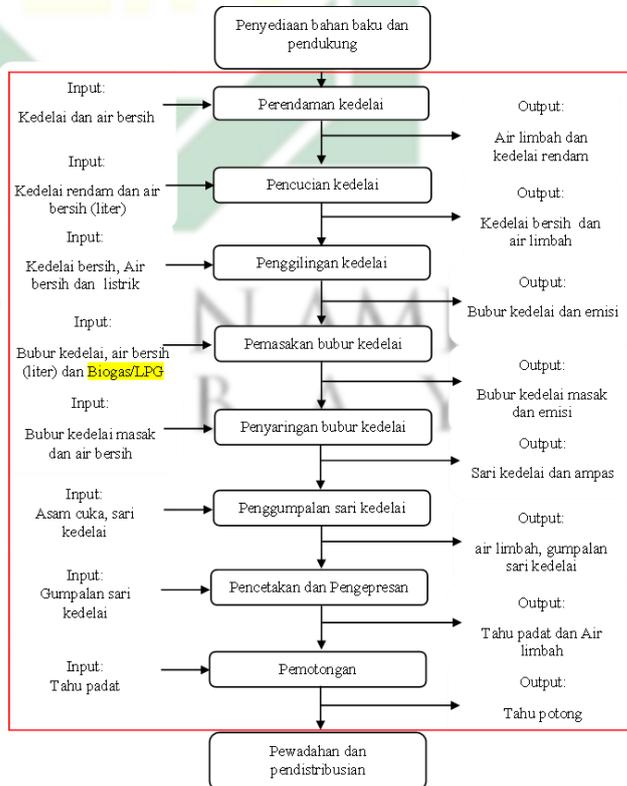
##### a) Tahap *Goal and Scope*

Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengetahui dan menganalisis dampak lingkungan, faktor dari penyebab dampak lingkungan yang timbul karena proses produksi tahu. Sementara lingkup LCA pada penelitian ini adalah *gate to gate*. Batas sistem pada penelitian ini diilustrasikan oleh diagram alir proses produksi tahu. Berikut merupakan diagram aliran batas sistem dari penilaian siklus hidup proses produksi tahu dapat dilihat pada **Gambar 3.7**.



Gambar 3. 7 Batas sistem penelitian

Sumber : Hasil Analisis, 2022



Gambar 3. 8 Batas sistem alternatif

Sumber : Hasil Analisis, 2022

b) Tahap *Life cycle inventory*

Tahap ini merupakan fase dimana dilakukannya *penginputan* data yang telah dikumpulkan sebelumnya kedalam software OpenLCA 1.11.0 guna memunculkan dampak lingkungan dari proses produksi tahu.

c) Tahap *Life Cycle Impact Assessment*

Pada tahap ini terjadi klasifikasi dan penilaian mengenai dampak lingkungan yang timbul dari proses produksi, berdasarkan *penginputan* data pada tahap LCI. Pemilihan kategori dampak, indikator kategori dan model karakterisasi harus konsisten dengan tujuan dan ruang lingkup LCA. Tahapan LCIA dibagi kembali menjadi beberapa bagian, yaitu *characterization*, *normalization*, *weighting* dan *single score*.

d) Tahap Interpretasi

Tahap ini merupakan tahapan menganalisis dan menerjemahkan makna dari suatu proses yang terjadi maupun sebab akibat, utamanya dari LCA proses produksi tahu dan fase yang dimana terjadi pemberian opsi perbaikan guna mengurangi dampak lingkungan yang terjadi akibat proses produksi tahu.

### 3.5.5. Uji Validasi

Uji validasi atau validitas adalah standar untuk menunjukkan tingkat kevalidan atau kesahihan suatu tes sedangkan tes bisa dinyatakan valid apabila dapat mengukur apa yang sedang diukur (Abdullah *et al.*, 2022). Pada penelitian kali ini uji validitas penilaian dampak lingkungan menggunakan pendekatan studi LCA dengan instrument (OpenLCA 1.11.0) menggunakan metode TRACI 2.1 adalah pengujian secara manual dengan batas uji yaitu satu kategori dampak yang dibahas.

## BAB IV

### GAMBARAN UMUM

#### 4.1. Industri Tahu “UD.X” Desa Sumpersari, Kec. Megaluh, Kabupaten Jombang

Dalam Peraturan Menteri Perindustrian No. 33 Tahun 2020 pada lampiran I telah mengklasifikasikan golongan pokok industri dan kelompok industri, salah satu kelompok industri dari industri makanan yaitu industri tahu kedelai. Pada penelitian ini lokasi yang diambil yaitu Industri tahu “UD.X” Desa Sumpersari, Kec. Megaluh, Kabupaten Jombang yang berdiri sejak tahun 1995. Industri tahu tersebut memiliki pekerja berjumlah 19 orang dan 1 koordinator lapangan dengan jumlah pengolahan kedelai menjadi tahu perhari sebesar 340 hingga 445 kg/h.

Setiap tahun terjadi penurunan jumlah pengolahan kedelai perhari yang disebabkan oleh harga kedelai dan keuangan dari industri, sedangkan jumlah cakupan layanan setiap tahun semakin bertambah. Kondisi eksisting dari industri tahu “UD.X” Desa Sumpersari, Kec. Megaluh, Kabupaten Jombang dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



**Gambar 4. 1** Kondisi Eksisting Industri Tahu "UD.X"

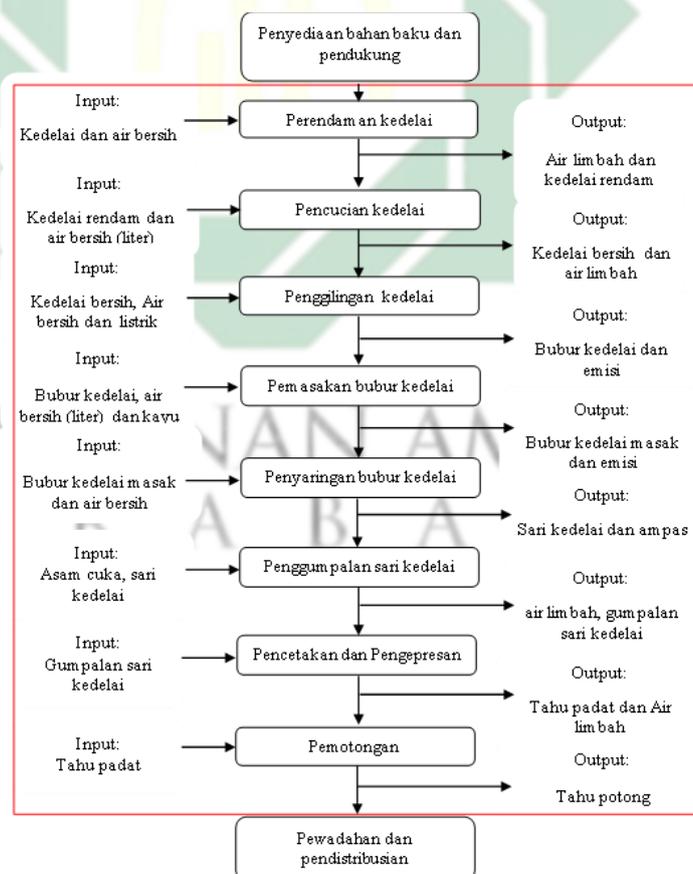
*Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023*

Tahapan proses produksi tahu pada “UD.X” dimulai pada proses perendaman kedelai, pencucian kedelai, penggilingan kedelai, pemasakan bubur kedelai, penyaringan bubur kedelai, penggumpalan sari kedelai, pengepresan cairan tahu, dan proses yang terakhir yaitu pemotongan tahu. Pada kegiatan produksi tahu kedelai “UD.X” belum menggunakan

teknologi modern dalam dunia industri, “UD.X” Masih menggunakan alat konvensional dan memanfaatkan sumber daya manusia yang ada disekitar industri tersebut. Kondisi eksisting saat ini industri tahu tersebut masih beroperasi dan wilayah cakupan pelayanan industri tahu tersebut sampai 3 desa diantaranya, yaitu Desa paritan, Desa Sudimoro, dan Desa Sumpersari.

#### 4.2. Proses Produksi Tahu UD. X Desa Sumpersari, Kec. Megaluh, Kabupaten Jombang.

Proses produksi tahu “UD. X” Desa Sumpersari pada umumnya terdapat beberapa proses untuk pembuatan tahu antara lain dimulai dari proses perendaman sampai proses pemotongan untuk lebih jelasnya proses produksi pada UD. X Desa Sumpersari dapat dilihat pada **Gambar 4.2.**



**Gambar 4. 2** Proses produksi tahu pada "UD. X" Desa Sumpersari

*Sumber: Hasil Analisis, 2023*

#### 4.2.1 Proses Perendaman

Tahap awal dalam pembuatan tahu kedelai adalah melakukan proses perendaman kedelai, yaitu memasukkan kedelai yang telah ditimbang dengan berat 28 Kg kedalam tempat perendaman kedelai yang telah disediakan. Pada proses perendaman untuk memudahkan dan mempercepat proses perendaman, kedelai dengan berat awal 28 kg dibagi 4 dan dimasukkan kedalam 4 tempat perendaman yang berbeda.

Proses perendaman dilakukan dengan menambahkan air bersih yang berasal dari sumur bor sebanyak 40 kg menggunakan ember kapasitas 5 kg dengan pengulangan 8 kali untuk 1 tempat perendaman dan keseluruhan penambahan untuk 4 tempat perendaman sebanyak 32 kali, setelah itu dibiarkan selama 3 sampai 4 jam agar kedelai menjadi lunak guna memudahkan dalam proses selanjutnya yaitu proses penggilingan, proses perendaman juga berfungsi untuk mengembangkan kacang kedelai sehingga dapat menambah bobot atau berat dari kedelai, hasil dari proses perendaman yaitu limbah cair yang berasal dari sisa perendaman dan juga kedelai hasil perendaman. Proses perendaman kedelai pada “UD.X” Desa Summersari dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.



**Gambar 4. 3** Proses perendaman kedelai pada “UD.X” Desa Summersari  
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

#### 4.2.2 Proses Pencucian

Pada proses pencucian kedelai, kedelai dengan berat awal 28 kg yang telah direndam selama 3 sampai 4 jam hingga bertekstur lunak dan mengembang, dibagi ke dalam 4 tempat perendaman pada proses perendaman kedelai dipindahkan ke 4 keranjang yang telah disediakan sebelum dilakukan proses pencucian kedelai, yang dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



**Gambar 4. 4** Keranjang proses pencucian kedelai  
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

Proses pencucian masih menggunakan cara tradisional dengan memanfaatkan tenaga manusia dengan sumber air yang digunakan untuk mencuci kedelai adalah air dari sumur bor yang telah ditampung dalam bak besar. Metode pencucian kedelai disediakan 1 ember kapasitas 5 kg dengan proses sebelumnya dan penuangan air bersih dilakukan sebanyak 6 kali pengulangan dan saat penuangan air dilakukan keranjang digoyangkan guna air dapat menjangkau kedelai secara merata. Pada proses pencucian kedelai menghasilkan air bekas cucian kedelai (limbah cair) dan kedelai bersih.

#### 4.2.3 Proses Penggilingan

Proses penggilingan kedelai pada “UD.X” Desa Summersari memanfaatkan perkembangan teknologi dengan menggunakan 1 buah mesin penggiling dengan kapasitas daya 2700 watt. Setelah

proses pencucian kedelai, 1 keranjang sama dengan satu kali masak dimasukan kedalam mesin penggiling.

Pada proses penggilingan kedelai membutuhkan air bersih untuk memudahkan proses penggilingan dari kacang kedelai menjadi bubur kedelai, pasokan air bersih dalam proses ini berasal dari kran air yang berada diatas mesin penggiling kedelai. Selain membutuhkan air bersih proses penggilingan juga membutuhkan daya listrik agar dapat mengoperasikan mesin penggiling yang memiliki daya 2700 Watt/jam. Setelah keranjang kedelai telah disiapkan dimasukkan kedalam corong mesin penggiling yang dicampur air dan bubur kedelai ditampung dalam bak yang telah disediakan. Pada proses ini menghasilkan bubur kedelai. Proses penggilingan tahu kedelai pada “UD.X” Desa Sumpersari dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.



**Gambar 4.5** Proses penggilingan kedelai pada “UD.X” Desa Sumpersari  
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

#### 4.2.4 Proses Pemasakan

Proses pemasakan membutuhkan empat tempat pemasakan, air bersih 580 kg, dan ember berkapasitas 7,5 kg. pada UD. X Desa Sumpersari terdapat 5 (lima) tempat pemasakan kedelai dan semua bisa beroperasi, pengoperasian tergantung dari tenaga kerja yang ada, mekanisme pemasakan yaitu satu orang satu tempat pemasakan. Pada “UD. X” Desa Sumpersari dalam proses pemasakan dapat dilakukan rata-rata 23 kali masak perharinya.

Metode pemasakan pada UD. X Desa Sumpersari dalam pemanasan bubur kedelai menggunakan udara panas yang bersumber dari pipa besi yang ada pada tempat pemasakan, sumber panas pipa besi berasal dari pembakaran kayu yang berada pada tempat pembakaran kayu kemudian udara panas disalurkan menuju pipa, pemasok kayu sebagai bahan bakar utama adalah toko mebel. Ketika bubur kedelai dimasukan dalam tempat pemasakan dilakukan juga penambahan air bersih sedikit demi sedikit dan membuka stop kran yang ada pada pipa untuk mengalirkan udara panas keluar dan membuat bubur kedelai yang telah dicampur air bersih sedikit demi sedikit menggunakan ember 7,5 kg yang dilakukan secara berulang hingga 77 kali pengulangan sampai bubur kedelai terlihat mengembang. Pada proses pemasakan menghasilkan uap air dan bubur kedelai masak. Proses pemasakan pada “UD. X” dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.



**Gambar 4. 6** proses pemasakan pada “UD.X”Desa Sumpersari  
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

#### **4.2.5 Proses Penyaringan**

Proses penyaringan dilakukan setelah bubur kedelai telah mengembang pada saat proses pemasakan dengan durasi waktu tunggu antara proses pemasakan dan proses penyaringan kurang lebih 15 menit. Pada proses penyaringan membutuhkan besi berbentuk silang (X) yang akan dikaitkan di besi atas dan juga membutuhkan kain penyaring dan ember.

Proses penyaringan pada UD.X Desa Sumpersari masih memanfaatkan tenaga manusia dan metode yang digunakan yaitu memindahkan bubur kedelai masak ke kain penyaring dengan menggunakan ember kapasitas 7,5 kg dengan rata-rata 57 kali pengulangan dan pada satu kali masak. Proses penyaringan bisa dilakukan antara 3 sampai 4 kali pengulangan untuk satu kali masak, setelah memindahkan kedelai cair ke kain penyaring kemudian dilakukan pemutaran pada kain penyaring lalu dilakukan pengepresan pada kain penyaring hingga sari kedelai terperas dan menuju kebawah yang dimana pada bawah alat penyaring telah ada bak yang disediakan untuk sari kedelai. Pada proses penyaringan menghasilkan limbah cair berupa percikan air dan juga sari kedelai. Proses penyaringan pada “UD. X” Desa Sumpersari dapat dilihat pada **Gambar 4.7**.



**Gambar 4. 7** Proses penyaringan kedelai cair pada "UD. X" Desa Sumpersari  
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

#### **4.2.6 Proses Penggumpalan**

Hasil dari proses penyaringan salah satunya adalah sari kedelai. Pada proses penggumpalan membutuhkan sari kedelai dan biang cuka. Pada “UD. X” Desa Sumpersari proses penggumpalan masih memanfaatkan tenaga manusia dengan menggunakan alat yaitu wajan berganggang satu berkapasitas 2,3 kg dan ember 7,5kg.

Metode penggumpalan pada “UD. X” Desa Sumpersari yaitu dengan cara menambahkan cuka menggunakan 2 wadah yang

pertama yaitu ember berkapasitas 7,5 kg dan yang kedua yaitu wajan berganggang satu yang berkapasitas 2,3 kg ke tempat penampungan sari kedelai dilakukan secara sedikit-sedikit dan memutar wadah tersebut untuk penyampuran cuka secara merata ke permukaan sari kedelai. Pada proses ini pengulangan penambahan cuka dengan wadah 2,3 kg sebanyak 11 kali dan ember 7,5 kg sebanyak 10 kali dalam sekali masak. Hasil dari proses penggumpalan yaitu gumpalan sari kedelai dan limbah cair proses penggumpalan. Proses penggumpalan pada “UD. X” Desa Sumpersari dapat dilihat pada **Gambar 4.8**.



**Gambar 4. 8** Proses penggumpalan pada “UD. X” Desa Sumpersari  
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

#### 4.2.7 Proses Pengepresan

Setelah tekstur sari kedelai terlihat menggumpal dilanjutkan dengan proses pengepresan dengan menggunakan cetakan kayu berbentuk segi empat. Proses pengepresan dalam satu kali masak atau setiap 28 kg kedelai membutuhkan 6 cetakan untuk proses pengepresan gumpalan sari kedelai, dalam 1 cetakan menghasilkan tahu seberat 12,6 kg dalam 1 kali masak menghasilkan tahu seberat 75,6 kg.

Metode dalam proses pengepresan yaitu dengan cara memindah gumpalan sari kedelai ke tempat cetakan yang telah disediakan dan sebelumnya cetakan dilapisi dulu dengan kain penyaring, setelah cetakan telah penuh di tutup kain penyaring dan

di tempatkan pada tumpukan cetakan dan menunggu sekitar 20 - 30 menit hingga tahu cair berubah menjadi padat. Hasil dari proses pengepresan berupa tahu padat atau tahu jadi. Proses pengepresan pada “UD. X” Desa Sumbersari dapat dilihat pada **Gambar 4.9**.



**Gambar 4. 9** Proses pengepresan pada “UD. X” Desa Sumbersari  
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

#### 4.2.8 Proses Pemotongan

Proses pemotongan tahu adalah tahapan terakhir dari proses produksi tahu, setelah proses pengepresan dan menghasilkan tahu padat, kemudian tahu dipindah dari cetakan ke wadah kayu berbentuk segi empat dan kemudian ditempatkan menuju zona pemotongan. Pemotongan tahu dan berat tahu 1 potong berkisar 350 gram dengan satu wadah kayu dapat menghasilkan 36 potong tahu, dalam satu kali masakan dapat menghasilkan 6 wadah kayu dan dapat menghasilkan 216 potong tahu. Proses pemotongan tahu pada “UD. X” Desa Sumbersari dapat dilihat pada **Gambar 4.10**.



**Gambar 4. 10** Proses pemotongan tahu pada “UD. X” Desa Sumbersari  
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2023

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1. Analisis LCA Proses Produksi Tahu

##### 5.1.1. *Goal and Scope Definition*

Dalam memenuhi tujuan pada pendekatan studi melalui metode LCA, langkah pertama yaitu *goal* dimana pada tahap ini menjelaskan maksud dan tujuan dari studi dan menentukan tujuan penggunaan hasil dari aplikasi serta pengguna hasil studi yang dituju pada penelitian ini. Langkah selanjutnya yaitu *scope* yang di tahap ini ruang lingkup penelitian ditentukan dalam hal cakupan temporal, geografis dan teknologi yang berkaitan dengan tujuan penelitian atau produk sebagai objek analisis yang dijelaskan dalam fungsi, unit fungsional dan penentuan alur/aliran referensi (Guinee, 2004).

Tahap *goal* pada penelitian ini yaitu menghitung dan menganalisis penilaian dampak dari proses produksi tahu pada “UD.X” Desa Sumbersari sedangkan *scope* dari penelitian ini adalah *gate to gate* yaitu pada proses produksi “UD. X” Desa Sumbersari. Pada tahap *goal and scope* terdapat penentuan batasan sistem dan fungsional unit yang digunakan pada penelitian. Batasan sistem dan fungsional unit untuk penelitian ini secara lebih jelas diterangkan pada bagian selanjutnya.

##### a. Batasan sistem

Pada batas sistem untuk tahap siklus hidup suatu produk terdapat tiga, yaitu meliputi *input*, rute pemrosesan dan pertimbangan spasial dan temporal; justifikasi batas sistem yang berkaitan dengan tujuan dari studi; *input* dan *output* dari sistem sebagai alur dasar (Guinee, 2004). Pada penelitian ini batasan sistem (*system boundary*) yang dikaji adalah proses produksi tahu (*gate to gate*). Pada lingkup *gate to gate* dalam LCA memperhitungkan *input* dan *output* dibatasi sistem produksi tanpa mempertimbangkan proses ekstraksi bahan baku dan pengelolaan limbah (Puspaningrum, *et al.*, 2022).

## b. Fungsional unit

Fungsional unit pada LCA digunakan untuk meninjau dampak lingkungan dari sistem produk. Unit fungsional dalam penelitian ini direncanakan adalah 1 kg tahu.

### 5.1.2. Life cycle inventory

Pada tahap LCI adalah fase dalam mendefinisikan sistem produk. Pendefinisian sistem produk mencakup batas-batas yang telah ditetapkan, membuat dan merancang diagram alir dengan proses unit, mengumpulkan data untuk masing-masing proses. Hasil dari LCI mencantumkan *input* yang terukur dari proses studi yang di ambil dan *output* ke lingkungan yang terkait dengan unit fungsional yang diambil dalam satuan kg, CO<sub>2</sub>, m<sup>3</sup> dan lain-lain (Guinee, 2004).

Pada *life cycle inventory* ini memaparkan data proses produksi tahu pada “UD.X” Desa Summersari yang didapatkan dari wawancara dengan pemilik usaha dan hasil dari observasi lapangan secara langsung. Data yang dibutuhkan pada inventory ini yaitu *input* dan *output* dari setiap proses yang terjadi memuat informasi bahan baku atau material, bahan bakar atau energi, dan produk dan limbah yang dihasilkan dari proses produksi. Data yang telah didapatkan akan diolah menggunakan *software* OpenLCA 1.11.0 dengan pendekatan melalui metode *life cycle assessment*. Proses *input* inventori awal dapat dilihat pada **Gambar 5.1**.

Flow	Category	Amount	Unit	Color/Rev.	Uncertainty	Applied p.	Provider	Data qual.	Descript.
Es sayuran asat, organik, di far	Plant waste/Transform	12,0000	kg		none				
PaWater: cooling, well	Resource/In ground	22,0000	kg		none				

Flow	Category	Amount	Unit	Color/Rev.	Uncertainty	Applied p.	Provider	Data qual.	Descript.
Es proses perendaman		1,0000	kg		none				
PaWaste water	Emission to water/bio.		kg		none				

**Gambar 5.1** Proses *input* inventori awal

Sumber: Hasil analisis Software OpenLCA 1.11.0, 2023

Pada proses penginputan perlu melakukan analisis *inventory* untuk setiap proses produksi yang ada pada UD.X Desa Sumpersari. Berikut penjelasan analisis *inventory* dan *input software* OpenLCA 1.11.0.

#### 1) Proses perendaman

Proses perendaman merupakan tahap awal dari proses produksi tahu pada UD.X Desa Sumpersari. Data *input* pada proses perendaman adalah kedelai dan air bersih masing-masing berjumlah 28 kg kedelai dan 160 kg air bersih dalam sekali masak. Proses produksi tahu pada “UD.X” Desa Sumpersari mencapai 23 kali masak per hari.

Pada “UD.X” Desa Sumpersari memiliki 15 bak perendaman, air bersih yang digunakan pada proses ini bersumber dari air tanah. Metode pengaliran air bersih menggunakan sistem plumbing atau perpipaan dengan bak permanen sebagai wadah penampung air bersih. Alat yang digunakan pada proses perendaman adalah keranjang sebagai wadah kedelai yang sudah direndam dan ember kapasitas 5 kg sebagai alat untuk mengambil dan menuangkan air bersih ke dalam bak berisi kedelai sebanyak 32 kali pengulangan.

Hasil dari proses perendaman berupa *output* yaitu kedelai setelah perendaman dan waste yaitu air bekas rendaman. Umumnya kedelai rendam memiliki berat 2x lipat dari kedelai sebelum direndam, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Wulandari R, 2012) setelah proses perendaman berat kedelai 2 kali lipat karena biji kedelai menyerap air selama proses perendaman berlangsung. Proses perendaman selama satu bulan dapat dilihat pada Lampiran IV sedangkan data hasil observasi 1 kali masak dapat dilihat pada Lampiran V. Berikut merupakan perhitungan pada proses perendaman.

(b) Rata-rata berat kedelai awal = 657 kg/hari

(c) Rata-rata kapasitas masak = 23 kali masak/hari

(d) Penggunaan air bersih 1 kali masak = 160 kg

(e) Rata-rata penggunaan air bersih 1 hari

$$= 160 \text{ kg} \times 23 \text{ kali masak/hari}$$

$$= 3754 \text{ kg/hari}$$

(f) Berat kedelai rendam

$$= 657 \text{ kg/hari} \times 2 \text{ (Wulandari R, 2012)}$$

$$= 1314 \text{ kg/hari}$$

(g) Air limbah

= rata-rata air bersih yang digunakan – kedelai hasil rendaman

$$= 3754 \text{ kg/hari} - 1314 \text{ kg/hari}$$

$$= 2440 \text{ kg/hari}$$

*life cycle inventory* pada proses perendaman kedelai dapat dilihat pada **Tabel 5.1**.

**Tabel 5. 1** Life cycle inventory pada proses perendaman kedelai

<i>Input</i>		<i>Output</i>	
Material	Kuantitas (Satuan)	Material	Kuantitas (Satuan)
Kedelai	657 (kg/hari)	Kedelai rendam	1314 (kg/hari)
Air bersih	3754 (kg/hari)	Air limbah	2440 (kg/hari)

Sumber: Hasil perhitungan, 2023

Pada **Tabel 5.1** hasil perhitungan berat kedelai setelah direndam adalah 1314 kg/hari dan membutuhkan air sebanyak 3754 kg/hari. Perhitungan dan pemetaan antara *input* dan *output* tersebut memudahkan dalam penginputan data ke OpenLCA 1.11.0. Proses *input* data LCI pada proses pencucian ke OpenLCA 1.11.0 dapat dilihat pada **Gambar 5.2**.

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev.	Uncertainty	Assided	Provider	Data qual.	Descript.
Ingredient of Tofu	Ingredient of Tofu	10000	kg		none				
Resource/in ground	Resource/in ground	3754.00000	kg		none				

Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Rev.	Uncertainty	Assided	Provider	Data qual.	Descript.
Ingredient of Tofu	Ingredient of Tofu	10000	kg		none				
Resource/in ground	Resource/in ground	2440.00000	kg		none				

Gambar 5. 2 input LCI proses perendaman ke OpenLCA 1.11.0

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

## 2) Proses pencucian

Pada tahap pencucian data yang diperlukan untuk penginputan yaitu kedelai rendam dan air bersih yang digunakan untuk mencuci kedelai. Jumlah kedelai rendam yaitu 56 kg dan air yang diperlukan 30 kg dalam 1 kali masak. Berat kedelai tersebut merupakan hasil dari proses sebelumnya sedangkan air yang digunakan bersumber dari sumur bor milik industri sendiri.

Proses pencucian kedelai pada “UD.X” Desa Sumbersari setelah direndam dilakukan pemindahan kedelai rendam kedalam bak dengan berat 56 kg. Pencucian dilakukan secara manual dikerjakan oleh para pekerja yang bertugas dengan menuangkan air dari ember dengan kapasitas 5 kg sebanyak 6 kali kedalam bak berisi kedelai hasil rendaman.

Hasil dari proses pencucian berupa *output* yaitu produk berupa kedelai bersih dan limbah berupa air bekas cucian. Pada observasi lapangan, air bersih yang digunakan dalam mencuci kedelai rendam langsung keluar melewati lubang-lubang pada keranjang wadah kedelai rendam. Sehingga air bersih diasumsikan sebagai *output* dari proses pencucian. Berikut merupakan perhitungan pada proses pencucian kedelai.

- Berat kedelai rendam rata-rata = 1314 kg/hari
- Rata-rata kapasitas masak = 23 kali/hari
- Penggunaan air bersih 1 kali masak = 30 kg

- d) Penggunaan air bersih 1 hari  
 = penggunaan air bersih 1 kali masak x rata-rata kapasitas masak dalam satu hari  
 = 30 kg x 23 kali/hari  
 = 704 kg/hari

*life cycle inventory* pada proses pencucian kedelai dapat dilihat pada **Tabel 5.2**.

**Tabel 5. 2** *life cycle inventory* pada proses pencucian kedelai

<i>Input</i>		<i>Output</i>	
Material	Kuantitas (Satuan)	Material	Kuantitas (Satuan)
Kedelai rendam	1314 kg/hari	Kedelai bersih	1314 kg/hari
Air bersih	704 kg/hari	Air limbah	704 kg/hari

Sumber: Hasil perhitungan, 2023.

Pada **Tabel 5.2** hasil dari perhitungan kedelai bersih sama dengan kedelai hasil rendaman sebanyak 1314 kg/hari dan membutuhkan air sebanyak 704 kg/hari. Perhitungan dan pemetaan antara *input* dan *output* tersebut memudahkan dalam penginputan data ke OpenLCA 1.11.0. Pada proses pencucian ke OpenLCA 1.11.0 dapat dilihat pada **Gambar 5.3**.

Flow	Category	Amount	Unit	Cost/Rev.	Uncertainty	Avail'd	Provider	Data qual.	Descript.
Fertilizer Grain	Ingredient of Tolu	1314.00000	kg		none				
Water, cooling, well	Resource/n-ground	704.00000	kg		none				

Flow	Category	Amount	Unit	Cost/Rev.	Uncertainty	Avail'd	Provider	Data qual.	Descript.
Proses Pencucian		1314.00000	kg		none				
Fertilizer Grain	Ingredient of Tolu	1314.00000	kg		none				
Water, cooling, well	Resource/n-ground	704.00000	kg		none				

**Gambar 5. 3** *Input* LCI proses pencucian ke OpenLCA 1.11.0.

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

### 3) Proses penggilingan

Proses penggilingan membutuhkan kedelai bersih hasil dari proses pencucian, air bersih dari sumur bor pemilik industri serta mesin penggiling kedelai. Jumlah kedelai sebelum digiling 56 kg, dari jumlah kedelai tersebut dibutuhkan 24 liter air dan mesin penggiling kedelai membutuhkan listrik sebesar 2700 watt/jam. Berikut merupakan perhitungan penggunaan listrik pada proses penggilingan.

a) Lama penggunaan mesin penggilingan 1 hari = 8 jam/hari

b) Daya mesin penggiling kedelai = 2,7 kWh/jam

c) Hasil pemakaian listrik 1 hari

= penggunaan mesin penggilingan 1 hari x daya mesin penggiling kedelai

= 8 jam/hari x 2,7 kWh

= 21,6 kWh/hari

= 0,00007776 Tj/hari

Pada perhitungan diatas dapat diketahui bahwa konsumsi energi pada proses penggilingan sebesar 0,00007776 Tj/hari. Proses penggilingan dilakukan bergantian 4 bak untuk satu kali masak. Pengisian air pada proses penggilingan yaitu menggunakan kran diatas mesin penggiling dengan rata-rata penggunaan air untuk 1 kali masak adalah 24 liter, jika penggunaan air untuk 1 kali giling dengan berat kedelai 14 kg adalah 4,8 liter air dan hasil dari proses penggilingan adalah bubur kedelai dengan berat 80 kg untuk satu baknya berat 16 kg dalam 1 kali masak membutuhkan 5 bak.

Hasil dari proses penggilingan berupa *output* yaitu produk berupa bubur kedelai sebanyak 1877 kg/hari dan membutuhkan air sebanyak 563 kg/hari, sedangkan limbah yang dihasilkan dari proses penggilingan berasal dari mesin penggiling yaitu berupa emisi yang dikeluarkan diudara. Berikut merupakan perhitungan pada proses penggilingan.

- a) Berat kedelai rendam rata-rata = 1314 kg/hari
- b) Berat bubur kedelai = 1877 kg/hari
- c) Penggunaan air bersih 1 hari  
 = berat bubur kedelai – berat kedelai rendam  
 = 1877 kg/hari – 1314 kg/hari  
 = 563 kg/hari

Pada perhitungan diatas dapat diketahui bahwa rata-rata penggunaan air bersih dalam satu hari adalah 563 kg/hari. Emisi yang dihasilkan dari sumber energi listrik untuk proses penggilingan merujuk pada faktor emisi GRK Tahun 2019 yang diterbitkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jendral Ketenagalistrikan bahwa faktor emisi yang digunakan untuk menghitung emisi CO<sub>2</sub> pada sektor energi listrik di Provinsi Jawa Timur adalah sebesar 0,87 ton CO<sub>2</sub>/MWh. Berikut pemilihan Faktor Emisi dan perhitungan emisi GRK CO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Lampiran VI. Berikut merupakan perhitungan emisi pada proses penggilingan.

Persamaan perhitungan emisi GRK

$$Emisi_{GRK,BB} = Konsumsi_{BB} \times Faktor\ Emisi_{GRK,BB}$$

Dimana:

BB : jenis bahan bakar

Emisi<sub>GRK,BB</sub> :Emisi GRK jenis tertentu menurut jenis bahan bakar (kg GRK)

Konsumsi<sub>BBB</sub> :Banyaknya bahan bakar yang dibakar menurut jenis bahan bakar (Terajoule (TJ))

Faktor Emisi<sub>GRK,BB</sub> :Faktor Emisi GRK jenis tertentu menurut jenis bahan bakar (kg gas/TJ)

Sumber: Pedoman Inventarisasi GRK Sektor Energi  
(KLH, 2013)

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 &= \text{Konsumsi listrik} \times \text{faktor emisi} \\ &= 0,0000777 \text{ Tj} \times 870 \text{ kg CO}_2/\text{Tj} \end{aligned}$$

$$= 0,068 \text{ Kg CO}_2$$

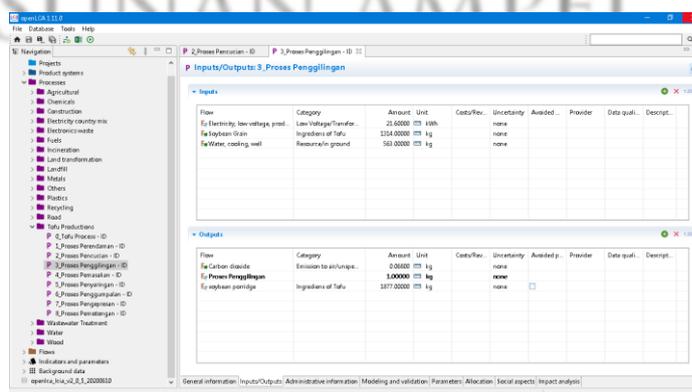
Berdasarkan perhitungan diatas dapat diketahui bahwa penggunaan listrik selama 1 hari adalah sebesar 0,068 kg CO<sub>2</sub> dalam satu bulan 1,89 kg CO<sub>2</sub> setelah dilakukan perhitungan emisi CO<sub>2</sub> selanjutnya dimasukan pada life cycle inventory. Life cycle inventory pada proses penggilingan dapat dilihat pada **Tabel 5.3**.

**Tabel 5. 3** Life cycle inventory pada proses penggilingan

<i>Input</i>		<i>Output</i>	
Material	Kuantitas (Satuan)	Material	Kuantitas (Satuan)
Kedelai bersih	1314 kg	Bubur kedelai	1877 kg
Air bersih	563 kg		
Listrik	21,6 kWh	Emisi CO <sub>2</sub>	0,068 kg CO <sub>2</sub>

Sumber: Hasil perhitungan, 2023

Pada **Tabel 5.3** telah didapatkan *input* dan *output* pada saat proses penggilingan yang selanjutnya dilakukan penginputan data LCI pada proses penggilingan ke OpenLCA 1.11.0 dapat dilihat pada **Gambar 5.4**.



**Gambar 5. 4** Input LCI proses penggilingan ke OpenLCA 1.11.0

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

## 4) Proses pemasakan

Proses pemasakan dapat dimulai ketika tempat pemasakan telah terisi oleh 5 bak dengan berat total 80 kg dan juga membutuhkan air bersih 580 kg dalam satu kali masak. Proses pemasakan dalam selama 28 hari mulai tanggal 1 februari 2023 sampai 28 februari 2023 didapatkan data yang berjumlah 657 kali masak dengan rata-rata perharinya sebanyak 23 kali masak. Perhitungan air bersih dan bubur kedelai didapatkan melalui observasi lapangan pada “UD.X” Desa Sumbersari dan telah divalidasi oleh pemilik usaha. Untuk rata-rata perhari bubur kedelai yang diproses sebesar 1877 kg, berikut merupakan perhitungan pada proses pemasakan.

- a) Penggunaan air bersih 1 kali masak = 580 kg/hari
- b) Rata-rata kapasitas masak = 23 kali masak/hari
- c) Penggunaan air bersih 1 hari  
 = penggunaan air bersih 1 kali masak x rata-rata kapasitas masak perhari  
 = 580 kg x 23 kali/hari  
 = 13.609 kg/hari

Pada perhitungan diatas dapat diketahui bahwa rata-rata perhari membutuhkan air sebanyak 13.609 kg/hari. Dari perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa rata-rata bubur kedelai sebanyak 1877 kg/ hari membutuhkan air sebanyak 13.609 kg/hari. *Output* yang dihasilkan pada proses pemasakan yaitu berupa uap air dan emisi. Berikut merupakan perhitungan uap air pada proses pemasakan.

- a) Jumlah uap air 1 kali masak  
 = (rata-rata bubur kedelai perhari + air bersih perhari) –  
 bubur kedelai masak  
 = (1877 kg/hari + 13.609 kg/hari) – 10031 kg/hari  
 = 5.455 kg/hari

Pada perhitungan diatas dapat diketahui bahwa jumlah uap air rata-rata perhari sebanyak 5.455 kg/hari sedangkan emisi yang didapatkan bersumber dari energi yang digunakan dalam proses pemasakan yaitu bersumber dari pembakaran kayu.

Persamaan perhitungan emisi GRK

$$Emisi_{GRK,BB} = Konsumsi BB_{BB} \times Faktor Emisi_{GRK,BB}$$

Dimana:

BB :Bahan bakar

$Emisi_{GRK,BB}$  :Emisi GRK jenis tertentu menurut jenis bahan bakar (kg GRK)

Konsumsi  $BB_{BB}$  :Banyaknya bahan bakar yang dibakar menurut jenis bahan bakar (Terajoule (TJ))

Faktor  $Emisi_{GRK,BB}$  :Faktor Emisi GRK jenis tertentu menurut jenis bahan bakar (kg gas/TJ)

Sumber: Pedoman Inventarisasi GRK Sektor Energi (KLH, 2013)

Faktor emisi yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan IPCC Guideline 2006 yaitu emisi CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O pada sektor emergi bahan bakar, faktor emisi dan NCV dapat dilihat pada **Tabel 5.4.**

**Tabel 5. 4** Faktor emisi dan NCV

Jenis bahan bakar	Kg GRK/Tj			Nilai Kalor (NCV)	Kandungan Karbon	%
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Tj/Gg	(Kg/Gj)	
Gas Oil (Misnyak Solar, HSD/ADO)	74.100	3	0,6	43	20,2	87
Diesel Oil (Minyak Diesel/IDO)	74.100	3	0,6	43	20,2	87

Jenis bahan bakar	Kg GRK/Tj			Nilai Kalor (NCV)	Kandungan Karbon	%
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Tj/Gg	(Kg/Gj)	
Residual fuel oil (minyak bakar, MFO, HFO)	77.400	3	0,6	40,4	21,1	86
Natural Gas (Gas Bumi)	56.100	1	0,1	48	15,3	73
Coking Coal	94.600	1	1,5	28,2	25,8	67
Other Bituminous	94.600	1	1,5	25,8	25,8	73
Sub Bituminous	96.100	1	1,5	18,9	26,2	50
Lignite	101.000	1	1,5	11,9	27,6	33
Peat	106.000	1	1,5	9,76	28,9	28
Biodiesel	70.800	3	0,6	27	19,3	52
Landfill gas	54.600	1	0,1	50,4	14,9	75
Other Biogas	54.600	1	0,1	50,4	14,9	75
Wood/wood waste (Kayu)	112.000	30	4	15,6	30,5	48
Other primary solid biomass (Biomassa padat lainnya)	100.000	30	4	11,6	27,3	32

Sumber: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

Pada **Tabel 5.4** dapat diketahui nilai NCV dan Faktor Emisi dari penggunaan bahan bakar kayu dengan NCV sebesar

15,6 Tj/Gg dan faktor emisi kayu bakar sebesar 112.000 Kg CO<sub>2</sub>/Tj, 30 Kg CH<sub>4</sub>/Tj, 4 Kg N<sub>2</sub>O/Tj. Berikut merupakan perhitungan emisi pada proses pemasakan.

a) Konsumsi energi

$$\begin{aligned} &= \text{jumlah kayu bakar 1 hari} \times \text{NCV kayu bakar} \\ &= 0,0005 \text{ Gg/hari} \times 15,6 \text{ Tj/Gg} \\ &= 0,0078 \text{ Tj/hari} \end{aligned}$$

b) Emisi CO<sub>2</sub>

$$\begin{aligned} &= \text{Konsumsi energi} \times \text{Faktor emisi} \\ &= 0,0078 \text{ Tj/hari} \times 112.000 \text{ Kg CO}_2/\text{Tj} \\ &= 873,6 \text{ Kg CO}_2/\text{hari} \end{aligned}$$

c) Emisi CH<sub>4</sub>

$$\begin{aligned} &= \text{Konsumsi energi} \times \text{Faktor emisi} \\ &= 0,0078 \text{ Tj/hari} \times 30 \text{ Kg CH}_4/\text{Tj} \\ &= 0,23 \text{ Kg CH}_4/\text{hari} \end{aligned}$$

d) Emisi N<sub>2</sub>O

$$\begin{aligned} &= \text{Konsumsi energi} \times \text{Faktor emisi} \\ &= 0,0078 \text{ Tj/hari} \times 4 \text{ Kg N}_2\text{O}/\text{Tj} \\ &= 0,031 \text{ Kg N}_2\text{O}/\text{hari} \end{aligned}$$

*Output* yang dihasilkan dari proses pemasakan pada “UD.X” Desa Sumbersari berupa produk dan limbah untuk produk yaitu bubur kedelai yang siap disaring dan limbah dari proses ini berupa emisi yang bersumber dari kayu bakar serta uap air. *Life cycle inventory* pada proses pemasakan dapat dilihat pada **Tabel 5.5**.

**Tabel 5.5** *Input* data pada proses pemasakan kedalam OpenLCA 1.11.0

<i>Input</i>		<i>Output</i>	
Material	Kuantitas (Satuan)	Material	Kuantitas (Satuan)
Kedelai bersih	1877 kg/hari	Bubur kedelai	10031 kg/hari

Air bersih	13609 kg/hari	Emisi CO <sub>2</sub>	873,6 kg/hari
Kayu Bakar	500 kg/hari	Uap Air	5455 kg/hari
		Emisi CH <sub>4</sub>	0,234 kg/hari
		Emisi N <sub>2</sub> O	0,0312 kg/hari

Sumber: Hasil perhitungan, 2023

Pada proses pemasakan *output* yang dihasilkan berupa produk dan limbah untuk produk yang dihasilkan adalah bubur kedelai setelah pemasakan dan limbah yang dihasilkan berupa uap air dan emisi, sedangkan proses *input* data LCI pada proses pemasakan ke OpenLCA 1.11.0 dapat dilihat pada **Gambar 5.5**.

Flow	Category	Amount	Unit	Cent/Rev.	Uncertainty	Assesd.	Provider	Data qual.	Descript.
Ea Energy, from vessel	Resource/basic	0,007180	[TJ]		none				
Ea Soybean sprout	Ingredient of Tufa	1017,000000	[kg]		none				
Ea Water, cooling, well	Resource/In ground	1,500000	[kg]		none				

Flow	Category	Amount	Unit	Cent/Rev.	Uncertainty	Assesd.	Provider	Data qual.	Descript.
Ea Carbon dioxide	Emission to air/unrecy.	873,600000	[kg]		none				
Ea Nitrogen monoxide	Emission to air/unrecy.	0,234000	[kg]		none				
Ea Methane	Emission to air/unrecy.	0,031200	[kg]		none				
Ea Proses Pemasakan		1,000000	[kg]		none				
Ea Uap Air	Ingredient of Tufa	5455,000000	[kg]		none				

**Gambar 5.5** Input LCI proses pemasakan ke OpenLCA 1.11.0

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

## 5) Proses penyaringan

Proses penyaringan pada “UD.X” Desa Sumbersari bertujuan untuk mendapatkan sari kedelai dari pemasakan bubur kedelai. Kedelai yang masuk perhari yaitu sebanyak 10.031 kg/hari dan air bersih yang dibutuhkan perhari pada proses penyaringan sebanyak 1760 kg/ hari. Penyaringan berlangsung dengan bantuan alat yaitu penyaring, penyangga besi, dan ember berkapasitas 7,5 kg dengan pengulangan 10 kali dalam sekali masak.

Pada “UD.X” Desa Sumbersari terdapat 5 bak yang disediakan untuk proses penyaringan dan Mekanisme pada proses penyaringan yaitu menuangkan bubur kedelai setelah dimasak ke kain penyaring yang dibawahnya telah ada bak

penampung sari kedelai yang dilakukan oleh tenaga manusia. Berikut merupakan perhitungan pada proses penyaringan.

- a) Rata-rata kapasitas masak 1 hari = 23 kali/hari
- b) Penggunaan air bersih 1 kali masak = 75 kg
- c) Perhitungan air bersih 1 hari
  - = penggunaan air bersih 1 kali masak x rata-rata kapasitas masak 1 hari
  - = 75 kg x 23 kali/hari
  - = 1760 kg/hari

Pada Perhitungan diatas telah diketahui jumlah dari penggunaan air bersih dalam sehari adalah 1760 kg/hari. Proses penyaringan menghasilkan *output* berupa produk dan limbah untuk produk yang dihasilkan berupa sari kedelai dengan berat perhari mencapai 10.993 kg/hari sedangkan limbah yang dihasilkan berupa limbah padat yaitu ampas tahu dengan rata-rata perharinya sebanyak 798 kg/hari. Ampas tahu hasil dari proses penyaringan dijual kepada konsumen peternakan. Berikut merupakan *life cycle inventory* pada proses penyaringan kedelai dapat dilihat pada **Tabel 5.6**.

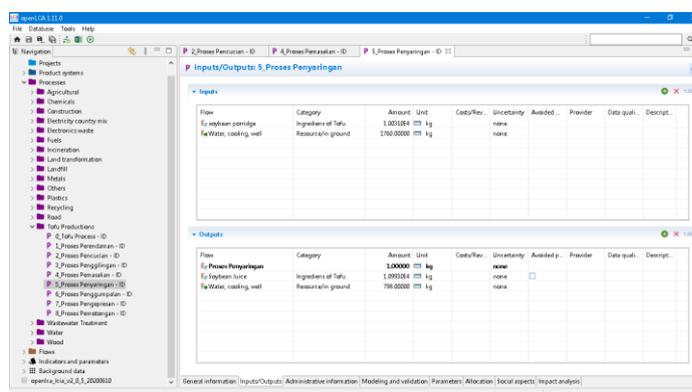
**Tabel 5. 6** *life cycle inventory* pada proses penyaringan

<i>Input</i>		<i>Output</i>	
Material	Kuantitas (Satuan)	Material	Kuantitas (Satuan)
Bubur kedelai	10031 kg/hari	Sari Kedelai	10993 kg/hari
Air bersih	1760 kg/hari	Ampas bubur kedelai	798 kg/hari

Sumber: Hasil perhitungan, 2023

Pada **Tabel 5.6** terdapat pemetaan antara *input* dan *output* tersebut memudahkan memudahkan dalam penginputan data ke OpenLCA 1.11.0. Sedangkan proses *input* data LCI pada

proses penyaringan ke OpenLCA dapat dilihat pada **Gambar 5.6.**



**Gambar 5.6** Input LCI proses penyaringan ke OpenLCA 1.11.0

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

#### 6) Proses penggumpalan

Proses penggumpalan pada “UD.X” Desa Sumbersari menggunakan bantuan asam cuka yang telah disediakan pada bak berkapasitas 100 kg. Data *input* pada proses penggumpalan adalah sari kedelai dan asam cuka. Pada proses sebelumnya menghasilkan sari kedelai yang berjumlah 10993 kg perharinya. Penambahan asam cuka sebanyak 2346 kg perhari dilakukan bertahap sampai terlihatnya gumpalan sari kedelai.

Pada UD.X Desa Sumbersari asam cuka berasal dari pihak ke-3 terdapat 5 tempat yang digunakan pada proses kali ini dan dimasing-masing tempat telah disediakan bak berwarna biru berkapasitas 100 kg/bak sebagai biang cuka. Alat yang digunakan yaitu ember berkapasitas 7,5 kg untuk menuangkan cuka secara bertahap dan wajan berganggang satu berkapasitas 2,3 kg untuk meratakan cuka pada sari kedelai. berikut merupakan perhitungan penambahan asam cuka dalam sehari pada proses penggumpalan.

- a) kapasitas masak keseluruhan = 657 kali/bulan
- b) Penggunaan asam cuka 1 kali masak = 100 kg
- c) Penggunaan asam cuka 1 bulan

= Penggunaan asam cuka 1 kali masak x kapasitas masak keseluruhan

= 100 kg x 657 kali/bulan

= 65700 kg/bulan

d) Penggunaan asam cuka 1 hari

= penggunaan asam cuka 1 bulan/ jumlah hari dalam satu bulan

= 65700 kg/bulan ÷ 28 hari

= 2346 kg/hari

Pada perhitungan diatas dapat diketahui bahwa kebutuhan asam cuka perhari sebanyak 2346 kg/hari. Pada proses penggumpalan menghasilkan produk dan limbah. Produk yang dihasilkan yaitu gumpalan sari kedelai per 1 kali masak yaitu 540,9 kg dan air limbah berasal dari hasil penggumpalan yaitu whey dalam 1 kali masak berjumlah 27,6 kg. Berikut merupakan perhitungan limbah pada proses penggumpalan.

e) Limbah 1 kali masak = 27,6 kg

f) Rata-rata masak 1 hari = 23 kali masak

g) Limbah 1 hari

= limbah 1 kali masak x rata-rata masak 1 hari

= 27,6 kg x 23 kali masak

= 648 kg/hari

Pada perhitungan limbah pada proses penggumpalan dapat diketahui bahwa 1 hari menghasilkan 648 kg limbah. *Life cycle inventory* pada proses penggumpalan dapat dilihat pada

**Tabel 5.7.**

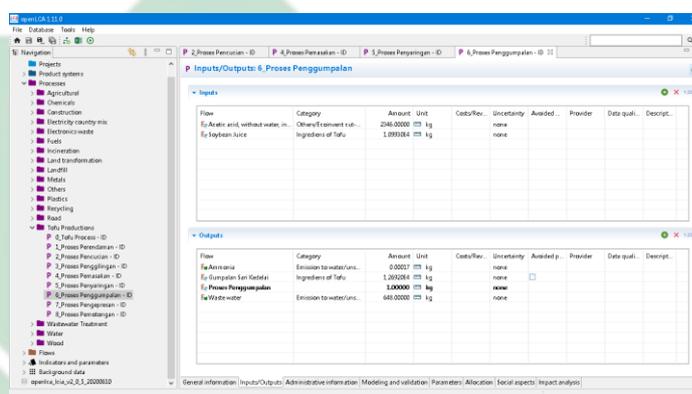
**Tabel 5.7** *life cycle inventory* pada proses penggumpalan

<i>Input</i>		<i>Output</i>	
Material	Kuantitas (Satuan)	Material	Kuantitas (Satuan)
Sari Kedelai	10993 kg	Air Limbah	648 kg

<i>Input</i>		<i>Output</i>	
Asam Cuka	2346 kg	Gumpalan sari kedelai	12692 kg

Sumber: Hasil perhitungan, 2023

Pada **Tabel 5.7** memudahkan dalam penginputan data kedalam OpenLCA 1.11.0 dan proses *input* data LCI pada proses penggumpalan kedalam OpenLCA 1.11.0 dapat dilihat pada **Gambar 5.7**.



**Gambar 5.7** *input* LCI proses penggumpalan ke OpenLCA 1.11.0

Sumber: Hasil analisis OpenLCA, 2023

## 7) Proses pengepresan

Proses pengepresan pada “UD.X” Desa Sumbersari bertujuan untuk menghilangkan air dan memadatkan gumpalan sari kedelai yang telah dipindahkan kedalam cetakan. Data *input* pada proses pengepresan adalah gumpalan sari kedelai. Gumpalan sari kedelai yang digunakan yaitu hasil dari proses penggumpalan kemudian dipindahkan kedalam cetakan sebesar 23 kg. 1 kali masak menghasilkan 6 kali cetakan dalam 1 kali masak menghasilkan gumpalan sari kedelai sebesar 138 kg.

Pada UD.X Desa Sumbersari dalam sehari mendapatkan 141 cetakan sedangkan alat yang digunakan pada proses ini yaitu cetakan, ember berukuran 7,5 kg untuk menuangkan gumpalan sari kedelai kedalam cetakan dan batu seberat 3 kg berbentuk balok untuk membantu pemadatan tahu dan

mempercepat pengurangan atau pengeluaran air dari cetakan. Setiap 28 kg kedelai dapat menghasilkan 75,6 kg tahu padat. Dan berat tahu perpotong sebesar 0,35 kg. Pada proses ini menghasilkan *output* yaitu produk dan limbah cair. Produknya adalah tahu padat 6 cetakan dan limbah cair. Berikut merupakan perhitungan limbah cair pada proses pengepresan.

- a) Gumpalan sari kedelai 1 hari = 12.692 kg/hari
- b) Rata-rata kapasitas masak 1 hari = 23 kali/hari
- c) Tahu padat 1 kali masak = 75,6 kg
- d) Tahu padat 1 hari  
= rata-rata kapasitas masak 1 hari x tahu padat 1 kali masak  
= 23 kali x 75,6 kg  
= 1774 kg/hari
- e) Air limbah 1 hari  
= gumpalan sari kedelai 1 hari – tahu padat 1 hari  
= 10918 kg/hari

Pada perhitungan diatas air limbah pengepresan berasal dari lubang saring cetakan sedangkan asam cuka ditampung lagi kedalam bak berkapasitas 100 kg. *life cycle inventory* pada proses pengepresan dapat dilihat pada **Tabel 5.8**.

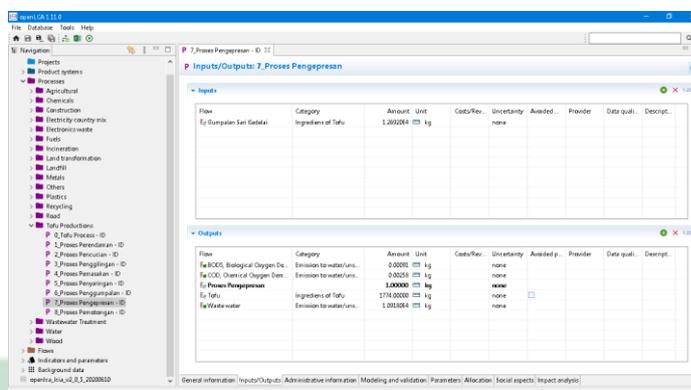
**Tabel 5. 8** *Life cycle inventory* pada proses pengepresan

<i>Input</i>		<i>Output</i>	
Material	Kuantitas (Satuan)	Material	Kuantitas (Satuan)
Gumpalan sari kedelai	12692 kg/hari	Tahu Padat	1774 kg/hari
		Air Limbah	10918 kg/hari

Sumber: Hasil perhitungan, 2023

Pada **Tabel 5.8** hasil perhitungan pada proses pengepresan menghasilkan air limbah sebanyak 10918 kg/hari

dalam sehari. Perhitungan dan pemetaan antara *input* dan *output* tersebut memudahkan dalam penginputan data ke OpenLCA dapat dilihat pada **Gambar 5.8**.



**Gambar 5. 8** *input* LCI proses pengepresan ke OpenLCA 1.11.0

Sumber: Hasil analisis OpenLCA, 2023

## 8) Proses pemotongan

Proses pemotongan yaitu proses paling akhir dari proses produksi tahu pada “UD.X” Desa Sumpersari. *data input* yang dibutuhkan pada proses ini adalah Tahu padat yang dihasilkan dari proses pengepresan. Tahu padat terdapat 6 cetakan untuk 1 cetakan tahu memiliki berat sebesar 12,6 kg untuk satu cetakan dan dipotong menjadi 36 buah dengan berat kisaran 350 gram atau 0,35 kg untuk satu potong tahu. Alat yang digunakan pada proses pemotongan yaitu pisau dan penggaris kayu yang dilakukan oleh para pekerja. Sedangkan *output* yang dihasilkan sama beratnya namun yang membedakan adalah ukuran dan proses penyajiannya yaitu perpotong.

Pada tahap ini, *input* dan *output* adalah tahu padat yang membedakan adalah kuantitasnya berikut merupakan *life cycle inventory* pada proses pemotongan disajikan pada **Tabel 5.9**.

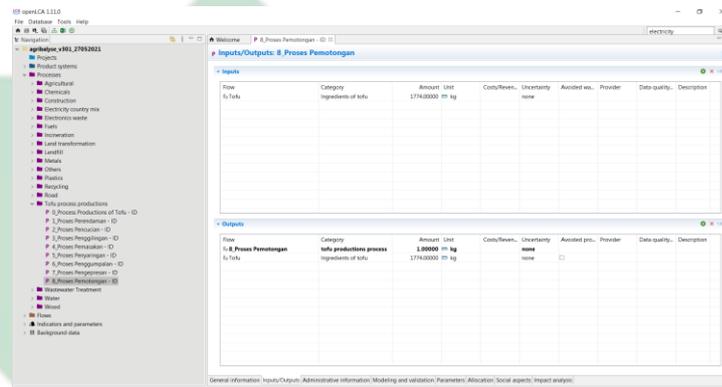
**Tabel 5. 9** *Life cycle inventory* pada proses pemotongan

<i>Input</i>		<i>Output</i>	
Material	Kuantitas (Satuan)	Material	Kuantitas (Satuan)

Tahu padat	1774 kg/hari	Tahu potong	0,35 kg/pcs/hari
------------	--------------	-------------	---------------------

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Pada **Tabel 5.9** hasil perhitungan dan pemetaan antara *input* dan *output* tersebut dapat memudahkan dalam penginputan data kedalam OpenLCA 1.11.0. Proses *input* data LCI pada proses pemotongan kedalam OpenLCA 1.11.0 dapat dilihat pada **Gambar 5.9**.

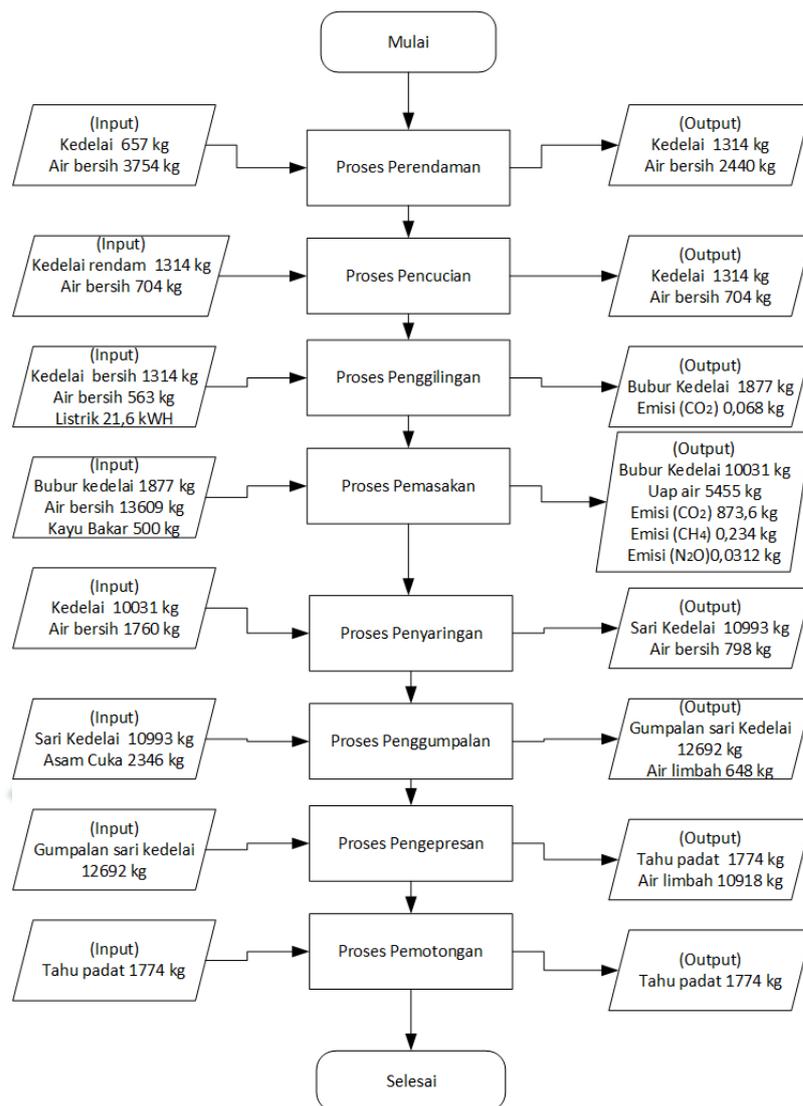


**Gambar 5.9** Input LCI proses pemotongan ke OpenLCA 1.11.0

Sumber: Hasil analisis OpenLCA, 2023

Dari pembahasan diatas terdapat flowchart dari proses produksi tahu UD.X Desa Sumbersari dapat dilihat pada **Gambar 5.10** guna mengetahui keseluruhan *life cycle inventory* pada proses produksi tahu.

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A



**Gambar 5.10** Flowchart proses produksi tahu

Sumber: Hasil analisis, 2023

### 5.1.3. Life Cycle Impact Assessment

*Life cycle impact assessment* (LCIA) atau penilaian dampak siklus hidup adalah fase dimana serangkaian hasil dari analisis inventarisasi atau *inventory input* dan *output* pada lingkup studi akan diproses untuk mengetahui dampak lingkungan. Hasil dari permodelan LCIA mencakup langkah-langkah karakterisasi dan normalisasi yang bertujuan untuk mengetahui kesimpulan dari dampak yang dihasilkan baik dalam skala regional maupun global (Guinee, 2004). Metode yang digunakan dalam menganalisis dampak adalah TRACI 2.1 dengan *impact category group* meliputi

*acidification, Ecotoxicity, Eutrophication, Climate Change, Human toxicity, Ozone layer depletion, Photochemical oxidation, Resource depletion.*

### a) Normalization and weighting

Pada tahap normalisasi dan pembobotan, penelitian ini menggunakan LCIA TRACI 2.1 (*US-Canadian 2008*). Pada OpenLCA terdapat faktor normalisasi yang telah ada pada sistem yang dapat dilihat pada **Gambar 5.11**.

Reference unit	Impact category	Normalization factor	Weighting factor
US-Canadian 2008	E1 Acidification	84.15027617782706	-
US-Canadian 2008	E1 Carcinogenicity	4.87329201021235	-
US-Canadian 2008	E1 Ecotoxicity	10975.8810784114	-
Canada 2005	E1 Eutrophication	20.1210160491289	-
Canada 2005	E1 Fossil fuel de.	23.3863215048179	-
Canada 2005	E1 Global warming	20.081802124251	-
Canada 2005	E1 Non carcinogenic	0.0011270020996	-
Canada 2005	E1 Ozone depletion	0.14737814999914	-
Canada 2005	E1 Respiratory s.	20.1060477228408	-
Canada 2005	E1 Smog	1447.9171111476	-

**Gambar 5.11** Normalization factor pada OpenLCA

Sumber: Hasil analisis OpenLCA, 2023

Pada **Gambar 5.11** dapat diketahui bahwa faktor normalisasi dari setiap dampak berbeda-beda. Pada penelitian kali ini nilai dampak yang telah di normalisasi dan pembobotan dapat dilihat pada **Gambar 5.12**.

Impact category	Amount
Carcinogenicity	11.8620
Non carcinogenic	1.0975
Global warming	1.42079
Eutrophication	2.01889
Fossil fuel de.	1.47378

**Gambar 5.12** Nilai Normalisasi dan pembobotan

Sumber: Hasil analisis OpenLCA, 2023

Berikut merupakan nilai keseluruhan dari normalisasi dampak yang dikaji dalam TRACI 2.1 dapat dilihat pada **Tabel 5.10**.

**Tabel 5. 10** Nilai Normalisasi TRACI 2.1

No	Dampak	Nilai Normalisasi
1	Carcinogenic	13.61
2	Ecotoxicity	9.28
3	Non Carcinogenic	3.70
4	Eutrophication	2.12
5	Fossil Fuel Depletion	1.98
6	Acidification	0.61
7	Global Warming	0.52
8	Smog	0.47
9	Respiratory Effects	0.41
10	Ozone Depletion	0.02

Sumber: Hasil Analisa OpenLCA 1.11.0, 2023

Pada **Gambar 5.12** dan **Tabel 5.10** dapat dilihat bahwa sitempenyajian nilai pada tahap normalisasi OpenLCA 1.11.0 adalah dengan nilai yang paling tinggi ke yang terendah dengan dampak yang mendapatkan nilai tertinggi sampai yang terendah berturut-turut adalahh carcinoggenic, ecotoxicity, non-carcinogenic, eutrophication, fossil fuel depletion, acidification, global warming, smog, respiratory effects, dan ozone depletion.

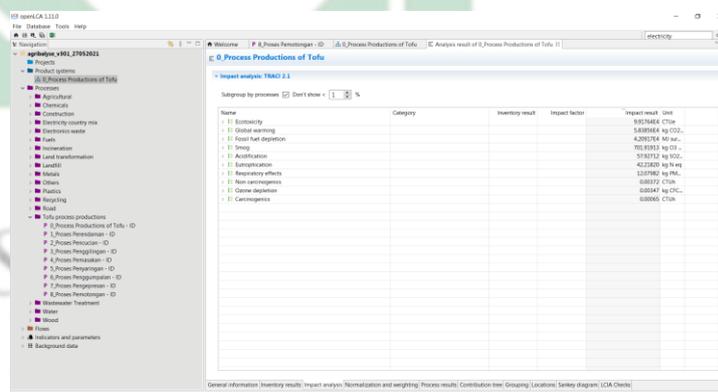
#### b) *Impact analysis* OpenLCA 1.11.0

Pada tahap *impact analysis* terjadi perbedaan nilai dengan normalisasi dan pembobotan, hal ini disebabkan oleh faktor tahapan, pada *impact analysis* terdapat faktor *impact* yang nilainya berbeda dengan faktor normalisasi, dan juga pada *impact analysis* menjelaskan secara lengkap substansi atau proses yang menghasilkan nilai tertinggi yang berpengaruh pada nilai dampak sedangkan pada normalisasi hanya menampilkan nilai. Berikut merupakan hasil dari *impact analysis* OpenLCA 1.11.0 dapat dilihat pada **Tabel 5.11** dan **Gambar 5.13**.

**Tabel 5. 11** Hasil dari impact analysis OpenLCA 1.11.0

No	Impact Category	Score	Unit
1	<i>Carcinogenics</i>	0,0006	CTUh
2	<i>Ozone depletion</i>	0,0034	KG CFC-11eq
3	<i>Acidifocation</i>	57,9	Kg SO <sub>2</sub> eq
4	<i>fossil fuel</i>	42.179,9	MJ surplus
5	<i>Eutrophication</i>	43,957	Kg N eq
6	<i>Respiratory effect</i>	12,214	Kg PM2.5 eq
7	<i>ecotoxicity</i>	101.889	CTUe
8	<i>Non carcinogenic</i>	0,0038	CTUh
9	<i>global warming</i>	12.639,8	Kg CO <sub>2</sub> eq
10	<i>Smog</i>	681,274	Kg O <sub>3</sub> eq

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

**Gambar 5. 13** Hasil *Impact Analysis* OpenLCA 1.11.0

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

### 1) *Carcinogenics*

Carcinogenic effects terjadi disebabkan oleh emisi zat karsinogenik terhadap udara, air, dan tanah. Zat karsinogenik merupakan zat yang bisa menyebabkan kanker. Kanker disebabkan oleh perubahan yang terjadi pada DNA sel,

namun tidak semua zat karsinogenik menyebabkan kanker dengan mempengaruhi DNA secara langsung, melainkan dengan cara lain seperti menyebabkan sel membelah pada tingkat yang lebih cepat dari biasanya yang dapat meningkatkan kemungkinan perubahan DNA dapat terjadi (Fuadi, 2023).

Pada proses produksi tahu menghasilkan dampak carcinogenics yaitu pada tahap proses penggumpalan dan proses penggilingan berdasarkan pengolahan data dari OpenLCA 1.11.0, didapatkan nilai *carcinogenics* yang dapat dilihat pada **Tabel 5.12**.

**Tabel 5. 12** Nilai *Carcinogenics*

Tahap	Nilai <i>Carcinogenics</i> (CTUh)
Proses perendaman	-
Proses pencucian	-
Proses penggilingan	0,00001
Proses pemasakan	-
Proses penyaringan	-
Proses penggumpalan	0,00065
Proses pengepresan	-
Proses pemotongan	-

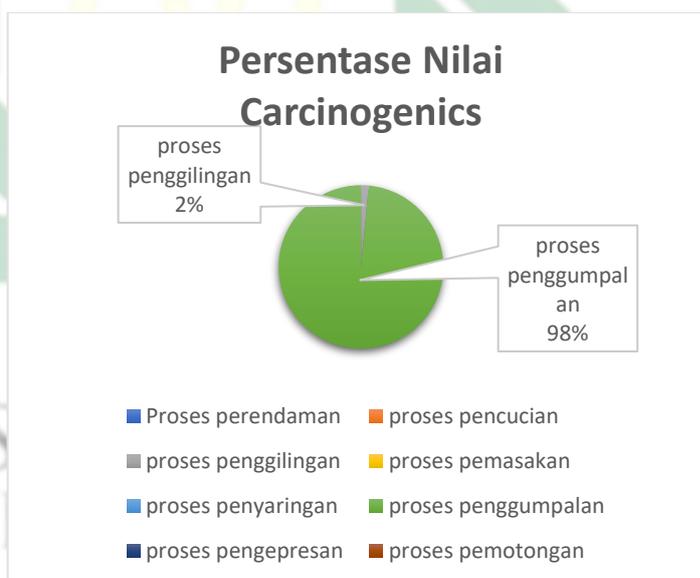
Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

Tahap yang menghasilkan nilai *carcinogenics* tertinggi sampai terendah adalah proses penggumpalan dengan nilai 0,00065 CTUh dan proses penggilingan dengan nilai 0,00001 CTUh.

Pada proses penggumpalan dan penggilingan menjadi kontributor dampak karsinogenik, hal ini disebabkan oleh proses penggumpalan menggunakan asam asetat menghasilkan substansi/zat chromium VI yang mendapatkan nilai tertinggi sebesar 0,00049 CTUh. Perkembangan

perindustrian secara luas dan cepat tentu juga menghasilkan limbah industri sebagai hasil samping, salah satunya yaitu peningkatan jumlah logam dilingkungan.

Chromium (Cr) merupakan logam yang ditemukan secara alami di kerak bumi berbentuk biji kromit (Nabiela, *et al.*, 2020). Krom (VI) juga sangat beracun dalam air pada berbagai pH dan bersifat karsinogenik (Nurropiah, *et al.*, 2015). Chromium sendiri memiliki bilangan oksidasi yang bervariasi mulai dari Cr (II) ke Cr (VI) (Jobby, *et al.*, 2018). Kromium VI menjadi karsinogen golongan 1 yang diklasifikasikan dengan mekanisme kompleks multipel yang menjadi pemicu perkembangan kanker (DesMarias & Costa, 2019). Berikut merupakan persentase dari nilai *carcinogenics* dapat dilihat pada **Gambar 5.14**.



**Gambar 5. 14** Presentase Nilai *Carcinoenics*

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

## 2) *Ozone Depletion*

Dampak dari penipisan lapisan ozon adalah pemanasan permukaan bumi. Kepekaan manusia, hewan, dan tumbuhan terhadap radiasi UVB dan UVA sangat penting. Hal tersebut dapat berdampak pada perubahan pertumbuhan

atau penurunan hasil tanaman (gangguan fotosintesis), penanda tumor (kanker kulit dan penyakit mata) dan pengurangan plankton laut, yang berpengaruh terhadap rantai makanan. Saat menghitung potensi penipisan ozon, hidrokarbon terhalogenasi antropogenik, yang dapat menghancurkan banyak molekul ozon, diperhitungkan terlebih dahulu. *Ozone Depletion Potential* (ODP) dihasilkan dari perhitungan potensi berbagai zat yang berkaitan dengan lapisan ozon (Darpawanto, 2022).

Pada proses produksi tahu menghasilkan dampak *ozone depletion* yaitu pada tahap proses penggumpalan dan proses penggilingan berdasarkan pengolahan data dari OpenLCA 1.11.0, didapatkan nilai *ozone depletion* yang dapat dilihat pada Tabel 5.13.

**Tabel 5. 13** Nilai *Ozone Depletion*

Tahap	Nilai <i>Ozone Depletion</i> (KG CFC-11eq)
Proses perendaman	-
Proses pencucian	-
Proses penggilingan	0,00002
Proses pemasakan	-
Proses penyaringan	-
Proses penggumpalan	0,00347
Proses pengepresan	-
Proses pemotongan	-

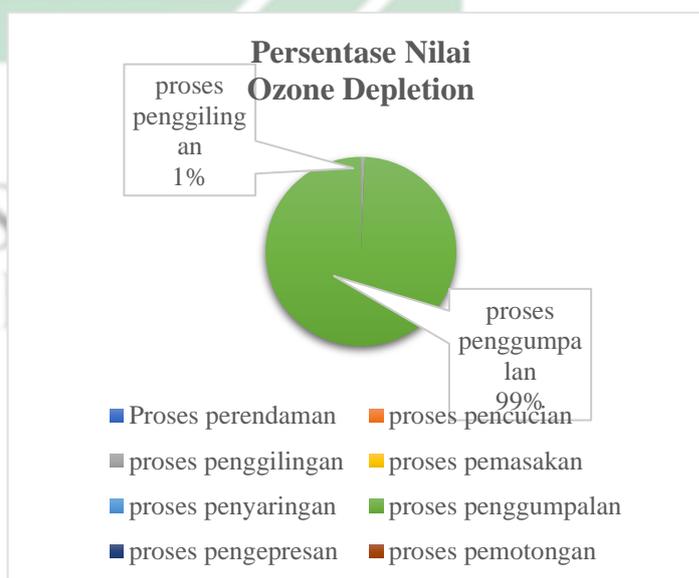
Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

Tahap yang menghasilkan nilai *ozone depletion* tertinggi sampai terendah adalah proses penggumpalan dengan nilai 0,00347 KG CFC-11eq dan proses penggilingan dengan nilai 0,00002 KG CFC-11eq.

Proses penggumpalan mendapatkan nilai tertinggi, hal ini disebabkan oleh penggunaan asam asetat (CH<sub>3</sub>COOH)

menghasilkan substansi/zat methane, bromotrifluoro, halon sebesar 0,00279 KG CFC-11eq. Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional telah diatur dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia RI No. 71 Tahun 2011, dimana Hydroclorofluorokarbon (HCFCs) merupakan salah satu jenis Gas Rumah Kaca yang memiliki nilai potensi pemanasan global cukup tinggi. HCFCs digunakan untuk bahan pendingin, bahan pengembang busa (blowing agent), pemadam api dan solvent (pelarut) di Indonesia.

Selain HCFCs, terdapat beberapa jenis BPO yang lainnya meliputi CFCs, Halon, HBFCs, bromochloromethane, methyl chloroform, carbon tetrachloride dan methyl bromide. Senyawa halon lebih merusak lapisan ozon, halon biasanya digunakan sebagai pemadam kebakaran berpotensi merusak ozone 10x lebih efektif dari CFC (Kumalawati, *et al.*, 2020). Berikut merupakan persentase dari nilai *ozone depletion* dapat dilihat pada **Gambar 5.15**.



**Gambar 5. 15** Persentase Nilai *Ozone Depletion*

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

### 3) *Acidification*

Asidifikasi adalah dampak lingkungan yang terjadi karena adanya proses pengasaman air, hal ini terjadi ketika jenis polutan  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_x$  mencapai atmosfer bereaksi dengan uap air dan mengalami oksidasi serta menghasilkan asam sulfat dan asam nitrat dalam awan yang kemudian jatuh ke tanah dari proses hujan atau salju (*wet deposition*). Beberapa jenis polutan yang dapat menyebabkan dampak asidifikasi adalah  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}$ , dan  $\text{NH}_3$  (Zuhria, *et al.*, 2021).

Pada proses produksi tahu menghasilkan dampak *acidification* yaitu pada tahap proses penggumpalan dan proses penggilingan berdasarkan pengolahan data dari OpenLCA 1.11.0, didapatkan nilai *acidification* yang dapat dilihat pada **Tabel 5.14**.

**Tabel 5. 14** Nilai *Acidification*

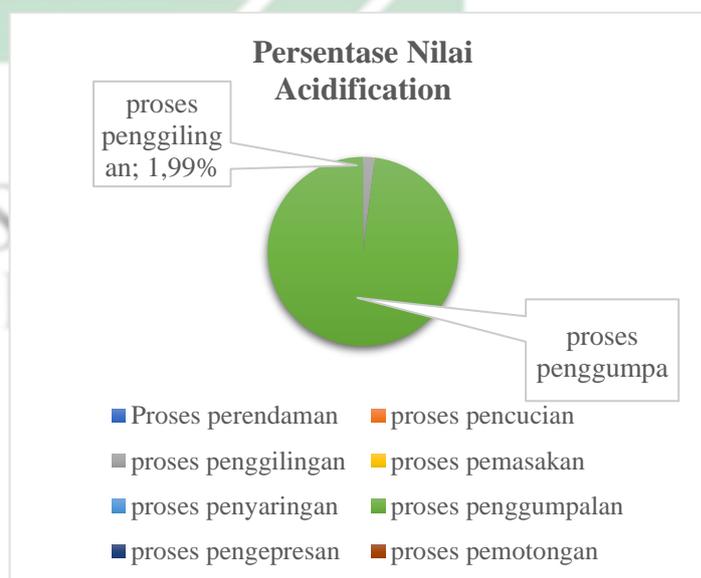
Tahap	Nilai <i>Acidification</i> (Kg $\text{SO}_2$ -eq)
Proses perendaman	-
Proses pencucian	-
Proses penggilingan	1,15
Proses pemasakan	-
Proses penyaringan	-
Proses penggumpalan	56,71
Proses pengepresan	-
Proses pemotongan	-

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

Tahap yang menghasilkan nilai *acidification* tertinggi sampai terendah adalah proses penggumpalan dengan nilai 56,71 Kg  $\text{SO}_2$ -eq dan proses penggilingan dengan nilai 1,15 Kg  $\text{SO}_2$ -eq.

Proses penggumpalan mendapatkan nilai tertinggi, hal ini disebabkan oleh asam asetat yang digunakan pada proses penggumpalan menghasilkan substansi *Sulfur dioxide* sebesar 24,69 kg SO<sub>2</sub>-eq, *nitrogen oxides* sebesar 16,23 kg, dan *ammonia* sebesar 0,71 kg. dampak asidifikasi mengakibatkan pengasaman pada sungai dan tanah akibat adanya polutan udara antropogenik seperti SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> dan NO<sub>x</sub> (Zuhria, *et al.*, 2021). Pengasaman dapat memicu peningkatan perlindian logam berat di tanah dan memberikan dampak yang merugikan pada perairan, hewan dan tumbuhan karena mengganggu jaringan makanan (Kim & Chae, 2016).

Pada proses penggilingan pada OpenLCA 1.11.0 menghasilkan *output* substansi atau zat yang mejadi emisi yaitu *sulfur dioxide* sebesar 0,53 kg, nitrogen oksida 0,2 kg dan ammonia 0,2 kg. Substansi tersebut bersumber dari *input flow market group for electricity*. Berikut merupakan persentase dari nilai *acidification* dapat dilihat pada **Gambar 5.16**.



**Gambar 5. 16** Persentase Nilai *Acidification*

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

#### 4) *Fossil Fuel Depletion*

Salah satu energi yang dibutuhkan oleh manusia yaitu energi listrik, namun ketersediaan energi listrik tidak tercukupi dengan suplay bahan bakar fosil atau energi fosil, sedangkan ketersediaan bahan bakar fosil di dunia setiap tahun mengalami kenaikan dan bahan bakar fosil semakin lama semakin menipis (Evalina, *et al.*, 2020). Secara umum, bahan bakar fosil dapat meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> yang berdampak menurunkan kualitas lingkungan karena polusi udara yang dihasilkan dari konsumsi bahan bakar fosil (Allifah, *et al.*, 2022).

Penggunaan bahan bakar fosil juga merupakan faktor utama penyebab masalah lingkungan seperti pemanasan global dan polusi udara yang dapat menyebabkan masalah kesehatan dan mempengaruhi kualitas hidup masyarakat (Martins, *et al.*, 2019). Pemenuhan sumber energi primer bersumber dari bahan fosil untuk dimanfaatkan sebagai energi final (ketenagalistrikan dan transportasi) seringkali berdampak negatif bagi lingkungan, diantaranya yaitu meningkatnya emisi gas buang karbondioksida (CO<sub>2</sub>), menyebabkan hujan asam, mengurangi jumlah ozon dan meningkatkan efek Gas Rumah Kaca (GRK) (Pramudiyanto & Suedy, 2020).

Pada proses produksi tahu menghasilkan dampak *fossil fuel* yaitu pada tahap proses penggumpalan dan proses penggilingan berdasarkan pengolahan data dari OpenLCA 1.11.0 didapatkan nilai *fossil fuel* yang dapat dilihat pada **Tabel 5.15**.

**Tabel 5. 15 Nilai *Fossil Fuel***

Tahap	Nilai <i>Fossil Fuel</i> (MJ Surplus)
Proses perendaman	-

Tahap	Nilai <i>Fossil Fuel</i> (MJ Surplus)
Proses pencucian	-
Proses penggilingan	92,116
Proses pemasakan	-
Proses penyaringan	-
Proses penggumpalan	42.090
Proses pengepresan	-
Proses pemotongan	-

Sumber: Hasil Analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

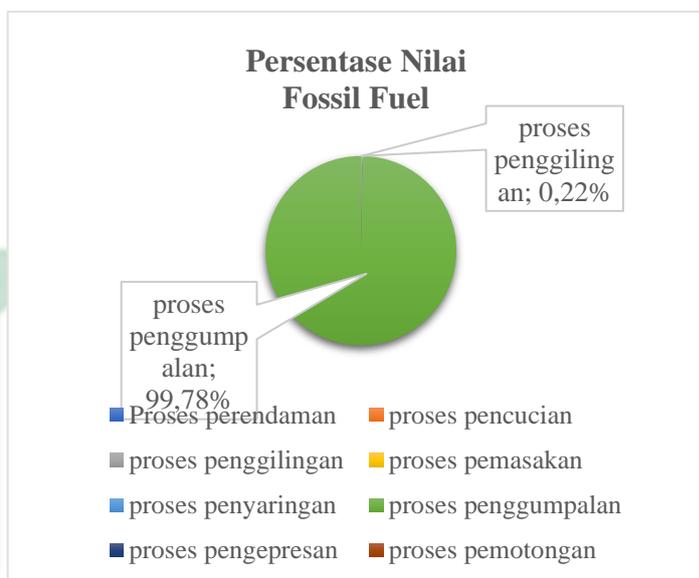
Tahap yang menghasilkan nilai *fossil fuel* terbesar yaitu proses penggumpalan dengan nilai *impact result* sebesar 42.090 MJ Surplus dan proses penggilingan dengan nilai *impact result* sebesar 92,116 MJ

Proses penggumpalan menjadi kontributor terbesar pada dampak *Fossil Fuel*, hal ini disebabkan oleh asam asetat yang digunakan pada proses penggumpalan dan pada proses input *acetic acid* di OpenLCA 1.11.0 juga mengukur proses transportasi pengiriman bahan tersebut dan substansi yang berpengaruh pada dampak ini adalah *oil, crude* sebesar 211 kg dan *gas, natural*/m<sup>3</sup> sebesar 3614 m<sup>3</sup>.

Sedangkan pada proses penggilingan juga menghasilkan kontribusi pada dampak *fossil fuel*, Hal ini disebabkan oleh sumber utama dari ketenagalistrikan yaitu minyak bumi, dan batubara dengan nilai inventory result masing-masing berturut-turut 0,007 kg dan 0,204 kg.

Pemanfaatan sumber daya energi minyak bumi dan batu bara masih menjadi sumber energi utama yang digunakan secara terus menerus. Penggunaan terus menerus ini mengakibatkan cadangan energi yang semakin berkurang tiap tahunnya berdasarkan Kebijakan Umum Bidang Energi (KUBE) dari departemen pertambangan dan energi, sifat dari

minyak bumi dan gas alam merupakan non renewable atau tidak terbarukan serta cadangan di dalam bumi kita diperkirakan akan menurun akibat dari penggunaan secara terus menerus (Aji, 2019). Berikut merupakan persentase dari nilai *fossil fuel* dapat dilihat pada **Gambar 5.17**.



**Gambar 5. 17** Persentase Nilai *Fossil Fuel*

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

### 5) *Eutrophication*

Eutrofikasi adalah peristiwa meningkatnya bahan organik dan nutrisi terutama unsur nitrogen dan fosfor yang terakumulasi di badan air. Peningkatan bahan organik dan nutrisi ini bersumber dari ekosistem perairan itu sendiri maupun diluar dari ekosistem (Adawiah, *et al.*, 2021). Limbah yang masuk dalam perairan merupakan salah satu penyebab dari eutrofikasi. Peningkatan limbah yang mengandung nitrat dan fosfat yang pada ekosistem perairan dapat membahayakan organisme didalamnya (Desanti, *et al.*, 2023).

Eutrofikasi juga berdampak pada peningkatan kebutuhan oksigen pada perairan sehingga berpengaruh di ekosistem perairan tersebut. Air limbah sebagai salah satu

sumber pencemaran perairan rata-rata mengandung patogen atau bakteri didalamnya, sehingga dapat mencemari perairan yang terdampak dan dapat menimbulkan penyakit pada manusia dan binatang, serta mengurangi nilai estetika dari suatu lingkungan (Pangastuti, *et al.*, 2022).

Pada proses produksi tahu menghasilkan dampak eutrofikasi yaitu pada tahap proses penggumpalan dan proses penggilingan berdasarkan pengolahan data dari OpenLCA 1.11.0, didapatkan nilai eutrofikasi yang dapat dilihat pada **Tabel 5.16.**

**Tabel 5. 16** Nilai Eutrofikasi

Tahap	Nilai Eutrofikasi (Kg N-eq)
Proses perendaman	-
Proses pencucian	-
Proses penggilingan	1,68
Proses pemasakan	-
Proses penyaringan	-
Proses penggumpalan	42,063
Proses pengepresan	-
Proses pemotongan	-

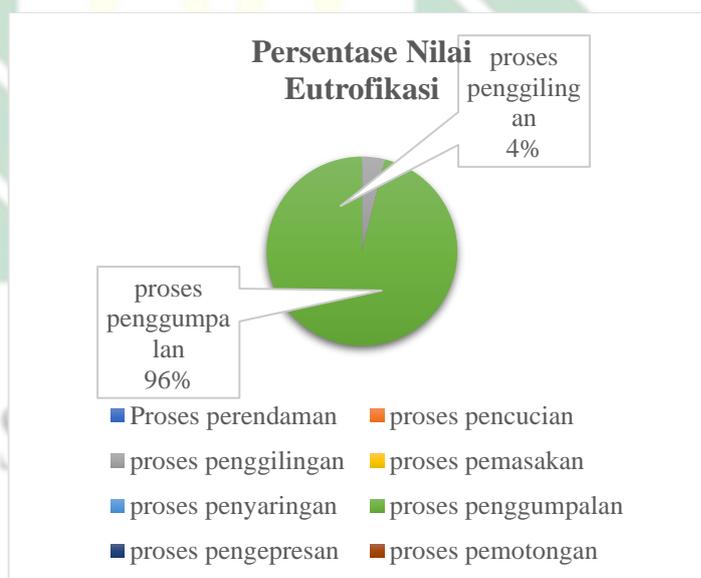
Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

Tahap yang menghasilkan nilai eutrofikasi tertinggi sampai terendah adalah proses penggumpalan dengan nilai 42,063Kg N-eq, proses penggilingan dengan nilai 1,68Kg N-eq.

Proses penggumpalan mendapatkan nilai tertinggi karena limbah proses penggumpalan menghasilkan limbah zat organik yang bersumber dari bubur kedelai. Limbah cair yang dihasilkan dari proses tersebut mengandung bahan organik yang tinggi, hal ini diketahui dari nilai COD sebesar 0.00285 kg, disebabkan air limbah yang berupa asaman

dibuang ke badan air, sehingga berpengaruh dalam kualitas ekosistem perairan. Masuknya nutrisi dalam badan air, terutama fosfat akan menyebabkan eutrofikasi (Garno, 2016). air limbah industri tahu mengandung protein tinggi sehingga kandungan nitrogen dan fosfat tinggi pada air limbah yang berdampak pada aroma yang tidak sedap dan eutrofikasi.

Pada proses penggilingan pada OpenLCA 1.11.0 menghasilkan *output* substansi atau zat yang menjadi emisi dalam air yaitu fosfat dan nitrat dengan masing-masing nilai dari substansi berturut-turut yaitu 1,59 Kg N-eq dan 0,05 Kg N-eq. Hal tersebut bersumber dari proses jaringan distribusi listrik jika dilihat dari pengolahan data OpenLCA 1.11.0. Berikut merupakan persentase dari nilai eutrofikasi dapat dilihat pada **Gambar 5.18**.



**Gambar 5. 18** Persentase Nilai Eutrofikasi

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

#### 6) *Respiratory Effect*

Pada proses produksi tahu menghasilkan dampak *Respiratory Effect* yaitu pada tahap proses penggumpalan dan proses penggilingan berdasarkan pengolahan data dari OpenLCA 1.11.0, didapatkan nilai *Respiratory Effect* yang dapat dilihat pada **Tabel 5.17**.

**Tabel 5. 17** Nilai *Respiratory Effect*

Tahap	Nilai <i>Respiratory Effect</i> (Kg PM <sub>2.5</sub> eq)
Proses perendaman	-
Proses pencucian	-
Proses penggilingan	0,15
Proses pemasakan	-
Proses penyaringan	-
Proses penggumpalan	12,06
Proses pengepresan	-
Proses pemotongan	-

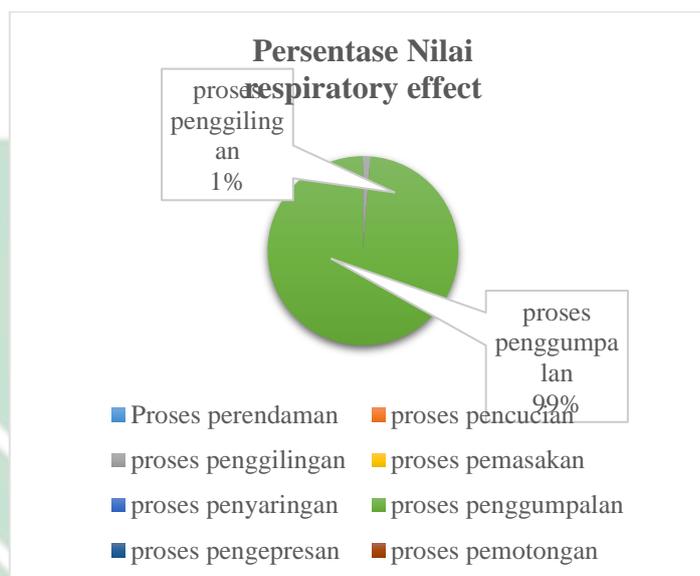
Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

Tahap yang menghasilkan nilai *Respiratory Effect* tertinggi sampai terendah adalah proses penggumpalan dengan nilai 12,06 Kg PM<sub>2.5</sub> eq, proses penggilingan dengan nilai 0,15 Kg PM<sub>2.5</sub> eq.

Pada proses penggumpalan mendapatkan nilai tertinggi, hal ini disebabkan oleh input database *acetic acid* di OpenLCA mencakup hingga proses transportasi pengiriman *acetic acid*, pada pengolahan data OpenLCA terdapat substansi partikulat < 2,5 pm dengan nilai keseluruhan 8,9 Kg PM<sub>2.5</sub> eq. PM<sub>2.5</sub> sering disebut dengan *fine particles* dan dapat menimbulkan risiko kesehatan terbesar karena ukurannya yang kecil sehingga partikel dapat masuk ke dalam paru-paru (EPA, 2014). PM<sub>2.5</sub> yang terdapat di udara apabila terhirup oleh manusia berpengaruh terhadap kesehatan karena apabila terhirup dan masuk ke dalam alveoli menyebabkan reaksi radang yang menimbulkan daya kembang paru terbatas dan dapat mengakibatkan penurunan fungsi paru pada manusia (Raharjo, 2010).

Proses penggilingan juga berkontribusi terhadap dampak *Respiratory Effect*, hal ini disebabkan oleh distribusi

listrik yang ada pada OpenLCA 1.11.0. pada *impact analysis* jaringan distribusi listrik menghasilkan *sulfure dioxide* dengan nilai 0,031 Kg PM2.5 eq. *Sulfure dioxide* yang meningkat di atmosfer menyebabkan radang paru-paru, bronchitis, dan gagal jantung (Aryanta, 2016). . Berikut merupakan persentase dari nilai *respiratory effect* dapat dilihat pada **Gambar 5.19**.



**Gambar 5. 19** Persentase Nilai *Respiratory Effect*

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

### 7) *Ecotoxicity*

*Ecotoxicity* adalah suatu keadaan menurunnya kualitas ekosistem yang disebabkan oleh emisi dari zat ekotoksik atau senyawa kimia yang berbahaya dan dapat mencemari lingkungan (Susanto, *et al.*, 2022). Lingkungan perairan merupakan zona bebas dengan mudah masuk *effluent* baik secara langsung melalui pipa-pipa pembuangan maupun *run off* dari aliran bawah tanah.

Efek yang dapat berakibat menurunnya kualitas suatu perairan dan dapat menimbulkan pengaruh terhadap biota yang terpapar langsung dengan zat mengandung racun yang terlarut di perairan. Efek keracunan yang terjadi dapat bersifat

akut, sub-akut, ataupun kronis tergantung dari frekuensi waktu serta lama paparan, lokasi organ yang terpapar, dan besarnya konsentrasi toksikan. Bahan pencemar yang dapat mencemari perairan serta bersifat toksik dapat berupa senyawa kimia organik, anorganik atau mineral-mineral yang mengandung racun (beracun) (Adriansyah, *et al.*, 2019).

Pada proses produksi tahu menghasilkan dampak *ecotoxicity* yaitu pada tahap proses penggumpalan dan proses penggilingan berdasarkan pengolahan data dari OpenLCA 1.11.0, didapatkan nilai *ecotoxicity* yang dapat dilihat pada **Tabel 5.18**.

**Tabel 5. 18** Nilai *Ecotoxicity*

Tahap	Nilai <i>Ecotoxicity</i> (CTUe)
Proses perendaman	-
Proses pencucian	-
Proses penggilingan	1.674
Proses pemasakan	-
Proses penyaringan	-
Proses penggumpalan	99.055
Proses pengepresan	-
Proses pemotongan	-

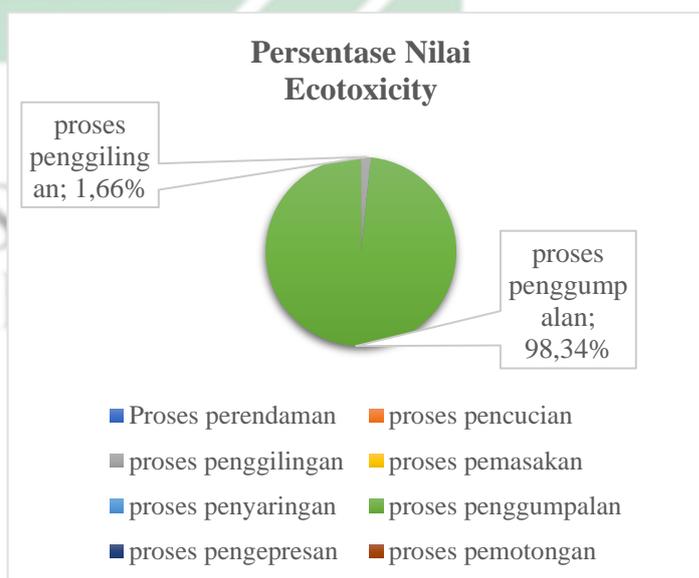
Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

Tahap yang menghasilkan nilai *ecotoxicity* paling tinggi adalah proses penggumpalan yaitu sebesar 99.055 CTUe kemudian urutan ke-2 yaitu pada proses penggilingan menghasilkan nilai dampak sebesar 1.674 CTUe.

Proses penggumpalan memberikan kontributor terbesar pada dampak *ecotoxicity*, hal ini disebabkan oleh sumber utama dari *input* proses penggumpalan yaitu asam cuka (CH<sub>3</sub>COOH). Substansi yang terdapat pada OpenLCA menjelaskan bahwa *acetic acid* pada proses penggumpalan memberikan nilai *impact result* sebesar 99,060 CTUe. Pada

proses penggumpalan terdapat *input* yaitu sari kedelai dan asam cuka, menurut (Wulansari, 2017) kandungan protein dalam kedelai ketika ditambahkan asam cuka pada proses pembuatan tahu akan menyebabkan limbah cair tahu mengandung amonia dengan konsentrasi tinggi. Amonia dalam air permukaan selain berasal dari air seni dan tinja juga berasal dari oksidasi zat organik secara mikrobiologi di dalam atau air pembuangan industri dan penduduk (Roesiani, 2015). Nilai amonia yang cukup tinggi dapat menyebabkan kualitas badan air yang menerima air limbah tersebut akan menurun, sehingga mengganggu keberadaan organisme perairan tersebut (Sumantri & Cordova, 2011).

Proses penggilingan menggunakan energi listrik dan pada OpenLCA 1.11.0 terdapat proses *market group for electricity* dimana *output* yang dihasilkan oleh substansi ini salah satunya yaitu krom (VI) sebesar 148 CTUe yang dapat berpengaruh pada perairan. Berikut merupakan persentase dari nilai *ecotoxicity* dapat dilihat pada **Gambar 5.20**.



**Gambar 5. 20** Persentase Nilai *Ecotoxicity*

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

### 8) *Non Carcinogenic*

Pada proses produksi tahu menghasilkan dampak *non carcinogenics* yaitu pada tahap proses penggumpalan dan proses penggilingan berdasarkan pengolahan data dari OpenLCA 1.11.0, didapatkan nilai *global warming* yang dapat dilihat pada **Tabel 5.19**.

**Tabel 5. 19** Nilai *Non Carcinogenic*

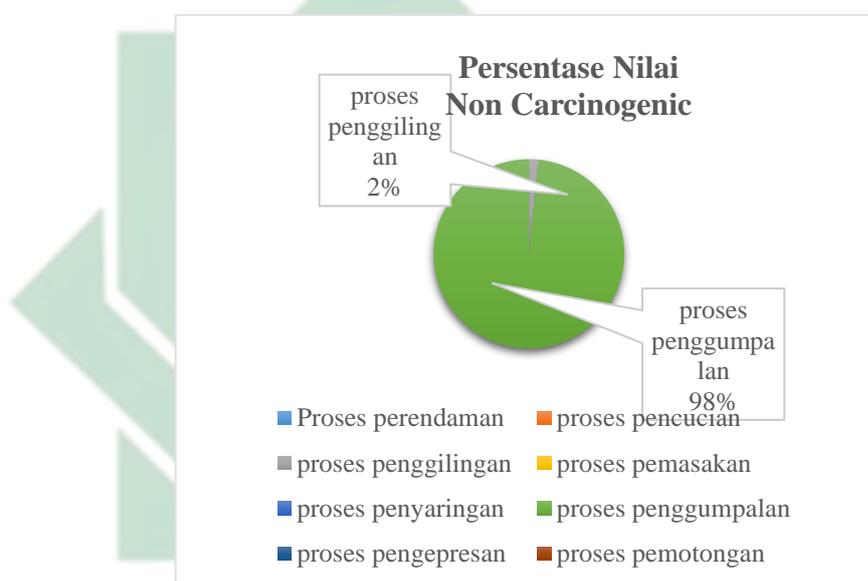
Tahap	Nilai <i>Non Carcinogenics</i> (CTUh)
Proses perendaman	-
Proses pencucian	-
Proses penggilingan	0,00006
Proses pemasakan	-
Proses penyaringan	-
Proses penggumpalan	0,00371
Proses pengepresan	-
Proses pemotongan	-

Sumber: Hasil Analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

Tahap yang menghasilkan nilai *non carcinogenics* paling tinggi adalah proses penggumpalan yaitu sebesar 0,00371 CTUh dan proses penggilingan sebesar 0,00006 CTUh.

Pada proses penggilingan menghasilkan substansi atau zat arsenic yang bersumber dari jaringan distribusi listrik. Arsenik merupakan karsinogen atau dapat menyebabkan kanker. Orang yang terlalu banyak terkena zat arsen dari konsumsi air minum disebut arsenikosis. Penderita arsenikosis ini tidak akan berdampak dalam waktu dekat, namun dampaknya baru terlihat setelah dalam jangka waktu yang lama (long-term). Berbagai dampak diantaranya pigmentasi kulit, gangren, dan keratosis, itu pun baru terlihat

minimal 5 tahun terkena arsenik yang terakumulasi. Sedangkan kadmium berdampak negatif pada manusia dewasa, dampak tersebut diantaranya berpotensi menaikkan resiko terjadinya kanker payudara, penyakit kardiovaskular atau paru-paru, dan penyakit jantung. Efek lain yang menunjukkan toksisitas kadmium adalah kegagalan fungsi ginjal, encok, pembentukan artritis, dan kerusakan tulang (Istarani & Pandebesie, 2014). Berikut merupakan persentase nilai *non carcinogenic* yang dapat dilihat pada **Gambar 5.21**.



**Gambar 5. 21** Persentase Nilai *Non Carcinogenic*

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

### 9) *Global Warming*

Pemanasan global adalah kejadian meningkatnya suhu rata-rata pada atmosfer, laut dan daratan bumi. Pemanasan global juga terjadi karena efek rumah kaca yang melebihi kondisi normal atmosfer bumi yang mengakibatkan terganggunya komposisi gas-gas rumah kaca atau GRK utama, diantaranya yaitu karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), nitrous oksida (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbons (PFCs), dan sulphur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) di atmosfer. Pemanasan global

menjadi salah satu dari penyebab perubahan iklim (Leu, 2021).

Perubahan iklim berdampak terhadap kesehatan yang dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung berupa paparan langsung dari perubahan pola cuaca seperti suhu, curah hujan, kelembaban, kenaikan muka air laut dan peningkatan cuaca ekstrem sedangkan secara tidak langsung berupa perubahan kualitas lingkungan, penipisan lapisan ozon, kehilangan fungsi ekosistem dan degradasi lahan yang pada akhirnya dapat berpengaruh pada kesehatan manusia (Susilawati, 2021).

Pada proses produksi tahu menghasilkan dampak global warming yaitu pada tahap proses pemasakan dan proses penggilingan berdasarkan pengolahan data dari OpenLCA 1.11.0, didapatkan nilai *global warming* yang dapat dilihat pada **Tabel 5.20**.

**Tabel 5. 20** Nilai *Global Warming*

Tahap	Nilai <i>Global Warming</i> (KgCO <sub>2</sub> -eq)
Proses perendaman	-
Proses pencucian	-
Proses penggilingan	175,4
Proses pemasakan	944,1
Proses penyaringan	-
Proses penggumpalan	11.500
Proses pengepresan	-
Proses pemotongan	-

Sumber: Hasil Analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

Tahap yang menghasilkan nilai *global warming* paling tinggi adalah proses penggumpalan yaitu sebesar 11.500 KgCO<sub>2</sub>-eq, pada urutan ke-2 yaitu proses pemasakan

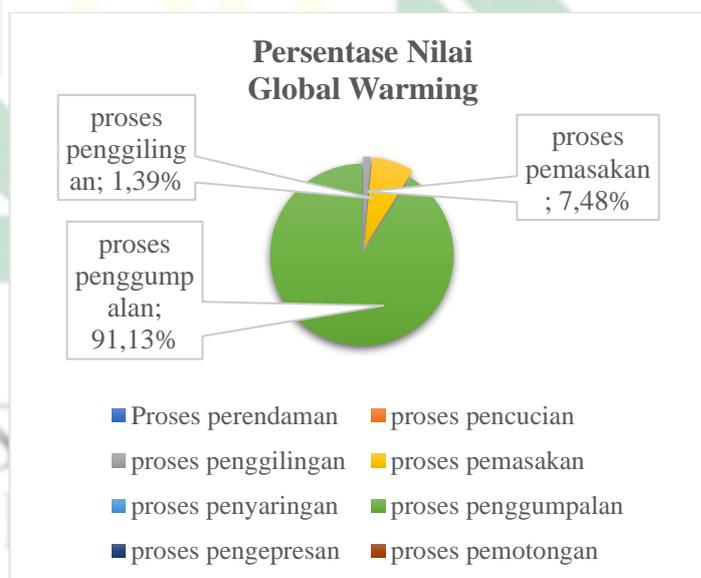
sebesar 944,1KgCO<sub>2</sub>-eq, dan pada urutan ke-3 yaitu proses penggilingan sebesar 175,4KgCO<sub>2</sub>-eq.

Pada proses penggumpalan memberikan kontribusi pada dampak global warming, hal ini disebabkan oleh *input flow market* dari *acetic acid* yang menghasilkan *carbon dioxide* dengan jumlah sebesar 9.572,5 KgCO<sub>2</sub>-eq, pada *database* yang dipakai yaitu *agrbalyse v301* tidak terdapat *elementary flow* yang hanya fokus pada *acetic acid*, oleh sebab itu menggunakan substansi yang ada pada *database* yaitu *acetic acid market for global*, pada *database* tersebut turut menganalisis transportasi yang digunakan.

Proses pemasakan salah satu kontributor pada dampak *global warming*, hal ini disebabkan oleh emisi yang dikeluarkan ke udara yaitu karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). *Impact analysis* pada OpenLCA menjelaskan bahwa karbon dioksida memberikan *impact factor* sebesar 1.00000 KgCO<sub>2</sub>-eq /kg. Pada proses pemasakan bahan bakar utama pada “UD.X” Desa Sumpersari adalah kayu bakar. Emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran yang berlangsung diantaranya yaitu karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), dan nitrogen oksida (No<sub>x</sub>) (Setiawan, *et al.*, 2019). Hasil dari perhitungan dalam satu hari proses pemasakan “UD. X” menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 873,6 kg/hari, emisi CH<sub>4</sub> sebesar 0,234 kg/hari dan emisi N<sub>2</sub>O sebesar 0,0312 kg/hari. Aktivitas pembakaran kayu dilakukan rata-rata 8 jam dalam sehari hal ini mengakibatkan banyaknya emisi yang dikeluarkan ke udara. Di sisi lain dapat menyebabkan kerusakan alam dan perubahan iklim karena polusi udara yang disebabkan oleh gas rumah kaca (GRK) atau karbondioksida (CO<sub>2</sub>) (Khabibi & Safitra, 2020). Efisiensi pembakaran kayu lebih rendah daripada penggunaan gas LPG, penelitian yang dilakukan oleh (Purnomo, 2022) menjelaskan bahwa nilai waktu dan

biaya produksi 58 kg kedelai menjadi tahu lebih efisien menggunakan bahan bakar LPG dibandingkan menggunakan kayu bakar. Dalam 1 papan tahu membutuhkan waktu 14,95 menit menggunakan LPG, sedangkan jika menggunakan bahan bakar kayu dalam membuat 1 papan tahu membutuhkan waktu 20 menit.

Pada proses penggilingan juga berkontribusi pada dampak *global warming*, karena penggunaan energi listrik sebagai kebutuhan utama untuk mesin penggiling kedelai. dalam sehari kebutuhan listrik pada “UD.X” Desa Sumpalsari sebanyak 0.02160 mWh. Pada *Impact Analysis* yang ada pada OpenLCA 1.11.0 listrik memiliki nilai sebesar 175,4 KgCO<sub>2</sub>-eq. Berikut merupakan persentase dari nilai *global warming* dapat dilihat pada **Gambar 5.22**.



**Gambar 5. 22** Persentase Nilai *Global Warming*

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

### 10) Smog

Smog atau kabut asap bisa disebut dengan fenomena yang terjadi pada atmosfer yaitu terjadinya polusi udara yang dihasilkan dari aktivitas manusia yang berdampak negatif yaitu merugikan atmosfer alam dengan menghasilkan inversi

suhu dan sering menyebabkan kabut asap. Smog juga merupakan polusi udara terlalu besar terjadi di kota-kota yang timbul akibat emisi yang dihasilkan dari pembakaran di daerah pemukiman dan transportasi (Wielgosinski & Czerwinska, 2020).

Kabut asap menyebabkan dampak negatif kepada manusia dan makhluk hidup lainnya. Dampak pada manusia berupa munculnya gangguan pernapasan seperti infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), pneumonia, dan asma. Selain itu kabut asap juga dapat menyebabkan alergi dan gatal-gatal pada kulit manusia dan gangguan kelopak mata (konjungtivitis) dan juga dapat mengganggu sistem pencernaan apabila debu masuk kedalam sumber air atau air minum (Nugraeheni & Yuenyong, 2022).

Pada proses produksi tahu menghasilkan dampak *Smog* yaitu pada tahap proses penggumpalan dan proses penggilingan berdasarkan pengolahan data dari OpenLCA 1.11.0 didapatkan nilai *Smog* yang dapat dilihat pada **Tabel 5.21**.

**Tabel 5. 21** Nilai *Smog*

Tahap	Nilai <i>Smog</i> (Kg O <sub>3</sub> -eq)
Proses perendaman	-
Proses pencucian	-
Proses penggilingan	7,3
Proses pemasakan	-
Proses penyaringan	-
Proses penggumpalan	673,4
Proses pengepresan	-
Proses pemotongan	-

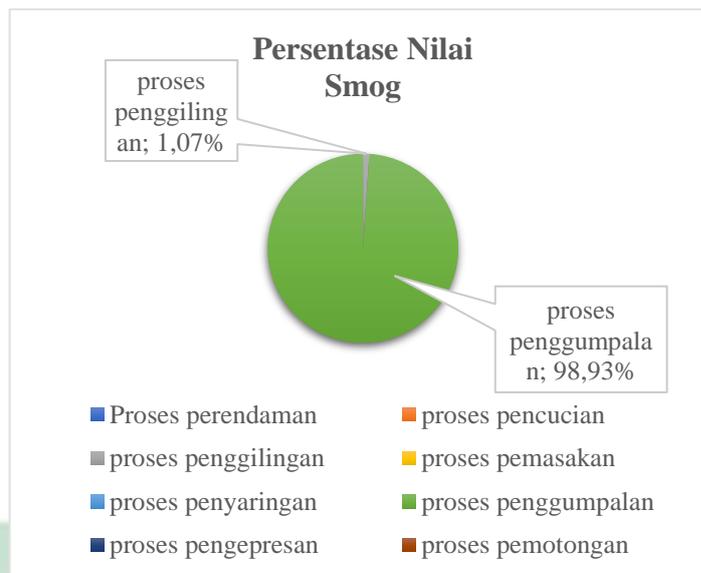
Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

Tahap yang menghasilkan nilai *smog* paling besar adalah proses penggumpalan dengan total *impact result* sebesar 673,4 Kg O<sub>3</sub>-eq dan proses penggilingan dengan total *impact result* sebesar 7,3 Kg O<sub>3</sub>-eq.

Proses penggumpalan dengan total *impact result* 673,4 Kg O<sub>3</sub>-eq menghasilkan *nitrogen oxides* dengan jumlah keseluruhan 635,5 Kg O<sub>3</sub>-eq yang bersumber dari *inventory modelled for global* yang menganalisis dari keseluruhan proses produksi *acetic acid* sampai dengan sistem transportasi.

Proses penggilingan juga termasuk kontributor dalam dampak smog. hal ini disebabkan oleh ketenagalistrikan yang digunakan menghasilkan nitrogen oksida yaitu emisi yang dikeluarkan di udara sebesar 7,34 Kg O<sub>3</sub>-eq. Pembentukan ozon dalam smog fotokimia merupakan contoh dari pencemaran udara sekunder. Pencemaran udara sekunder adalah substansi pencemar yang terbentuk dari reaksi pencemar primer di atmosfer. Nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) merupakan gas paling beracun dibandingkan dengan SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> dapat menembus kedalaman saluran pernafasan lebih dalam dan organ lain dapat dicapai oleh NO<sub>2</sub> dari paru dengan melalui aliran darah (Decy Arwini, 2020). Berikut merupakan persentase dari nilai smog dapat dilihat pada

**Gambar 5.23.**



**Gambar 5. 23** Persentase Nilai Smog

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

#### 5.1.4. Interpretation

Interpretasi pada LCA adalah fase dimana hasil analisis dari dan semua pilihan asumsi dibuat selama analisis dievaluasi dalam hal apapun dengan menarik keseluruhan dari kesimpulan yang telah ada. Elemen utama dari tahap interpretasi adalah evaluasi hasil , analisis hasil, dan perumusan kesimpulan serta rekomendasi penelitian (Guinee, 2004). Interpretasi hasil juga merupakan dasar pertimbangan yang didapatkan berdasarkan hasil analisis inventori dan penilaian dampak untuk memberikan rekomendasi penurunan dampak negatif terhadap kegiatan yang dikaji (Mahmud, *et al.*, 2022). Berikut merupakan hasil analisis kontribusi dampak secara keseluruhan yang dapat dilihat pada **Gambar 5.24**.



**Gambar 5. 24** Diagram batang Kontribusi Dampak

Sumber: Hasil analisis OpenLCA 1.11.0, 2023

Pada “UD.X” Desa Sumbersari proses produksi tahu terdapat 8 tahapan, namun hanya 3 proses yang memiliki dampak yaitu proses penggumpalan, proses penggilingan dan proses pemasakan. Sedangkan 5 proses tidak memiliki dampak yaitu proses perendaman, proses pencucian, proses penyaringan, proses pengepresan dan proses pemotongan. Pada penelitian ini analisis dampak yang dikaji sesuai dengan dampak yang ada pada metode TRACI 2.1 yaitu *carcinogenic*, *ozone depletion*, *acidification*, *fossil fuel depletion*, *eutrophication*, *respiratory effects*, *ecotoxicity*, *non carcinogenic*, *global warming*, *smog*.

Berdasarkan Gambar 5.24 dapat diketahui bahwa dampak *acidification* dari yang terbesar hingga terkecil berturut-turut dihasilkan dari proses penggumpalan dan proses penggilingan yaitu sebesar 56,71 Kg N-eq dan 1,15 Kg N-eq. Proses penggumpalan mendapatkan nilai tertinggi, hal ini disebabkan oleh penggunaan *acetic acid* menghasilkan substansi *Sulfur dioxide* total sebesar 35,3 kg SO<sub>2</sub>-eq, *nitrogen oxides* total sebesar 18,2 kg, dan *ammonia* sebesar 1,3 kg. Pada proses penggilingan pada OpenLCA 1.11.0 menghasilkan *output* substansi atau zat yang mejadi emisi yaitu

*sulfur dioxide* total sebesar 0,53 kg, *nitrogen oxides* 0,2 kg dan *ammonia* 0,2 kg.

Pada dampak *fossil fuel* pada tahap proses penggumpalan dan proses penggilingan menghasilkan nilai *fossil fuel* yaitu sebesar 42.090 MJ Surplus dan proses penggilingan 92,116 MJ Surplus. Proses penggumpalan menjadi kontributor terbesar pada dampak *Fossil Fuel*, hal ini disebabkan oleh penggunaan *acetic acid*, pada *flow acetic acid* dari database yang di pilih juga mengukur proses transportasi dan substansi yang berpengaruh pada dampak ini adalah *oil, crude* sebesar 21.114 MJ Surplus dan *gas, natural*  $m^3$  sebesar 20.783 MJ Surplus. Sedangkan pada proses penggilingan juga menghasilkan kontribusi pada dampak *fossil fuel*, Hal ini disebabkan oleh sumber utama dari ketenagalistrikan yaitu minyak bumi, dan batubara dengan nilai *inventory result* masing-masing berturut-turut 0,007 kg dan 0,204 kg.

Pada dampak eutrofikasi dari yang terbesar hingga yang terkecil berturut-turut dihasilkan dari proses penggilingan dan proses pemasakan yaitu sebesar 42,06 Kg N-eq dan 1,68 Kg N-eq. Pada proses penggumpalan memberikan kontributor terbesar pada dampak asidifikasi, hal ini disebabkan pada proses penggumpalan menghasilkan limbah zat rganik yang bersumber dari bubur kedelai dan menghasilkan nilai nilai COD sebesar 0,0028 kg. Pada proses penggilingan pada OpenLCA 1.11.0 menghasilkan *output* substansi atau zat yang mejadi emisi yaitu *fosfat* total sebesar 1,5 Kg N-eq dan *nitrat* sebesar 0,05 Kg N-eq.

Pada dampak *ecotoxicity* dari yang terbesar hingga yang terkecil berturut-turut dihasilkan dari proses penggumpalan dan proses penggilingan yaitu sebesar 99.055 CTUe dan 1.674 CTUe. Pada proses penggumpalan memberikan kontributor terbesar pada dampak *ecotoxicity*, hal ini disebabkan oleh sumber utama dari *input* proses penggumpalan yaitu asam cuka ( $CH_3COOH$ ), substansi yang terdapat pada OpenLCA menjelaskan bahwa *acetic acid* pada proses

penggumpalan memberikan nilai *impact result* sebesar 99.055 CTUe. Proses penggilingan menggunakan energi listrik dan pada OpenLCA 1.11.0 terdapat proses *market group for electricity* dimana *output* yang dihasilkan oleh substansi ini salah satunya yaitu Krom (VI) sebesar 148 CTUe yang dapat berpengaruh pada perairan.

Pada dampak *respiratory effect* dari yang terbesar sampai terkecil berturut-turut dihasilkan dari proses penggumpalan dan penggilingan yaitu sebesar 12,06 Kg PM<sub>2.5</sub> eq dan 0,15 Kg PM<sub>2.5</sub> eq. Pada proses penggumpalan asam asetat menjadi penyebab dari dampak ini, karena database yang dipilih juga menghitung sistem transportasi dari asam asetat dan terdapat substansi partikulat < 2,5 pm dengan nilai keseluruhan 8,9 Kg PM<sub>2.5</sub> eq. Sedangkan pada proses penggilingan menghasilkan substansi *sulfure dioxide* dengan nilai 0,031 Kg PM<sub>2.5</sub> eq yang diperoleh dari jaringan distribusi listrik.

Dampak *global warming* dari yang terbesar sampai terkecil berturut-turut dihasilkan dari proses penggumpalan, proses pemasakan dan proses penggilingan yaitu sebesar 11.500 Kg CO<sub>2</sub>-eq, 944,1 Kg CO<sub>2</sub>-eq dan 175,4 Kg CO<sub>2</sub>-eq. Pada proses penggumpalan memberikan kontribusi pada dampak *global warming*, hal ini disebabkan oleh *input flow market* dari *acetic acid* yang menghasilkan *carbon dioxide* dengan jumlah sebesar 9.572,5 Kg CO<sub>2</sub>-eq. Pada proses pemasakan terdapat dampak yang timbul akibat proses tersebut disebabkan pada proses pemasakan menggunakan kayu bakar yang menghasilkan emisi terbesar yaitu karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebesar 873,6 kg/hari. Pada proses penggilingan penggunaan energi listrik berpengaruh pada *global warming* dan pada OpenLCA 1.11.0 jaringan distribusi listrik memiliki nilai dampak sebesar sebesar 175,4 Kg CO<sub>2</sub>-eq.

Pada dampak *smog* dari yang terbesar hingga terkecil berturut-turut dihasilkan dari proses penggumpalan dan proses penggilingan yaitu sebesar 673,4 Kg O<sub>3</sub>-eq dan 7,3 Kg O<sub>3</sub>-eq. Pada

proses penggumpalan menghasilkan substansi *nitrogen oxides* dengan jumlah keseluruhan 635,5 Kg O<sub>3</sub>-eq yang bersumber dari penggunaan *acetic acid*. Proses penggilingan kontributor terbesar disebabkan oleh ketenagalistrikan yang digunakan menghasilkan nitrogen oksida yaitu emisi yang dikeluarkan di udara total sebesar 7,34 Kg O<sub>3</sub>-eq.

## 5.2. Analisis Hotspot Proses Produksi Tahu

Hotspot proses adalah titik dengan dampak terbesar dari suatu sistem proses yang diteliti. Dampak terbesar ditentukan berdasarkan hasil penilaian dampak (*life cycle impact assessment*) dan *input data (life cycle inventory)* baik berupa bahan baku, bahan bakar, energi listrik, serta emisi pada tahap sebelumnya. Kemudian review/validasi hasil kajian, melakukan evaluasi studi dengan mempertimbangkan, yaitu:

- a) *Completeness check* yaitu proses verifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa informasi dari tahapan penilaian daur hidup sudah cukup untuk dapat mengambil kesimpulan sesuai dengan definisi tujuan dan lingkup. *Completeness check* yang dilakukan merujuk pada ISO 14040.
- b) Pemeriksaan Konsistensi merupakan proses verifikasi bahwa asumsi, metode, dan data telah diterapkan secara konsisten dalam seluruh kajian dan sesuai dengan definisi tujuan dan lingkup yang ditetapkan sebelum kesimpulan diambil.
- c) Pemeriksaan sensitivitas (*sensitivity check*) Proses verifikasi untuk memastikan bahwa informasi yang diperoleh dari analisis sensitivitas sudah sesuai untuk mengambil kesimpulan dan merumuskan rekomendasi.

Dari tahap LCIA dapat diketahui kontribusi dampak yang dihasilkan dari proses mana yang menghasilkan dampak paling besar serta membuat kesimpulan, batasan dan rekomendasi dari regulasi pemerintah yang ada, *textbook*, jurnal penelitian nasional maupun internasional, makalah seminar, *review journal*, *website*, tesis serta tugas

akhir yang berhubungan dengan penelitian (Damiri, D., & Santoso, I. B. 2023). Pada penelitian ini, dampak yang dianalisis meliputi LCIA metode TRACI 2.1, berdasarkan **Gambar 2.4** proses yang menghasilkan dampak terbanyak yaitu proses penggumpalan dan proses penggilingan, pada proses pemasakan hanya menghasilkan dampak *global warming*.

- 1) Proses penggumpalan pada analisis dampak menggunakan metode TRACI 2.1 menghasilkan seluruh dampak, hal tersebut disebabkan pada sumber utama dari *input* proses penggumpalan yaitu asam cuka ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ). Pada database yang digunakan menjelaskan bahwa *acetic acid* pada proses penggumpalan turut menghitung proses transportasi dan proses pembuatan *acetic acid*. Oleh karena itu proses penggumpalan menjadi kontributor dampak pada metode TRACI 2.1 dan proses penggumpalan juga terdapat *input* yaitu sari kedelai dan asam cuka, menurut (Wulansari, 2017) kandungan protein dalam kedelai ketika ditambahkan asam cuka pada proses pembuatan tahu menyebabkan limbah cair tahu mengandung amonia dengan konsentrasi tinggi. Amonia dalam air permukaan selain berasal dari air seni dan tinja juga berasal dari oksidasi zat organik secara mikrobiologi di dalam atau air pembuangan industri dan penduduk (Roesiani, 2015).
- 2) Proses penggilingan pada analisis dampak menggunakan metode TRACI 2.1 menghasilkan seluruh dampak, hal tersebut disebabkan oleh sistem jaringan distribusi listrik yang juga menghitung dampak dari keseluruhan proses distribusi listrik, oleh sebab itu proses penggilingan menjadi kontributor seluruh dampak yang dikaji dalam metode TRACI 2.1.
- 3) Proses pemasakan pada analisis dampak menggunakan metode TRACI 2.1 menghasilkan dampak *global warming* karena, hal tersebut disebabkan karena pada proses pemasakan emisi yang dikeluarkan ke udara yaitu karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Pada OpenLCA *carbon dioxide* mendapatkan nilai *impact result* sebesar 837,6  $\text{KgCO}_2\text{-eq}$ . Pada proses pemasakan bahan bakar utama pada “UD.X”

Desa Sumpersari adalah kayu bakar. Emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran yang berlangsung diantaranya yaitu karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), dan nitrogen oksida (No<sub>x</sub>) (Setiawan, *et al.*, 2019). Hasil dari perhitungan dalam satu hari proses pemasakan UD. X menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 873,6 kg/hari, emisi CH<sub>4</sub> sebesar 0,234 kg/hari dan emisi N<sub>2</sub>O sebesar 0,0312 kg/hari.

### 5.3. Analisis Alternatif Bahan Bakar

Upaya dalam mencari dan mengembangkan bahan bakar alternatif terbarukan (*renewable*) yang ramah lingkungan dilakukan secara terus menerus untuk menurunkan ketergantungan penggunaan energi fosil. Terdapat slogan yang populer pada saat ini yaitu “*No Energy, No Life*”. Pada slogan tersebut telah menjelaskan bahwa energi sebagai kebutuhan pokok dalam kehidupan manusia, terutama pada masa modern ini, Akibat dari hal tersebut krisis energi menjadi perbincangan teratas di dunia. Hal ini berdampak besar terhadap masyarakat Indonesia, sebab sebagian besar masyarakat Indonesia masih bergantung pada bahan bakar fosil (Adhani, *et al.*, 2020).

Potensi kekayaan alam di Indonesia sangatlah melimpah dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif, salah satu energi alternatif terbaharukan yang saat ini ramai dikembangkan adalah biogas dan keberadaan biogas berpeluang besar dalam pengembangannya. Biogas dapat diperoleh dari limbah rumah tangga, kotoran cair dari peternakan, sampah organik yang tidak terolah dipasar, industri makanan dan lain sebagainya. Pemanfaatan energi biogas juga memiliki keuntungan bagi lingkungan karena dapat mengurangi efek rumah kaca, mengurangi bau tidak sedap yang bersumber dari limbah industri, mencegah penyebaran penyakit, menghasilkan panas dan daya (mekanisme atau energi listrik), serta hasil samping berupa pupuk cair dan padat (Subekti, 2011).

### 5.3.1. Biogas

Pada “UD.X” Desa Sumpersari berdasarkan identifikasi secara keseluruhan kebutuhan kedelai perhari rata-rata sebesar 657 kg . Menurut (Oesman, *et al.*, 2009) kapasitas limbah cair tahu dapat dihitung dengan:

$$\text{Kapasitas limbah cair} = \text{Koefisiensi limbah} \times \text{jumlah kedelai limbah}$$

Dengan koefisiensi limbah cair tahu sebesar 9,46 liter/kg. Berikut merupakan hasil dari perhitungan kapasitas limbah cair tahu “UD.X” Desa Sumpersari.

$$\begin{aligned} \text{a) Kapasitas limbah cair tahu} \\ &= \text{koefisien limbah} \times \text{jumlah kedelai limbah} \\ &= 9,46 \text{ lt/kg} \times 657 \text{ kg/hari} \\ &= 6.215,22 \text{ lt/hari} \end{aligned}$$

Pada perhitungan kapasitas limbah cair dapat diketahui bahwa dalam satu hari kapasitas limbah cair tahu UD.X Desa Sumpersari sebesar 6.215,22 lt/hari atau 6,215 m<sup>3</sup>/hari. Penelitian yang dilakukan oleh (Oesman *et al.*, 2009) menjelaskan bahwa kapasitas limbah cair tahu sebesar 283,8 m<sup>3</sup>/hari dapat menghasilkan gasbio setara 442,6 m<sup>3</sup>/hari. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya maka perhitungan potensi biogas pada “UD.X” Desa Sumpersari didasarkan pada pengolahan limbah cair yang dapat dihitung. Berikut merupakan perhitungan potensi biogas pada “UD.X” Desa Sumpersari.

$$\begin{aligned} \text{b) Potensi biogas yang dihasilkan} \\ &= \frac{6,21522 \text{ m}^3/\text{hari}}{283,8 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 442,6 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 9,7 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Biogas yang dihasilkan dari limbah cair tahu dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif terbaharukan, sehingga mampu menurunkan ketergantungan penggunaan energi yang

berbahan bakar fosil. Kesetaraan biogas dengan energi lain dapat dilihat pada **Tabel 5.22**.

**Tabel 5. 22** Kesetaraan biogas dengan energi lain

Bahan bakar	Besaran yang terganti setiap 1 m <sup>3</sup> biogas
LPG	0,46 kg
Minyak tanah	0,62 liter
Minyak solar	0,52 liter
Bensin	0,80 liter
Gas kota	1,50 m <sup>3</sup>
Kayu bakar	3,5 kg

Sumber: Akbar, 2021

Berdasarkan **Tabel 5.22** diketahui bahwa besaran perbandingan guna menggantikan 3,5 kg kayu bakar membutuhkan 1m<sup>3</sup> biogas. Pemilihan kayu bakar karena dalam “UD.X” Desa Summersari kayu bakar menjadi sumber dari proses pemasakan . penggunaan kayu bakar dalam sehari rata-rata membutuhkan 500 kg kayu bakar atau 0,500 m<sup>3</sup> /hari untuk memasak, *demand* energi biogas dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Demand\ biogas = \frac{Konsumsi\ energi}{perbandingan\ sumber\ energi}$$

Keterangan :

*Demand* biogas (m<sup>3</sup>/hari)

Konsumsi energi (m<sup>3</sup>/hari)

Perbandingan sumber energi (m<sup>3</sup>)

Dari persamaan diatas dapat dihitung demand biogas, berikut merupakan perhitungan demand biogas pada industri tahu “UD.X” Desa Summersari.

c) Demand biogas

$$\begin{aligned} &= \frac{Konsumsi\ energi}{Perbandingan\ sumber\ energi} \\ &= \frac{0,500\ m^3/hari}{0,0035\ m^3} \end{aligned}$$

$$= 142,86 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Berdasarkan perhitungan demand biogas bahwa jumlah kebutuhan supply untuk menggantikan kayu bakar membutuhkan 142,86 m<sup>3</sup>/hari biogas sedangkan dalam satu hari “UD.X” Desa Sumbersari hanya menghasilkan 9,7m<sup>3</sup>/hari. Sehingga pada penelitian kali ini jumlah biogas tidak memenuhi demand kayu bakar yang digunakan sebagai energi utama dalam proses pemasakan, namun bahan bakar biogas dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif pendukung .

### 5.3.2. LPG

LPG atau *Liquefied Petroleum Gas* merupakan gas hidrokarbon produksi dari kilang minyak dan kilang gas dengan komponen utama gas propane dan butane dikemas di dalam tabung. Di Indonesia LPG digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak. Konsumen LPG bervariasi, mulai dari rumah tangga, kalangan komersial (restoran, hotel) hingga industri. Di kalangan industri LPG biasanya digunakan sebagai bahan bakar pada industri makanan, keramik, gelas serta bahan bakar forklift.

Pada penelitian (Purnomo, 2022) dijelaskan bahwa nilai efisiensi waktu produksi untuk memasak kedelai dengan kapasitas 100 kg menjadi tahu dengan menggunakan bahan bakar gas adalah 25,5 menit lebih cepat dibandingkan dengan kayu bakar. Pembuatan 1 papan tahu membutuhkan waktu 18,95 menit dengan menggunakan bahan bakar gas LPG, sedangkan jika menggunakan bahan bakar kayu membutuhkan waktu 20 menit. Hal ini telah menjelaskan bahwa penggunaan LPG lebih efisien dibandingkan dengan kayu bakar. Walaupun dalam bidang lingkungan menggunakan LPG juga tidak terhindar dari adanya emisi dan polusi, namun nilai polutannya lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar kayu.

Pada penelitian (Nugrahayu, *et al.*, 2017) juga menjelaskan bahwa penggunaan bahan bakar memasak LPG menghasilkan emisi karbon CO<sub>2</sub> lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar memasak minyak tanah dan biomassa seperti arang dan kayu bakar. Hal tersebut disebabkan oleh nilai dari faktor emisi LPG lebih kecil dan nilai kalor lebih besar dibandingkan minyak tanah dan biomassa. Semakin tinggi nilai kalor maka faktor emisi yang dimiliki semakin kecil karena pembakaran yang terjadi lebih sempurna.

Dari pembahasan diatas dan karena energi biogas sebagai bahan bakar alternatif tidak dapat didistribusikan karena *supply* biogas yang terlalu kecil tidak bisa menggantikan *demand* kayu bakar, penulis melakukan analisis perhitungan terhadap bahan bakar LPG karena efisiensi waktu dari proses pemasakan dan juga faktor emisi dari LPG yang lebih kecil daripada kayu bakar.

Pada penelitian (Purnomo, 2022) menyatakan bahwa 58 kg kedelai membutuhkan 9,83 kg gas LPJ sedangkan pada UD. X Desa Sumbersari satu hari rata-rata *input* kedelai sebesar 657 kg. Berikut Tabel 5. 23 merupakan Faktoer Emisi.

- a) Rata-rata kedelai input = 657 kg/hari
- b) 58 kg kedelai = 9,83 kg gas LPG
- c) Gas LPG yang dibutuhkan

$$= \frac{657 \text{ kg}}{58 \text{ kg}} \times 9,83 \text{ kg}$$

$$= 111,35 \text{ kg gas LPG}$$

- d) Jumlah kebutuhan tabung gas LPG (12 kg)

$$= \frac{111,35 \text{ kg}}{12 \text{ buah}}$$

$$= 9,28 \text{ tabung LPG 12 kg}$$

**Tabel 5. 23** Faktor Emisi

Bahan Bakar	Faktor emisi (ton/CO <sub>2</sub> /TJ)			NCV (Tj/g)	%C
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O		
Gas Alam	56,1	1	0,1	48	73,4
LPG	63,1	1	0,1	47,3	81,4
Biodiesel	70,8	3	0,6	27	52,1
Jet kerosene	71,5	3	0,6	44,1	86
Kerosene lainnya	71,9	3	0,6	43,8	85,9
Minyak diesel	74,1	3	0,6	43	86,9
Minyak residu	77,4	3	0,6	40,4	85,3
Batu bara antrasit	98,3	10	1,5	26,7	71,6
Batu bara bituminous	94,6	10	1,5	25,8	66,6
Batu bara sub bituminous	96,1	10	1,5	18,9	49,5
Lignit	101	10	1,5	11,9	32,8
Kayu/limbah kayu	112	30	4	15,6	47,7
Biomassa padat lainnya	100	30	4	11,6	31,6
Black liquor	95,3	3	2	11,8	30,7
Coke	107	10	1,5	28,2	82,3

Sumber: Kementerian perindustrian, 2012.

Pada Perhitungan gas LPG yang dibutuhkan telah diketahui jumlah gas LPG yang dibutuhkan dalam satu hari sebesar 111,35 kg gas LPG. Merujuk Pada **Tabel 5.23** perhitungan Emisi. Faktor emisi yang digunakan pada penelitian ini menghitung emisi CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan N<sub>2</sub>O pada sektor energi bahan bakar LPG, berturut-turut sebesar 63,10 63,10 ton/CO<sub>2</sub>/TJ, 1 ton/CO<sub>2</sub>/TJ, dan 0,1 ton/CO<sub>2</sub>/TJ dengan nilai NCV adalah 47,3 TJ/Gg. Berikut merupakan perhitungan emisi dari bahan bakar LPG.

e) Kebutuhan LPG = 111,35 kg gas LPG

f) Konsumsi Energi

$$= 0,000111 \text{ Gg/hari} \times 47,3 \text{ TJ/Gg}$$

$$= 0,00525 \text{ Tj/hari}$$

g) Emisi CO<sub>2</sub>

$$= 0,00525 \text{ Tj/hari} \times 63,10 \text{ ton/CO}_2\text{/Tj}$$

$$= 0,331294 \text{ TonCO}_2\text{/hari}$$

h) Emisi CH<sub>4</sub>

$$= 0,00525 \text{ Tj/hari} \times 1 \text{ ton/CO}_2\text{/Tj}$$

$$= 0,00525 \text{ TonCH}_4\text{/hari}$$

i) Emisi N<sub>2</sub>O

$$= 0,00525 \text{ Tj/hari} \times 0,1 \text{ ton/CO}_2\text{/Tj}$$

$$= 0,000525 \text{ TonN}_2\text{O/hari}$$

Pada perhitungan emisi gas LPG telah diketahui hasil dari masing-masing emisi yaitu emisi CO<sub>2</sub> sebesar 0,33129 TonCO<sub>2</sub>/hari, Emisi CH<sub>4</sub> sebesar 0,00525 TonCH<sub>4</sub>/hari, Emisi N<sub>2</sub>O sebesar 0,000525 TonN<sub>2</sub>O/hari. Sedangkan perbandingan emisi antara kayu bakar dan LPG yang dihasilkan rata-rata dalam sehari dapat dilihat pada **Tabel 5.24**.

**Tabel 5. 24** Perbandingan pengeluaran emisi antara kayu bakar dan LPG

Bahan Bakar	Kayu Bakar	LPG
Emisi CO <sub>2</sub> (kg/hari)	873,6	331,294
Emisi CH <sub>4</sub> (kg/hari)	0,234	5,25
Emisi N <sub>2</sub> O (kg/hari)	0,0312	0,525

Sumber: Hasil analisis, 2023

Pada **Tabel 5.24** telah diketahui bahwa penggunaan bahan bakar LPG lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar kayu bakar. Hal tersebut dapat berpotensi menurunkan dampak smog dan Global warming karena pembakaran kayu merupakan salah satu kontributor pada dampak tersebut.

#### 5.4. Uji Validitas data Menggunakan Microsoft Excel

Microsoft Excel adalah aplikasi spreadsheet canggih yang bisa digunakan untuk menampilkan data, melakukan pengolahan data, kalkulasi, membuat diagram, laporan, dan semua hal yang berkaitan dengan data yang berupa angka. Contoh aplikatif dari penggunaan excel dalam kehidupan sehari-hari misalnya untuk keperluan menghitung rata-rata atau nilai maksimum suatu data, membuat sebuah grafik yang memperlihatkan presentasi suatu penjualan dalam range tertentu, memperlihatkan jumlah total suatu variabel, manajemen database.

Spreadsheet pada dasarnya adalah grid besar yang menata data ke dalam baris dan kolom, namun Excel memiliki fitur yang lebih dan hanya sekedar pengganti buku akuntansi. Excel dapat melakukan kalkulasi yang diinginkan dan misalkan data didalam sebuah sheet excel diubah /di-update, maka excel dapat langsung melakukan pengupdatean hasil tanpa harus mengubah struktur keseluruhan dari penulisan spreadsheet (Rianti & Harahap, 2021).

Pada penelitian ini sesuai dengan batasan masalah yang ada yaitu uji validitas data menggunakan Ms. Excel dengan satau satu dari dampak yang dikaji dan peneliti mengambil dampak *global warming*. Berikut merupakan perhitungan manual dampak *global warming* menggunakan Ms. Excel mengacu pada Perhitungan Emisi GRK Sektor Energi Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi Dan Sumber Daya Mineral Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral 2020, berikut merupakan persamaan perhitungan emisi.

$$\text{Emisi GRK} = \text{Data aktivitas} \times \text{Faktor emisi}$$

Keterangan :

Data aktivitas : Data mengenai banyaknya aktivitas manusia yang berkaitan dengan banyaknya emisi

Faktor emisi : Suatu koefisien yang menunjukkan banyaknya emisi per unit aktivitas

Sumber: KESDM, 2020

Pada persamaan diatas dapat dihitung jumlah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan pada proses pemasakan. Proses pemasakan membutuhkan 500 kg kayu bakar dalam satu hari, berikut merupakan perhitungan data aktivitas dari proses pemasakan.

- 1) Konsumsi kayu = 500 kg/hari
- 2) Konsumsi kayu = 0,0005 Gg/hari
- 3) Konsumsi energi  
 = konsumsi kayu bakar x NCVkayu bakar  
 = 0,0005 Gg/hari x 15, 6 Tj/Gg (IPCC, 2006)  
 = 0,0078 Tj/hari
- 4) Perhitungan emisi CO<sub>2</sub>  
 = Data aktivitas x Faktor emisi  
 = 0,0078 Tj/hari x 112.000 KgCO<sub>2</sub>/Tj  
 = 873,6 KgCO<sub>2</sub>/Tj

Pada perhitungan diatas dapat diketahui bahwa nilai emisi CO<sub>2</sub> dari kayu bakar sebesar 873,6 KgCO<sub>2</sub>/Tj, proses pengolahan data pada Ms. Excel dapat dilihat pada **Gambar 5.25** dan nilai emisi CO<sub>2</sub> pada OpenLCA dapat dilihat pada **Gambar 5.26**.

Activity	Unit	Factor	Value
Konsumsi kayu bakar	kg	0,0005	500
Konsumsi energi	Tj	0,0078	15,6
Emisi CO <sub>2</sub>	Kg	873,6	

**Gambar 5. 25** Proses pengolahan data dengan Ms. Excel

Sumber: Hasil Analisis menggunakan Ms. Excel, 2023

Name	Category	Inventory result	Impact factor	Impact result	Unit
Carcinogenics				0.00068	CTUh
Chlorine depletion				0.0049	kg Cl <sub>2</sub> -e
Acidification				57.9792	kg S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -e
Fossil fuel depletion				4.257984	MJ <sub>oil</sub> -e
Stratification				43.35749	kg H <sub>2</sub> -e
Respiratory effects				12.25418	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -e
Eutrophication				1.00885	CTUh
Non carcinogenics				0.00068	CTUh
Global warming				1.900984	kg CO <sub>2</sub> -e
P <sub>1</sub> market for arctic acid, without water, in 2050 vehicle	Others / Equipment not-off E <sub>1</sub> rasy			1.120254	kg CO <sub>2</sub> -e
P <sub>4</sub> Proses Perambuan - ID	Tahu, Production			944.1120	kg CO <sub>2</sub> -e
F Carbon dioxide	Emission to air / unperformed	873.60000 kg CO <sub>2</sub>	1.00000 kg CO <sub>2</sub> -e	873.60000	kg CO <sub>2</sub> -e
F Discharge wastewater	Emission to air / unperformed	0.22400 kg	200.00000 kg CO <sub>2</sub> -e	69.71000	kg CO <sub>2</sub> -e
P <sub>1</sub> market group for electricity, high voltage - LCIE	Others / Equipment not-off E <sub>1</sub> rasy			175.40107	kg CO <sub>2</sub> -e
Swing				465.24736	kg CO <sub>2</sub> -e

**Gambar 5. 26** Proses pengolahan data dengan OpenLCA

Sumber: Hasil Analisis menggunakan OpenLCA, 2023

Pada **Gambar 5.25** dan **Gambar 5.26** telah diketahui bahwa nilai dari CO<sub>2</sub> dalam perhitungan manual menggunakan excel sebesar 873,6 KgCO<sub>2</sub>/Tj dan nilai CO<sub>2</sub> pada Open LCA sebesar 873,6 KgCO<sub>2</sub>/Tj.

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## BAB VI

### PENUTUP

#### 6.1. Kesimpulan

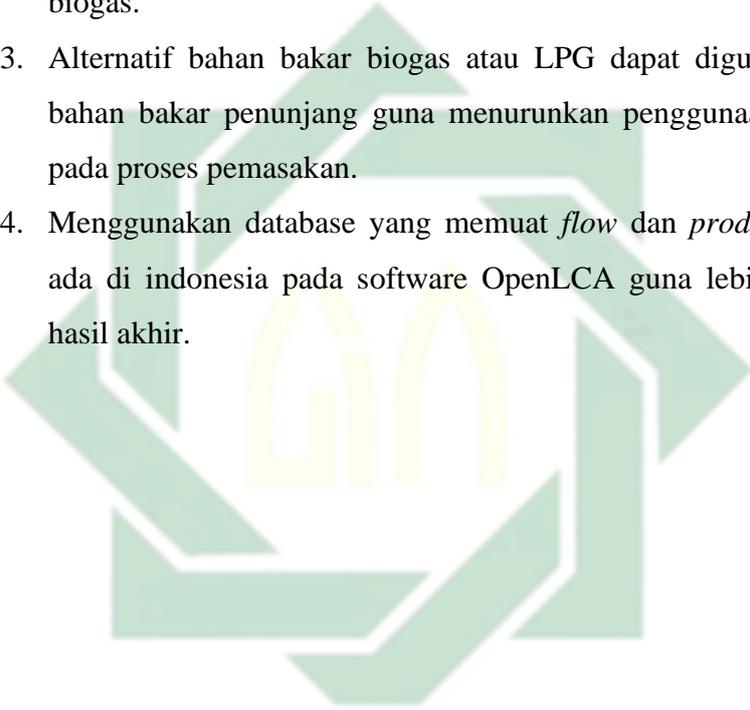
Berdasarkan hasil penelitian dan analisis mengenai dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi tahu adalah sebagai berikut:

1. Proses produksi tahu pada UD.X Desa Sumbersari, Kecamatan Megaluh, Kabupaten Jombang dilakukan melalui 8 proses tahapan, yaitu proses perendaman kedelai, proses pencucian kedelai, proses penggilingan kedelai, proses pemasakan bubur kedelai, proses penyaringan bubur kedelai masak, proses penggumpalan sari kedelai, proses pengepresan gumpalan sari kedelai, dan proses pemotongan tahu. Input dan output terbanyak terdapat pada proses pemasakan berupa air bersih sebesar 13609 kg/hari, bubur kedelai sebesar 1877 kg/hari dan kayu bakar sebesar 500 kg/hari sedangkan outputnya berupa uap air sebesar 5455 kg/hari dan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 873,6 kg/hari, emisi CH<sub>4</sub> sebesar 0,234 kg/hari dan emisi N<sub>2</sub>O sebesar 0,0312 kg/hari .
2. Hasil analisis LCA dengan metode TRACI 2.1 menghasilkan nilai dampak lingkungan yaitu *Carcinogenic, Ozone Depletion, Acidification, Fossil Fuel Depletion, Eutrophication, Respiratory Effects, Ecotoxicity, Non Carcinogenic, Global Warming, Smog* berturut-turut sebesar 0,0006 CTUh, 0,0034 KG CFC-11eq, 57,9 Kg SO<sub>2</sub>eq, 42.179,9 MJ Surplus, 43,957 Kg N eq, 12,214 Kg PM2.5 eq, 101.889 CTUe, 0,0038 CTUh, 12.639,8 Kg CO<sub>2</sub> eq, 681,274 Kg O<sub>3</sub> eq.
3. Alternatif bahan bakar yang direncanakan adalah biogas yang bersumber dari limbah cair tahu. Namun hasil analisis menunjukkan potensi gas dari limbah cair tahu tidak memenuhi *demand* daripada kayu yang digunakan pada proses pemasakan perhari. Selain itu, LPG juga dapat digunakan sebagai alternative pada UD.X Desa Sumbersari, Kecamatan Megaluh, Kabupaten Jombang karena

menghasilkan gas CO<sub>2</sub> lebih kecil daripada kayu sebab gas CO<sub>2</sub> merupakan kontributor penyumbang global warming.

## 6.2. Saran

1. Merencanakan sistem K3 pada kegiatan proses produksi tahu guna mengurangi potensi penyakit.
2. Membuat biodigester untuk pengolahan limbah cair tahu menjadi biogas.
3. Alternatif bahan bakar biogas atau LPG dapat digunakan sebagai bahan bakar penunjang guna menurunkan penggunaan kayu bakar pada proses pemasakan.
4. Menggunakan database yang memuat *flow* dan *product* yang telah ada di Indonesia pada software OpenLCA guna lebih valid dalam hasil akhir.



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., M. Hasan, A., & Ahmad, J. (2022). Uji Validitas Pengembangan Perangkat Pembelajaran Terintegrasi Model Inkuiri Terbimbing Materi Pertumbuhan Dan Perkembangan Tumbuhan Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Kognitif Peserta Didik. *BIOEDUKASI (Jurnal Pendidikan Biologi)*, 13(2), 179. <https://doi.org/10.24127/bioedukasi.v13i2.6346>
- Adawiah, S. R., Amalia, V., & Purnamaningtyas, S. E. (2021). Analisis Kesuburan Perairan di Daerah Keramba Jaring Apung Berdasarkan Kandungan Unsur Hara (Nitrat dan Fosfat) di Waduk Ir. H. Djuanda Jatiluhur Purwakarta. *Jurnal Kartika Kimia*, 4(2), 96–105. <https://doi.org/10.26874/jkk.v4i2.90>
- Adhani, L., Marsya, M. A., Oktavia, S., & Sindiany, I. I. (2020). Analisis bahan bakar Alternatif Komposit Biobriket dari Eceng gondok dengan Perekat Kotoran Sapi. *Al-Kimiya*, 6(2), 81–86. <https://doi.org/10.15575/ak.v6i2.6505>
- Adriansyah, M., Fayzun, M., Ardillah, N. S., Peri, Y., Maulianawati, D., & Irawati, H. (2019). Monitoring Kualitas Air Temporal Dan Uji Logam Pada Kerang Kapah (*Meretrix Meretrix*) Di Pantai Amal Lama Kota Tarakan. *Jurnal Harpodon Borneo*, 12(1), 48–56. <https://doi.org/10.35334/harpodon.v12i1.1048>
- Aji, A. W. B. (2019). *Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Limbah Cair Tepung Tapioka* [Universitas Teknologi Yogyakarta]. <http://eprints.uty.ac.id/2586/>
- Akbar, M. R. (2021). Pembuatan biogas dari limbah padat industri tahu (Ampas Tahu). *Jurnal Inovasi Proses*, 6(1), 34–39.
- Allifah, S., Syaukat, Y., & Wijayanti, P. (2022). Dampak Tenaga Air dan Bahan Bakar Fosil terhadap Implementasi Ekonomi Hijau di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 9(3), 102–112. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2022.009.03.3>
- Ananda, E. R., Irawan, D., Wahyuni, S. D., Kusuma, A. D., Buadiarto, J., & Hidayat, R. (2018). Pembuatan Alat Pengolah Limbah Cair Dengan Metode

- Elektrokoagulasi Untuk Industri Tahu Kota Samarinda. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 6(1), 54. <https://doi.org/10.32487/jtt.v6i1.439>
- Andira Sembiring, A., Sani Sembiring, A., & Ramadan Siregar, S. (2018). Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Prioritas Pengembangan Industri Kecil Menengah Di Kabupaten Karo Menggunakan Metode Topsis. *Majalah Ilmiah INTI*, 5(3), 269–274.
- Anggreini, S. A., Widiarti, I. W., & Asrifah, D. R. (2021). Kesesuaian Tingkat Kerentanan dengan Status Mutu Air Sungai akibat Pembuangan Limbah Cair Industri Tahu di Desa Somopuro, Kecamatan Jogonalan, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumihan Ke-III*, 457–465. <http://103.23.20.161/index.php/satubumi/article/viewFile/6280/4084>
- Arba, Y., & Thamrin, S. (2022). Journal Review: Perbandingan Pemodelan Perangkat Lunak Life Cycle Assessment (LCA) untuk Teknologi Energi. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(2), 142–153. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.14001>
- Arifin, M. M., & Suherman, I. (2019). Analisis Penerapan Sistem HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) Pada Pabrik Tahu Tradisional Di Daerah Purwakarta. *Jurnal KaLIBRASI*, 2(1), 1–15.
- Aryanta, I. W. R. (2016). Pengaruh pencemaran lingkungan terhadap kesehatan masyarakat. *Prosiding Seminar Nasional Prodi Biologi F. MIPA UNHI*, 224–231.
- Astuti, A. D. (2019). Analisis Potensi Dampak Lingkungan Dari Budidaya Tebu Menggunakan Pendekatan Life Cycle Assessment (Lca). *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan Dan IPTEK*, 15(1), 51–64. <https://doi.org/10.33658/jl.v15i1.127>
- Athirafitri, N., Siswi Indrasti, N., & Ismayana, A. (2021). Analisis Dampak Pengolahan Hasil Perikanan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (Lca): Studi Literatur. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 31(3), 274–282. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2021.31.3.274>

- Bare, J. (2012). TRACI 2.1: User Manual. *US Environmental Protection Agency*, 1–24.
- Bovi Rahadiyan, A., & Naniek, R. (2012). Tingkat Kemampuan Penyerapan Tanaman Hias Dalam Menurunkan Polutan Karbon Monoksida. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 4(1), 54–60.
- Chauhan, M. K., Chaudhary, S., & Kumar, S. (2011). Life cycle assessment of sugar industry : A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(7), 3445–3453. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.033>
- Citra, A. D. P., & Iswandari, H. D. (2020). Dampak Lingkungan dan Kesehatan Pemanfaatan Limbah Cat Sebagai Produk Material Bangunan. *Metana*, 16(1), 26–32. <https://doi.org/10.14710/metana.v16i1.30364>
- Dani, I. C., & Budiawan, B. (2015). Pembentukan 8-OHdG Dari Zat Toksik Pemicu Radikal Bebas. *Pharmaceutical Sciences and Research*, 2(1), 32–46. <https://doi.org/10.7454/psr.v2i1.3335>
- Darpawanto, N. J. (2022). *Analisis Dampak Lingkungan Produksi Batubara Pt Berau Coal – Site Lati Dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment*. Universitas Diponegoro.
- Decy Arwini, N. P. (2020). Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kualitas Udara Di Provinsi Bali. *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, 2(2). <https://doi.org/10.47532/jiv.v2i2.86>
- Desanti, I. A., Pramesti, R., & Sunaryo. (2023). *Pertumbuhan Rumput Laut Gracilaria sp . dengan Kepadatan Berbeda Pada Air Limbah Pemeliharaan Udang Intensif*. 12(1), 103–109.
- DesMarias, T. L., & Costa, M. (2019). Mechanisms of chromium-induced toxicity. *Current Opinion in Toxicology*, 14(iii), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2019.05.003>
- Djayanti, S. (2015). Kajian Penerapan Produksi Bersih di Industri Tahu di Desa Jimbaran, Bandungan, Jawa Tengah. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 6(2), 75–80.

<https://doi.org/10.21771/jrtpi.2015.v6.no2.p75-80>

- Evalina, N., Putro, B., & Zulfikar. (2020). Analisis Karakteristik Pembangkit Listrik Hot Air Stirling Engine Dengan Bahan Bakar Metanol. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 2(2), 89–94. <https://doi.org/10.30596/rele.v2i2.4423>
- Faqih, A., Kurniati, E., & Suciati, T. (2019). ANALISIS KELAYAKAN USAHA INDUSTRI KECIL TAHU (Kasus di Desa Danawinangun Kecamatan Klenganan Kabupaten Cirebon). *Paradigma Agribisnis*, 2(1), 31. <https://doi.org/10.33603/jpa.v2i1.2234>
- Filimonau, V. (2015). Life cycle assessment. In *The Routledge Handbook of Tourism and Sustainability*.
- Fuadi, M. I. (2023). *Identifikasi Pencemaran Lingkungan Proses Produksi Pabrik Tahu Dengan Life Cycle Assessment*. Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
- 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>
- Guinee, J. B. (2004). *Handbook on Life Cycle Assessment* (J. B. Guinée (ed.); Operationa, Vol. 7). Kluwer Academic Publishers.
- Gusnita, D. (2014). Pencemaran smog (asap kabut) sebagai dampak aktivitas antropogenik. *Berita Dirgantara*, 15(2), 84–89. [http://jurnal.lapan.go.id/index.php/berita\\_dirgantara/article/view/2108](http://jurnal.lapan.go.id/index.php/berita_dirgantara/article/view/2108)
- Habibaturrahim, R., & Bakrie, W. (2020). Pencemaran Lingkungan Dalam Fiqih Islam Dan Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. *Journal of Indonesian Comparative of Law*, 3(1), 59. <https://doi.org/10.21111/jicl.v3i1.4513>
- Hanafi, J., & Riman, A. (2015). Life cycle assessment of a mini hydro power plant in Indonesia: A case study in Karai River. *Procedia CIRP*, 29, 444–449. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.160>

- Harjanto, T. R., Khasanah, M., & Putri, A. N. R. (2022). Industri Tahu Rakyat dalam Tinjauan Life Cycle Assessment. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 4(2), 65–73. <https://doi.org/10.35970/jppl.v4i2.1436>
- Haryanto, A. T., Dewi, S. N., & Riyadi, J. S. (2020). Pemanfaatan Limbah Ampas Tahu Desa Ngasinan Etan, Gebang, Masaran, Sragen. *Adi Widya : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(1). <https://doi.org/10.33061/awpm.v4i1.3551>
- Heriyanto. (2018). Thematic Analysis sebagai Metode Menganalisa Data untuk. *Anuva*, 2(3), 317–324.
- I. Sari, F. Sia, A. Habyba, W. K. (2022). *Penilaian Dampak Lingkungan Proses Produksi Tahu Di Jakarta Barat Menggunakan Metode Life Cycle Assessment*. 18(3).
- Istarani, F., & Pandebesie, E. S. (2014). Dipake .Jurnal Ttg Dampak Dan Karakteristik Kadmium. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(1), 1–6.
- Jobby, R., Jha, P., Yadav, A. K., & Desai, N. (2018). Biosorption and biotransformation of hexavalent chromium [Cr(VI)]: A comprehensive review. *Chemosphere*, 207, 255–266. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.050>
- Khabibi, A., & Safitra, D. A. (2020). Sampah Padat, Emisi Gas Karbondioksida, dan Produk Domestik Bruto. *Jurnal Reformasi Administrasi : Jurnal Ilmiah Untuk Mewujudkan Masyarakat Madani*, 7(1), 9–16. <http://ojs.stiami.ac.id>
- Kim, T. H., & Chae, C. U. (2016). Environmental impact analysis of acidification and eutrophication due to emissions from the production of concrete. *Sustainability (Switzerland)*, 8(6), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su8060578>
- Kumalawati, R., Normelani, E., Isnasyauqiah, Riadi, S., Nurandini, D., & Efendi, M. (2020). Inventarisasi Perlindungan Lapisan Ozon (Studi di Kota Banjarmasin). In *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*.
- Leu, B. (2021). Dampak Pemanasan Global Dan Upaya Pengecualiannya Melalui Pendidikan Lingkungan Hidup Dan Pendidikan Islam. *At-Tadbir*, 1(2), 1–15. <https://doi.org/10.51700/attadbir.v1i2.207>

- Lolo, E. U., Gunawan, R. I., Krismani, A. Y., & 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>
- Lolo, E. U., Widiyanto, W., & Gunawan, R. I. (2022). Analisa Dampak Lingkungan Terhadap Budidaya Tebu dengan Life Cycle Assesment Menggunakan OpenLCA 1.10. 3 (Studi Kasus: Pabrik Gula Madukismo .... *Jurnal Serambi ...*, VII(3), 3597–3608. <https://www.ojs.serambimekkah.ac.id/jse/article/view/4637%0Ahttps://www.ojs.serambimekkah.ac.id/jse/article/download/4637/3397>
- Mahmud, M. F., Ismayana, A., & Yani, M. (2022). Life cycle assessment proses pengadaan bahan baku batubara pembangkit listrik tenaga uap Tidore. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 18(1), 49–58. <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol18.no1.2022.1243>
- Martins, F., Felgueiras, C., Smitkova, M., & Caetano, N. (2019). Analysis of fossil fuel energy consumption and environmental impacts in european countries. *Energies*, 12(6), 1–11. <https://doi.org/10.3390/en12060964>
- Masayu, R., Ansyori Masruri, Romyzar Arya Putra, Mayanita, Ananda, & Cindy. (2020). Analysis Of Environmental Impact With The Life Cycle Assessment (LCA) Method On Tofu Production. *International Journal of Science, Technology & Management*, 1(4), 428–435. <https://doi.org/10.46729/ijstm.v1i4.73>
- 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. <https://doi.org/10.1080/19320248.2017.1315323>
- Mulyani, A. S. (2021). Pemanasan Global, Penyebab, Dampak Dan Antisipasinya. *Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Jakarta*.
- Nabiela, M., Hidayah, M., & Azizati, Z. (2020). Adsorpsi Ion Logam Kromium

- Heksavalen Cr (VI) Dalam Larutan Menggunakan Zeolit Berlapis Oksida Mangan (MnO<sub>2</sub>). *Walisongo Journal of Chemistry*, 3(2), 52. <https://doi.org/10.21580/wjc.v3i2.6073>
- Nadya, Y., & Handayani, N. (2020). Analisis Produksi Bersih Di Ukm Pengolahan Tahu Di Gampong Alue Nyamok Kec. Birem Bayeun Kab. Aceh Timur. *Jurnal Teknologi*, 12(2), 133–140. <https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.12.2.133-140>
- Nasihah, M. (2017). Efek Hujan Asam terhadap Pertumbuhan Tanaman. *Jurnal Enviscience*, 1(1), 4. <https://doi.org/10.30736/jev.v1i1.92>
- Nugraheni, A. R. E., & Yuenyong, C. (2022). Developing the Smog Problem in Indonesia STEM Education Learning Activity. *Asia Research Network Journal of Education*, 2(3), 127–134.
- Nugrahayu, Q., Nurjannah, N. K., & Hakim, L. (2017). ESTIMASI EMISI KARBONDIOKSIDA DARI SEKTOR PERMUKIMAN DI KOTA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN IPCC GUIDELINES. *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan*, 9(1), 25–36.
- Nugroho, G. S. F., Sulistyningrum, R., Melania, R. P., & Handayani, W. (2019). Environmental Analysis of Tofu Production in the Context of Cleaner Production: Case Study of Tofu Household Industries in Salatiga, Indonesia. *Journal of Environmental Science and Sustainable Development*, 2(2), 127–138. <https://doi.org/10.7454/jessd.v2i2.1021>
- Nurbaiti, G. A., Rachmanto, T. A., & Farahdiba, A. U. (2021). Implementasi Life Cycle Assessment “Gate-to-Gate” Pada Proses Pengolahan Air Bersih. *Teknik Lingkungan*, 2(1), 33–36.
- Nurropiah, P., Mukaromah, A. H., & Heti, D. (2015). Penurunan Kadar Krom (VI) Dalam Air Menggunakan Zeolit ZSM-5 dengan Variasi Konsentrasi dan Lama Waktu Perendaman. *The 2nd University Research Coloqium*, 6, 445–450.
- Oesman, R., Rusdijjati, R., & Rosyidi, I. (2009). Pengolahan limbah cair tahu

menjadi biogas sebagai bahan bakar alternatif pada industri pengolahan tahu. *Litbang Provinsi Jawa Tengah*, 7(2), 213–223. <http://ejournal.bappeda.jatengprov.go.id/index.php/jurnaljateng>

- Pangastuti, G. A. P. A., Suryanti, Maulana, R., Rosari, A., Maira, G. Y., & Rizkmaylia, A. (2022). Pendampingan Pengolahan Limbah Hasil Proses Produksi Perikanan Berbasis Zero Waste Untuk Mengurangi Pencemaran Perairan Di Dusun Tapak, Kelurahan Tugurejo, Kecamatan Tugu, Kota Semarang Oleh. *Jurnal Pengabdian Mandiri*, 1(11).
- Pramudiyanto, A. S., & Suedy, S. W. A. (2020). Energi Bersih dan Ramah Lingkungan dari Biomassa untuk Mengurangi Efek Gas Rumah Kaca dan Perubahan Iklim yang Ekstrim. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 1(3), 86–99. <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.9990>
- Prayetno, E. (2018). Kajian Al-Qur'an Dan Sains Tentang Kerusakan Lingkungan. *Jurnal Studi Ilmu Al-Qur'an Dan Al-Hadits*, 12(1), 1–20.
- Prayoga, Y. (2019). Peranan Industri Batu Bata Terhadap Tingkat Kemiskinan Di Kecamatan Rantau Selatan Kabupaten Labuhan Batu. *Ecobisma (Jurnal Ekonomi, Bisnis Dan Manajemen)*, 5(2), 47–53. <https://doi.org/10.36987/ecobi.v5i2.55>
- Pujadi, & Yola, M. (2013). Analisis Sustainability Packaging dengan Metode Life Cycle Assessment ( LCA ). *UIN Sultan Syarif Kasim Riau*, 1, 1–127.
- Pulansari, F., & Nugraha, I. (2022). *Analysis of the Implementation Life Cycle Assessment ( LCA ) Method for Identification of Environmental Assessment in Liquid Waste Production Tofu at PT . XYZ. 2022.*
- Purnomo, K. I. (2022). Efisiensi Waktu Produksi Pengolahan Tahu Pada Perusahaan Home Industri Tahu Samin Cilacap. *Jurnal E-Bis (Ekonomi-Bisnis)*, 6(1), 271–285. <https://doi.org/10.37339/e-bis.v6i1.900>
- Puspaningrum, T., Yani, M., Indrasti, N. S., & Indrawanto, C. (2022). Dampak Gas Rumah Kaca Arang Tempurung Kelapa Dengan Metode Life Cycle Assessment (Batasan Sistem Gate-To-Gate). *Jurnal Teknologi Industri*

*Pertanian*, 32(1), 96–106.  
<https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2022.32.1.96>

Putri, Nur Afra Hana Annisa , Alviani Indaraswari, Yahya Wulandari, R. J. (2021). Green Accounting: Analisis Penerapan Green Innovation Pada Pengelolaan Limbah Pabrik Tahu di Kartasura. *Jurnal Akuntansi Dan Audit Syariah*, 2(1), 58–69.

Putri Wahyuni Arnold, Pinondang Nainggolan, & Darwin Damanik. (2020). Analisis Kelayakan Usaha dan Strategi Pengembangan Industri Kecil Tempe di Kelurahan Setia Negara Kecamatan Siantar Sitalasari. *Jurnal Ekuilnomi*, 2(1), 29–39. <https://doi.org/10.36985/ekuilnomi.v2i1.104>

Raharjo, R. A. H. (2010). Hubungan antara paparan debu padi dengan kapasitas fungsi paru tenaga kerja di penggilingan padi Anggraini, Sragen, Jawa Tengah. In *Kesehatan Lingkungan*. Universitas Sebelas Maret.

Rahmalia, I., Nisa, S. K., Palupi, V., Putri, A., & Suryawan, I. W. K. (2021). A Study of the Tofu Industry Environmental Impact Condition and Scenario Treatment Using Life Cycle Assessment Approach. *EPI International Journal of Engineering*, 4(1), 7–13. <https://doi.org/10.25042/epi-ije.022021.02>

Rahmatika, N. I. (2017). *Analisis Resiko Paparan Nitrogen Dioksida Dari Polutan Ambien Terhadap Kesehatan Masyarakat Di Kabupaten Magelang Tahun 2015*. UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.

Rahmawati, E., Auvaria, S. W., Nengse, S., Yusrianti, Y., & Utama, T. T. (2022). Analysis of Global Warming Potential in Tofu Industry (Case Study: Industry X, Gresik). *Jurnal Serambi Engineering*, 7(4), 3994–4000. <https://doi.org/10.32672/jse.v7i4.4913>

Rianti, W., & Harahap, E. (2021). Pengolahan Data Hasil Penjualan Online Menggunakan Aplikasi Microsoft Excel. *Matematika: Jurnal Teori Dan Terapan Matematika*, 20(2), 69–76. <https://journals.unisba.ac.id/index.php/matematika/article/view/1553>

- Rivaldi, M. R., Saputra, A., & Swantomo, D. (2022). Studi Perbandingan Dampak Lingkungan Produksi Biogas Dari Bahan Baku Substrat Kotoran Sapi dan Sampah Organik Padat. *Jurnal Daur Lingkungan*, 5(1), 11. <https://doi.org/10.33087/daurling.v5i1.92>
- Robin, & Supendi, A. (2015). Analisis Dampak Limbah Cair Industri Tahu terhadap Penurunan Kualitas Air dan Keragaman Ikan Air Tawar di Sungai Cipelang Kota Sukabumi. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Sains Dan Teknologi*, 10(2), 52–56.
- Roesiani, L. (2015). *Keefektifan Lama Kontak Karbon Aktif Terhadap Penurunan Kadar Amonia Limbah Cair Industri Tahudi Desa Teguhan Sragen Wetan Sragen* [Universitas Muhammadiyah Surakarta]. [http://eprints.ums.ac.id/37501/6/BAB II.pdf](http://eprints.ums.ac.id/37501/6/BAB%20II.pdf)
- Satriawan, D., Fitriyah, H., & Budi, A. S. (2019). Sistem Klasifikasi Tahu Putih Murni dan Tahu Putih Mengandung Formalin Menggunakan Metode K-Nearest Neighbor. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 3(10), 10287–10293.
- Sepriani, Abidjulu, J., & Kolengan, H. S. (2016). Pengaruh Limbah Cair Industri Tahu Terhadap Kualitas Air Sungai Paal 4 Kecamatan Tikala Kota Manado. *Chemistry Progress*, 9(1), 29–33.
- Setiawan, R., Abidin, N., & Fahriani, V. P. (2019). Pembuatan Dan Pengujian Alat Uji Karakteristik Dan Emisi Gas Buang Skala Laboratorium Pembakaran Biomassa. *JITEKH (Jurnal Ilmiah ...)*, 7(1), 39–44. <https://www.jurnal.harapan.ac.id/index.php/Jitekh/article/download/16/14>
- Subekti, S. (2011). Pengolahan limbah cair tahu menjadi biogas sebagai bahan bakar alternatif. *Sains Dan Teknologi*, 1, 1–6.
- Sumantri, A., & Cordova, M. R. (2011). Dampak Limbah Domestik Perumahan Skala Kecil Terhadap Kualitas Air Ekosistem Penerimaannya Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Masyarakat. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 1(2), 127–127.

- SUNITA, R. (2018). Lamanya Paparan Karbon Monoksida Terhadap Profil Enzim Alanin Aminotranferase. *Journal of Nursing and Public Health*, 6(1), 76–81.
- Surayya, R. (2018). Pendekatan Kualitatif Dalam Penelitian Kesehatan. *AVERROUS: Jurnal Kedokteran Dan Kesehatan Malikussaleh*, 1(2), 75. <https://doi.org/10.29103/averrous.v1i2.415>
- Susanto, N., Putranto, T. T., & Pratiwi, A. R. A. (2022). Pengukuran Tingkat Eko-Efisiensi Batik Cap Menggunakan Metode Life Cycle Analysis (Studi Kasus: Batik Encim pada Kampong Batik Kauman Pekalongan). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(3), 654–664. <https://doi.org/10.14710/jil.20.3.654-664>
- Susilawati. (2021). Dampak Perubahan Iklim Terhadap Kesehatan. *Electronic Journal Scientific of Environmental Health And Disease*, 2(1), 25–31. <https://doi.org/10.22437/esehad.v2i1.13749>
- Taruan, H. N., Sastra Wijaya, R., & Saputra, Y. H. (2019). Pengolahan Limbah Kaca Menjadi Produk Seni Kaligrafi Gampong Jalin Kota Jantho. *DESKOVI: Art and Design Journal*, 2(2), 69–72.
- Wahyuni, H., & Suranto, S. (2021). Dampak Deforestasi Hutan Skala Besar terhadap Pemanasan Global di Indonesia. *JlIP: Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan*, 6(1), 148–162. <https://doi.org/10.14710/jljp.v6i1.10083>
- Wielgosinski, G., & Czerwinska, J. (2020). Smog Episodes in Poland. *Atmosphere*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/atmos11030277>
- Wulansari, I. (2017). *Pemanfaatan Limbah Padat Sisa Pembakaran Boiler Untuk Penurunan Kadar Amonia Dalam Limbah Cair Industri Tahu*. UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA.
- Zuhria, S. A., Indrasti, N. S., & Yani, M. (2021). Kajian Dampak Lingkungan Produk Tepung Agar Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (Lca). *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 31(3), 343–355. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2021.31.3.343>
- Zulmi, A., Meldayanoor, M., & Lestari, E. (2018). Analisis Kelayakan Penerapan

Produksi Bersih pada Industri Tahu UD. Sugih Waras Desa Atu-atu Kecamatan Pelahari. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 5(1), 1–9. <https://doi.org/10.34128/jtai.v5i1.60>



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A