

**ANALISIS *LIFE CYCLE ASSESMENT* UNTUK MENENTUKAN
DAMPAK LINGKUNGAN PADA PROSES PRODUKSI TAHU DI
INDUSTRI KECIL “UD. X” DESA SIDOJANGKUNG, KECAMATAN
MENGANTI, GRESIK**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk melengkapi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T) pada
Program Studi Teknik Lingkungan



Disusun Oleh
EKKI RAHMAWATI
NIM. H05218008

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

2022

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Nama : Ekki Rahmawati

NIM : H05218008

Program Studi : Teknik Lingkungan

Angkatan : 2018

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan tugas akhir saya yang berjudul "Analisis *Life Cycle Assesment* Untuk Menentukan Dampak Lingkungan Pada Proses Produksi Tahu Di Industri Kecil "UD. X" Desa Sidojangkung, Kecamatan Menganti, Gresik"

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila suatu saat nanti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan

Surabaya, 13 Juli 2022

Yang menyatakan,



(Ekki Rahmawati)

NIM. H05218008

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

PERSETUJUAN PEMBIMBING

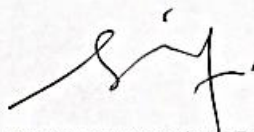
Tugas Akhir Oleh:

NAMA : Ekki Rahmawati
NIM : H05218008
JUDUL :ANALISIS *LIFE CYCLE ASSESSMENT* UNTUK
MENENTUKAN DAMPAK LINGKUNGAN PADA PROSES
PRODUKSI TAHU DI INDUSTRI KECIL "UD.X" DESA
SIDOJANGKUNG KECAMATAN MENGANTI, GRESIK

Ini telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Surabaya, 21 Juni 2022

Dosen Pembimbing I



Shinfi Wazna Auvaria, M.T
NIP. 198603282015032001

Dosen Pembimbing II



Sulistiya Nengse, M.T
NIP. 199010092020122019

HALAMAN PENGESAHAN

PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Tugas Akhir Oleh,

Nama : Ekki Rahmawati

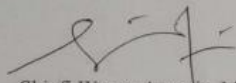
NIM : H05218008

Judul : Analisis *Life Cycle Assessment* untuk Menentukan Dampak Lingkungan pada Proses Produksi Tahu di Industri Kecil "UD.X" Desa Sidojukung, Kecamatan Menganti, Gresik

Telah dipertahankan di depan tim penguji skripsi
Surabaya, 05 Juli 2022

Mengetahui,
Dosen Penguji,

Dosen Penguji I



Shinfi Wazna Auvarja, M.T
NIP.198603282015032001

Dosen Penguji II



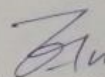
Sulistiya Nengse, M.T
NIP.199010092020122019

Dosen Penguji III



Yushanti, M.T
NIP.198210222014032001

Dosen Penguji IV



Teguh Taruna Utama, M.T
NIP.201603319

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya



Dr. N. Nurul Hamdani, M.Pd.
NIP.196507312000031002



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 : Ekki Rahmawati
NIM : 405218008
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi / Teknik Lingkungan
E-mail address : ekkirahmawati2@gmail.com

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

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

yang berjudul :

Analisis Life Cycle Assessment untuk Menentukan Dampak
Lingkungan pada Proses Produksi Tahu di Industri Kecil "UD.X"
Desa Sidojungkung, Kecamatan Menganti, Gresik

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, 13 Juli 2022

Penulis

(Ekki Rahmawati)

ABSTRAK

Kegiatan industri menjadi salah satu penyebab antropogenik terhadap dampak lingkungan. Salah satu industri yang memiliki kontribusi terhadap dampak lingkungan adalah industri tahu. Industri tahu “UD.X” Desa Sidojangkung, Kecamatan Menganti, Gresik memiliki rata-rata kapasitas produksi sebanyak 703 kg kedelai. Energi utama yang digunakan pada proses pemasakan adalah kayu. Rata-rata setiap harinya, penggunaan kayu di industri tersebut mencapai 1.520 kg. Pembakaran kayu memicu adanya emisi gas-gas penyebab terjadinya pemanasan global. Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis terhadap potensi dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi tahu. Metode pengumpulan data meliputi observasi, wawancara, dan pengukuran secara langsung. Analisis data dilakukan dengan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) menggunakan software Simapro 9.3. Dampak yang dikaji ditinjau dari metode penilaian dampak CML-IA (*baseline*), kemudian dilakukan analisis pada 3 (tiga) dampak terbesar. Berdasarkan hasil analisis normalisasi dampak, dipilih 3 dampak dengan nilai terbesar yaitu *marine aquatic ecotoxicity* sebesar 0,000309 Kg 1,4-DB-eq, *global warming potential* sebesar $5,87 \times 10^{-5}$ KgCO₂-eq dan *freshwater ecotoxicity* sebesar $2,83 \times 10^{-5}$ Kg 1,4-DB-eq.

Kata kunci: Industri tahu, *Life Cycle Assessment* (LCA), dan *software* Simapro



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

ABSTRACT

Industrial activities are one of the anthropogenic causes of environmental impacts. One of the industries that has contributed to the environmental impact is the tofu industry. The tofu industry "UD.X" Sidojangkung Village, Menganti District, Gresik has an average production capacity of 703 kg of soybeans. The main energy used in the cooking process is firewood. On average every day, the use of wood in the industry reaches 1,520 kg. Burning wood triggers the emission of gases that cause global warming. The purpose of this study was to analyze the potential environmental impacts resulting from the tofu production process. Data collection methods include observation, interviews, and direct measurement. Data analysis was performed using the Life Cycle Assessment (LCA) method using Simapro 9.3 software. The impact is reviewed from the CML-IA impact assessment method (basic), then an analysis is carried out on the 3 (three) largest impacts. Based on the normalization analysis of impact values, 3 impacts were selected with the largest being marine aquatic ecotoxicity 0,000309 Kg 1,4-DB-eq, global warming potential $5,87 \times 10^{-5}$ KgCO₂-eq and freshwater ecotoxicity $2,83 \times 10^{-5}$ Kg 1,4-DB-eq.

Keywords: Tofu industry, Life Cycle Assessment (LCA), and Simapro software



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
HALAMAN MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR SINGKATAN.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	4
1.3 Rumusan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Batasan Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Industri Tahu.....	7
2.2 Proses Produksi Tahu.....	8
2.3 <i>Cleaner Production</i>	17
2.4 <i>Life Cycle Assesment</i>	21
2.4.1 Definisi <i>Life Cycle Assesment</i>	21
2.4.2 <i>Goal and Scope</i>	23

2.4.3	<i>Functional Units</i>	24
2.4.4	Analisis Inventori	25
2.4.5	Analisis <i>Impact Assessment</i>	26
2.4.6	Interpretasi Hasil dan Penarikan Kesimpulan	30
2.5	Metode CML-IA (baseline)	31
2.6	Dampak Lingkungan.....	32
2.6.1	Dampak Industri terhadap Lingkungan.....	33
2.6.2	Dampak Lingkungan pada Metode CML-IA (<i>baseline</i>).....	34
2.7	<i>Software</i> SimaPro.....	40
2.8	Integrasi KeIslaman	45
2.9	Penelitian Terdahulu	48
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		56
3.1	Waktu Penelitian.....	56
3.2	Lokasi Penelitian.....	56
3.3	Tahapan Penelitian.....	58
3.3.1	Kerangka Pikir Penelitian	58
3.3.2	Diagram Alir Penelitian	60
3.4	Pelaksanaan Penelitian.....	64
3.4.1	Pengumpulan Data	64
3.4.2	Alternatif Bahan Bakar	66
3.4.3	Analisis <i>Life Cycle Assessment</i>	67
3.4.4	Perbandingan dengan IPCC 2006	72
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		73
4.1	Profil Industri Tahu “UD.X” Desa Sidojankung, Kecamatan Menganti, Gresik	73
4.2	Proses Produksi Tahu “UD. X” Desa Sidojankung, Kecamatan Menganti, Gresik	74
4.2.1	Proses Perendaman.....	74
4.2.2	Proses Pencucian.....	75
4.2.3	Proses Penggilingan	75
4.2.4	Proses Pemasakan	76
4.2.5	Proses Penyaringan	77
4.2.6	Proses Penggumpalan.....	78
4.2.7	Proses Pengepresan	79
4.2.8	Proses Pemotongan	79

4.3	Alur Proses dan <i>Mass Balance</i> Produksi Tahu UD.X	80
4.4	Analisis LCA Produksi Tahu	83
4.4.1	<i>Goal and Scope Definition</i>	83
4.4.2	<i>Life Cycle Inventory</i>	85
4.4.3	<i>Life Cycle Impact Assessment</i>	107
4.4.4	<i>Interpretation</i>	124
4.5	Analisis Alternatif Bahan Bakar	127
4.5.1	Konsumsi Bahan Bakar	128
4.5.2	Input-Output Pengolahan Biogas	128
4.5.3	Analisis <i>Supply</i> dan <i>Demand</i> Energi Biogas.....	129
4.5.4	Analisis <i>Demand</i> LPG.....	132
4.6	Perbandingan IPCC 2006.....	134
BAB V PENUTUP.....		136
5.1	Simpulan	136
5.2	Saran	136
DAFTAR PUSTAKA		138



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Impact Category pada CML-IA baseline	32
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu.....	48
Tabel 3. 1 Klasifikasi data primer dan data sekunder	64
Tabel 4. 1 Life cycle inventory proses perendaman.....	87
Tabel 4. 2 Life cycle inventory pada proses pencucian kedelai	90
Tabel 4. 3 Faktor Emisi jaringan Ketenagalistrikan	93
Tabel 4. 4 Life cycle inventory pada proses penggilingan kedelai	93
Tabel 4. 5 Faktor emisi gas rumah kaca sektor industri	96
Tabel 4. 6 Life cycle inventory pada proses pemasakan	98
Tabel 4. 7 Life cycle inventory pada proses penyaringan	100
Tabel 4. 8 Life cycle inventory pada proses penggumpalan	103
Tabel 4. 9 Life cycle inventory pada proses pengepresan.....	104
Tabel 4. 10 Life cycle inventory proses pemotongan tahu jadi.....	106
Tabel 4. 11 Nilai karakterisasi ecotoxicity	110
Tabel 4. 12 Nilai karakterisasi GWP setiap proses produksi tahu	114
Tabel 4. 13 Nilai karakterisasi ecotoxicity	116
Tabel 4. 14 Nilai normalisasi ecotoxicity.....	119
Tabel 4. 15 Nilai normalisasi GWP.....	120
Tabel 4. 16 nilai normalisasi ecotoxicity.....	123
Tabel 4. 17 Konsumsi Bahan Bakar Industri tahu UD.X.....	128
Tabel 4. 18 Input pengolahan biogas.....	129
Tabel 4. 19 Output pengolahan limbah industri tahu	129
Tabel 4. 20 Perbandingan bahan terganti setiap 1m ³ biogas	130
Tabel 4. 21 Tabel jumlah supply dan demand energi biogas	131

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram alir proses pembuatan tahu secara sederhana	9
Gambar 2.2	Mind mapping proses produksi tahu.....	10
Gambar 2.3	Sistem kesetimbangan massa pada proses pencucian.....	11
Gambar 2.4	Kesetimbangan massa pada proses perendaman	12
Gambar 2.5	Sistem kesetimbangan massa pada proses penirisan dan penggilingan	13
Gambar 2.6	Sistem Kesetimbangan Massa Proses Pemasakan.....	14
Gambar 2.7	Sistem kesetimbangan massa pada proses pemasakan	15
Gambar 2.8	Sistem kesetimbangan massa pada proses penggumpalan	16
Gambar 2.9	Sistem Kesetimbangan Massa pada tahap pencetakan, pengepresan, dan pemotongan	17
Gambar 2.10	definisi dan ruang lingkup produksi bersih	18
Gambar 2.11	Teknik-teknik produksi bersih.....	20
Gambar 2.12	Empat fase iteratif penilaian siklus hidup dan aplikasinya.....	22
Gambar 2.13	Functional units di software Simapro 9.3.0.....	25
Gambar 2.14	Lima langkah penilaian dampak siklus hidup	27
Gambar 2.15	Penentuan tujuan atau goal pada penilaian LCA menggunakan software SimaPro	41
Gambar 2.16	Penentuan Scope penilaian LCA pada SimaPro.....	41
Gambar 2.17	Analisis Inventori pada SimaPro	42
Gambar 2.18	Penentuan metode impact assessment	42
Gambar 2.19	Impact Assessment tahap Characterization pada SimaPro.....	43
Gambar 2.20	Impact Assessment tahap Normalization pada SimaPro	43
Gambar 2.21	Impact Assessment tahap Weighting pada SimaPro	44
Gambar 2.22	Impact Assessment tahap Single Score pada SimaPro	44
Gambar 3. 1	Lokasi Penelitian	57
Gambar 3. 2	Kerangka Pikir Penelitian	59
Gambar 3. 3	Diagram alir penelitian	63
Gambar 3. 4	System boundary kondisi eksisting	68
Gambar 3. 5	System boundary alternative perbaikan.....	69
Gambar 4. 1	Kondisi Eksisting Industri Tahu “UD.X”	73
Gambar 4. 2	Proses perendaman kedelai UD. X Desa Sidojangkung.....	74

Gambar 4. 3 Proses pencucian kedelai UD.X Desa Sidojankung	75
Gambar 4. 4 Proses penggilingan kedelai UD.X Desa Sidojankung.....	76
Gambar 4. 5 Proses pemasakan bubur kedelai	77
Gambar 4. 6 Proses penyaringan sari kedelai UD.X Desa Sidojankung	78
Gambar 4. 7 Proses penggumpalan sari kedelai di UD.X Desa Sidojankung ...	78
Gambar 4. 8 Proses pengepresan gumpalan sari kedelai UD.X Desa Sidojankung.....	79
Gambar 4. 9 Proses pemotongan tahu jadi UD. X Desa Sidojankung	80
Gambar 4.10 Alur proses produksi tahu “UD. X” Desa Sidojankung, Kecamatan Menganti, Kabupaten Gresik	82
Gambar 4. 11 System Boundary proses produksi tahu.....	84
Gambar 4. 12 Membuat input inventory manual pada material	85
Gambar 4. 13 Material balance proses perendaman.....	86
Gambar 4. 14 Input inventory pada proses perendaman	88
Gambar 4. 15 Material balance proses pencucian	89
Gambar 4. 16 Input inventory pada proses pencucian.....	90
Gambar 4. 17 Material Balance proses penggilingan.....	91
Gambar 4. 18 Input inventory pada proses penggilingan	94
Gambar 4. 19 Material balance pada proses pemasakan	95
Gambar 4. 20 Input inventory pada proses pemasakan	98
Gambar 4. 21 Material balance pada proses penyaringan bubur kedelai	99
Gambar 4. 22 Input inventory pada proses penyaringan	101
Gambar 4. 23 Material balance pada proses penggumpalan sari kedelai	101
Gambar 4. 24 Input inventory pada proses penggumpalan	103
Gambar 4. 25 Material balance pada proses pengepresan gumpalan sari kedelai	104
Gambar 4. 26 Input inventory pada proses pengepresan.....	105
Gambar 4. 27 Material balance pada proses pemotongan tahu jadi	105
Gambar 4. 28 Input inventory pada proses pemotongan	106
Gambar 4. 29 Input product stage	107
Gambar 4. 30 Grafik karakterisasi Ecotoxicity	113
Gambar 4. 31 Grafik karakterisasi GWP	116

Gambar 4. 32 Grafik karakterisasi ecotoxiciy	119
Gambar 4. 33 Grafik normalisasi ecotoxicity.....	120
Gambar 4. 34 Grafik normalisasi GWP.....	122
Gambar 4. 35 Grafik normalisasi ecotoxicity.....	123
Gambar 4. 36 Grafik kontribusi dampak.....	124
Gambar 4. 37 Nilai karakterisasi GWP Proses pemasakan menggunakan LPG	134



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR SINGKATAN

ADP	: <i>Abiotic Depletion Layer</i>
CFC	: <i>Chlorofluorocarbon</i>
CH ₃ COOH	: <i>Acetic Acid</i>
CH ₄	: <i>Methane</i>
CML-IA	: <i>Center of Environment Science of Leiden University</i>
CO ₂	: <i>Carbon Dioxide</i>
Cu	: <i>Copper</i>
DDT	: <i>Dichlorodiphenyltrichloroethane</i>
ESAL	: <i>Equivalent Single Axle Load</i>
FAETP	: <i>Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential</i>
FE	: <i>Faktor Emisi</i>
GRK	: <i>Gas Rumah Kaca</i>
GWP	: <i>Global Warming Potential</i>
HCFC	: <i>Hydrochlorofluorocarbon</i>
HF	: <i>Hydrogen Fluoride</i>
HTP	: <i>Human Toxicity Potential</i>
IPCC	: <i>Intergovernmental Panel Climate Change</i>
ISO	: <i>International Standart Organization</i>
Kg1,4-DB-eq	: <i>Kg1,4 Dichlorobenzena equivalent</i>
KgCO ₂ -eq	: <i>Kg Carbon Dioxide equivalent</i>
LCA	: <i>Life Cycle Assessment</i>

LCI	: <i>Life Cycle Inventory</i>
LCIA	: <i>Life Cycle Impact Assessment</i>
LPG	: <i>Liquefied Petroleum Gas</i>
MAETP	: <i>Marine Aquatic Ecotoxicity Potential</i>
MJ	: <i>Mega Joule</i>
N ₂ O	: <i>Dinitrogen Oxide</i>
Ni	: <i>Nikel</i>
NMVOG	: <i>Non-Methane Volatile Organic Compound</i>
NO ₂	: <i>Nitrogen Dioxide</i>
ODP	: <i>Ozone Depletion Layer</i>
PFCS	: <i>Perfluorocarbons</i>
PLN	: <i>Perusahaan Listrik Negara</i>
S ₂ O	: <i>Disulfur Monoxide</i>
SF ₆	: <i>Sulfur Heksafluoride</i>
TETP	: <i>Terrestrial Ecotoxicity Potential</i>
UD	: <i>Usaha Dagang</i>
UNFCC	: <i>United Nation Framework Convention on Climate Change</i>
VOC	: <i>Volatile Organic Compound</i>

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	I-1
LAMPIRAN 2	II-1
LAMPIRAN 3	III-1
LAMPIRAN 4	IV-1
LAMPIRAN 5	V-1
LAMPIRAN 6	VI-1
LAMPIRAN 7	VII-1
LAMPIRAN 8	VIII-1



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri di Indonesia tidak terlepas dari keberadaan industri kecil (Shofi, 2019). Industri kecil dan menengah turut serta mendukung pembangunan nasional di bidang ekonomi khususnya sektor industri (Shofi, 2019). Industri kecil dicirikan sebagai industri dengan tingkat efisiensi energi yang rendah dan penggunaan teknologi yang rendah (OECD, 2018; Maksun, *et al.*, 2020; Surya, *et al.*, 2021 dalam Mauliva, *et al.*, 2022). Selain itu, industri kecil juga berperan dalam menghasilkan limbah dan polutan (Mauliva, *et al.*, 2022). Proses produksi yang dilakukan terus menerus dan tidak melihat pengaruhnya terhadap lingkungan sekitar, maka dapat menyebabkan ketidakseimbangan alam dan ekosistem seperti pencemaran di darat, udara, laut atau sungai, atau bencana alam lainnya (Rosyidah, 2018 dalam Masayu, *et al.*, 2020). Salah satu industri kecil yang ada di Indonesia adalah industri tahu.

Menurut Purwadi, dkk., 2007, proses produksi tahu merupakan suatu proses yang berkelanjutan. Secara garis besar, pembuatan tahu berlangsung melalui beberapa tahap, dimulai dari perendaman kedelai, pencucian kedelai, penggilingan kedelai, pemasakan bubur kedelai, penyaringan, penggumpalan, dan pencetakan tahu (Sayow, dkk., 2020). Proses pembuatan tahu dimulai dari ekstraksi bahan baku hingga menjadi produk tahu. Dalam tahapan pembuatan tahu menghasilkan produk samping yaitu limbah padat dan limbah cair serta emisi yang dilepaskan ke udara tanpa pengolahan terlebih dahulu (Kurniawati, *et al.*, 2019).

Proses penyaringan bubur kedelai menghasilkan limbah padat yang dimanfaatkan kembali menjadi “tempe gembos” dan pakan ternak untuk bebek ataupun sapi (Hikmah, dkk., 2019). Sedangkan proses pencucian dan perendaman kedelai, proses pemasakan, proses pengepresan, serta proses pencetakan tahu menghasilkan limbah cair yang biasanya dibuang langsung

ke saluran *drainase* maupun badan sungai (Pamungkas dan Slamet, 2017). Limbah cair industri tahu apabila tidak dikelola dan dibuang langsung ke perairan dapat memengaruhi sifat fisik dan kimia air yang juga berpengaruh terhadap kelangsungan hidup organisme perairan (Pagoray, dkk., 2021). Limbah cair yang mencemari sungai juga dapat menyebabkan kerusakan pada sebagian besar lahan pertanian (Irawan, dkk., 2020).

Dampak lingkungan dari proses produksi tahu dapat di minimalisir dengan analisis perkiraan atau kuantifikasi dampak. Analisis perkiraan dampak tersebut dapat diperkirakan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) yang merupakan salah satu teknik untuk melakukan penilaian aspek dan dampak lingkungan potensial dari suatu kegiatan atau suatu produk dengan perhitungan beban lingkungan berdasarkan analisis *inventory* dari penggunaan sumber daya (energi, air, bahan bakar, dan lainnya) (Purwaningsih, 2016 dalam Parameswari, dkk., 2019). Terdapat 4 (empat) tahapan dari metode *Life Cycle Assessment*, antara lain: *Goal dan Scope*, Inventori Analisis, *Impact Assessment*, dan Interpretasi.

Melakukan penilaian dan pengelolaan terhadap kerusakan lingkungan merupakan tugas manusia sebagai *khalifatullah fiil ard*. Tegasnya bahwa manusia sebagai khalifah dalam mengelola lingkungan tertuang dalam firman Allah SWT yang berbunyi:

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلَائِكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَنْ يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَاءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ ﴿٣٠﴾

Yang artinya : “Ingatlah saat Tuhanmu mengatakan pada malaikat bahwa `Sesungguhnya Aku akan menjadikan khalifah di muka bumi. Mereka (malaikat) berkata: `Akankah Engkau ingin menjadikan perusak lingkungan dan sering bertumpah darah? padahal kami selalu memujimu serta mensucikan-Mu. Tuhan berkata: Sesungguhnya Aku lebih tahu apa yang tidak kalian ketahui” QS Al-Baqarah ayat 30.

Tafsir dari ayat tersebut, manusia diberi amanah sebagai khalifah untuk melakukan pengelolaan alam (Istianah, 2015). Secara tidak langsung, perusak

lingkungan dianggap menghilangkan tujuan manusia diciptakan di atas bumi (Yusuf Qardhawi yang dikutip oleh Najmuddin Ramly dalam Istianah, 2015)

Usaha manusia dalam menjaga lingkungan salah satunya dengan melakukan analisis dampak lingkungan. Analisis dampak lingkungan menggunakan metode LCA dapat dilakukan untuk berbagai sektor industri, diantaranya pada berbagai UMKM maupun Industri Kecil Menengah (IKM), salah satunya yaitu industri pembuatan tahu. Berdasarkan penelitian analisis LCA yang dilakukan oleh Lolo, dkk. (2021) pada industri tahu dengan kapasitas 350 kg kedelai per hari, dihasilkan kerusakan pada beberapa *impact category*. Kontribusi terbesar asidifikasi diberikan oleh proses penggilingan kedelai sebesar 51,61% dikarenakan bahan bakar utama penggilingan kedelai yang digunakan. Kontribusi terbesar eutrofikasi disebabkan oleh tahap pemasakan bubur kedelai sebesar 47% karena beberapa sisa pemasakan yang dibuang langsung ke saluran *drainase*. Kontribusi terbesar *climate change* disebabkan oleh tahap pemasakan bubur kedelai sebesar 57,48% dikarenakan pembakaran serbuk gergaji kayu. Kontribusi terbesar *photochemical oxidation* diberikan oleh tahap perebusan bubur kedelai sebesar 47%, dan kontribusi terbesar *human toxicity* diberikan oleh tahap penggilingan kedelai sebesar 90,71%.

“UD.X” merupakan salah satu industri tahu yang tergolong industri kecil yang berlokasi di Desa Sidojangkung, Kecamatan Menganti, Kabupaten Gresik. Kapasitas pengolahan kedelai menjadi tahu sebesar 600-800 kg per hari dengan jumlah pekerja sebanyak 17 orang. Proses produksi dilakukan seperti pada umumnya. Sumber air untuk proses produksi berasal dari air tanah, sedangkan bahan bakar pemasakan bubur menggunakan kayu bakar. Aktivitas pembakaran kayu untuk proses perebusan kedelai dalam pembuatan tahu merupakan kontributor utama emisi gas rumah kaca dengan kontribusinya sebesar 98%. Nilai faktor emisi CH₄, CO₂, dan N₂O pembakaran kayu jauh lebih besar daripada pembakaran LPG (*Liquified Petroleum Gas*) (*IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. 2006).

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan di atas, diperlukan suatu penelitian untuk mengidentifikasi dampak lingkungan dari aktivitas produksi tahu di industri kecil “UD. X” Desa Sidojangkung, Kecamatan Menganti, Gresik. Dampak lingkungan ditinjau dari dampak yang tercakup dalam metode CML-IA (*baseline*) dengan kelompok kategori dampak antara lain: *Acidification*, *Eutrophication*, *Climate change*, *Depletion of abiotic resources*, *Ecotoxicity*, *Human toxicity*, *Ozone layer depletion*, dan *Photochemical oxidation*.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, dapat diidentifikasi masalah pada aktivitas produksi tahu di industri kecil “UD. X” Desa Sidojangkung, Kecamatan Menganti. Proses perendaman kedelai, pemasakan, dan pengepresan menghasilkan produk samping yang tidak dikelola dengan baik. Limbah cair yang dihasilkan dibuang langsung ke saluran *drainase* tanpa diolah terlebih dahulu. Selain itu, proses pemasakan tahu menggunakan kayu bakar yang merupakan kontributor utama emisi gas rumah kaca dengan kontribusi sebesar 98% (Wahyudi, 2019). Selain itu, pembakaran kayu bakar ataupun pembakaran bahan bakar fosil menyebabkan polusi sehingga dapat meningkatkan resiko kesehatan seperti keracunan gas dan *pneumoconiosis* (Widhiyanti, dkk., 2015).

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana alur proses produksi tahu di Industri Kecil “UD.X” Desa Sidojangkung, Kecamatan Menganti, Gresik?
2. Bagaimana potensi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari kegiatan produksi tahu di Industri Kecil “UD.X” Desa Sidojangkung, Kecamatan Menganti dengan kajian *Life Cycle Assesment* (LCA)?
3. Bagaimana alternatif bahan bakar pada produksi tahu di Industri Kecil “UD.X” Desa Sidojangkung, Kecamatan Menganti, Gresik?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan adanya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui proses produksi tahu di Industri Kecil “UD.X” Desa Sidojukung, Kecamatan Menganti, Gresik
2. Menganalisa potensi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari kegiatan produksi tahu di Industri Kecil “UD.X” Desa Sidojukung, Kecamatan Menganti dengan kajian *Life Cycle Assesment* (LCA)
3. Menentukan alternatif bahan bakar pengurangan dampak lingkungan pada proses produksi tahu di Industri Kecil “UD.X” Desa Sidojukung, Kecamatan Menganti, Gresik

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari adanya penelitian ini adalah:

- a. Bagi Akademisi
 1. Menyediakan informasi yang berkaitan dengan potensi dampak lingkungan yang dihasilkan dari kegiatan produksi tahu di Industri Kecil “UD.X” Desa Sidojukung, Kecamatan Menganti, Gresik
 2. Menyediakan referensi pengembangan penelitian LCA di bidang IKM tahu di Indonesia.
- b. Bagi Masyarakat

Menyediakan informasi tentang potensi dampak lingkungan yang ditimbulkan kegiatan produksi tahu di Industri Kecil “UD.X” Desa Sidojukung, Kecamatan Menganti, Gresik

- c. Bagi Pelaku Usaha

Diharapkan dapat memberikan segala masukan dan pertimbangan sebagai evaluasi pengurangan dampak lingkungan pada proses produksi tahu di Industri Kecil “UD. X” Desa Sidojukung, Kecamatan Menganti, Gresik

1.6 Batasan Penelitian

Batas lingkup penelitian ini adalah:

1. Lokasi penelitian di Industri Kecil tahu “UD.X” Desa Sidojukung, Kecamatan Menganti, Kabupaten Gresik
2. Potensi dampak lingkungan ditinjau dari 8 kelompok kategori dampak lingkungan pada metode CML-IA (*baseline*) yaitu: *Acidification, Eutrophication, Depletion of abiotic resources, Climate change, Human toxicity, Ecotoxicity, Ozone layer depletion, dan Photochemical oxidation.*
3. Menganalisis 3 dampak lingkungan dengan nilai paling besar
4. Batasan analisis atau *scope* pada penelitian ini *gate to gate* yaitu pada tahap proses produksi tahu
5. Analisis data menggunakan metode *Life Cycle Assessment (LCA)* dengan metode *CML-IA (baseline)*.
6. *Life Cycle Inventory* yang diperlukan pada penelitian ini yaitu data konsumsi energi dan material pada proses pembuatan tahu.
7. Dampak lingkungan akan dianalisis dengan *software* SimaPro 9.3
8. Fungsi unit yang digunakan adalah 1 kg tahu
9. Uji perbandingan nilai dilakukan pada emisi gas CO₂ yang dihasilkan dari penggunaan energi listrik menggunakan metode IPCC *Guidelines* 2006.
10. Alternative bahan bakar ditinjau dari potensi pembentukan biogas pada volume limbah cair tahu

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Tahu

Industri merupakan suatu usaha untuk mengolah bahan baku menjadi sesuatu yang bisa digunakan dan dimanfaatkan melalui proses produksi dengan jumlah besar yang diperoleh dengan mutu setinggi-tingginya (Darsih, dkk., 2017). Industri kecil mempunyai peran yang penting untuk mendorong pembangunan daerah, khususnya di pedesaan. Pembangunan di suatu daerah memiliki tujuan untuk memenuhi target dan sasaran pembangunan yang telah diselaraskan dengan potensi pada daerah tersebut. Namun, industri kecil belum melaksanakan fungsinya secara maksimal dikarenakan adanya kendala yang dialami seperti teknologi, teknik produksi, pemasaran, bahan baku, dan manajemen (Darsih, dkk., 2017)

Tahu merupakan salah satu bahan makanan yang biasanya dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia (Rosita, dkk., 2019). Tahu mengandung gizi cukup baik dengan harga yang terjangkau (Sholikhah, 2017). Hal ini membuat industri tahu mampu berkembang pesat sehingga memunculkan sentra industri tahu yang banyak berdiri di Indonesia, salah satunya adalah industri tahu “UD. X” Desa Sidojangkung, Kecamatan Menganti. Industri tahu merupakan suatu industri yang mengolah kacang kedelai dengan melalui berbagai tahapan proses hingga menghasilkan tahu (Rosita, dkk., 2019). Industri tahu mampu memberikan nilai tambah pada komoditas kedelai. Nilai tambah tersebut dapat memberikan pengaruh peningkatan pada perekonomian masyarakat dari suatu daerah.

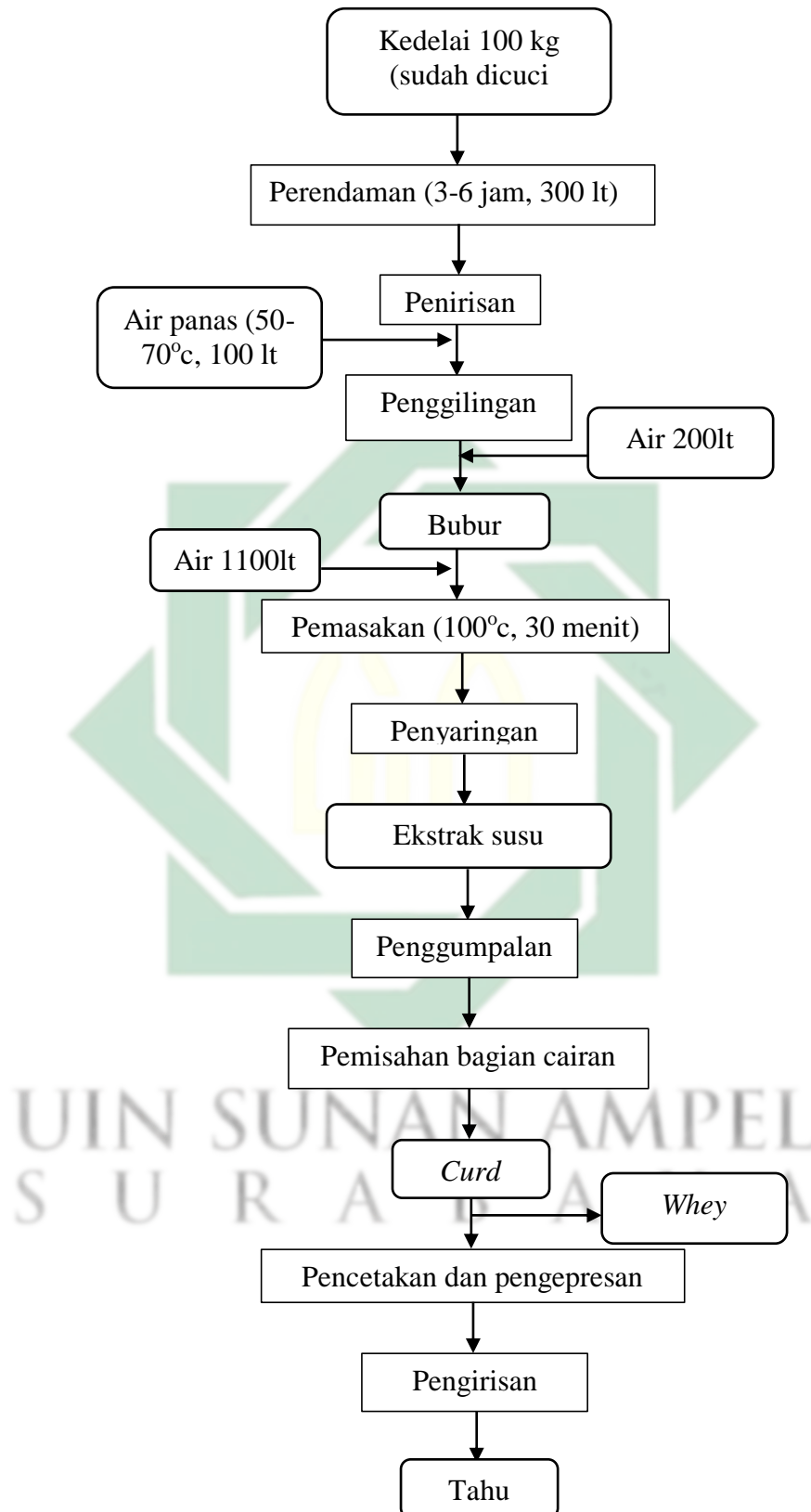
Industri tahu “UD. X” yang berlokasi di Desa Sidojangkung, Kecamatan Menganti ini merupakan industri dengan skala kecil. Hal ini sejalan dengan Badan Pusat Statistik, 1998 yang mengelompokkan industri berdasarkan jumlah pekerjanya, dimana untuk industri kecil memiliki jumlah pekerja sebanyak 5 hingga 19 orang. “UD. X” tersebut memiliki jumlah pegawai sebanyak 17 orang dengan kapasitas produksi 800 kg kedelai setiap harinya.

2.2 Proses Produksi Tahu

Proses pembuatan tahu dilakukan secara kontinyu. Pada umumnya, tahu dibuat dengan cara mengekstraksi protein, lalu memprosesnya hingga menjadi padatan protein (Sayow, dkk., 2020). Secara umum, tahap produksi tahu industri kecil adalah sama, apabila ada perbedaan maka hal ini didasarkan pada urutan proses maupun jenis cairan penggumpal protein yang digunakan. Tahapan pembuatan tahu adalah pencucian, perendaman, penggilingan, pemasakan, penyaringan, penggumpalan, pengendapan, pencetakan, dan pengepresan. Berikut akan disajikan diagram alir proses pembuatan tahu secara sederhana pada Gambar 2.1



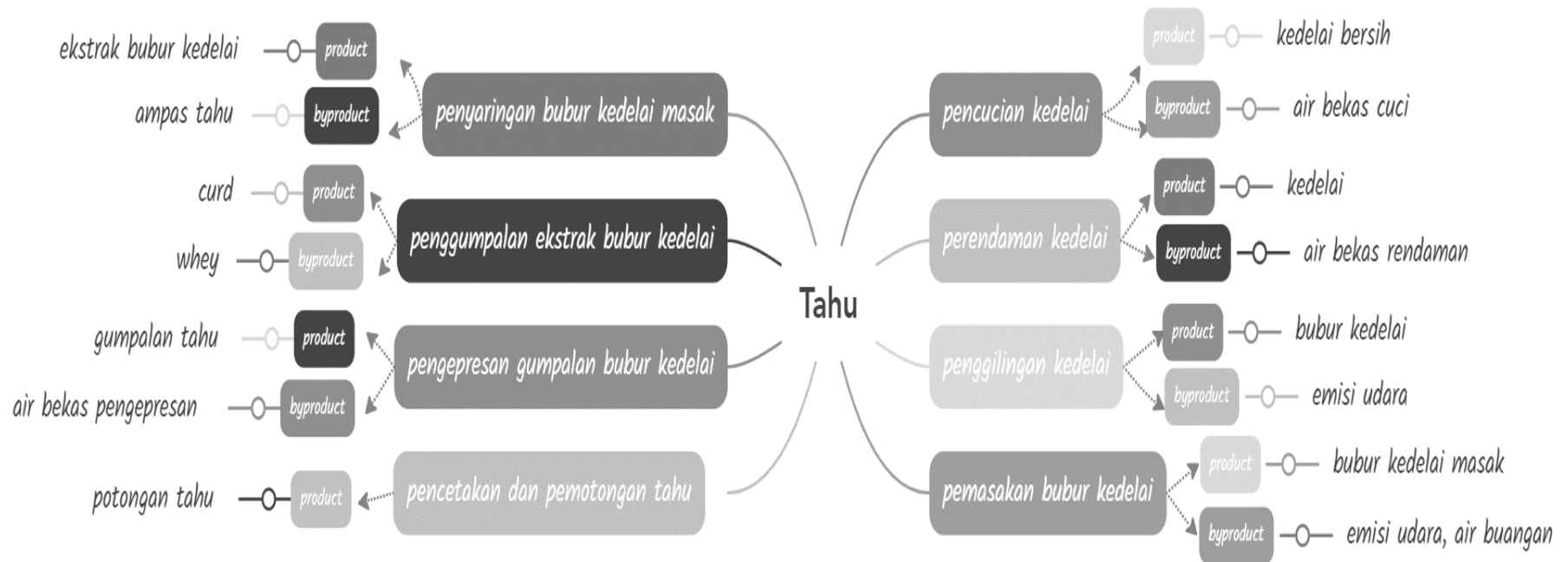
UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A



Gambar 2.1 Diagram alir proses pembuatan tahu secara sederhana

(Sumber: Indrasti dan Fauzi, 2009)

Secara umum, pada setiap tahapan produksi tahu menghasilkan produk yang akan digunakan untuk proses selanjutnya dan *byproduct* atau hasil samping. Berikut merupakan gambaran peta pikiran proses produksi tahu dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Mind mapping proses produksi tahu

(Sumber: hasil analisis, 2022)

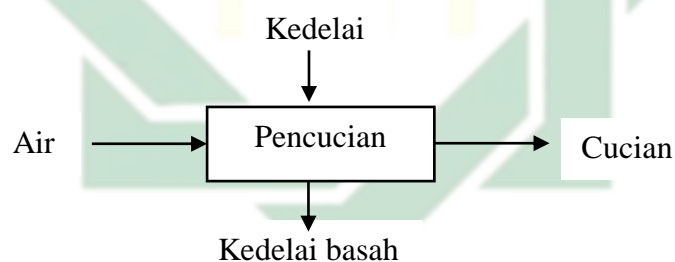
Secara lebih rinci, berikut penjelasan proses produksi tahu (Sayow, dkk., 2020;Indrasti dan Fauzi, 2009).

1. Pemilihan biji kedelai atau penyortiran

Pemilihan bahan baku kedelai merupakan tahapan awal pada proses produksi tahu, tujuan penyortiran ini adalah agar kualitas tahu yang dihasilkan tetap terjaga. Oleh karena itu, dipilih kedelai yang belum lama atau baru tersimpan.

2. Pencucian biji kedelai

Pencucian dilakukan untuk tujuan menghilangkan kotoran yang menempel pada biji kedelai. Jumlah air bersih yang digunakan pada proses pencucian tergantung dari kedelai yang akan digunakan. Pencucian dilakukan dengan menggunakan air hingga bersih agar dapat menghilangkan kotorannya baik pasir, tanah, dan sebagainya. Secara umum, sistem kesetimbangan massa pada proses pencucian dapat dilihat pada Gambar 2.3



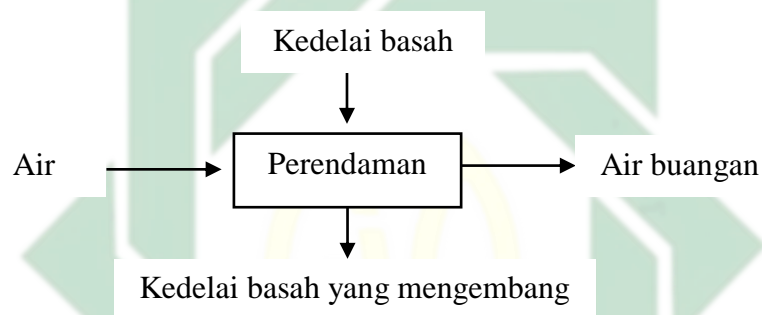
Gambar 2.3 Sistem kesetimbangan massa pada proses pencucian

(Sumber: Indrasti dan Fauzi, 2009)

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa sisa air cucian masih mengandung sisa bahan kedelai, namun *loss* yang terjadi dianggap tidak signifikan, kotoran yang terbawa oleh air mengandung zat organik yang dapat menyebabkan bau busuk apabila dibiarkan dan air menjadi hitam. Untuk menyiasati penggunaan air bersih, penggunaan air sebaiknya tidak dilakukan dengan air mengalir. Pencucian dapat dilakukan dengan 2 wadah, air pada wadah pertama langsung dibuang, dan air pada wadah kedua masih dapat dipakai lagi (Indrasti dan Fauzi, 2009).

3. Perendaman biji kedelai

Perendaman biji kedelai ini bertujuan untuk melunakkan struktur sel kedelai sehingga mampu mengurangi energy yang dibutuhkan saat proses penggilingan dan mampu mempermudah ekstraksi sari dari ampasnya. Proses perendaman dengan air bersih biasa dilakukan berkisar selama 4 hingga 10 jam ditambahkan air sebanyak 300 liter. Pada proses ini, kedelai juga dibersihkan dari ranting-ranting yang menempel, kulit, dan daunnya. Secara umum, sistem kesetimbangan massa pada proses perendaman dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Kesetimbangan massa pada proses perendaman

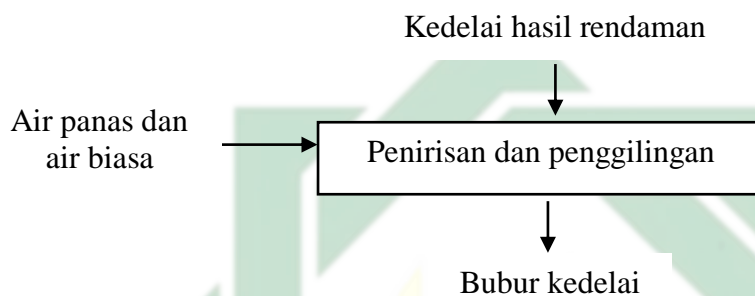
(Sumber: Indrasti dan Fauzi, 2009)

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa air sisa pada tahap perendaman ini dibuang. Kotoran yang terbawa oleh air mengandung zat organik yang dapat menyebabkan bau busuk apabila dibiarkan dan air menjadi hitam. Jika hal tersebut terus menerus dilakukan dan dibiarkan saja, maka dapat mengganggu lingkungan sekitarnya. Untuk menyiasati hal tersebut, maka dapat dilakukan penyaringan kembali pada saat sisa air rendaman dibuang sehingga potongan kedelai dapat diambil. Selain itu juga dapat dilakukan pemanfaatan kembali hasil penyaringan tersebut untuk proses kembali atau pakan ternak (Indrasti dan Fauzi, 2009).

4. Penirisan dan Penggilingan biji kedelai

Biji kedelai yang sudah direndam selanjutnya ditiriskan dan digiling menggunakan mesin penggiling hingga menjadi bubur kedelai. Pada tahap penirisan ditambahkan air panas sebanyak 100 liter dengan suhu $50^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya pada proses penggilingan juga ditambahkan air

200 liter. Tujuan dari proses penggilingan adalah memperkecil ukuran partikel kedelai guna mempermudah ekstraksi protein pada bubur atau susu kedelai. Penggilingan biasa dilakukan dengan menggunakan mesin agar didapatkan hasil yang halus. Penambahan air pada tahap ini memiliki tujuan mempermudah proses penggilingan dan mengeluarkan bubur kedelai dari mesin. Secara umum, sistem kesetimbangan massa pada proses penirisan dan penggilingan dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Sistem kesetimbangan massa pada proses penirisan dan penggilingan

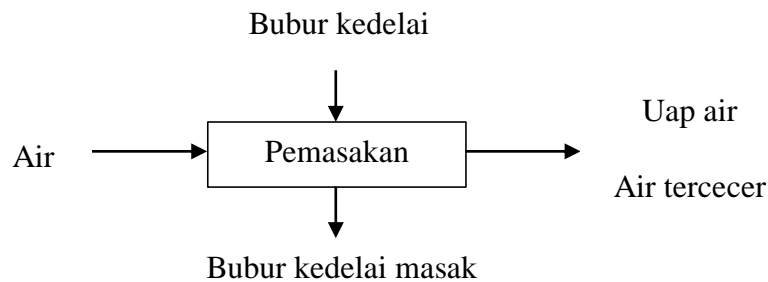
(Sumber: Indrasti dan Fauzi, 2009)

Pada tahap penggilingan mempunyai potensi tercecernya kedelai dikarenakan corong mesin yang melebihi kapasitas penggilingan. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan modifikasi mesin penggilingan pada bagian corong sehingga mampu menampung banyaknya kedelai. Hal ini dilakukan agar bahan baku kedelai yang digunakan tidak tercecer dan terbuang serta meningkatkan rendemen (Indrasti dan Fauzi, 2009).

5. Pemasakan bubur kedelai

Kedelai yang telah digiling hingga menjadi bubur, dimasukkan pada suatu bak masak. Air bersih sebanyak 1100 liter secara terus menerus pada suhu 100°C dalam waktu ≤ 30 menit ditambahkan sehingga bubur kedelai menjadi encer dan tidak berbuih maka dilakukan pengadukan untuk meratakan panas dan menghindari gosong pada bagian bawah. Pemasakan bubur kedelai ini dilakukan di atas tungku hingga mendidih selama 5 menit agar tidak terlalu panas dan menyebabkan bubur kedelai menjadi sangit. Tujuan dari proses pemasakan ini salah satunya yaitu untuk mempermudah proses ekstraksi protein dan menambah keawetan

pada tahu. Secara lebih lanjut, sistem kesetimbangan massa pada proses pemasakan bubur kedelai dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Sistem Kesetimbangan Massa Proses Pemasakan

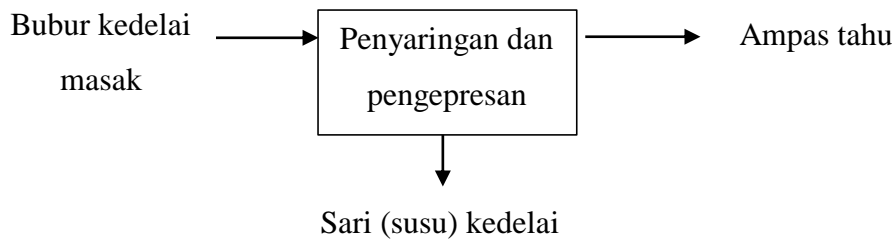
(Sumber: Indrasti dan Fauzi, 2009)

Pembakaran kayu pada proses pemasakan dapat mengakibatkan terjadinya jelaga pada genteng atau langit-langit rumah. Pada tahap ini juga mengakibatkan adanya ceceran air. Beberapa opsi yang dapat dilakukan pada tahap tersebut adalah menghindari air yang tumpah saat proses pengadukan dengan melakukan pengadukan secara berhati-hati serta input bahan yang tidak melebihi kapasitas bak pemasakan. Opsi berikutnya yaitu meletakkan tungku di ruang produksi sehingga arah api tidak ke samping, mendesain tungku yang hemat energy yang memiliki cerobong asap ke atas agar asap yang dihasilkan tidak masuk ke langit-langit rumah warga serta memanfaatkan batok atau serabut kelapa sebagai pengganti kayu bakar dalam pemanasan awal (Indrasti dan Fauzi, 2009). Alternative bahan bakar yang dapat digunakan yaitu penggunaan biogas yang dihasilkan dari pengolahan limbah cair tahu.

6. Penyaringan dan pengepresan ampas bubur kedelai

Setelah proses pemasakan, bubur kedelai selanjutnya disaring agar didapatkan sari kedelainya. Penyaringan ini dilakukan menggunakan kain blacu berwarna putih dengan meletakkan bubur kedelai di atas kain yang telah dipasang di atas bak penampung bubur kedelai. Kemudian dilakukan pengepresan dengan memberi penjepit dan beban untuk mendapatkan hasil perasan air dari bubur kedelai. Ampas basah yang dihasilkan dari proses ini selanjutnya dilakukan pengepresan. Ampas

basah yang dihasilkan kurang lebih sebesar 70 hingga 90% dari bobot kering kedelai. Secara lebih lanjut, sistem kesetimbangan massa pada proses pemasakan ini dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Sistem kesetimbangan massa pada proses pemasakan

(Sumber: Indrasti dan Fauzi, 2009)

Terbentuknya ampas tahu apabila dibiarkan dapat menyebabkan bau yang tidak sedap dan menjadi limbah semi padat yang berpotensi mencemari lingkungan. Opsi produksi yang dapat dilakukan antara lain, pengepresan ampas tahu sampai terbentuk tahu cetak, pemanfaatan ampas tahu sebagai pakan ternak (Indrasti dan Fauzi, 2009).

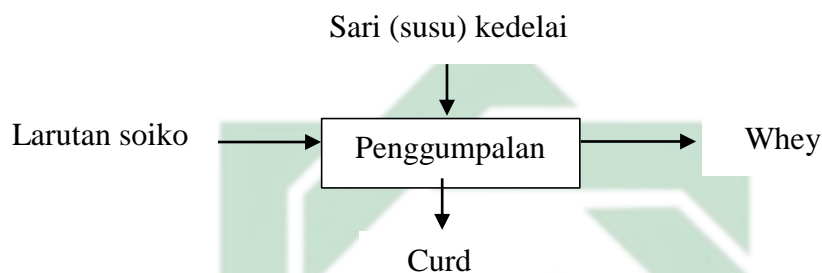
7. Pengasaman atau penggumpalan

Proses pengasaman biasa disebut dengan penggumpalan tahu. Bahan untuk penggumpalan ini biasanya adalah batu tahu (CaSO_4), asam cuka (CH_3COOH), ataupun asam bibit. Penggumpalan ini dilakukan dalam suhu 50°C . Selanjutnya didiamkan hingga membentuk gumpalan besar. Proses menggumpalnya sari kedelai ini disebut dengan denaturasi.

Denaturasi merupakan proses hilangnya struktur tersier dan sekunder protein atau asam nukleat yang diakibatkan oleh tekanan eksternal ataupun senyawa seperti asam kuat atau basa, garam anorganik terkonsentrasi seperti pelarut organik (alcohol atau kloroform), atau panas (Aditya, dkk., 2015). Terjadinya denaturasi protein disebabkan oleh beberapa factor antara lain pemanasan, pengadukan, asam basa atau garam. Pada masing-masing factor tersebut mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap denaturasi protein. Pada saat proses penambahan asam dan pemanasan, akan terjadi koagulasi dan protein akan terdenaturasi lebih lanjut pada saat proses pemanasan (Setiani, dkk., 2021).

Pengendapan protein oleh CH_3COOH terjadi cukup cepat disebabkan oleh adanya panas. Pertama akan terjadi presipitasi atau pembentukan presipitat atau partikel kecil yang melayang di dalam larutan dan mampu mengendap dalam waktu singkat (Suwedo, 1994 dalam Triyono, 2010).

Secara lebih lanjut, sistem kesetimbangan massa pada proses pengasaman dan penggumpalan ekstrak susu kedelai dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Sistem kesetimbangan massa pada proses penggumpalan

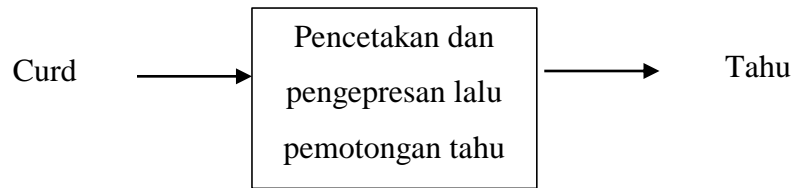
(Sumber: Indrasti dan Fauzi, 2009)

Pada tahap penggumpalan ini terjadi pembentukan *whey* yang merupakan cairan basi dan dapat menyebabkan pencemaran bau dan lahan apabila dibiarkan atau dibuang langsung ke sungai dan sekitarnya. Limbah organik yang terkandung dalam cairan tersebut dapat menyebabkan berbagai penyakit kulit dan pencemaran sungai. Beberapa opsi penanganan yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan kembali *whey* menjadi *nata de soya*, selain itu *whey* juga dapat digunakan sebagai pembuatan membrane semi konduktor (Indrasti dan Fauzi, 2009).

8. Pencetakan, Pengepresan, dan Pematangan

Gumpalan tahu yang sudah terbentuk selanjutnya dituang ke cetakan yang disediakan. Pada cetakan tersebut telah diletakkan alas berupa kain yang menutup seluruh permukaan. Pengepresan dan pencetakan dilakukan. Pembungkusan dengan kain blacu yang besar selanjutnya dipress oleh cetakan kisaran 1 x 2 meter selanjutnya dilakukan

pemotongan. Secara lebih lanjut, sistem kesetimbangan masa pada tahap ini dapat dilihat pada Gambar 2.9



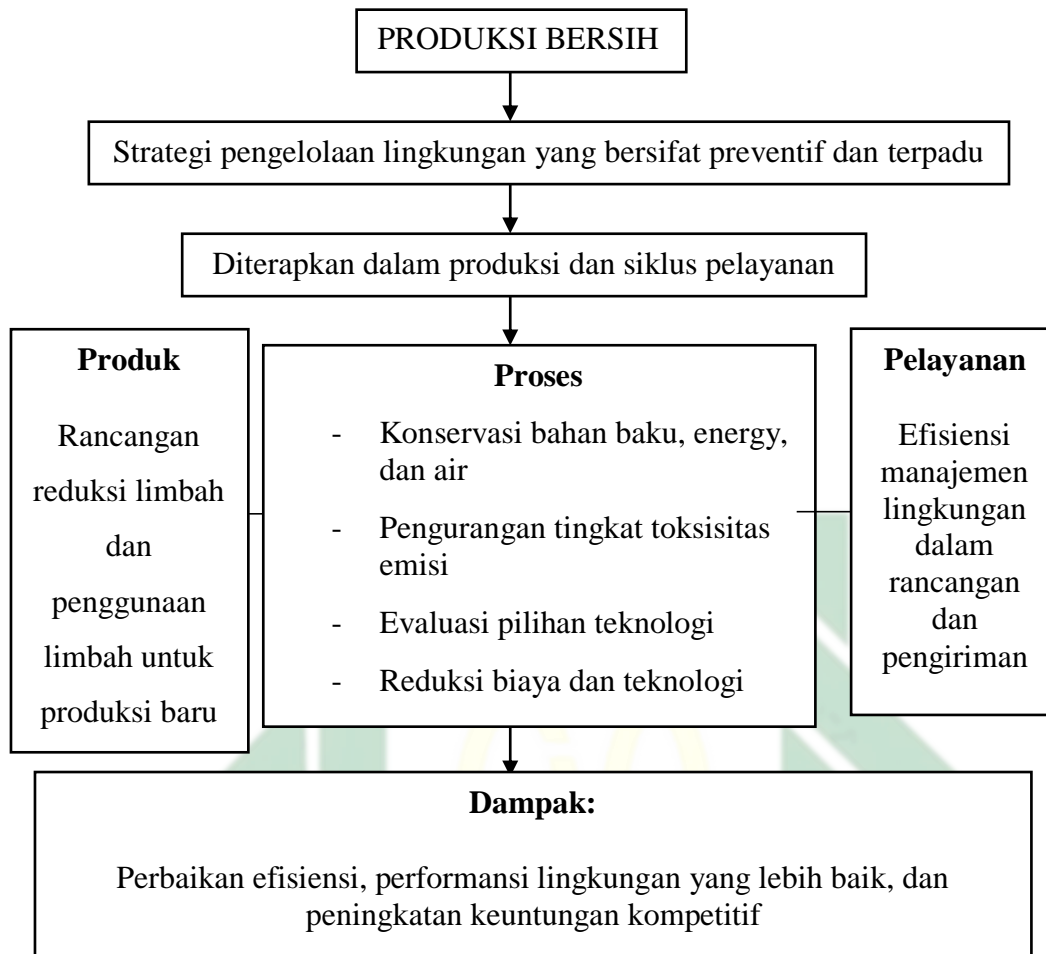
Gambar 2.9 Sistem Kesetimbangan Massa pada tahap pencetakan, pengepresan, dan pemotongan

(Sumber: Indrasti dan Fauzi, 2009)

2.3 *Cleaner Production*

Produksi bersih atau *cleaner production* merupakan strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat *preventif* dan terpadu yang perlu diterapkan secara berkelanjutan pada proses produksi dan daur hidup yang bertujuan untuk mengurangi risikonya terhadap lingkungan dan manusia. Tujuan produksi bersih adalah untuk meningkatkan efisiensi sumber daya yang digunakan dan meningkatkan produktivitas agar dapat melakukan performansi lingkungan yang lebih baik dalam pengelolaan lingkungan melalui pengurangan limbah dan emisi yang dihasilkan dari siklus hidup suatu produk (UNIDO 2002 dalam Indrasti dan Fauzi, 2009). Berikut Gambar 2.10 ditunjukkan definisi dan ruang lingkup produksi bersih

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A



Gambar 2.10 definisi dan ruang lingkup produksi bersih

(Sumber: UNIDO 2002 dalam Indrasti dan Fauzi, 2009)

Secara garis besar, pemilihan penerapan produksi bersih dikelompokkan menjadi 5 (lima) bagian menurut Indrasti dan Fauzi, 2009 yaitu:

1. *Good house-keeping*

Mencakup tindakan administrative, procedural, dan institusional yang bisa digunakan perusahaan agar dapat mengurangi terbentuknya limbah dan emisi. *Good operating practice* mencakup:

- a. Pengembangan program *cleaner production* atau CP
- b. Pengembangan sumber daya manusia
- c. Pencegahan kehilangan bahan atau material
- d. Tata cara penanganan dan investasi bahan
- e. Tata cara penghitungan biaya
- f. Pemisahan limbah berdasarkan jenisnya, dan

g. Penjadwalan produksi

2. Perubahan material input

Memiliki tujuan mengurangi bahan berbahaya dan beracun yang digunakan pada proses produksi sehingga dapat menghindari terbentuknya limbah bahan berbahaya dan beracun pada proses produksi. Perubahan material input termasuk substitusi dan pemurnian bahan

3. Perubahan teknologis

Melibatkan modifikasi proses atau peralatan yang digunakan untuk pengurangan emisi dan limbah. Perubahan teknologi dimulai dari yang sederhana dan biaya yang murah sampai dengan perubahan yang membutuhkan investasi tinggi, seperti penggunaan peralatan otomatis.

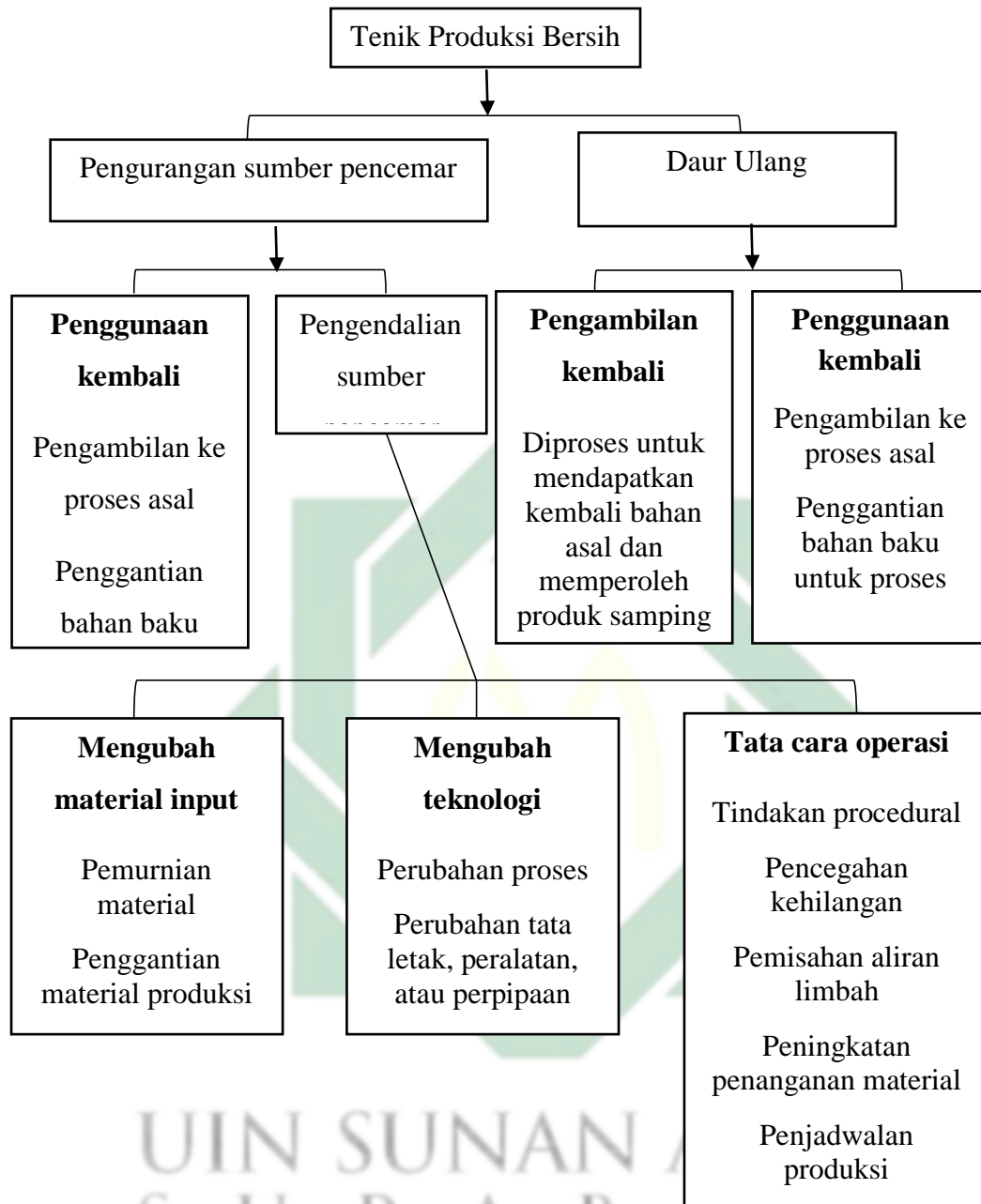
4. Perubahan produk

Meliputi konservasi produk, substitusi produk, dan perubahan komposisi produk

5. *On-site reuse*

Suatu upaya untuk menggunakan kembali bahan yang terkandung pada limbah yang dihasilkan. Penggunaan kembali dapat dilakukan pada proses awal atau sebagai material input untuk proses yang lain.

Keseluruhan teknik tersebut secara garis besar dan perlu diperhatikan adalah mengurangi penyebab timbulnya limbah agar dapat mencapai keberhasilan produksi bersih. Secara lebih lengkap penjelasan ditunjukkan pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 Teknik-teknik produksi bersih

(Sumber: USAID, 1997 dalam Indrasti dan Fauzi, 2009)

Aplikasi produksi bersih pada suatu industri dapat diterapkan pada unsur-unsur berikut (Indrasti dan Fauzi, 2009):

1. Proses produksi

Penerapan produksi bersih pada proses produksi meliputi peningkatan efektivitas dan efisiensi pemakaian bahan baku dan energi serta mengurangi penggunaan bahan berbahaya dan beracun sehingga dapat mengurangi toksisitas emisi dan limbah yang dikeluarkan

2. Produk

Mengupayakan pengurangan dampak dari keseluruhan daur hidup produk mulai dari bahan baku hingga produk tidak digunakan

3. Jasa

Menitikberatkan pada upaya proses 3R (*reuse, recycle, dan reduce*) secara menyeluruh pada setiap kegiatannya.

2.4 *Life Cycle Assesment*

2.4.1 Definisi *Life Cycle Assesment*

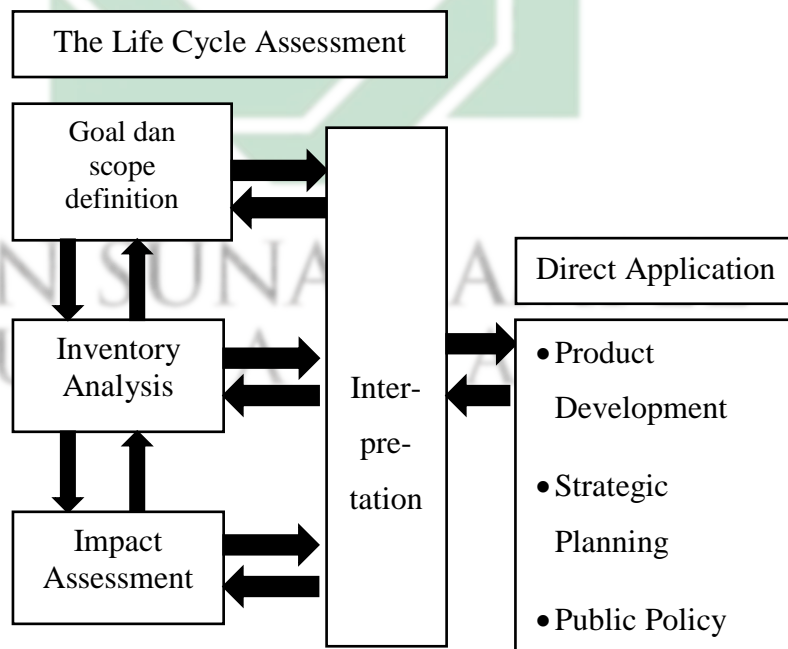
Life Cycle Assesment atau LCA merupakan salah satu *tools* atau alat yang bertujuan untuk mengevaluasi potensi dampak lingkungan dari suatu produk atau aktivitas sepanjang waktu hidupnya (Kurniawati, *et al.*, 2019). LCA dapat memperluas visi produsen dengan memberi banyak pandangan mengenai dampak lingkungan dari proses produksi (Salomone, 2018). LCA merupakan metodologi yang digunakan untuk menilai dan menganalisis beban lingkungan serta potensi dampak lingkungan dari suatu bahan, produk, atau layanan sepanjang masa pakainya dari ekstraksi dan pemrosesan bahan mentah melalui manufaktur, transportasi, penggunaan, dan pembuangan akhir.

Life cycle studies telah banyak diterapkan pada sektor-sektor swasta atau pemerintah guna peningkatan dan pengembangan. Berikut merupakan beberapa manfaat *Life Cycle Assesment* (LCA) menurut Pujadi dan Yola, 2013 antara lain: 1) pengambilan suatu keputusan yang menguntungkan terhadap pemilihan produk beserta sistem produksinya, 2) mengidentifikasi efek utama bagi lingkungan dari

tahapan daur hidup produk, 3) mempersiapkan langkah penanggulangan berkelanjutan dan berlandaskan lingkungan.

Dikutip dari Ula, dkk., 2021 mengatakan bahwa terdapat beberapa kelebihan dari LCA, diantaranya yaitu: 1) LCA dapat menilai suatu sistem dengan hasil yang komprehensif dan luas, 2) LCA juga mengusulkan hasil analisis dari suatu siklus hidup yang selanjutnya digunakan untuk perbaikan sistem dengan hasil analisis yang diperoleh berupa dampak lingkungan (Baumann dan Tillman, 2004 dalam Ula, dkk., 2021), dan 3) LCA mampu untuk menunjukkan fungsi lingkungan yang didapatkan melalui pengelolaan limbah melalui metode atau cara tertentu (Cherubini, *et al.*, 2009).

Menurut definisi yang diberikan dalam *International Organization for Standardization (ISO)* bahwa LCA terdiri dari definisi tujuan dan ruang lingkup penilaian, melakukan inventarisasi, penilaian dampak, dan interpretasi hasil. ISO 14040 menunjukkan hubungan di antara keempat fase ini seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Empat fase iteratif penilaian siklus hidup dan aplikasinya

(Sumber:Kun-Mo dan Inaba, 2004)

2.4.2 Goal and Scope

Tujuan dan ruang lingkup adalah fase pertama dari penilaian siklus hidup (LCA). Pada fase ini akan didefinisikan metode dan tujuan yang tercakup di dalam dampak lingkungan dari suatu *life cycle*, yang kemudian akan dipertimbangkan pada saat proses pengambilan keputusan (Zulfikar, 2016). Pada langkah untuk penentuan tujuan (*goal*) dilakukan dengan lebih deskriptif. Berdasarkan Putri, 2019 bahwa tujuan harus menunjukkan alasan dilakukannya penelitian.

Ruang lingkup LCA harus ditentukan dengan jelas untuk memastikan kesesuaian dengan tujuan yang ditetapkan. Ruang lingkup dapat disesuaikan berdasarkan informasi yang dikumpulkan selama analisis. Penting untuk mengetahui berbagai data yang diperlukan dalam fase ini, seperti batasan sistem yang akan diamati, proses yang diamati, penentuan produk, data yang dibutuhkan, metode interpretasi, dan pelaporan (Zulfikar, 2016). Menurut ISO 14044 mengatakan bahwa terdapat beberapa batasan sistem yang digunakan pada studi LCA, batasan-batasan tersebut yaitu:

1. *Cradle to grave*
yaitu penilaian yang dimulai ekstraksi *raw material* melalui tahapan produksi, rantai produksi energi, transportasi, penggunaan hingga siklus hidup akhirnya.
2. *Cradle to gate*
yaitu penilaian dilakukan meliputi seluruh proses mulai dari ekstraksi *raw material* melalui tahap produksi.
3. *Gate to grave*
yaitu penilaian dilakukan meliputi proses penggunaan pasca produksi hingga fase akhir dari siklus hidup produk.
4. *Gate to gate*
yaitu penilaian dilakukan meliputi proses dari tahap produksi saja. Pada penilaian ini digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari proses produksi.

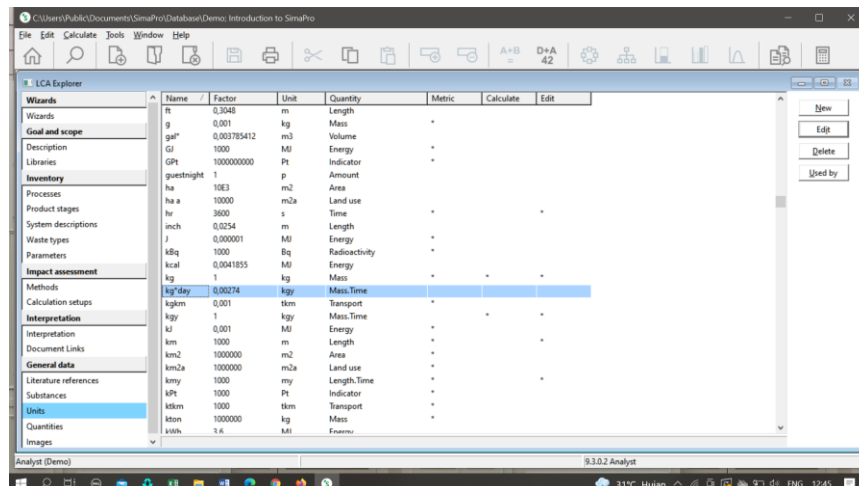
2.4.3 *Functional Units*

Satuan fungsional atau *Functional units* adalah ukuran fungsional yang digunakan ketika meninjau dampak lingkungan dari beberapa sistem produk. Tujuan dari unit fungsional adalah untuk menyediakan unit referensi data persediaan yang dinormalisasi (Kurniawati, *et al.*, 2019). Unit fungsional mengacu pada produk, layanan, atau sistem yang dampaknya dihitung dengan penilaian siklus hidup (*life-cycle assessment/LCA*). Contoh umum unit fungsional terkait makanan adalah 1 kg daging sapi, 100 kalori makanan, atau 1 ha lahan. Pilihan unit fungsional mempengaruhi hasil LCA saat membandingkan hasil LCA dengan unit fungsional yang berbeda. Unit fungsional didefinisikan dalam fase pertama dari studi penilaian siklus hidup – yaitu definisi tujuan dan ruang lingkup (Weidema, *et al.*, 2004).

Unit fungsional yang berbeda telah digunakan dalam literatur untuk studi LCA (Ziyadi, *et al.*, 2017):

- a) Fisik: unit fungsional fisik atau geometris ini memperhitungkan dimensi proyek, seperti: panjang (mil atau kilometer), (panjang lajur (lajur-mil atau kilometer), volume (bahan), dan lainnya. Unit fungsional ini merupakan yang paling umum digunakan dalam literature. Tergantung dari tujuan studi, unit fungsional dapat disesuaikan.
- b) Berbasis struktural atau kinerja: unit fungsional ini memperhitungkan faktor-faktor kinerja seperti lalu lintas (ADT/AADT), beban (*Equivalent single axle load* atau ESAL), dan panjang jalur kinerja. Misalnya lajur per mil.
- c) Disetahunkan: hasil yang diperoleh dari unit fungsional terkait geometri dinormalisasi dengan periode analisis.

Berikut merupakan *functional units* yang tersedia di *software* SimaPro, ditunjukkan pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 Functional units di software Simapro 9.3.0

(Sumber: software Simapro 9.3.0 demo)

2.4.4 Analisis Inventori

Setelah tahap pertama yaitu penentuan *goal and scope* selesai, langkah selanjutnya adalah analisis inventori. Tahap inventori analisis ini merupakan tahapan pengumpulan data dan perhitungan *input* dan *output* (Ula, dkk., 2021). Analisis inventaris siklus hidup (LCI) melibatkan pengumpulan dan perhitungan data untuk mengukur *input* dan *output* bahan dan energi yang terkait dengan suatu produk yang sedang dianalisis (Kun-Mo dan Inaba, 2004).

Data yang dikumpulkan dan diverifikasi untuk semua unit proses di setiap produk sekarang diproses untuk memudahkan perhitungan analisis persediaan siklus hidup. Data *input* dan *output* untuk setiap unit proses dibagi dengan berat atau kandungan energi dari produk (keluaran utama). Pembagian ini menghasilkan parameter *input* dan *output* dinyatakan sebagai per satuan massa atau energi *output* utama dari unit proses (Kun-Mo dan Inaba, 2004).

Analisis inventaris melibatkan pengumpulan data dan prosedur perhitungan untuk mengukur *input* dan *output* yang relevan dari sebuah sistem produk. Data untuk setiap unit proses dalam batas sistem dapat diklasifikasikan, termasuk: *input* energi, bahan mentah, bahan

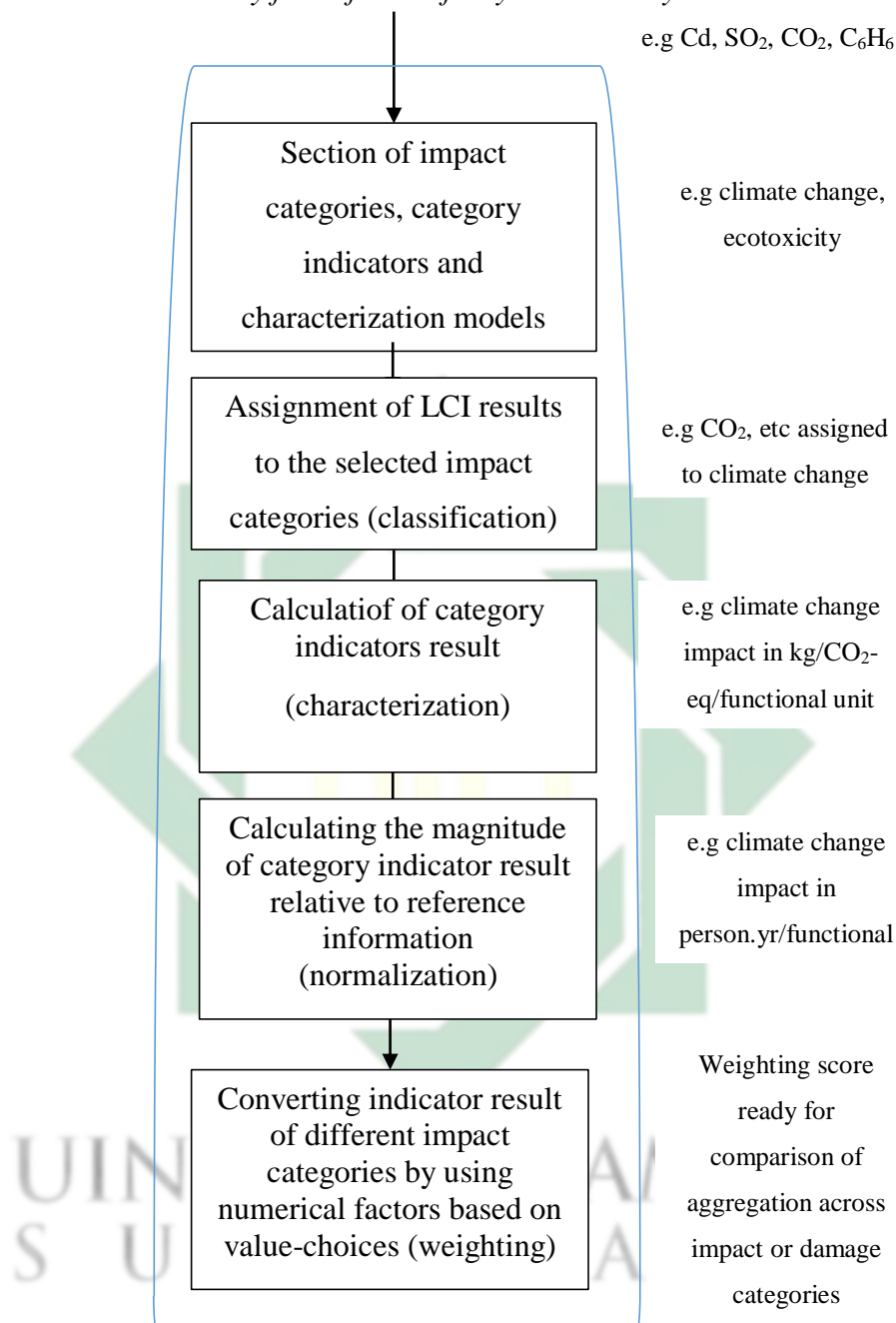
tambahan, masukan fisik lainnya, produk, produk sampingan dan limbah, emisi ke udara, pembuangan ke air dan tanah, dan aspek lingkungan lainnya (Standard International ISO 14040, 2006).

2.4.5 Analisis *Impact Assessment*

Fase ketiga dari penilaian siklus hidup (LCA) adalah penilaian dampak siklus hidup (LCIA). Langkah-langkah dari penilaian dampak adalah klasifikasi emisi ke dalam kategori dampak yang berbeda, karakterisasi dampak titik tengah, dan karakterisasi kerusakan (titik akhir). Tujuan pada fase ini adalah untuk menerjemahkan dasar dari inventarisasi siklus hidup ke dalam kontribusi potensialnya terhadap dampak lingkungan yang dipertimbangkan dalam LCA (Hauschild dan Huijbregts, 2015). Berbagai metode LCIA tersedia. Karena banyaknya sumber ketidakpastian, dan kekhususan yang berbeda dari setiap metode, masih belum terdapat metode referensi yang digunakan oleh semua praktisi LCA. Menurut standar ISO 14040, LCIA terdiri dari lima langkah seperti yang diilustrasikan (Hauschild dan Huijbregts, 2015), seperti dijelaskan dalam Gambar 2.14

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Elementary flows from Life Cycle Inventory



Gambar 2.14 Lima langkah penilaian dampak siklus hidup

(Sumber: Hauschild dan Huijbregts, 2015)

Terdapat tiga langkah dalam penilaian dampak, yaitu: klasifikasi emisi, karakterisasi titik tengah, dan karakterisasi *damage assessment* (Joliet, *et al.*, 2016).

1. Klasifikasi

Pada tahap ini dilaksanakan pengelompokan data hasil dari *inventory* ke dalam *impact category* yang sesuai (Zulfikar, 2016). Menurut Jolliet, *et al.*, 2016 mendefinisikan satu set kategori dampak lingkungan titik tengah untuk jenis masalah lingkungan yang diidentifikasi.

Emisi kemudian diklasifikasikan menjadi setiap kategori titik tengah yang relevan di mana mereka memiliki efek. Sebagai contoh, *nitrous oxide* (N₂O), karbon dioksida (CO₂), dan metana (CH₄) semuanya berkontribusi terhadap dampak pemanasan global, sedangkan partikulat (PM), nitrogen oksida (NO_x), dan sulfur dioksida (SO₂) semuanya berkontribusi terhadap dampak *respiratory anorganic*. Zat tertentu dapat berkontribusi pada beberapa kategori dampak, seperti metana, yang berkontribusi terhadap perubahan iklim dan pembentukan oksidan fotokimia. Kategori dampak titik tengah dapat memberikan saran untuk dampak potensial yang perlu dipertimbangkan.

2. Midpoint Characterization

Characterization merupakan kuantifikasi yang menunjukkan besar atau kecilnya nilai dalam sebuah substansi yang dilihat dampaknya pada setiap kategori dampak lingkungan (Ain, 2021). Pada karakterisasi, emisi akan dibobotkan untuk mewakili kontribusinya pada setiap kategori titik tengah. Faktor pembobot ini disebut dengan factor karakterisasi (Jolliet, *et al.*, 2016).

Misalnya, semua emisi gas rumah kaca (CO₂, CH₄, NO₂, dll.) mungkin dinyatakan sebagai emisi setara CO₂, berdasarkan seberapa besar kontribusi 1 kg terhadap efek rumah kaca relatif terhadap 1 kg CO₂. Untuk kategori pemanasan global, IPCC memberikan faktor karakterisasi untuk gas rumah kaca, yang disebut potensi pemanasan global. Zat rumah kaca umumnya digunakan di LCA, tetapi ini tidak mencerminkan keseluruhan

dampak yang ditimbulkan selama masa pakai zat tersebut (Jolliet, *et al.*, 2016).

3. *Damage Characterization*

Dalam karakterisasi kerusakan, dinilai kontribusi dari setiap kategori titik tengah untuk satu atau lebih kategori kerusakan yang terkait dengan cakupan yang luas. Masing-masing dampak titik tengah dapat berkontribusi pada satu atau lebih kategori kerusakan. Misalnya, kerusakan human health adalah jumlah dari kerusakan yang disebabkan oleh efek *particulate matter*, *human health* yang disebabkan pemanasan global, dan dampak kategori titik tengah terkait *human health* lainnya seperti karsinogen dan oksigen fotokimia.

Selain tiga langkah yang didefinisikan dalam sub-bagian sebelumnya, penilaian dampak dapat mencakup tiga langkah opsional untuk membantu interpretasi dan penarikan kesimpulan: *normalization*, *grouping*, dan *weighting* (Finnveden *et al.* 2000 dalam Jolliet, *et al.*, 2016).

4. *Normalization*

Pada tahap ini dilakukan penyetaraan masing-masing nilai dari *impact category* menggunakan nilai *normalization factor* (Ningrum, dkk., 2020). *Normalization* bertujuan untuk menyeragamkan satuan dari seluruh kategori dampak (Ain, 2021). Hasil yang dinormalisasi dari semua kategori dampak yang dipilih juga dapat ditampilkan dalam satu grafik, karena tidak memiliki perbedaan unit fisik lagi. Ketika hasil dari semua kategori dampak dibandingkan dengan referensi mereka, kemudian dapat dibandingkan dengan satu sama lain dengan lebih mudah, karena dapat dikatakan hasil indikator dampak mana yang berkontribusi kurang atau lebih untuk keseluruhan entitas dari kategori dampak ini (GaBi, 2010).

5. *Grouping*

Pengelompokan adalah proses kualitatif atau semi kuantitatif yang memprioritaskan hasil dengan pemeringkatan. Kategori dampak dapat berupa dikelompokkan menurut kawasan lindung, jenis emisi/sumber daya, atau berdasarkan skala spasial (global, regional, atau lokal). Kategori dampak juga dapat diberi peringkat berdasarkan pada hierarki yang telah ditentukan sebelumnya; misalnya prioritas tinggi, sedang, dan rendah. Prosedur ini merupakan tahap opsional (GaBi, 2010).

6. *Weighting*

Pembobotan adalah proses yang memberikan signifikansi relatif untuk kategori dampak. Signifikansi relatif disebut bobot, dan tindakan memberi bobot disebut pembobotan. *Weighting* dilakukan dengan cara mengalikan *weighting factor* dan *impact category* lalu ditambahkan untuk dihasilkan nilai total (Ain, 2021).

Pembobotan digunakan untuk membandingkan hasil indikator dampak yang berbeda menurut signifikansi mereka. Pembobotan signifikansi kategori dampak dinyatakan dengan faktor bobot. Faktor-faktor pembobotan tersebut dinilai melalui *survey* antara kelompok yang berbeda (misalnya para ahli dengan hierarki, egaliter, atau individu) pendekatan, populasi). Pembobotan juga dapat digunakan untuk mengagregasi dampak tertimbang hasil indikator menjadi hasil skor tunggal (GaBi, 2010).

2.4.6 Interpretasi Hasil dan Penarikan Kesimpulan

Tahap terakhir yang dilakukan untuk penilaian LCA adalah tahap interpretasi data. Pada tahap ini dilakukan penafsiran dari *proses life cycle inventory* (LCI) dan *life cycle impact assessment* (LCIA) (Ain, 2021). Tahap ini mengarah kepada hasil dan kesimpulan dari keseluruhan tahap sebelumnya. Hasil pada tahapan LCA sebelumnya akan dibandingkan dengan tujuan dan lingkup penelitian yang telah disebutkan. Dengan elemen yang paling penting dalam tahap interpretasi adalah validasi (Aniza, 2017).

Interpretasi merupakan fase interpretasi terhadap keseluruhan fase yang telah dilaksanakan. Tahap ini dilakukan untuk menganalisa proses-proses yang mempunyai kontribusi terbesar terhadap indikator dampak lingkungan dengan melakukan analisis kontribusi (Aniza, 2017). Tujuan dilakukannya analisis kontribusi adalah mengetahui proses pada produksi tahu yang mempunyai kontribusi paling dominan. Fase interpretasi harus memberikan hasil yang konsisten dengan tujuan dan ruang lingkup yang telah ditentukan. Pada tahap ini juga harus menjelaskan kekurangan dan memberikan rekomendasi pada objek penilaian (*Standard International ISO 14040, 2006*).

Interpretasi harus menjelaskan fakta bahwa hasil LCIA didasarkan pada pendekatan relatif dan menunjukkan potensi efek lingkungan. Temuan dari interpretasi ini dapat berupa kesimpulan dan rekomendasi kepada pengambil keputusan sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian. Interpretasi siklus hidup juga dimaksudkan untuk memberikan pemahaman penyajian hasil LCA yang mudah dipahami, lengkap, dan konsisten sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian (*Standard International ISO 14040, 2006*).

2.5 Metode CML-IA (baseline)

Metode CML-IA (*baseline*) Metode ini dibuat oleh sekelompok Ilmuwan CML (Pusat Ilmu Lingkungan) Universitas Leiden di Belanda pada tahun 2001 (Acero, *et al.*, 2016). Metode tersebut mengusulkan satu set kategori dampak dan metode karakterisasi dampak untuk langkah penilaian. Metode penilaian dampak CML-IA ditentukan untuk pendekatan titik tengah. Normalisasi disediakan tetapi tidak ada pembobotan atau tambahan. Metode CML-IA *baseline* menjadi yang paling umum digunakan (*Pré Sustainability, 2014*).

Panduan CML Guinée, *et al.*, 2004 memberikan daftar kategori penilaian dampak yang dikelompokkan menjadi:

- a. Kategori dampak wajib (indikator kategori yang digunakan di sebagian besar LCA)

- b. Kategori dampak tambahan (ada indikator operasional, tetapi tidak sering disertakan dalam studi LCA)
- c. Kategori dampak lainnya (tidak ada indikator operasional yang tersedia, oleh karena itu tidak mungkin untuk dimasukkan secara kuantitatif dalam LCA)

Tabel 2.1 berikut menunjukkan *impact category* yang tercakup dalam indikator *baseline*.

Tabel 2. 1 *Impact Category* pada CML-IA *baseline*

Metode: CML-IA (<i>baseline</i>)	
Kelompok kategori dampak	Nama kategori dampak dalam metode
Asidifikasi	<i>Acidification potential - average Europe</i>
Perubahan iklim	<i>Climate change - GWP100</i>
<i>Depletion of abiotic resources</i>	<i>Depletion of abiotic resources - elements, ultimate reserves</i>
	<i>Depletion of abiotic resources - fossil fuels</i>
Ekotoksistasitas	<i>Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP inf</i>
	<i>Marine aquatic ecotoxicity - MAETP inf</i>
	<i>Terrestrial ecotoxicity - TETP inf</i>
Eutrofikasi	<i>Eutrophication – generic</i>
<i>Human toxicity</i>	<i>Human toxicity - HTP inf</i>
Penipisan lapisan ozon	<i>Ozone layer depletion - ODP steady state</i>
<i>Photochemical oxidation</i>	<i>Photochemical oxidation - high Nox</i>

Sumber: Acero, et al., 2016

2.6 Dampak Lingkungan

Menurut Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 mengatakan bahwa dampak lingkungan hidup adalah pengaruh perubahan pada lingkungan hidup yang diakibatkan oleh suatu usaha dan/atau kegiatan. Usaha atau kegiatan yang memiliki potensi menimbulkan dampak signifikan terhadap lingkungan hidup menurut Peraturan Pemerintah RI Nomor 27 Tahun 1999 tentang Analisis Mengenai Dampak Lingkungan, antara lain yaitu: a) perubahan

bentuk lahan dan bentang alam, b) eksploitasi sumber daya alam terbaharui maupun yang tidak terbaharui; c) proses kegiatan yang secara potensial mampu menimbulkan pemborosan, pencemaran, dan kerusakan lingkungan hidup, serta kemrosotan sumber daya alam dan pemanfaatannya, dan lainnya.

2.6.1 Dampak Industri terhadap Lingkungan

Proses industrialisasi pada suatu Negara dapat memicu perubahan dari berbagai bidang dan sisi kehidupan (Mulyani dan Rijal, 2018). Terdapat 3 (tiga) faktor penting yang memiliki peran menonjol, yaitu: perubahan pendapatan masyarakat, sistem kerja penduduk, dan pembuangan limbah ke lingkungan sekitar. Dari ketiga faktor tersebut berpengaruh terhadap kesehatan masyarakat, terutama pola penyakit, pelayanan kesehatan, dan prioritas pendidikan tenaga kesehatan (Mulyani dan Rijal, 2018).

Dampak lingkungan yang diakibatkan oleh kegiatan industri dapat menyumbangkan pengaruh kompleks, tak hanya lingkungan bahkan lebih luas lagi (Lolo, dkk., 2021). Dampak negatif dari industrialisasi yang meningkat di Indonesia semakin tampak dalam skala luas. Seperti halnya kasus pencemaran sungai sebagai bahan baku air minum dari warga di perkotaan yang terdapat di beberapa tempat. Hal ini disebabkan karena beberapa industri multinasional kurang bertanggung jawab dalam pemenuhan kewajiban untuk mengelola limbah yang dihasilkan (Mulyani dan Rijal, 2018). Negara berkembang memiliki perindustrian dekat dengan pemukiman. Hal tersebut mengakibatkan masyarakat yang bermukim pada area pabrik mempunyai risiko kesehatan dikarenakan polusi udara yang lebih tinggi (Martavitri, 2016). Kondisi lingkungan saat ini masuk ke dalam kondisi rusak dan krisis di mana-mana. Tak hanya krisis lingkungan secara fisik, namun juga krisis pada tanah, udara, air, iklim, juga krisis lingkungan sosial dan biologis/ Industrialisasi yang memiliki tujuan untuk mensejahterakan masyarakat, pada kenyataannya juga membawa pengaruh negatif terhadap masyarakat (Nur Afifah, 2014).

Sentra industri tahu, umumnya dapat memberikan dampak positif juga dampak negatif di berbagai aspek termasuk pada aspek lingkungan. Dampak negatif dari adanya sentra industri tahu, Antara lain: intensitas polutan yang tinggi pada kawasan sentra industri tahu. Tingkat kesadaran dari pengusaha serta kemampuan dari segi finansial adalah kendala dalam penanganan limbah dari industri tahu (Djayanti, 2015).

2.6.2 Dampak Lingkungan pada Metode CML-IA (*baseline*)

Pada Metode CML-IA (*baseline*) terdapat 8 kelompok kategori dampak lingkungan yaitu: *Acidification, Climate change, Depletion of abiotic resources, Ecotoxicity, Eutrophication, Human toxicity, Ozone layer depletion, Photochemical oxidation.*

1. *Acidification*

Asidifikasi merupakan penyebab utama pencemaran udara, fenomena *red tide*, dan kerusakan struktur beton bertulang. Emisi seperti NO_x dan SO₂ turun ke tanah sebagai hujan asam, kabut, atau salju yang kemudian diserap ke dalam danau, sungai, dan tanah. Akibatnya, permukaan air, air tanah, dan tanah terjadi pengasaman dengan cara yang menyebabkan kerusakan.

Asidifikasi disebabkan oleh pengendapan zat anorganik seperti sulfat, nitrat dan fosfat. Deposisi ini terjadi terutama melalui udara dan langsung ke air. Hal tersebut adalah efek utama dari perubahan tingkat nutrisi dan asidifikasi dalam tanah. Emisi udara juga mempengaruhi ekosistem perairan. NO_x dan SO₂ meningkatkan konsentrasi ion hidrogen di tanah, sungai, dan lautan, dan mengurangi pH (menjadi lebih asam) (Goedkoop dan Spriensma, 2001). Potensi asidifikasi nitrogen dan sulfur oksida, dinyatakan dengan menggunakan unit referensi, kg SO₂ ekuivalen. Dampak kategori ini mencakup gas asam seperti belerang dioksida (SO₂) bereaksi dengan air di atmosfer untuk membentuk "hujan asam".

Yang menyebabkan pengendapan asam antara lain amonia (NH_3), nitrogen oksida (NO_x) dan oksida belerang (SO_x).

2. *Climate Change*

Dikutip dari Bailey, *et al.*, 2022 dalam *Global Climate Change* NASA, 2022 mengatakan bahwa perubahan iklim merupakan perubahan dari pola cuaca rata-rata jangka panjang yang memberi pengaruh pada iklim lokal, regional, dan global. Faktor utama terjadinya perubahan iklim adalah *green house effects*. Gas rumah kaca ini dapat terjadi secara alami, namun kegiatan manusia juga andil dalam peningkatan konsentrasi gas tersebut di atmosfer, khususnya: metana atau CH_4 , karbon dioksida (CO_2), gas berfluorinasi, dan dinitrogen oksida (Matawal dan Maton, 2013).

Karbon dioksida (CO_2), meskipun bukan yang paling kuat dari gas rumah kaca, merupakan penyumbang yang paling signifikan. Gas rumah kaca lainnya dikeluarkan oleh aktivitas manusia dalam jumlah yang lebih kecil adalah *methane*. Gas metan merupakan salah satu GRK yang lebih kuat daripada CO_2 . *Nitrous oxide*, seperti CO_2 , adalah gas rumah kaca berumur panjang yang terakumulasi di atmosfer selama beberapa dekade hingga berabad-abad (*European Commission*, 2020).

Setiap gas rumah kaca (GRK) memiliki potensi pemanasan global (GWP) yang berbeda dan bertahan untuk jangka waktu yang berbeda di atmosfer. Tiga gas rumah kaca utama (dengan uap air) dan potensi pemanasan global (GWP) 20 tahun dibandingkan dengan karbon dioksida adalah sebagai berikut (IPCC, 2006):

- 1x – karbon dioksida (CO_2) : Setiap karbon dioksida yang ditambahkan ke atmosfer akan bertahan lama: antara 300 hingga 1.000 tahun. Selama ini, ia akan berperan dalam menjebak panas dan menghangatkan atmosfer. Tidak seperti gas rumah kaca lainnya, karbon dioksida tidak mengalami penurunan selama satu skala waktu yang dapat diprediksi.

- 84 x – metana (CH_4) – Yaitu. Melepaskan 1 kg CH_4 ke atmosfer setara dengan melepaskan 84 kg CO_2 . GWP 100 tahun Metana adalah sekitar 28x CO_2 – tetapi hanya bertahan di atmosfer selama lebih dari satu dekade.
- 298 x – dinitrogen oksida (N_2O) – Yaitu. Melepaskan 1 kg N_2O ke atmosfer setara dengan melepaskan sekitar 298 kg CO_2 . Nitrous oxide bertahan di atmosfer selama lebih dari satu abad.

Uap air tidak dianggap sebagai penyebab pemanasan global buatan manusia karena tidak bertahan di atmosfer selama lebih dari beberapa hari.

Perubahan iklim diestimasi mampu berkontribusi pada masalah kualitas udara (IPCC, 2007 dalam Susilawati, 2021). Gangguan pernapasan juga diperkirakan memburuk akibat dari peningkatan pada polusi udara partikulat. *Ground level ozon* bisa merusak jaringan organ paru, hal ini tentu saja berbahaya untuk penderita penyakit asma dan penyakit paru kronis (Susilawati, 2021). Polutan yang lain juga menjadi perhatian yaitu “partikel” atau dikenal dengan *particulate matter* (PM). Saat dihirup, partikel-partikel ini bisa mencapai daerah terdalam pada paru-paru. Paparan dengan partikel ini dapat menjadi penyebab utama penurunan daya pandang.

3. *Depletion of abiotic resources*

Ada berbagai cara untuk mengelompokkan sumber daya (Jolliet, *et al.*, 2016): a) Sumber daya mineral, seperti logam, b) Material curah seperti pasir, kerikil dan kapur c) Sumber daya energi, seperti bahan bakar fosil, d) Sumber daya aliran, seperti energi surya, tenaga air, dll, e) Sumber daya lingkungan, seperti udara, air, dan tanah f) Sumber daya biotik, seperti keanekaragaman hayati dan produk silvikultur (kayu, ikan, dll.). Indikator kategori dampak ini terkait dengan ekstraksi mineral dan bahan bakar fosil. Faktor Penipisan Sumber Daya Abiotik (*Abiotic Depletion Factor/ADF*)

ditentukan untuk masing-masing ekstraksi mineral dan bahan bakar fosil (Pré Sustainability, 2014).

Secara umum, kategori dampak tersebut mengacu pada konsumsi sumber daya non-hayati seperti: bahan bakar fosil, mineral, logam, air, dan sebagainya. Nilai konsumsi sumber daya abiotik suatu zat (misalnya lignit atau batubara) adalah ukuran kelangkaan suatu zat yang berarti tergantung pada jumlah sumber daya dan tingkat ekstraksi. Pada metode ini didasarkan oleh jumlah sumber daya yang habis. ADP dinyatakan dalam MJ (*The European Union Directive Buildings*, 2020).

4. *Ecotoxicity*

Ekotoksikologi adalah studi tentang toksisitas yang dipicu oleh zat alami ataupun zat buatan manusia pada biota. Dengan ekotoksikologi dapat ditetapkan jenis dan tingkat kontaminan yang membahayakan tumbuhan dan hewan. Ekotoksikologi memberikan wawasan tentang kesehatan ekosistem yang tidak dapat ditentukan dari pengukuran bahan kimia di lingkungan saja (*Western Australia Government*, 2015).

Pencemaran berasal dari bahan kimia yang disebabkan oleh zat-zat bersifat persisten dan berdampak buruk terhadap kesehatan manusia dan/atau lingkungan, seperti poliklorinasi bifenil (PCB), dioksin, beberapa pestisida (seperti DDT) dan, zat polifluoroalkil (PFAS). Bahan kimia persisten telah memasuki lingkungan, efeknya akan berlanjut untuk waktu yang sangat lama (*European Commission*, 2020). Kategori indikator ini mengacu pada dampak terhadap ekosistem air tawar, sebagai akibat dari emisi zat beracun ke udara, air dan tanah. Faktor karakterisasi dinyatakan sebagai ekuivalen 1,4-diklorobenzena/kg. Pada ekotoksitas laut mengacu pada dampak zat beracun pada ekosistem laut. Kategori ini juga mengacu pada dampak zat beracun pada ekosistem terrestrial (Pré Sustainability, 2014).

5. *Eutrophication*

Eutrofikasi adalah fenomena di mana perairan pedalaman sangat sarat dengan nutrisi berlebih karena bahan kimia pupuk atau air limbah yang dibuang, memicu pertumbuhan alga yang cepat (Kim dan Chae, 2016). Eutrofikasi (juga dikenal sebagai nutrifikasi) mencakup semua dampak karena tingkat makronutrien berlebih di lingkungan disebabkan oleh emisi nutrisi ke udara, air dan tanah. Nutrisi potensial (NP) didasarkan pada prosedur stoikiometrik Heijungs (1992), dan dinyatakan sebagai kg Ekuivalen PO_4 per kg emisi (Pré *Sustainability*, 2014).

Eutrofikasi adalah penumpukan konsentrasi nutrisi kimia dalam ekosistem yang menyebabkan produktivitas abnormal. Hal ini mengakibatkan terjadinya tanaman bertumbuh secara berlebih misalnya pertumbuhan ganggang di sungai yang mengakibatkan penurunan kualitas air dan populasi hewan. Emisi amonia, nitrat, nitrogen oksida dan fosfor ke udara atau air semuanya berdampak pada eutrofikasi (Acero, *et al.*, 2016).

6. *Human Toxicity*

Kategori ini menyangkut efek zat beracun pada lingkungan manusia. Risiko kesehatan dari paparan di lingkungan kerja tidak termasuk. Potensi Toksisitas Manusia (HTP) menggambarkan paparan dan efek zat racun dengan cakrawala waktu yang tak terbatas. Untuk setiap zat beracun, HTP dinyatakan sebagai 1,4-ekuivalen diklorobenzena/kg emisi. (Pré *Sustainability*, 2014).

Potensi Toksisitas Manusia adalah indeks terhitung yang mencerminkan potensi bahaya dari satu unit kimia yang dilepaskan ke lingkungan, dan didasarkan pada toksisitas senyawa dan dosis potensialnya. Produk sampingan ini, terutama arsenik, natrium dikromat, dan hidrogen fluorida, sebagian besar disebabkan oleh produksi listrik dari sumber fosil. Ini adalah bahan kimia yang berpotensi berbahaya bagi manusia melalui inhalasi, konsumsi, dan bahkan kontak langsung. Potensi kanker, misalnya, menjadi

masalah di sini. Kategori dampak ini diukur dalam 1,4-setara diklorobenzena (Acero, *et al.*, 2016).

7. *Ozone Layer Depletion*

Penipisan lapisan ozon meningkatkan jumlah UVB yang memenuhi permukaan bumi. UVB juga dikaitkan dengan perkembangan kekeruhan lensa mata dan katarak (EPA, 2021). CFC, halon, dan HCFC adalah penyebab utama dari penipisan lapisan ozon. Selain itu, radiasi UV juga memberikan pengaruh pada ekosistem akuatik dan terestrial, rantai makanan, mengubah pertumbuhan, dan siklus biokimia. Sinar UV juga dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman dan mengurangi produktivitas pertanian (European Commission, 2020). Model karakterisasi dikembangkan oleh Organisasi Meteorologi Dunia (WMO) dan mendefinisikan potensi penipisan ozon dari berbagai gas (kg setara CFC-11/ kg emisi) (Pré Sustainability, 2014).

8. *Photochemical Oxidation*

Photochemical oxidation adalah kategori dampak yang menentukan polusi ozon fotokimia, juga disebut "*ground level ozone*", yang dibentuk oleh reaksi senyawa organik yang mudah menguap dan nitrogen oksida dalam panas dan sinar matahari. Kategori dampak sangat bergantung pada kadar sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO), amonium dan NMVOC (senyawa organik volatil non-metana), dan dinyatakan dengan menggunakan unit referensi, kg etilen (C₂H₄) setara (Acero, *et al.*, 2016). Nitrogen oksida dapat menyebabkan masalah pada jantung dan paru-paru, kaitannya dengan penurunan resistensi terhadap infeksi.

Nitrogen oksida diproduksi terutama dari pembakaran bahan bakar fosil, terutama dalam pembangkit listrik dan kendaraan bermotor. VOC terbentuk dari pembakaran bahan bakar fosil yang tidak sempurna, dari penguapan pelarut dan bahan bakar, dan dari

pembakaran materi tanaman seperti pembakaran halaman belakang dan tungku pembakaran kayu (EPA, 2004).

2.7 Software SimaPro

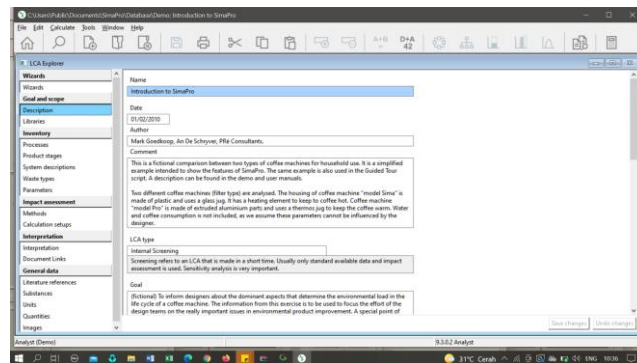
SimaPro merupakan software yang dikembangkan oleh *PRé Consultants*. *Software* ini memiliki *database* produk dari suatu proses yang menyimpan inventarisasi bahan baku dan energi yang digunakan beserta dengan senyawa kimia yang dihasilkan (Zulfikar, 2016). SimaPro adalah alat yang profesional dan peruntukannya untuk : a) mengumpulkan *sustainability* data, b) melakukan komputasi LCA, c) menganalisa performa *sustainability* LCA dari suatu produk (Zulfikar, 2016)

SimaPro adalah salah satu *software* yang dipakai dalam melakukan penilaian dampak lingkungan melalui pendekatan LCA (Goedkoop, *et al.*, 2016). Berikut ini adalah beberapa ciri khasnya (Olagunju dan Olanrewaju, 2020):

1. SimaPro hadir dengan *database Ecoinvent v3.6*, yang mencakup lebih dari 10.000 proses.
2. Muncul dengan sejumlah besar metode penilaian dampak standar.
3. Mematuhi pedoman ISO 14040 untuk LCA dalam pengoperasiannya.
4. Alat ini memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan *database* dan metode penilaian dampak.
5. Saat ini, SimaPro dapat dijalankan di Inggris Inggris, Inggris AS, Belanda, Denmark, Prancis, Jerman, Italia, Portugis, Spanyol, Swedia, dan Jepang.

Berikut merupakan beberapa tahapan SimaPro, Antara lain:

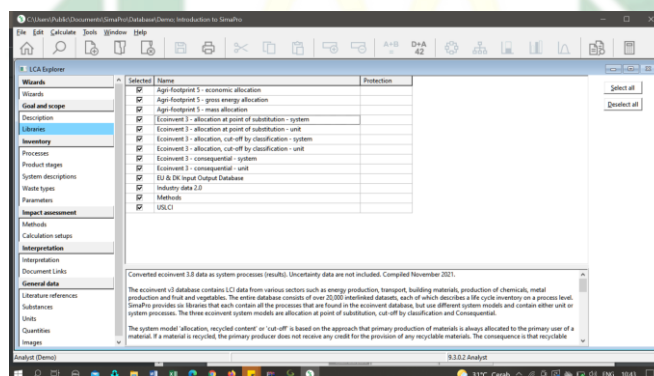
- a) Menentukan lingkup dan tujuan, serta menginput data penelitian LCA yang dilakukan. Penentuan lingkup dan tujuan pada SimaPro dapat dilihat pada Gambar 2.15



Gambar 2.15 Penentuan tujuan atau goal pada penilaian LCA menggunakan software SimaPro

(Sumber: SimaPro 9.3.0 Demo)

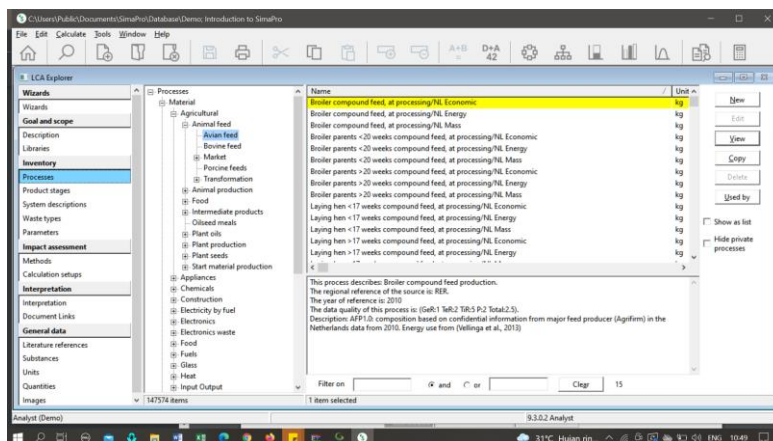
- b) Memilih *libraries* pada menu di SimaPro kemudian memilih metode penentuan *scope* yang akan digunakan pada proses penilaian dapat dilihat pada Gambar 2.16



Gambar 2.16 Penentuan Scope penilaian LCA pada SimaPro

(Sumber: SimaPro 9.3.0 Demo)

- c) Melakukan tahap inventarisasi yang terdiri atas menu *process*, *produce stages*, *system description*, dan *waste types* dapat dilihat pada Gambar 2.17

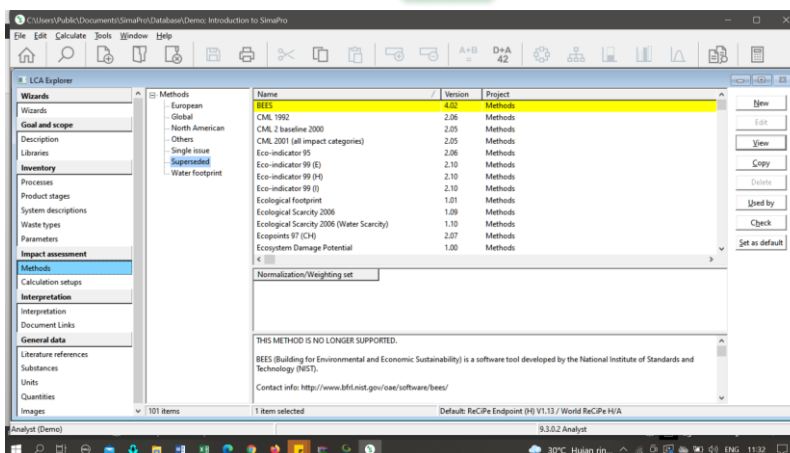


Gambar 2.17 Analisis Inventori pada SimaPro

(Sumber: SimaPro 9.3.0 Demo)

Berdasarkan Putri, 2017 mengatakan bahwa pada menu proses menerangkan hal yang termasuk pada proses produksi dari suatu produk yang memerlukan data energi dan material yang dipakai. *Product stages* mendeskripsikan tentang bagaimana suatu produk tersebut diproduksi, dipakai, dan dibuang.

- d) Melakukan *Impact Assessment*. Pada tahap ini terlebih dahulu dipilih metode penilaian dampak yang akan digunakan. Penentuan *impact assessment* dapat dilihat pada Gambar 2.18



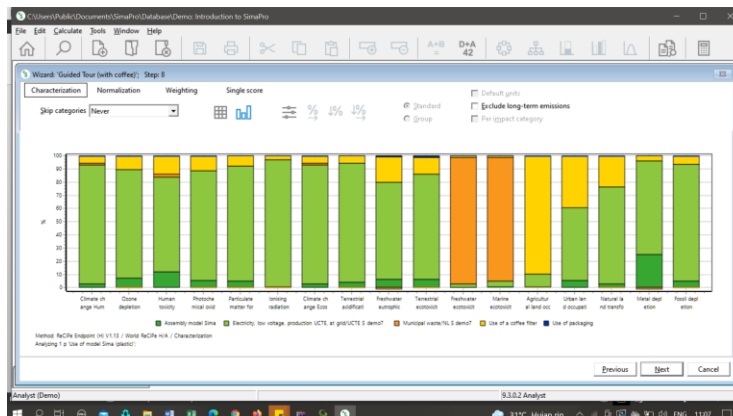
Gambar 2.18 Penentuan metode impact assessment

(Sumber: SimaPro 9.3.0 Demo)

Selanjutnya dilakukan penilaian terhadap dampak:

- *Characterization*

Menunjukkan kategori dampak yang berpotensi, terdapat 17 dampak pada metode yang dipilih

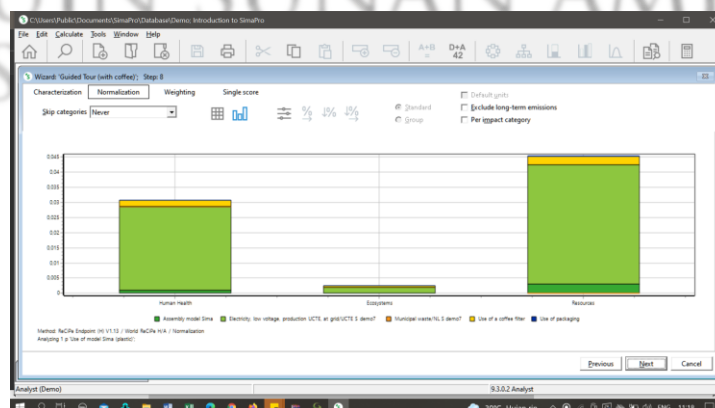


Gambar 2.19 Impact Assessment tahap Characterization pada SimaPro

(Sumber: Simapro 9.3.0 Demo)

- *Normalization*

Tahap perbandingan hasil *impact category* dengan nilai normal maupun referensi untuk menyeragamkan satuan semua *impact categories* dan memperlihatkan kontribusi dari hasil *impact categories* (Putri, 2017)

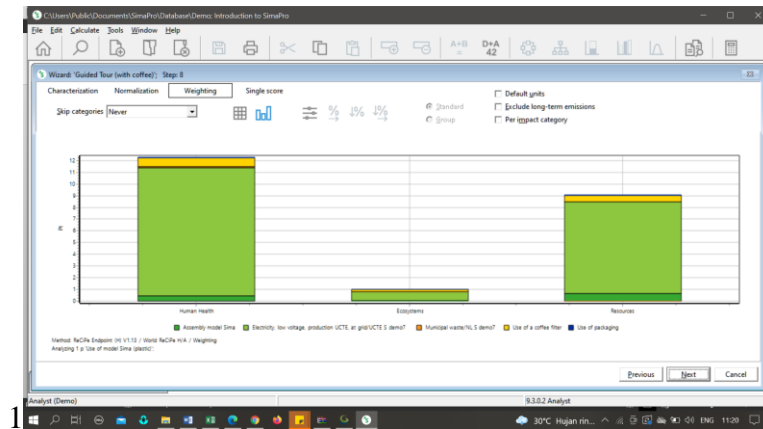


Gambar 2.20 Impact Assessment tahap Normalization pada SimaPro

(Sumber: Simapro 9.3.0 Demo)

- *Weighting*

Tahap ini mengalikan *impact category indicator* dengan nilai *weighting score* yang kemudian diakumulasi sebagai *total score*

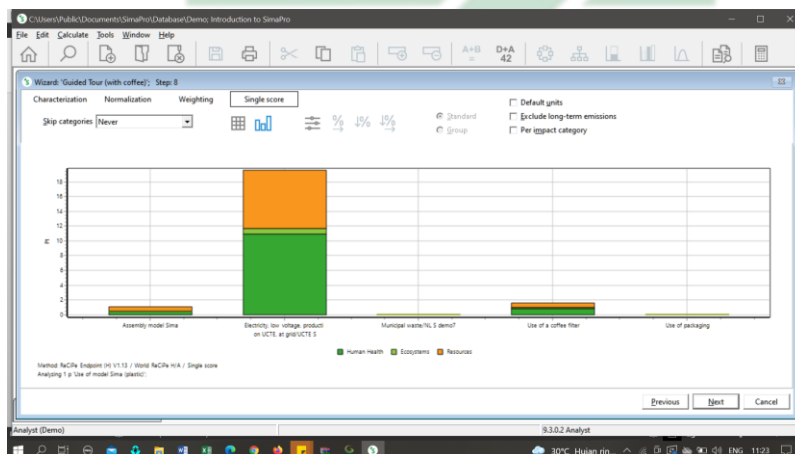


Gambar 2.21 Impact Assessment tahap Weighting pada SimaPro

(Sumber: Simapro 9.3.0 Demo)

- *Single Score*

proses yang menunjukkan produksi yang memiliki dampak terhadap lingkungan.



Gambar 2.22 Impact Assessment tahap Single Score pada SimaPro

(Sumber: Simapro 9.3.0 Demo)

e) Melakukan interpretasi data untuk ditarik kesimpulannya dan digambarkan bagaimana data tersebut dapat dipertanggung jawabkan.

2.8 Integrasi Keislaman

Lingkungan dapat dicirikan sebagai dunia alami, yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia secara keseluruhan atau di wilayah geografis tertentu. Definisi ini lingkungan juga menekankan dampak manusia terhadap lingkungan yang seharusnya tidak hanya bertanggung jawab tetapi berkelanjutan. Tetapi karena perilaku tidak etis dan keserakahan kita akan kekayaan, kita terus mengeksploitasi sumber daya alam kita yang berharga, mencemari planet kita dan dalam prosesnya bermain malapetaka dengan ekologi kita. Bukan hanya perusahaan yang mempraktikkan perilaku yang tidak bertanggung jawab tetapi individu terus menunjukkan perilaku yang sama yaitu merugikan lingkungan kita (Amin dan Nika, 2021). Allah SWT telah berfirman dalam Surat 2 ayat 205 bahwa Allah tidak menyukai perilaku yang tidak bertanggung jawab dan merugikan lingkungan, sebagai berikut:

وَإِذَا تَوَلَّى سَعَى فِي الْأَرْضِ لِيُفْسِدَ فِيهَا وَيُهْلِكَ الْحَرْثَ
وَالنَّسْلَ وَاللَّهُ لَا يُحِبُّ الْفُسَادَ ﴿٢٠٥﴾

“Artinya; Dan jika dia berpaling dari engkau, dia berusaha berbuat kerusakan di bumi serta merusak tanaman dan ternak, sedang Allah SWT tidak menyukai kerusakan”.

Setiap agama telah mengusulkan dan menyebarkan pentingnya alam dengan mempraktikkan etika untuk berperilaku bertanggung jawab. Ada ikatan yang kuat antara lingkungan dan agama serta agama memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap lingkungan secara positif. Banyak agama dunia juga mempropagandakan pemikiran bahwa penyalahgunaan dan eksploitasi alam untuk keuntungan langsung adalah tidak adil, tidak bermoral, dan tidak etis (Dwivedi, 1993 dalam Amin dan Nika, 2021). Manusia memang diberikan Allah SWT hak untuk menggunakan sumber daya alam dan selalu dituntut untuk menjaga dan melestarikan lingkungannya, seperti pada hadist yang diriwayatkan oleh At-Tirmidzi, sebagai berikut (Istianah, 2015):

”.. اَرْحَمُوا مَنْ فِي الْأَرْضِ يَرْحَمِكُمْ مِنْ فِي السَّمَاءِ ...”²³

alam ini pertanggungjawaban juga diambil dari orang yang bersalah. Nabi Muhammad (SAW) mengatakan: “setiap orang adalah penjaga dan dia harus ditanya tentang bawahannya.” Kesucian dan kebersihan adalah satu dari prinsip-prinsip inti dari ritual Islam. Seperti pemurnian pikiran dan jiwa itu juga sangat penting untuk menjaga kebersihan dalam setiap tahapan kehidupan. Selain pemurnian manusia, kebersihan alam juga merupakan kewajiban suci bagi umat manusia. Bahkan Islam menekankan pada kebersihan jalan yang menunjukkan penghapusan setiap hambatan dan bahan berbahaya dari jalan hidup orang (Ahmed, *et al.*, 2010).



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu berguna bagi peneliti untuk mencari perbandingan yang digunakan sebagai inspirasi baru. Selain itu, penelitian terdahulu juga dapat menunjukkan orsinalitas suatu penelitian. Berikut akan dijelaskan secara lebih rinci pada Tabel 2.2 beberapa kajian terdahulu yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

NO	Nama Penulis dan Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Hasil Penelitian
1	Achmad Zulfikar dan Yudha Prasetyawan. 2016	Analisa <i>Life Cycle Assesment</i> pada Produksi Di UKM Murni Mandiri, Kecamatan Ngancar, Kabupaten Kediri	<i>Life Cycle Assessment</i> dengan <i>software</i> SimaPro dengan pendekatan <i>Eco Indicator 99</i>	Berdasarkan dari hasil perbandingan tiga kondisi produksi, diperoleh rekomendasi perbaikan guna pengurangan dampak lingkungan yakni untuk skenario penggunaan biogas dan peningkatan kapasitas produksi diperoleh nilai <i>single score</i> sebesar 1,7131 serta mempunyai nilai <i>single score</i> terendah jika dibandingkan dengan dua skenario perbaikan yang lainnya.

NO	Nama Penulis dan Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Hasil Penelitian
2	Novelia Mahastuti. 2017	Analisis <i>Gate to Gate</i> dengan Metode <i>Eco-Indicator 99</i> (H) pada Pengukuran Eko Efisiensi di Industri Kecil (Studi kasus: IKM tahu Kampung Purwogondo, Kecamatan Kartasura Sukoharjo)	<i>Life cycle assessment</i> dengan <i>software</i> SimaPro 8.3.0 dengan pendekatan <i>Eco Indicator 99</i> (H)	Penelitian oleh Mahastuti adalah penilaian dampak lingkungan dari dua IKM tahu, yang mana IKM tahu 1 memiliki <i>waste management</i> dan IKM tahu 2 tidak terdapat <i>waste management</i> . Nilai dampak lingkungan yang dihasilkan tentunya berbeda, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Antara lain: perbedaan kapasitas produksi tahu dan pengelolaan hasil samping dari proses produksi tahu. Penelitian ini juga menghitung nilai <i>eco efficiency index</i> atau EEI dari IKM 1 dan 2 memiliki nilai 0-1 dengan kesimpulan bahwa baik IKM 1 dan 2 masih terjangkau atau <i>affordable</i> tetapi tidak ramah lingkungan. Lebih lanjut, jika dibandingkan nilai EER ratenya, maka

NO	Nama Penulis dan Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Hasil Penelitian
				IKM 1 lebih menguntungkan secara finansial yaitu sebesar -554,5033%.
3	Elvis Uumbu Lolo, Richardus Indra Gunawan, Agerippa Yanuranda Krismani, dan Yonathan Suryo Pambudi. 2021	Penilaian Dampak Lingkungan Industri Tahu Menggunakan <i>Life Cycle Assessment</i> (Studi Kasus: Pabrik Tahu Sari Murni Kampung Krajan, Surakarta)	<i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) dengan <i>software</i> Open LCA dengan pendekatan CML-IA 2001	Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Lolo, dkk dari aktivitas produksi tahu secara <i>cradle to gate</i> . Didapatkan 5 kategori dampak lingkungan tertinggi dari proses produksi tahu, yaitu dampak asidifikasi, eutrofikasi, <i>global warming</i> , <i>human toxicity</i> , dan <i>photochemical oxidation</i> . Tahapan yang memberikan kontribusi dampak lingkungan terbesar adalah tahapan penggilingan dan perebusan.
4	Sidharta Sahirman dan Ardiansyah. 2014	Perkiraan Karbon <i>Foot Print</i> Industri Tahu Banyumas - Langkah Awal	Metode LCA	Pada penelitian ini emisi yang dihasilkan dari produksi tahu Kalisari relative tinggi jika dibandingkan

NO	Nama Penulis dan Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Hasil Penelitian
		Menuju Industri Hijau		dengan produksi sejenis, hal ini dikarenakan penggunaan kayu bakar sebagai sumber bahan bakar atau energi utama. Secara menyeluruh, nilai CO ₂ yang dihasilkan dari proses produksi tahu Kalisari sampai menuju ke tangan konsumen adalah sebesar 1700gram/kg tahu dengan nilai karbon <i>footprint</i> sebesar 620gram/kg kedelai <i>farm to gate</i> maka didapatkan nilai CO ₂ sebesar 1,98 kg/kg tahu.
5	Jatmiko Wahyudi. 2017	Penerapan <i>Life Cycle Assessment</i> untuk Menakar Emisi Gas Rumah Kaca yang Dihasilkan dari Aktivitas Produksi Tahu	Metode LCA dengan perhitungan emisi GRK diperoleh dari IPCC <i>Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories</i> 2006.	Berdasarkan penelitian ini, menunjukkan hasil emisi gas rumah kaca dari daur siklus hidup tahu adalah 224.871,2 kg/CO ₂ eq/tahun. Nilai jejak karbon yang dihasilkan yaitu sebesar 1,849kg/CO ₂ eq/kg tahu. Hal ini disebabkan karena bahan bakar utama

NO	Nama Penulis dan Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Hasil Penelitian
				menggunakan kayu serta dari limbah cair yang dihasilkan.
6	I P Sari, W Kuniawan, F L Sia. 2021	<i>Environmental impact of tofu production in West Jakarta using a life cycle assessment approach</i>	Metode LCA dengan <i>software</i> SimaPro 9.2 dan pendekatan CML-IA	Menganalisis dampak lingkungan dari 1 kg produk tahu. Hasil perhitungan dampak dengan <i>software</i> Simapro dan metode CML-IA menunjukkan bahwa dampak pemanasan global adalah 0,978 kg CO ₂ eq, penipisan lapisan ozon 1,55E-8, 0,00157 kg SO ₂ eq asidifikasi, dan 0,00157 kg PO ₄ ---eq eutrofikasi.
7	Masayu Rosyidah, Ansyori Masruri, Romyzar Arya Putra, Mayanita, Ananda, Cindy. 2015	<i>Analysis Of Environmental Impact With The Life Cycle Assessment (LCA) Method On Tofu Production</i>	Metode LCA dengan SimaPro 7 dan pendekatan <i>Eco-Indicator 99</i>	Berdasarkan hasil pengolahan <i>Life Cycle Assessment</i> pada proses produksi keluar menggunakan <i>software</i> SimaPro 7, memperoleh nilai <i>single score</i> 4076,345 Pt, dengan dampak lingkungan Manusia Kesehatan 1701,54 (41,7%), Kualitas Ekosistem 1409.057 (34, 6%), dan Sumber Daya 965,7484 (23,7%)

NO	Nama Penulis dan Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Hasil Penelitian
8	Intan Rahmalia, Syifa Khairun Nisa, Vita Palupi, Aninda Putri, I Wayan Koko Suryawan. 2021	<i>Study of Environmental Impact and Scenario Treatment using Life Cycle Assessment Approach in Tofu Industry</i>	Metode LCA dengan pendekatan EPD 2013 menggunakan software OpenLCA	Rekomendasi pengolahan limbah terbaik untuk industri adalah menggunakan skenario pertama, yaitu dengan menambahkan MBBR untuk pengolahan air limbah dan mengganti bahan bakar solar dengan biomassa
9	Ary Mauliva, Hada Putri, dan Joko Waluyo. 2022	<i>Analysis of Potential GHG Emissions from Tofu Industry and Its Mitigation in Indonesia</i>	Metode LCA dengan software SimaPro v8.0. dengan pendekatan CML-IA V3.01	Studi LCA produk tahu telah dilakukan di tiga industri tahu menggunakan sistem batas <i>gate to gate</i> . Nilai emisi GRK yang dihasilkan dari masing-masing industri adalah 0,52 kg CO ₂ eq, 0,41 kg CO ₂ eq, dan 0,35 kg CO ₂ eq per kg tahu. Komponen utama emisi GRK yang dihasilkan dari industri adalah air limbah yang tidak diolah dihasilkan dari proses produksi, kemudian dilanjutkan dengan budidaya kedelai, transportasi kedelai dari areal perkebunan

NO	Nama Penulis dan Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Hasil Penelitian
				<p>hingga industri. Air limbah yang tidak diolah sebagai komponen terbesar emisi CO₂ berpotensi untuk diolah menjadi energi terbarukan. Dengan memanfaatkan biogas yang dihasilkan dari air limbah tahu yang diolah untuk memasak, maka akan mengurangi dampak emisi GRK.</p>
10	S Hartini, B S Ramadan, R Purwaningsih, S Sumiyati, M A A Kesuma. 2021	<i>Environmental impact assessment of tofu production process: case study in SME Sugihmanik, Grobogan</i>	Metode LCA dengan pendekatan <i>Eco-Cost 2017 v1.5</i> dan <i>software SimaPro</i> .	<p>Pada penelitian ini ditemukan bahwa kategori dengan dampak tertinggi terjadi pada perubahan iklim dan asidifikasi. Kegiatan yang paling berdampak adalah proses memasak dan menggoreng. Tingkat konsumsi air juga sangat tinggi dengan dilakukan ekstraksi menggunakan pompa listrik. Studi ini juga mengevaluasi dampak lingkungan dari konversi energi menggunakan biogas.</p>

NO	Nama Penulis dan Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Hasil Penelitian
				Kajian ini belum merancang desain IPAL yang tepat untuk konservasi air.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam kurun waktu 5 (lima) bulan, yaitu pada bulan Februari hingga bulan Juli 2022. Pada bulan februari hingga bulan maret dilakukan proses perizinan dan kunjungan pertama ke pabrik tahu. Pengambilan data dilakukan pada 23 april 2022 hingga 22 mei 2022. Bulan juni masih diestimasikan dalam penelitian ini apabila terdapat data yang kurang lengkap.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Industri Kecil tahu “UD.X” Desa Sidojukung, Kecamatan Menganti, Kabupaten Gresik. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A



LOKASI PENELITIAN (INDUSTRI TAHU UD. X)
Not To Scale



UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA


JUDUL GAMBAR

PETA LOKASI
PENELITIAN

SKALA

Not To Scale

KETERANGAN

 Lokasi Industri Tahu
UD.X

DIBUAT OLEH

EKKI RAHMAWATI
H05218008

DIBUAT PADA:

6 Maret 2022

DOSEN PEMBIMBING

Shinfi Wazna Auforia, M.T
Sulistiya Nengse, M.T.

Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

(Sumber: google earth, 2022)

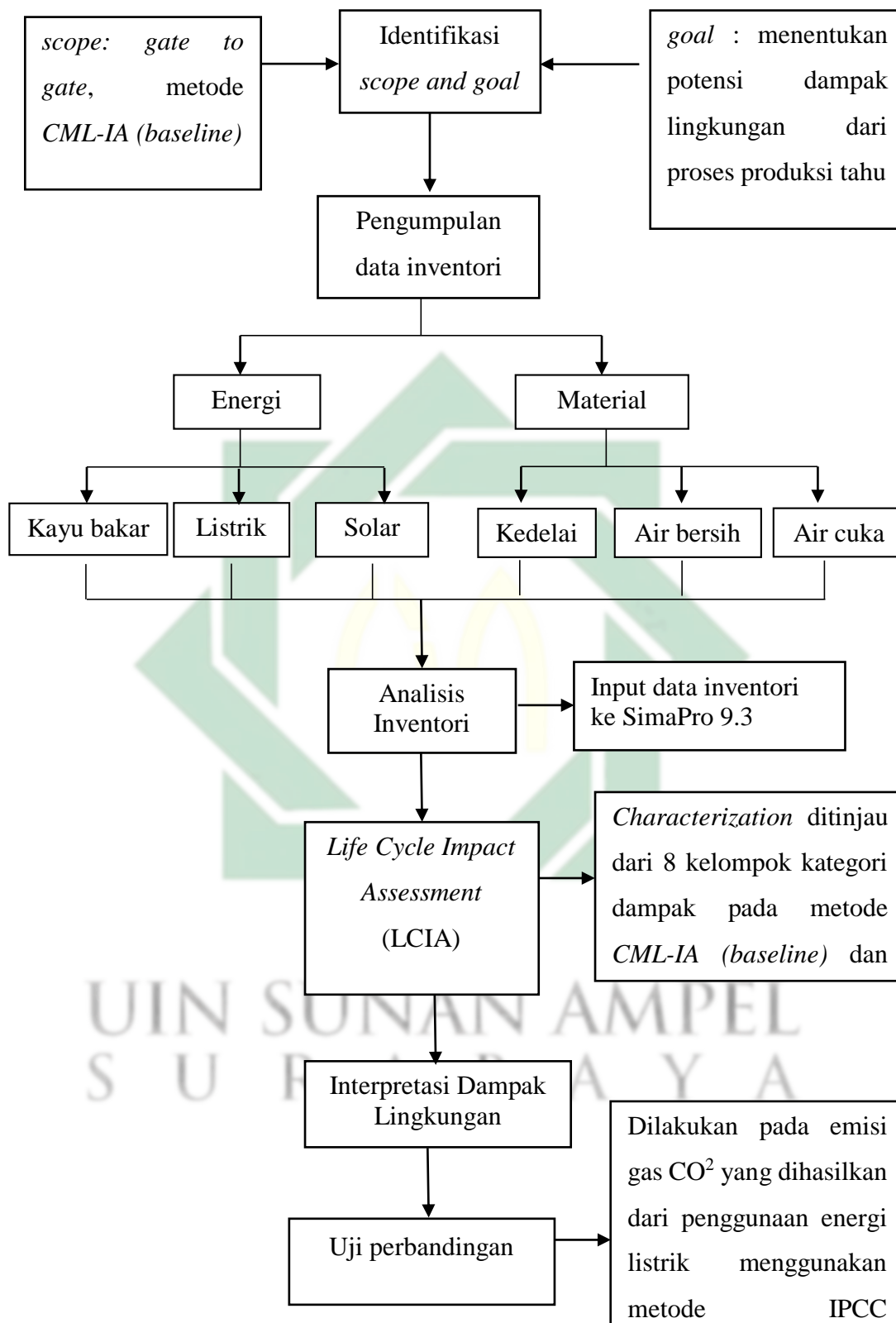
3.3 Tahapan Penelitian

3.3.1 Kerangka Pikir Penelitian

Metode penelitian disusun dengan kerangka penelitian yang terstruktur dan sistematis. Kerangka penelitian secara umum memiliki fungsi sebagai representasi awal pada saat pelaksanaan penelitian sehingga mempermudah prosedur penelitian dan penulisan laporan. Penelitian dilakukan guna mengetahui potensi dan besar dampak yang ditimbulkan dari proses produksi tahu di Industri Kecil “UD.X” Desa Sidojukung, Kecamatan Menganti, Kabupaten Gresik. Secara lebih lanjut, kerangka piker penelitian dapat dilihat pada gambar 3.2



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A



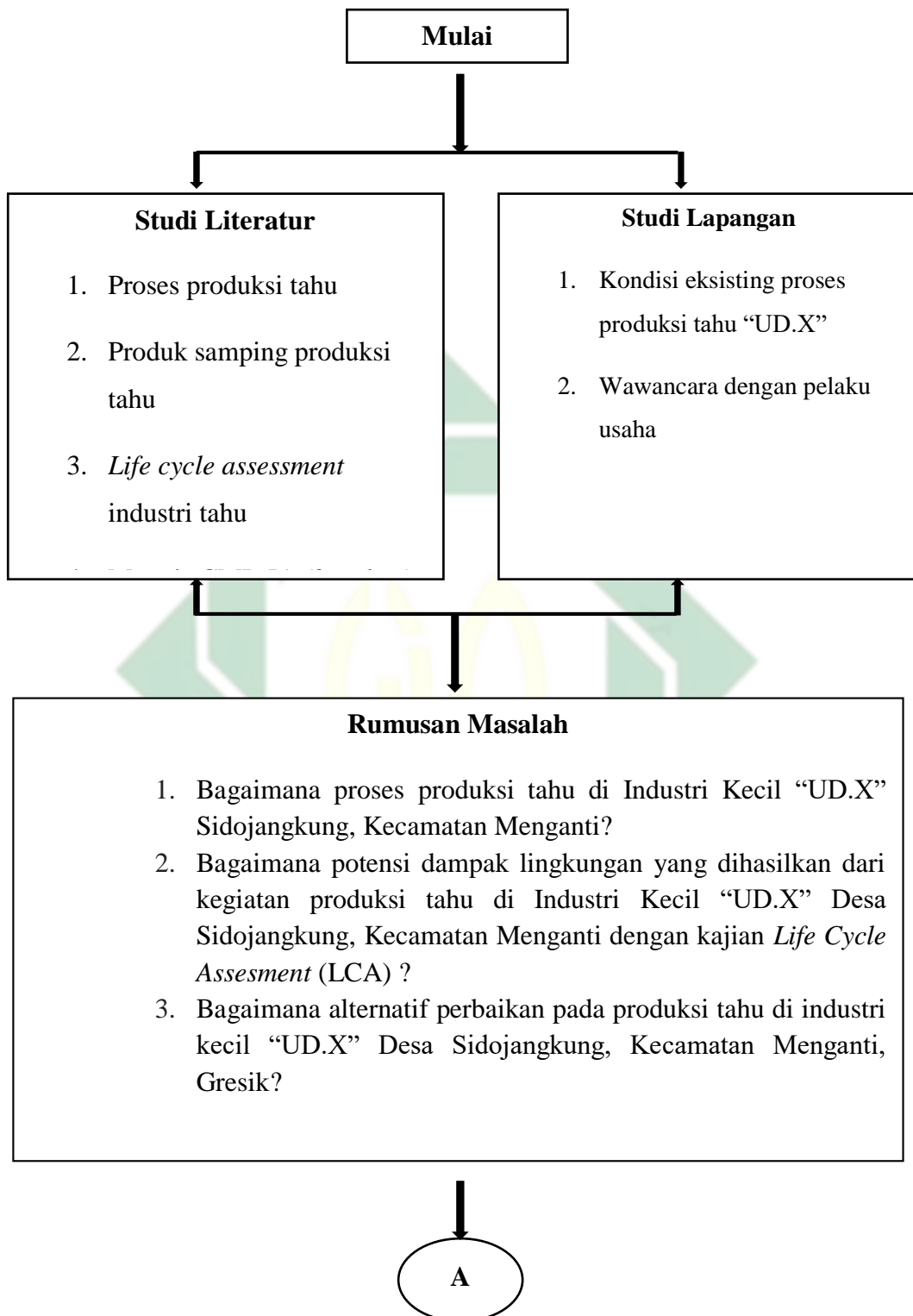
Gambar 3. 2 Kerangka Pikir Penelitian

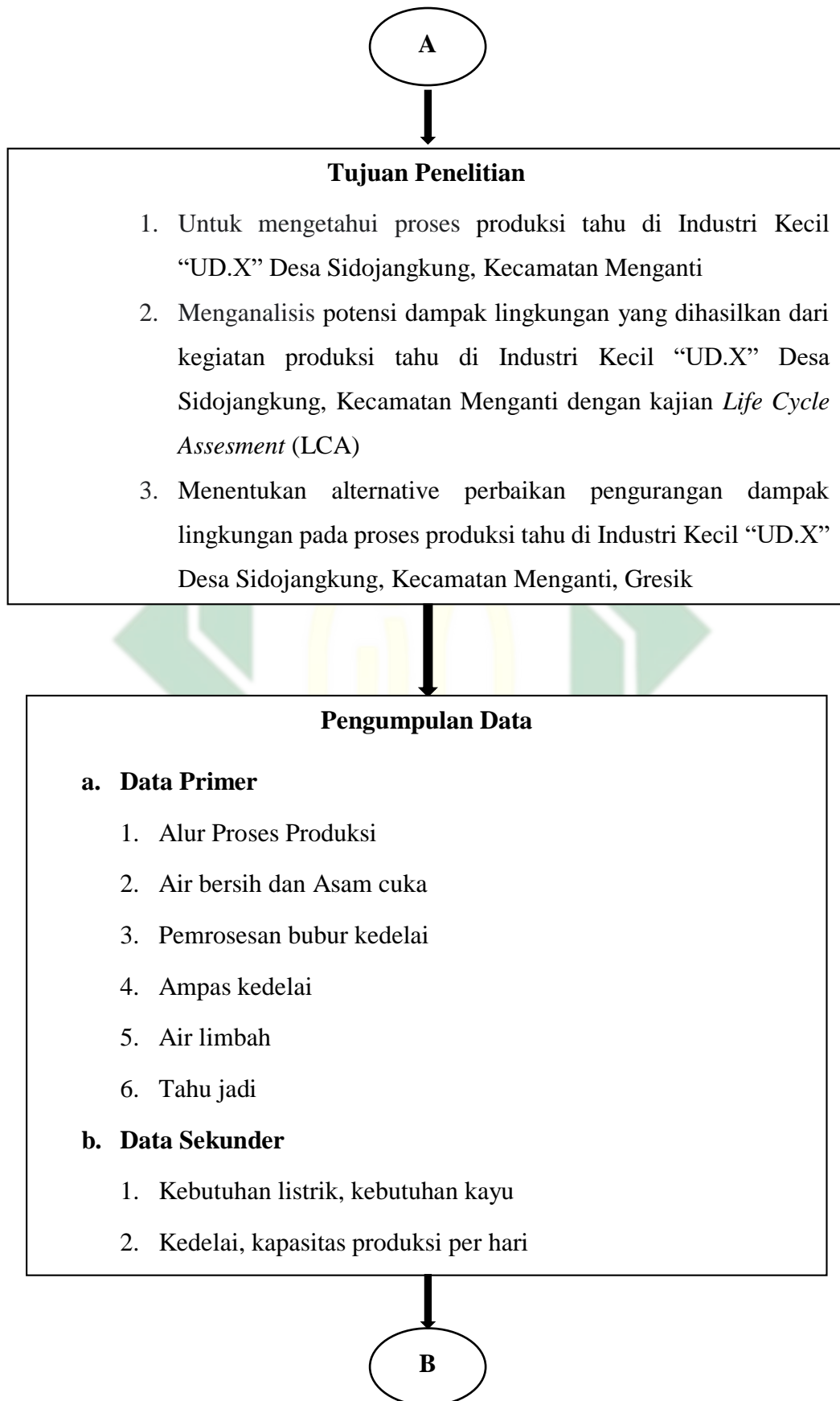
(Sumber: hasil analisis, 2022)

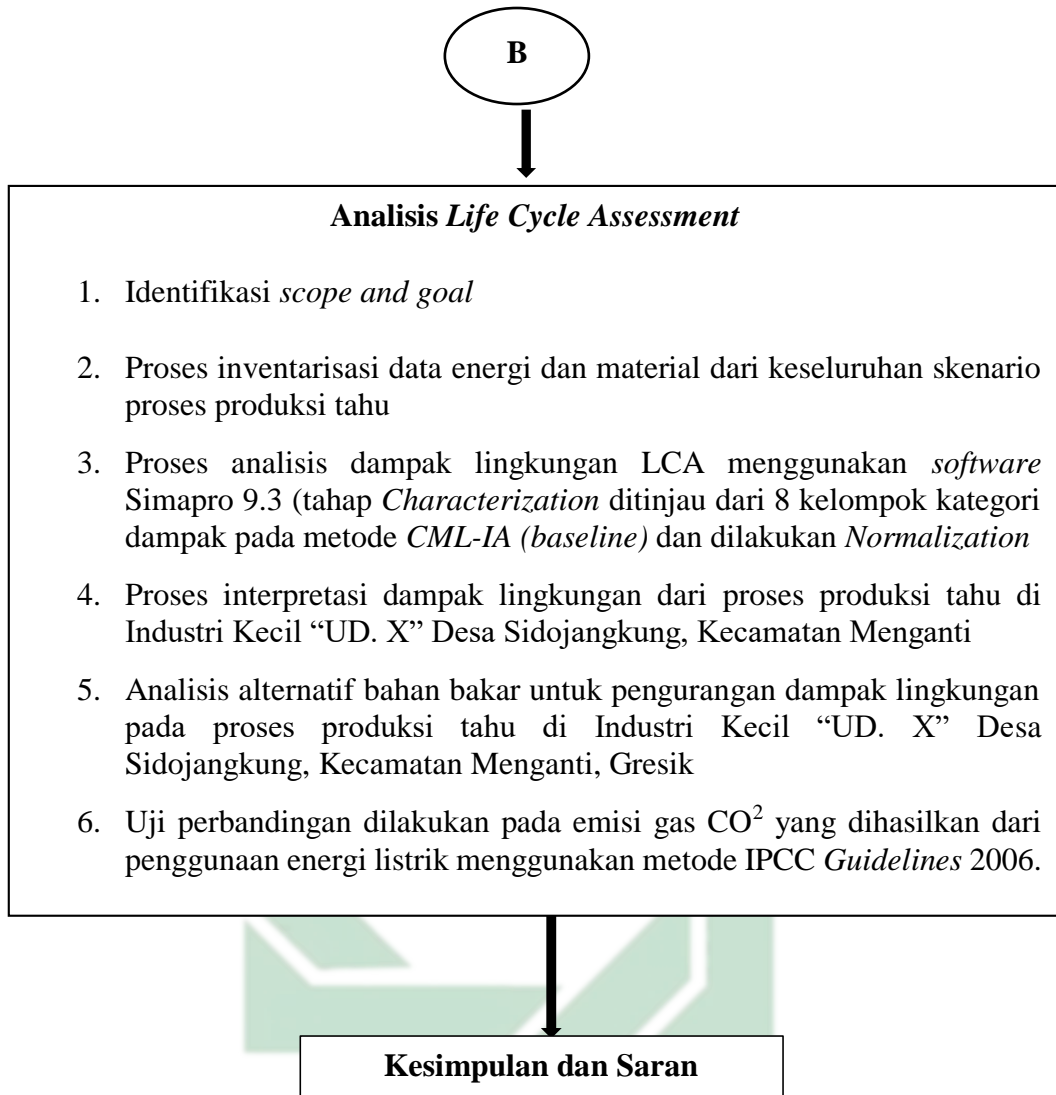
3.3.2 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian merupakan suatu rujukan yang berguna dalam pelaksanaan penelitian dan disusun berdasarkan pemikiran terhadap suatu permasalahan yang dapat mencapai tujuan penelitian. Secara lebih lanjut, tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3









Gambar 3. 3 Diagram alir penelitian

(Sumber: hasil analisis, 2022)

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, diantaranya yaitu: pengumpulan data primer dan data sekunder serta analisis data LCA menggunakan *software* SimaPro 9.3.

Data primer merupakan suatu data yang dihimpun langsung dari lapangan, faktual, dan asli. Dilakukan pengumpulan data yang relevan dan diperlukan pada penelitian ini yaitu alur proses produksi serta data-data yang akan dipaparkan pada tabel 3.1 di bawah ini.

Data sekunder merupakan data yang telah tersedia. Data sekunder yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain kebutuhan bahan baku serta energi pada masing-masing proses produksi, yang selanjutnya digunakan sebagai data *input* untuk *Life Cycle Assessment*. Data sekunder yang dibutuhkan adalah kebutuhan listrik, kebutuhan kayu, kebutuhan solar, kapasitas produksi per hari, bubur kedelai masak pada proses pemasakan dan penyaringan, serta cairan bubur kedelai masak pada proses pengepresan. Pengumpulan data sekunder dilakukan melalui wawancara dengan pekerja maupun pemilik usaha serta observasi, secara lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Klasifikasi data primer dan data sekunder

Kegiatan	No	Material	Metode	Sumber	Jenis data
Proses perendaman	<i>Input</i>				
	1	Kedelai (kg)	Wawancara	Pemilik usaha	Sekunder
	2	Air bersih (liter)	Pengukuran	Proses produksi	Primer
	<i>Output</i>				
	3	Kedelai rendam (kg)	Observasi	Pertanian.go.id	Sekunder
	4	Air limbah (liter)	-	Pemakaian air bersih	Primer
Proses pencucian	<i>Input</i>				
	1	Kedelai rendam (kg)	Observasi	Pertanian.go.id	Sekunder
	2	Air bersih (liter)	Pengukuran	Proses produksi	Primer
	<i>Output</i>				

	1	Kedelai bersih (kg)	Observasi	Proses produksi	Primer
	2	Air limbah (liter)	Pengukuran	Proses produksi	Primer
Proses penggilingan	<i>Input</i>				
	1	Kedelai bersih (kg)	Observasi	Proses produksi	Primer
	2	Air bersih (liter)	Pengukuran	Proses produksi	Primer
	3	Listrik (kwh)	Wawancara	Pemilik usaha	Sekunder
	<i>Output</i>				
	4	Bubur kedelai (kg)	Pengukuran	Proses produksi	Primer
	5	Emisi	Perhitungan	-	IPCC, 2006
Proses pemasakan	<i>Input</i>				
	1	Bubur kedelai (kg)	Pengukuran	Proses produksi	Primer
	2	Air bersih (liter)	Pengukuran	Proses produksi	Primer
	3	Kayu bakar (kg)	Wawancara	pekerja	Sekunder
	4	Solar (liter)	-	-	-
	<i>Output</i>				
	5	Bubur kedelai masak (kg)	Pengukuran	Proses produksi	Primer
	6	Uap air	Studi literatur	Darmajana, dkk., 2013	Sekunder
	7	Emisi	Perhitungan	-	IPCC, 2006
Proses penyaringan	<i>Input</i>				
	1	Bubur kedelai masak (kg)	Pengukuran	Proses produksi	Primer
	2	Air bersih (liter)	Pengukuran	Proses produksi	Primer
	<i>Output</i>				
	3	Sari kedelai (kg)	Pengukuran	Proses produksi	Primer
	4	Ampas kedelai (kg)	Pengukuran	Proses produksi	Primer
Proses penggumpalan	<i>Input</i>				
	1	Sari kedelai (kg)	Pengukuran	Proses produksi	Primer

	2	Asam cuka (liter)	Pengukuran dan wawancara	Proses produksi dan pekerja	Primer
	<i>Output</i>				
	3	Air limbah (liter)	Pengukuran	Proses produksi	Primer
	4	Biang kembali	Pengukuran	Proses produksi	Primer
	5	Gumpalan sari kedelai (kg)	Pengukuran	Proses produksi	Primer
	6	Emisi	-	-	-
Proses Pengepresan	<i>Input</i>				
	1	Gumpalan sari kedelai (kg)	Pengukuran	Proses produksi	Primer
	<i>Output</i>				
	2	Tahu padat (kg)	Pengukuran	Proses produksi	Primer
	3	Air limbah (liter)	Pengukuran	Proses produksi	Primer
Proses Pematangan	<i>Input</i>				
	1	Tahu padat	Pengukuran	Proses produksi	Primer
	<i>Output</i>				
	2	Tahu potong	Pengukuran	Proses produksi	Primer

Sumber: hasil analisis, 2022

3.4.2 Alternatif Bahan Bakar

Penelitian ini memperhitungkan dampak lingkungan dari skenario substitusi bahan bakar pada proses produksi tahu setelah diketahui dampak lingkungan dari kondisi eksisting produksi tahu. Hal ini dimaksudkan agar dapat memberikan alternative atau rekomendasi pengurangan dampak lingkungan dari aktivitas produksi tahu di Industri Kecil “UD.X” Desa Sidojangkung, Kecamatan Menganti, Gresik.

Alternative perbaikan dilakukan dengan melakukan substitusi bahan bakar yaitu dengan penggantian kayu bakar menjadi biogas pada proses pemasakan bubur kedelai. Biogas dihasilkan dari limbah cair dari aktivitas produksi tahu yang belum terkelola dengan baik. Limbah cair tahu yang dibuang langsung ke saluran drainase ataupun ke sungai dapat memicu emisi CH₄, sedangkan dekomposisi material organik

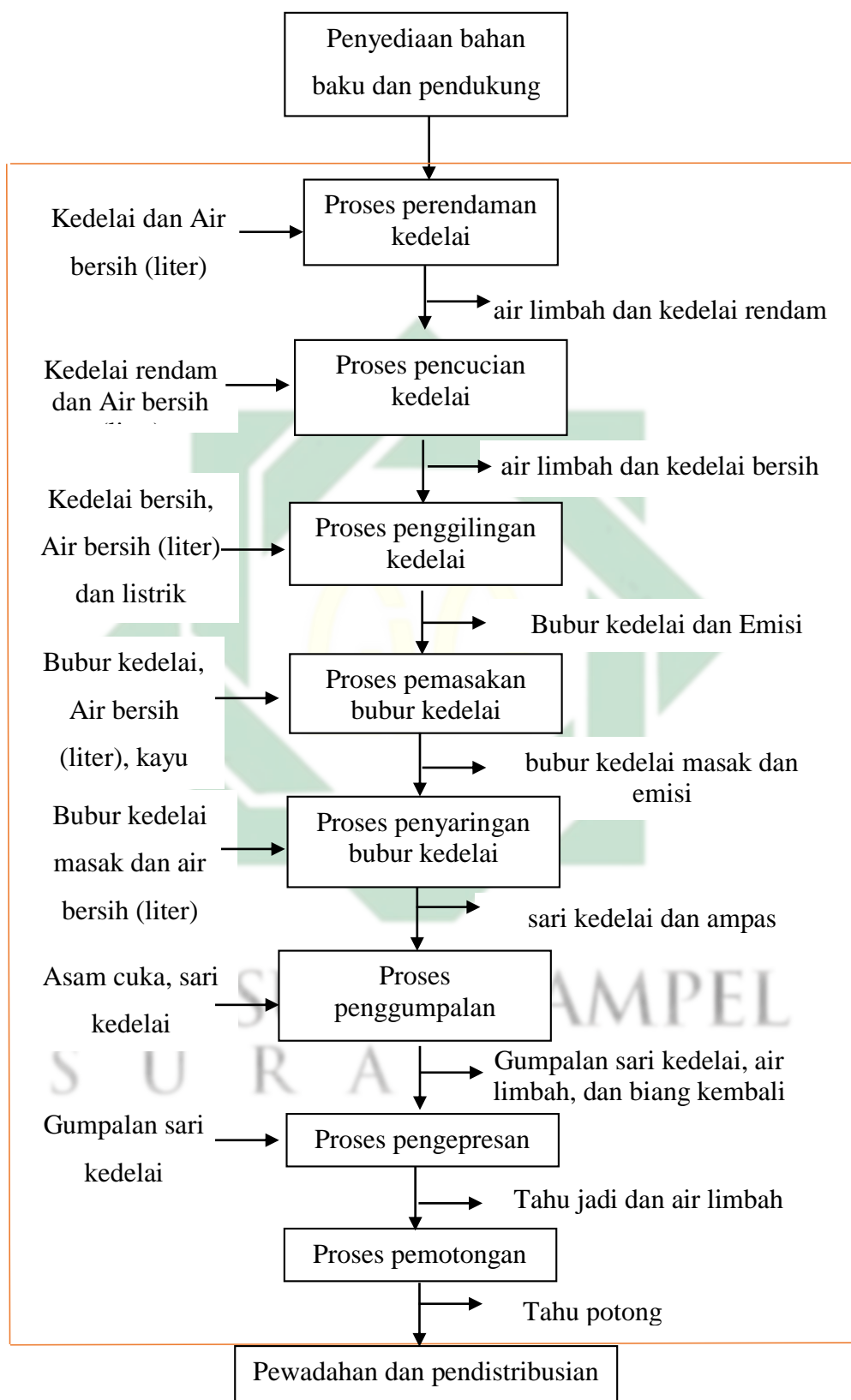
pada kondisi basah atau cair cenderung bersifat anaerob yang menghasilkan gas CH₄. Penggunaan model pengelolaan limbah cair dapat menurunkan nilai emisi gas rumah kaca meskipun nilainya tidak terlalu besar. Penggunaan teknologi biogas sebagai bahan bakar pada proses pemasakan bubur kedelai dapat mengurangi emisi CH₄ yang dilepaskan ke atmosfer (Wahyudi, 2019).

3.4.3 Analisis *Life Cycle Assessment*

Penelitian ini menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) untuk mengidentifikasi potensi dampak lingkungan dari kegiatan produksi tahu industri di kecil “UD. X” Desa Sidojangkung. Langkah-langkah analisis dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* menurut ISO 14040 dalam Wahyudi, 2019 antara lain yaitu :

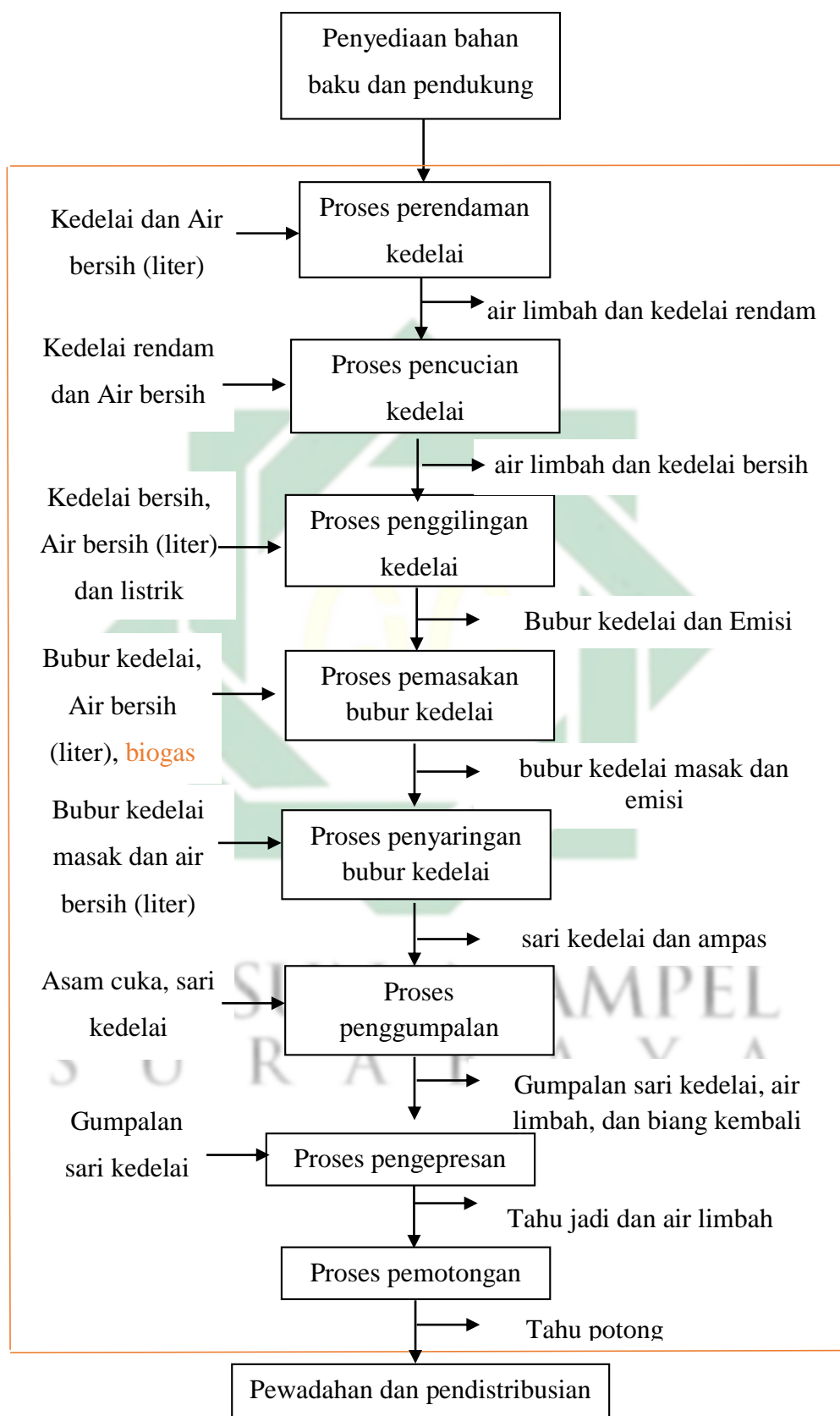
a. Penentuan Ruang Lingkup dan Tujuan

Langkah pertama yang dilakukan yaitu menentukan tujuan dan ruang lingkup. Tujuan dari adanya penelitian ini yaitu untuk menghasilkan informasi mengenai potensi dan besarnya dampak lingkungan dari kegiatan produksi tahu industri di kecil “UD.X” Desa Sidojangkung, Kecamatan Menganti. Penelitian ini dilakukan dengan batasan *gate to gate* pada tahap proses produksi saja. Batas sistem atau *System Boundary* pada penelitian ini diilustrasikan oleh diagram aliran *input* dan *output* umum. Berikut merupakan diagram alir *system boundary* dari penilaian siklus hidup proses produksi tahu, ditunjukkan pada Gambar 3.4



Gambar 3. 4 System boundary kondisi eksisting

(Sumber: hasil analisis, 2022)



Gambar 3. 5 System boundary alternative perbaikan

(Sumber: hasil analisis, 2022)

b. *Functional Units*

Satuan fungsional itu sendiri adalah ukuran fungsional yang digunakan ketika meninjau dampak lingkungan dari beberapa sistem produk. Tujuan dari unit fungsional adalah untuk menyediakan unit referensi data persediaan yang dinormalisasi. Unit fungsional sering didasarkan pada massa produk yang diteliti. Satuan fungsional yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 kg tahu

c. *Life Cycle Inventory*

Data primer dan sekunder yang telah didapatkan disebut dengan data inventori yang digunakan sebagai data input pada *software* simaPro. Input LCI meliputi keseluruhan input pada proses produksi tahu dengan melakukan ketersediaan input yang sesuai dengan kebutuhan pada *database* yang tersedia di SimaPro. *Input* dalam masing-masing proses meliputi kebutuhan energi dan material, yaitu: kedelai, air bersih, air cuka, dan bahan bakar yang digunakan selama proses produksi.

d. *Life Cycle Impact Assesment*

Keseluruhan data yang sudah dikumpulkan akan diolah menggunakan *software* SimaPro 9.3 dan dipilih metode yang digunakan adalah Metode CML-IA (*baseline*). Metode ini dipilih karena mampu menyederhanakan penilaian dampak pada titik tengah. Metode ini merupakan metode yang mengelompokkan dampak dalam kategori titik tengah yang dapat diterima secara umum. Metode ini juga telah banyak digunakan pada penelitian sebelumnya.

Pada LCIA diawali dengan *Characterization*. Tahap ini dimulai dari keseluruhan input-output yang akan dinilai kontribusinya dan berhubungan dengan lingkungan sesuai *impact category* (Aniza, 2017). Dimana keseluruhan data yang diperlukan beserta proses produksinya akan diinput kemudian diolah dengan *software*

SimaPro 9.3. *Ouput* yang dihasilkan dari tahap *characterization* ini berbentuk tabel ataupun grafik yang menjelaskan secara terperinci terhadap nilai dampak lingkungan pada tiap sistem pengamatan untuk bahan baku, bahan bakar, dan proses produksi tahu ditinjau dari 8 kelompok kategori dampak yang tercakup dalam metode CML-IA (*baseline*). Metode ini menghitung 8 kelompok kategori indikator titik tengah. Indikator titik tengah yang tercakup dalam Metode CML-IA (*baseline*) adalah *Acidification, Eutrophication, Climate change, Ecotoxicity, Depletion of abiotic resources, Human toxicity, Ozone layer depletion, Photochemical oxidation*. LCIA pada output Simapro berupa *Network, Characterization, dan Normalization*.

Kemudian dilakukan *Normalization*, yaitu tahap untuk melakukan penyeragaman satuan unit pada semua *impact category*. Penyeragaman satuan unit tersebut dilakukan sesudah *characterization*. Hal ini dilakukan guna memudahkan proses analisis antar kategori dampak lingkungan (Aniza, 2017).

e. Interpretasi

Interpretasi merupakan fase interpretasi terhadap keseluruhan fase yang telah dilaksanakan. Pada tahap ini perlu dilakukan pengidentifikasian proses-proses yang mempunyai kontribusi terbesar pada hasil indikator dampak lingkungan dengan cara melakukan analisis kontribusi (Aniza, 2017). Analisis kontribusi dilakukan untuk dapat mengetahui kontribusi yang paling dominan dari proses produksi tahu.

f. Simpulan

Simpulan yang dihasilkan berdasarkan dari tujuan penelitian ini yaitu :

- 1) Hasil kajian kondisi eksisting kegiatan produksi tahu industri di kecil “UD. X” Desa Sidojangkung, Kecamatan Menganti

2) Hasil besaran dampak dari kondisi eksisting proses produksi tahu industri di kecil “UD. X” Desa Sidojangkung, Kecamatan Menganti.

3) Alternative perbaikan pada proses produksi tahu

Hasil dari kesimpulan pada penelitian ini berguna untuk pemilik usaha sebagai rekomendasi pengurangan dampak lingkungan dari aktivitas produksi tahu, selain itu juga dapat memberikan pemahaman dan penentuan kebijakan baru kepada pemangku kepentingan untuk memberikan fasilitas yang relevan terhadap penanganan dampak lingkungan dari industri kecil.

3.4.4 Perbandingan dengan IPCC 2006

Pedoman IPCC 2006 merupakan metodologi untuk memperkirakan emisi antropogenik terhadap gas rumah kaca. Gas yang termasuk sebagai Gas Rumah Kaca (GRK) adalah gas yang memiliki pengaruh terhadap perubahan iklim. Dalam konverensi PBB mengenai perubahan iklim, *United Nation Framework Convention On Climate Change-UNFCCC*) mengategorikan 6 jenis gas yang termasuk sebagai GRK, yaitu karbondioksida (CO₂), dinitrogen oksida (N₂O), gas metan (CH₄), perfluorokarbon (PFCS), sulfur heksafluorida (SF₆), dan hidro fluorokarbon (HFCS). GRK yang dinyatakan paling berkontribusi terhadap gejala pemanasan global adalah CO₂, N₂O, CH₄, CO, NO_x, PFC dan SF₆ (*IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 1966).

Berikut merupakan perhitungan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan sektor energ listrik

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Konsumsi Daya Listrik} \times FE$$

Dimana :

Konsumsi daya listrik dinyatakan dalam kWh

FE : faktor emisi CO₂ listrik

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Profil Industri Tahu “UD.X” Desa Sidojangkung, Kecamatan Menganti, Gresik

Industri tahu “UD.X” merupakan salah satu bentuk industri kecil yang berada di Kabupaten Gresik, tepatnya di Kecamatan Menganti. Industri tersebut berdiri sejak tahun 2009. Industri tersebut tergolong industri kecil karena memiliki pekerja sebanyak 17 orang. Produk utama yang dihasilkan yaitu tahu yang bahan utamanya adalah kedelai. Industri tersebut setiap harinya dapat memproduksi 600 hingga 800 kg kedelai. Menurut Pemilik, pada tahun-tahun sebelumnya, produksi tahu bisa mencapai 1000 kg kedelai, namun beberapa tahun belakangan ini terjadi penurunan produksi diakibatkan oleh pandemic covid-19. Kondisi eksisting industri tahu “UD.X” dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Kondisi Eksisting Industri Tahu “UD.X”

(Sumber: dokumentasi pribadi, 2022)

Proses produksi tahu di Industri tersebut masih menggunakan peralatan yang konvensional dan memanfaatkan tenaga manusia. Produksi tahu pada “UD. X” tersebut dimulai dari perendaman kedelai, pencucian kedelai, penggilingan kedelai, pemasakan bubur kedelai, penyaringan bubur kedelai, penggumpalan sari kedelai, pengepresan cairan tahu, dan pemotongan tahu.

Produk samping yang dihasilkan dari industri tersebut antara lain ampas kedelai, limbah cair, dan emisi udara. Ampas kedelai dapat digunakan sebagai pakan ternak sehingga dijual kembali kepada peternak. Sedangkan limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi tahu masih dibiarkan mengalir ke drainase tanpa diolah terlebih dahulu.

Ide dari pemilik untuk memproduksi tahu adalah karena tahu merupakan bahan makanan yang biasa dikonsumsi oleh sebagian besar masyarakat Indonesia. Selain itu, pemilik diberikan amanah oleh keluarganya untuk meneruskan usaha tersebut yang sebelumnya telah mengalami kerugian karena beberapa hal. Hingga saat ini, pabrik tahu “UD.X” Desa Sidojukung, Kecamatan Menganti, Kabupaten Gresik tersebut memiliki pelanggan tetap yang tersebar di wilayah Gresik, Surabaya, dan Lamongan.

4.2 Proses Produksi Tahu “UD. X” Desa Sidojukung, Kecamatan Menganti, Gresik

4.2.1 Proses Perendaman

Perendaman merupakan tahap awal dari proses produksi tahu. Pada tahap ini, terdapat 25 bak yang masing-masing akan diisi 16 kg kedelai. Di tahap ini disediakan 1 (satu) gayung berukuran 11 liter sebagai alat yang digunakan untuk menuangkan air bersih untuk proses perendaman. Perendaman dilakukan selama $\pm 3 - 4$ jam agar kedelai mengembang dan menjadi lunak, sehingga dapat memudahkan proses penggilingan. Produk samping yang dihasilkan pada tahap ini berupa limbah cair yang berasal dari pemakaian air bersih. Proses perendaman kedelai di UD.X Desa Sidojukung dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4. 2 Proses perendaman kedelai UD. X Desa Sidojukung

(Sumber: dokumentasi pribadi, 2022)

4.2.2 Proses Pencucian

Pencucian adalah tahap setelah proses perendaman. Pada tahap ini, disediakan 2 wadah besar untuk kedelai yang sudah mengembang dan lunak setelah direndam. Setiap 16 kg kedelai yang ada di dalam bak akan disaring dan dimasukkan ke dalam 2 wadah besar tersebut untuk dilakukan pencucian.

Metode pencucian juga masih sama dengan metode pada proses perendaman, yaitu disediakan 1 (satu) gayung berukuran 11 liter sebagai alat yang akan digunakan untuk menuangkan air bersih, selanjutnya wadah digoyang-goyangkan untuk menghilangkan air. Produk samping yang dihasilkan pada tahap ini berupa limbah cair yang berasal dari pemakaian air bersih. Proses pencucian kedelai di UD.X Desa Sidojangkung dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3 Proses pencucian kedelai UD.X Desa Sidojangkung

(Sumber: dokumentasi pribadi, 2022)

4.2.3 Proses Penggilingan

Penggilingan merupakan adalah tahap ketiga dari proses produksi tahu. Pada tahap ini, disediakan 1 mesin penggiling. Per 16 kg kedelai yang sudah dicuci dan diletakkan ke dalam 2 bak besar atau setara dengan 1 (satu) kali masak, dimasukkan ke dalam mesin penggiling.

Pada tahap ini dibutuhkan air bersih dan daya listrik untuk mengoperasikan mesin penggiling. Air bersih dialirkan langsung

melalui kran air yang terletak di atas mesin penggiling. Air bersih tersebut bersumber dari air tanah pemilik. Kedelai yang sudah menjadi bubur diletakkan ke dalam 2 ember berukuran 20 liter. Untuk menampung 16 kg kedelai yang telah digiling tersebut dibutuhkan 4 ember berukuran 20 liter. Produk yang dihasilkan pada proses ini adalah bubur kedelai, sedangkan produk samping yang dihasilkan pada proses ini adalah emisi dari pemakaian listrik. Proses penggilingan kedelai di UD.X Desa Sidojangkung dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4. 4 Proses penggilingan kedelai UD.X Desa Sidojangkung

(Sumber: dokumentasi pribadi, 2022)

4.2.4 Proses Pemasakan

Proses pemasakan merupakan proses keempat dari produksi tahu. Kedelai yang telah diletakkan ke dalam ember yang berukuran 20 liter, selanjutnya akan dimasukkan ke dalam bak pemasakan. Terdapat 4 tempat pemasakan di industri tahu “UD. X” Desa Sidojangkung ini yang juga dilengkapi dengan proses penyaringan hingga pemotongan di masing-masing tempat pemasakannya. Setiap tempat masak bisa melakukan pemrosesan sebanyak 9 hingga 11 kali tergantung dari pesanan yang masuk di setiap harinya.

Tahap ini membutuhkan air bersih untuk melakukan pemanasan bubur kedelai hingga masak. Penambahan air bersih dilakukan sedikit demi sedikit dengan menggunakan gayung berukuran 6 liter. Pada tahap ini juga diperlukan kayu bakar sebagai bahan bakar utama proses pemasakan. Kayu tersebut diperoleh dari sisa produksi pabrik kayu atau meubel yang berlokasi di daerah sekitar pabrik. Setiap minggunya, kayu

dikirimkan sebanyak 2 *truck canter* yang memiliki kapasitas maksimal 5 ton. Produk yang dihasilkan pada proses ini adalah bubur kedelai masak, sedangkan produk samping yang dihasilkan pada proses ini adalah emisi dari pembakaran kayu. Proses pemasakan bubur kedelai di UD.X Desa Sidojankung dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4. 5 Proses pemasakan bubur kedelai

(Sumber: dokumentasi pribadi, 2022)

4.2.5 Proses Penyaringan

Proses penyaringan dilakukan setelah proses pemasakan. Kedelai yang telah dimasak, selanjutnya akan dimasukkan ke dalam bak penyaringan. Terdapat 4 bak penyaringan di industri tahu “UD. X” Desa Sidojankung. Setiap bak penyaringan bisa melakukan pemrosesan sebanyak 9 hingga 11 kali sejalan dengan proses pemasakan pada bak tersebut tergantung dari pesanan yang masuk di setiap harinya.

Tahap ini membutuhkan kain dan air bersih untuk menyaring bubur kedelai masak. Air bersih bersumber dari air tanah Pemilik. Penambahan air bersih dilakukan sedikit demi sedikit dengan menggunakan gayung berukuran 6 liter. Produk yang dihasilkan pada proses ini adalah sari kedelai. Proses penyaringan kedelai di UD.X Desa Sidojankung dapat dilihat pada Gambar 4.6



Gambar 4. 6 Proses penyaringan sari kedelai UD.X Desa Sidojukung

(Sumber: dokumentasi pribadi, 2022)

4.2.6 Proses Penggumpalan

Proses penggumpalan dilakukan pada tahap keenam setelah proses penyaringan. Tujuan dari proses penggumpalan adalah untuk menggumpalkan sari kedelai. Pada tahap ini, sari kedelai ditambahkan biang cuka. Kemudian diaduk perlahan bagian atasnya hingga membentuk gumpalan sari kedelai.

Produk yang dihasilkan pada proses ini adalah gumpalan sari kedelai, sedangkan produk samping yang dihasilkan adalah limbah cair dari bahan biang yang dibuang. Proses penggumpalan sari kedelai di UD.X Desa Sidojukung dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Proses penggumpalan sari kedelai di UD.X Desa Sidojukung

(Sumber: dokumentasi pribadi, 2022)

4.2.7 Proses Pengepresan

Proses pengepresan dilakukan setelah tahap penggumpalan. Gumpalan sari kedelai dimasukkan ke dalam cetakan yang telah dilapisi kain. Cetakan tersebut ditumpuk hingga 4 tingkat, kemudian ditutup bagian atasnya dan dilakukan pengepresan. Pengepresan masih menggunakan alat sederhana, yaitu meletakkan batu dengan berat berkisar 5 hingga 10 kg di bagian atas cetakan. Setiap 16 kg kedelai atau setiap 1 (satu) kali masak, dibutuhkan 8 cetakan untuk proses pengepresan.

Pengepresan dilakukan hingga gumpalan sari kedelai benar-benar memadat menjadi tahu. Produk yang dihasilkan pada proses ini adalah tahu jadi sebanyak 63 kg sedangkan produk samping yang dihasilkan adalah limbah cair dari pengepresan yang dilakukan. Proses pengepresan gumpalan sari kedelai di UD.X Desa Sidojangkung dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4. 8 Proses pengepresan gumpalan sari kedelai UD.X Desa Sidojangkung

(Sumber: dokumentasi pribadi, 2022)

4.2.8 Proses Pemotongan

Proses pemotongan dilakukan setelah proses pengepresan. Tahu yang sudah jadi selanjutnya akan dilakukan pemotongan. Pemotongan tahu tersebut berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang ± 10 cm, lebar ± 7 cm dan tinggi ± 5 cm. Satu loyang pengepresan dipotong sebanyak ± 50 potong. Output dari tahap ini adalah tahu potong. Proses pemotongan tahu di UD.X Desa Sidojangkung dapat dilihat pada Gambar 4.9



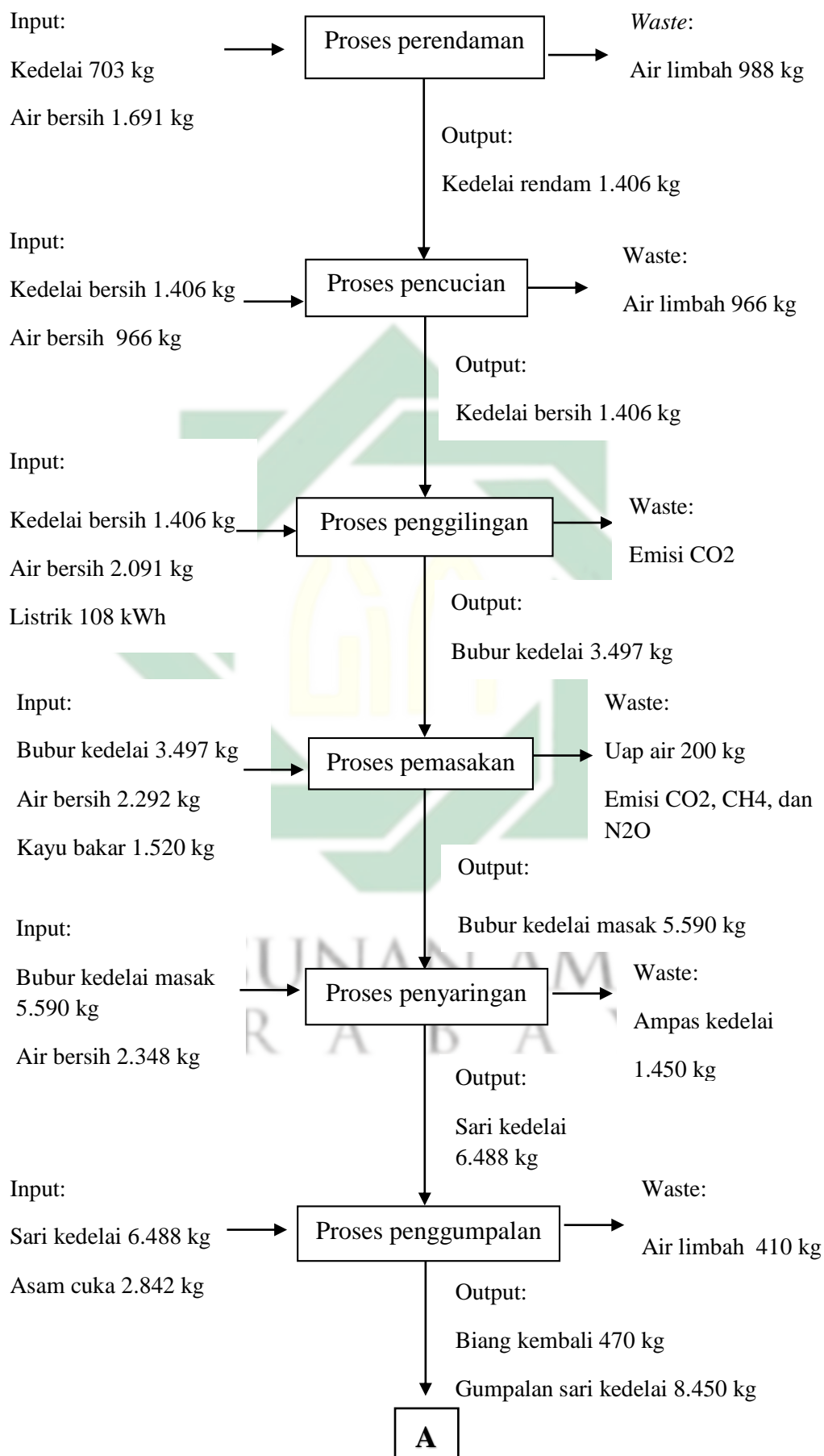
Gambar 4. 9 Proses pemotongan tahu jadi UD. X Desa Sidojukung

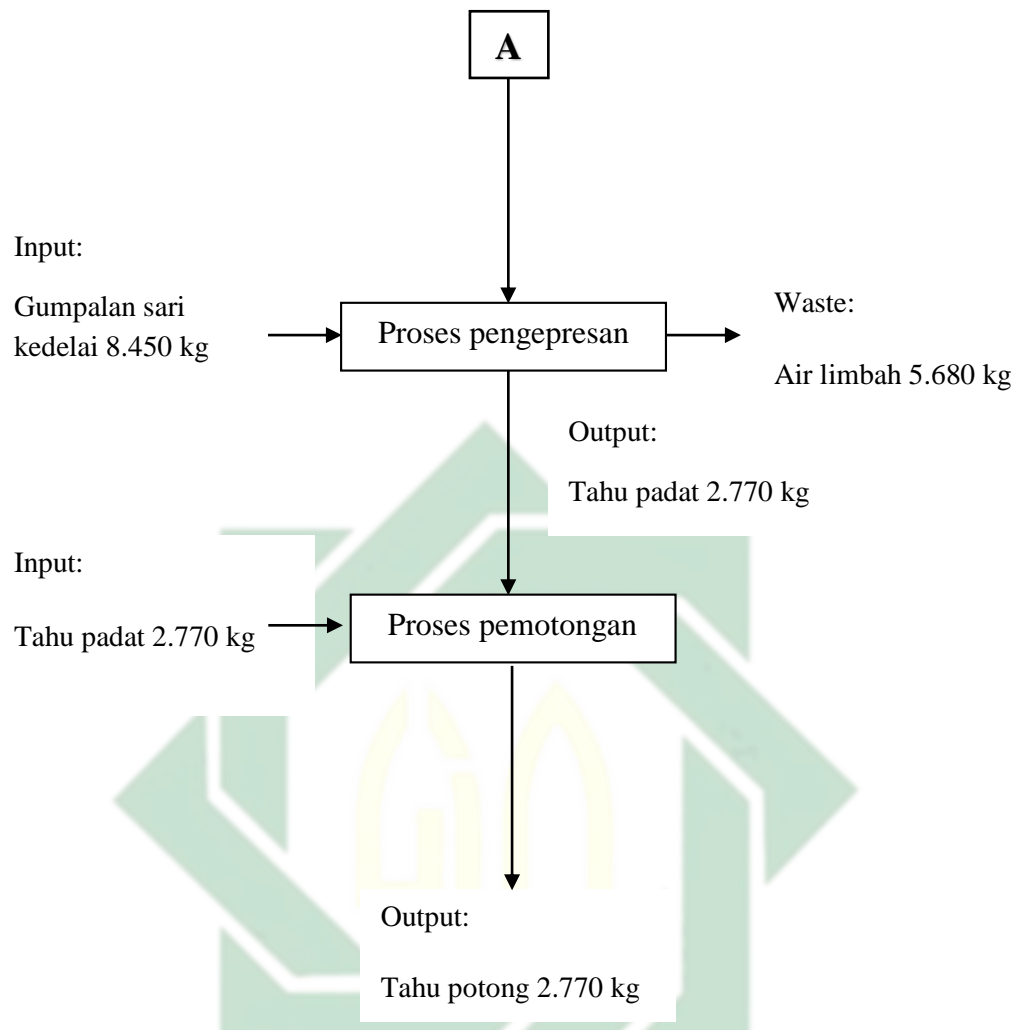
(Sumber: dokumentasi pribadi, 2022)

4.3 Alur Proses dan *Mass Balance* Produksi Tahu UD.X

Alur proses produksi tahu disajikan beserta input dan output dari setiap proses beserta detail kuantitas tiap input dan output. Keseluruhan alur proses dan kuantitas input-output produksi tahu di UD. X Desa Sidojukung, Kecamatan Menganti, Kabupaten Gresik dijelaskan pada Gambar 4.10.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A





Gambar 4.10 Alur proses produksi tahu “UD. X” Desa Sidojankung, Kecamatan Menganti, Kabupaten Gresik

(Sumber: hasil analisis, 2022)

UIN SUNAN AMEL
S U R A B A Y A

4.4 Analisis LCA Produksi Tahu

4.4.1 Goal and Scope Definition

Tujuan dari adanya penelitian ini yaitu untuk menghasilkan informasi mengenai potensi dan besarnya dampak lingkungan dari kegiatan produksi tahu industri di kecil “UD.X” Desa Sidojangkung, Kecamatan Menganti. Batasan yang ditentukan pada kajian ini adalah:

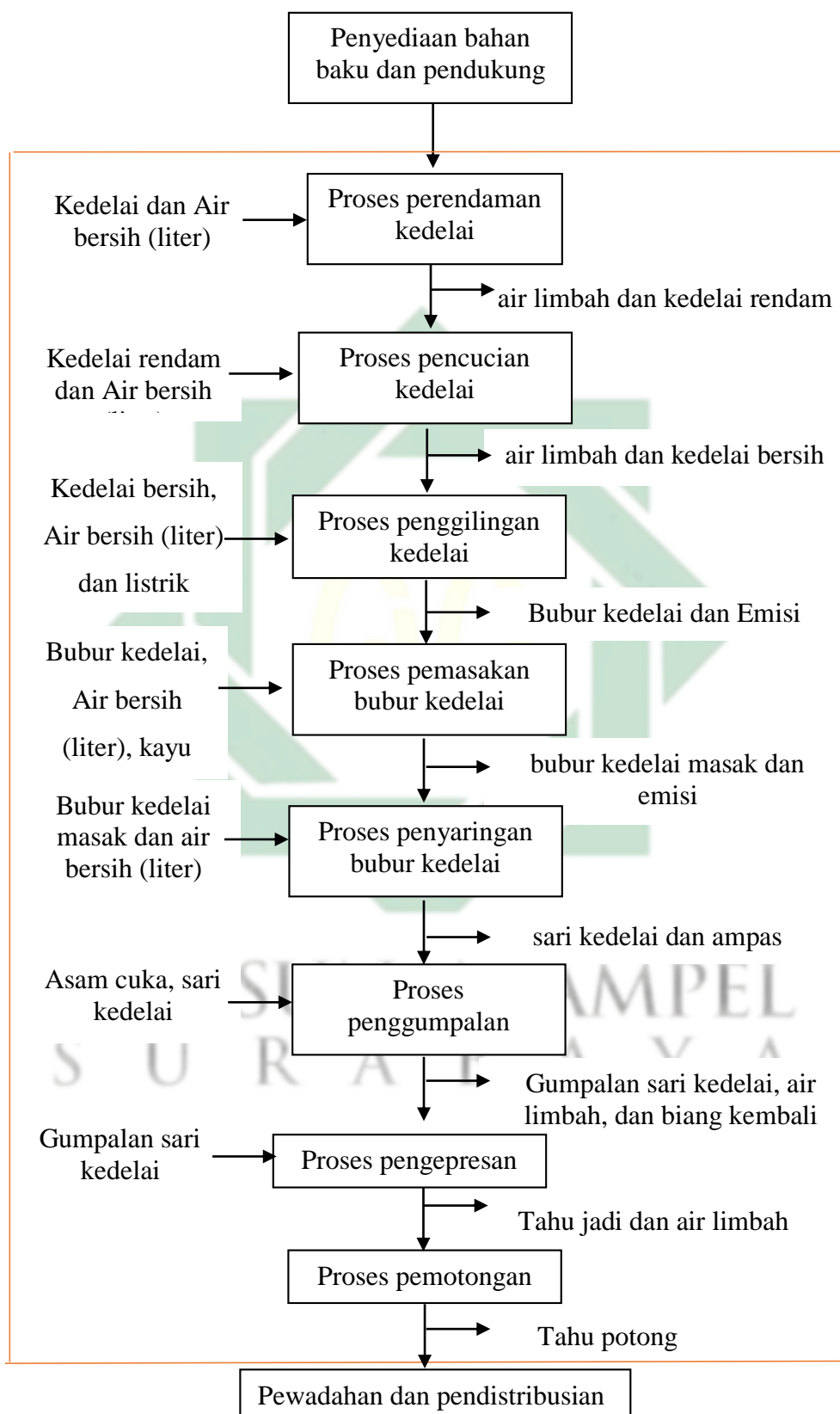
1. Batasan analisis pada penelitian ini adalah *gate to gate* yaitu pada proses produksi saja.
2. Analisis data menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan metode *CML-IA (baseline)*.
3. Potensi dampak lingkungan ditinjau dari 8 kelompok kategori dampak lingkungan pada metode *CML-IA (baseline)* yaitu: *Acidification, Eutrophication, Depletion of abiotic resources, Climate change, Human toxicity, Ecotoxicity, Ozone layer depletion,* dan *Photochemical oxidation*.
4. Analisis dampak lingkungan dilakukan pada 3 dampak terbesar.
5. *Life Cycle Inventory* yang diperlukan pada penelitian ini yaitu data konsumsi energi dan material pada proses pembuatan tahu.

Pada tahap ini, juga dilakukan penentuan batasan sistem (*system boundary*) dan fungsional unit yang digunakan pada penelitian.

A. System Boundary

System boundary atau batasan sistem adalah keseluruhan proses yang memiliki kontribusi dalam siklus hidup produk atau aktivitas yang berada dalam batas-batas sistem. Hal ini diilustrasikan dengan diagram aliran input dan output secara umum. Batasan sistem memudahkan peneliti untuk menilai daur siklus hidup produk, aktivitas, atau proses (Kurniawati, *et al.*, 2019). Batasan sistem penilaian LCA pada penelitian ini dimulai dari proses perendaman kedelai hingga proses pemotongan tahu.

Batas sistem pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.11



Gambar 4. 11 System Boundary proses produksi tahu

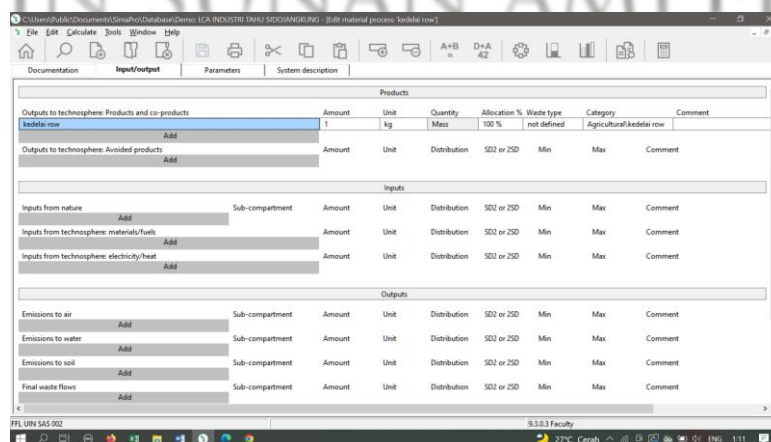
B. Functional Unit

Satuan fungsional merupakan ukuran fungsional yang digunakan ketika meninjau dampak lingkungan dari beberapa sistem produk. Tujuannya adalah untuk menyediakan unit referensi data persediaan yang dinormalisasi. Unit fungsional sering didasarkan pada massa produk yang diteliti. Satuan fungsional yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 kg tahu.

4.4.2 Life Cycle Inventory

Pada sub ini, akan dipaparkan data proses produksi yang dikumpulkan dari lapangan melalui metode wawancara, pengukuran, dan observasi secara langsung. Data tersebut merupakan informasi terhadap bahan baku atau material, bahan bakar atau energi, produk dan limbah yang dihasilkan dari proses produksi tahu yang digunakan sebagai data *input* untuk *Life Cycle Assessment* dan diolah menggunakan *software* SimaPro 9.3.

Tahap awal yang dilakukan untuk input inventori adalah menentukan unit fungsional yang digunakan sebagai acuan dasar unit yang digunakan. Unit fungsional yang digunakan untuk analisis LCA ini adalah 1 kg tahu. Unit fungsional tersebut ditentukan berdasarkan penelitian dari Sari, *et al.*, (2021) dan Kurniawati, *et al.*, (2019). Proses input inventori awal disajikan pada Gambar 4. 12



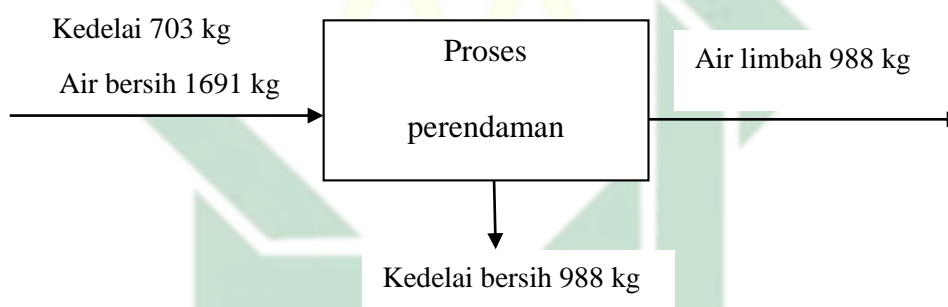
Gambar 4. 12 Membuat input inventory manual pada material

(Sumber: hasil analisis simapro, 2022)

Selanjutnya dilakukan input untuk setiap proses produksi tahu. Namun, perlu dilakukan analisis inventory untuk setiap proses produksi. Lebih lanjut, berikut dijelaskan analisis inventory dan input simapro untuk setiap proses produksi.

A. Proses Perendaman

Tahap perendaman merupakan tahap awal dari proses produksi tahu. Data input yang digunakan pada tahap ini adalah kedelai dan air bersih. Jumlah produksi rata-rata per bulan di “UD.X” Desa Sidojangkung adalah sebanyak 703 kg kedelai atau setara dengan 43,9 masak, yang mana permasaknya adalah sebesar 16 kg kedelai. Kedelai yang digunakan untuk produksi tahu merupakan kedelai utuh tanpa penyortiran. *Material balance* pada proses perendaman ditunjukkan pada Gambar 4.13



Gambar 4. 13 *Material balance* proses perendaman

(Sumber: hasil analisis, 2022)

Kedelai input yang masuk ke dalam bak untuk direndam, rata-rata perbulannya berjumlah 703 kg tanpa dilakukan sortir. Pabrik tahu “UD. X” memiliki 25 bak untuk proses perendaman. Air bersih yang diperlukan untuk proses rendam bersumber dari air tanah milik pelaku usaha, rata-rata pemakaian air perbulannya sebesar 1.691 kg. Air bersih dialirkan melalui kran air ke dalam bak penampung air di tahap perendaman. Untuk proses ini memiliki 1 gayung besar berukuran 11 L sebagai alat yang digunakan untuk menuangkan air bersih ke dalam bak yang berisi kedelai sebanyak 3,5 kali penambahan.

Output yang dihasilkan dari proses perendaman di pabrik tahu "UD.X" berupa produk dan limbah. Produk pada proses ini berupa kedelai rendam yang memiliki berat 2 kali lipat dari berat kedelai sebelum direndam (Sujati, 2019). Data proses perendaman rata-rata selama 1 (satu) bulan secara keseluruhan dilampirkan pada Lampiran IV. Berikut merupakan perhitungan pada proses perendaman.

- Rata-rata berat kedelai awal = 703 kg
- Rata-rata kapasitas masak = 44 masak
- Air bersih rata-rata
 $= 3,5 \text{ kali penambahan} \times 11 \text{ l} \times \text{kapasitas masak}$
 $= 38,5 \text{ l} \times 44$
 $= 1.961 \text{ liter atau } 1.961 \text{ kg}$
- Berat kedelai rendam
 $= 703 \text{ kg} \times 2$
 $= 1.406 \text{ kg}$
- Air limbah
 $= \text{rata - rata air bersih yang digunakan} -$
 $\text{berat kedelai rendam}$
 $= 1.961 \text{ kg} - 1.406 \text{ kg}$
 $= 988 \text{ kg}$

Life cycle inventory dari proses perendaman kedelai di UD.X ditunjukkan pada Tabel 4.1

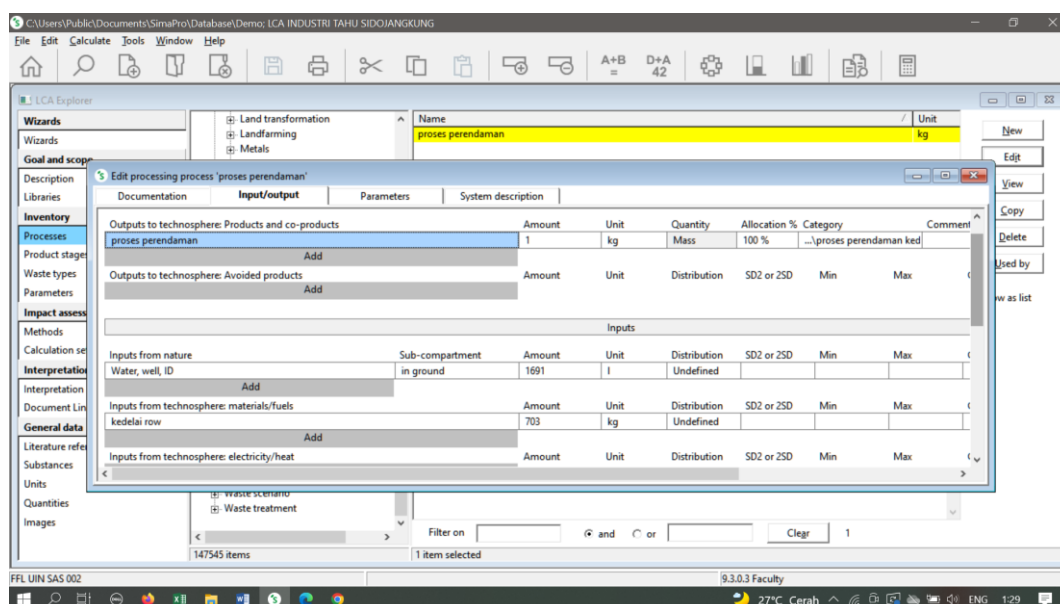
Tabel 4. 1 *Life cycle inventory* proses perendaman

<i>Input</i>			<i>Output</i>		
Material	Kuantitas	Satuan	Material	Kuantitas	Satuan
Kedelai	703	Kg	Kedelai rendam	1406	Kg
Air Bersih	1961	Kg	Air Limbah	988	Kg

Sumber: hasil perhitungan, 2022

Kedelai hasil rendam diasumsikan 2 kali lipat lebih berat daripada kedelai awal. Hal ini dikarenakan air bersih yang ditambahkan akan masuk ke dalam pori-pori kedelai sehingga kedelai akan menjadi lebih berat daripada sebelumnya. *Life cycle inventory* diinput ke

software SimaPro untuk dianalisis. Input proses perendaman ke SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.14



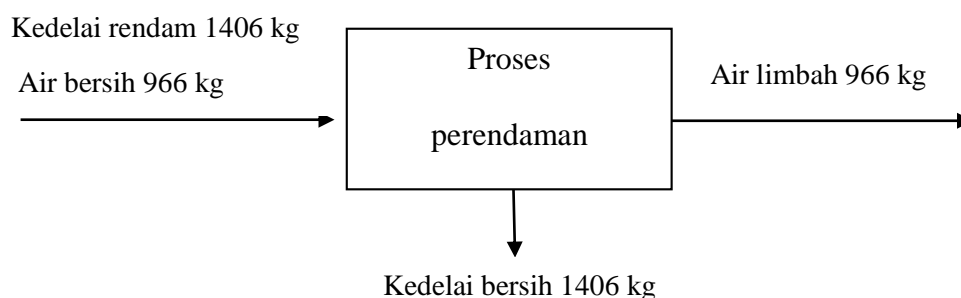
Gambar 4. 14 Input inventory pada proses perendaman

(Sumber: hasil analisis simapro, 2022)

B. Proses Pencucian

Tahap pencucian merupakan tahap kedua dari proses produksi tahu. Data input yang digunakan pada tahap ini adalah kedelai rendam dan air bersih. Jumlah kedelai rendam yang masuk ke dalam proses pencucian ini adalah sebesar 1.406 kg. Kedelai tersebut merupakan hasil dari proses perendaman. Data input selanjutnya adalah air bersih yang diperoleh dari air tanah milik sendiri. Air bersih yang dibutuhkan pada proses pencucian ini adalah sebesar 966 liter.

Proses pencucian kedelai dilakukan per bak yaitu 16 kg atau per masak. 16 kg kedelai hasil rendam tersebut dibagi menjadi 2 wadah untuk dicuci. Pencucian dilakukan secara manual yaitu seorang pekerja menuangkan air bersih ke dalam 2 wadah yang berisi kedelai hasil rendam. *Material balance* pada proses pencucian dapat dilihat pada Gambar 4.15



Gambar 4. 15 Material balance proses pencucian

(Sumber: hasil analisis, 2022)

Kedelai input yang masuk ke dalam 2 wadah selanjutnya dicuci dengan menuangkan air bersih menggunakan gayung berkapasitas 11 liter. Output yang dihasilkan dari proses pencucian di pabrik tahu “UD.X” berupa produk dan limbah. Produk yang dihasilkan berupa kedelai bersih. Sedangkan limbah yang dihasilkan berupa limbah cair hasil dari proses pencucian. Pada proses pencucian ini diasumsikan air hanya melewati kedelai sehingga tidak ada air tercecer yang hilang. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Septifani, *et al.*, 2021) yang mengasumsikan bahwa air bersih pada proses pencucian hanya melewati kedelai sehingga jumlah air bersih dan air limbah pada proses pencucian adalah sama. Data proses pencucian rata-rata selama 1 (satu) bulan secara keseluruhan dilampirkan pada Lampiran IV. Berikut merupakan perhitungan pada proses pencucian.

- Berat kedelai rendam rata-rata = 1.406 kg
- Rata-rata kapasitas masak = 44 masak
- Rata-rata penggunaan air bersih pada proses pencucian
 $= 2 \text{ kali penambahan} \times 11 \text{ l} \times \text{kapasitas masak}$
 $= 22 \text{ l} \times 43,9$
 $= 965,8 \text{ liter} = 966 \text{ kg}$

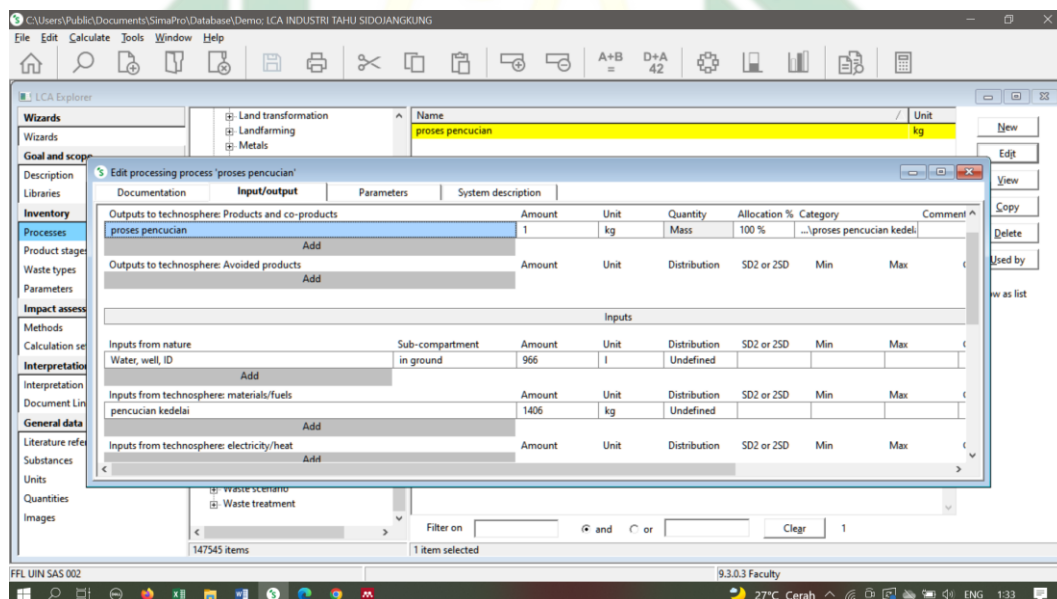
Life cycle inventory dari proses pencucian kedelai di UD.X ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 *Life cycle inventory* pada proses pencucian kedelai

<i>Input</i>			<i>Output</i>		
Material	Kuantitas	Satuan	Material	Kuantitas	Satuan
Kedelai	1406	Kg	Kedelai bersih	1406	Kg
Air Bersih	966	Kg	Air Limbah	966	Kg

Sumber: hasil perhitungan, 2022

Air bersih yang dimasukkan ke dalam 2 wadah untuk mencuci kedelai akan langsung keluar melewati lubang-lubang di sisi kiri dan kanan serta bawah dari wadah. Sehingga air bersih diasumsikan menjadi output secara keseluruhan tanpa ada yang tertinggal. Air bersih sisa dari proses pencucian akan menjadi air limbah yang selanjutnya akan terbuang tanpa diolah terlebih dahulu. *Life cycle inventory* diinput ke software SimaPro untuk dianalisis. Input proses pencucian ke SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.16

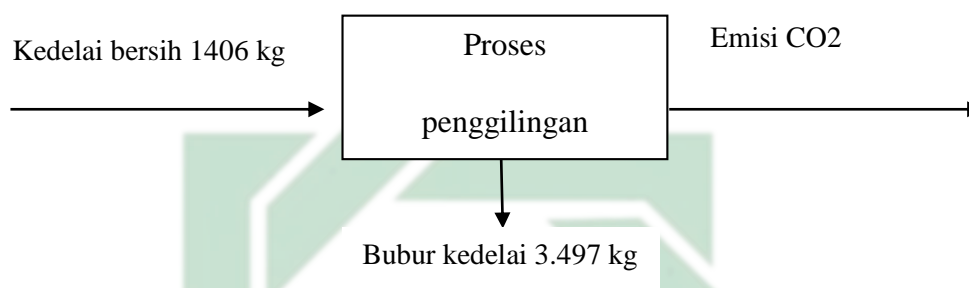
**Gambar 4. 16** Input inventory pada proses pencucian

(Sumber: hasil analisis simapro, 2022)

C. Proses Penggilingan

Tahap penggilingan dilakukan setelah tahap pencucian. Data input pada proses penggilingan ini adalah kedelai bersih dari proses pencucian dan air bersih. Jumlah kedelai bersih yang masuk ke

proses penggilingan ini berjumlah 1.406 kg. Data input selanjutnya adalah air bersih. Air bersih yang diperlukan sebesar 2.091 liter. Penggilingan dilakukan dengan menggunakan mesin yang energi utamanya berasal dari listrik. Penggilingan dilakukan secara bergantian per 16 kg kedelai bersih atau setara dengan permasak. *Material balance* pada proses penggilingan dapat dilihat pada Gambar 4.17



Gambar 4. 17 Material Balance proses penggilingan
(Sumber: hasil analisis, 2022)

Kedelai input yang sudah bersih selanjutnya akan digiling. Perhitungan air bersih didasarkan dari lama penggilingan yaitu 8 menit. Botol 1,5 liter diisi air bersih dengan debit air yang sama pada proses penggilingan kedelai. Kemudian didapatkan nilai 15 detik untuk mengisi botol 1,5 liter tersebut. Data proses penggilingan rata-rata selama 1 (satu) bulan secara keseluruhan dilampirkan pada Lampiran IV. Perhitungan pada proses penggilingan dapat dilihat seperti pada perhitungan di bawah ini.

- Kapasitas masak keseluruhan = 1.230 masak
- Penggunaan air bersih pada proses penggilingan per 16 kg kedelai

$$\begin{aligned}
 &= \frac{8 \text{ menit penggilingan per } 16 \text{ kg kedelai}}{15 \text{ detik pengisian wadah } 1,5 \text{ liter}} \\
 &= \frac{480 \text{ detik penggilingan per } 16 \text{ kg kedelai}}{15 \text{ detik pengisian wadah } 1,5 \text{ liter}} \\
 &= 32 \text{ detik} \times 1,5 \text{ liter wadah} \\
 &= 48 \text{ liter air bersih per } 16 \text{ kg kedelai}
 \end{aligned}$$
- Penggunaan air bersih proses penggilingan selama 28 hari

$$\begin{aligned}
 &= \text{kapasitas masak keseluruhan} \times \text{air bersih} \\
 &= 1230 \times 48 \text{ liter} = 58.560 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

- Rata-rata penggunaan air bersih proses penggilingan selama 28 hari

$$= \frac{58.560 \text{ liter}}{28 \text{ hari}} = 2091 \text{ liter per hari}$$

Output yang dihasilkan dari proses penggilingan di pabrik tahu “UD.X” berupa produk dan limbah. Produk yang dihasilkan berupa bubur kedelai. Sedangkan limbah yang dihasilkan berupa emisi dari sumber energi listrik untuk proses penggilingan.

Emisi CO₂ yang dihasilkan dari sumber energi listrik dihitung menggunakan metode IPCC pada sektor energi. Pedoman IPCC 2006 merupakan metodologi untuk memperkirakan emisi antropogenik terhadap gas rumah kaca. Gas yang termasuk sebagai Gas Rumah Kaca (GRK) adalah gas yang memiliki pengaruh terhadap perubahan iklim. Dalam konvensi PBB mengenai perubahan iklim, *United Nation Framework Convention On Climate Change-UNFCCC*) mengkategorikan 6 jenis gas yang termasuk sebagai GRK, yaitu karbondioksida (CO₂), dinitrogen oksida (N₂O), gas metan (CH₄), perfluorokarbon (PFCS), sulfur heksafluorida (SF₆), dan hidro fluorokarbon (HFCS). GRK yang dinyatakan paling berkontribusi terhadap gejala pemanasan global adalah CO₂, N₂O, CH₄, CO, NO_x, PFC dan SF₆ (*IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 1996). Berikut merupakan perhitungan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan sektor energi listrik

$$Emisi CO_2 = Konsumsi Daya Listrik \times FE$$

Dimana :

Konsumsi daya listrik dinyatakan dalam kWh

FE : faktor emisi CO₂ listrik

Faktor emisi jaringan tenaga listrik dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Faktor Emisi jaringan Ketenagalistrikan

Sistem Ketenagalistrikan	Baseline factor emisi (kgCO ₂ /kWh)
Jawa-Bali-Madura	0,725
Sumatera	0,743
Kalimantan Timur	0,742
Kalimantan Barat	0,775
Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan	1,273
Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, dan Gorontalo	0,161
Sulawesi Selatan, Sulawesi Barat, dan Sulawesi Tenggara	0,269

Sumber: Juknis Pemantauan, Evaluasi, dan Pelaporan (PEP) Pelaksanaan RAD-GRK, 2013

Merujuk pada tabel 4.3 pada penelitian ini, faktor emisi yang digunakan untuk menghitung emisi CO₂ pada sektor energi listrik adalah sebesar 0,725 kgCO₂/kWh dikarenakan lokasi industri tahu UD.X berlokasi di Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Maka, perhitungan emisi CO₂ dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 &= 108 \text{ kWh/hari} \times 0,725 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} \\ &= 78,3 \text{ kgCO}_2/\text{hari} \end{aligned}$$

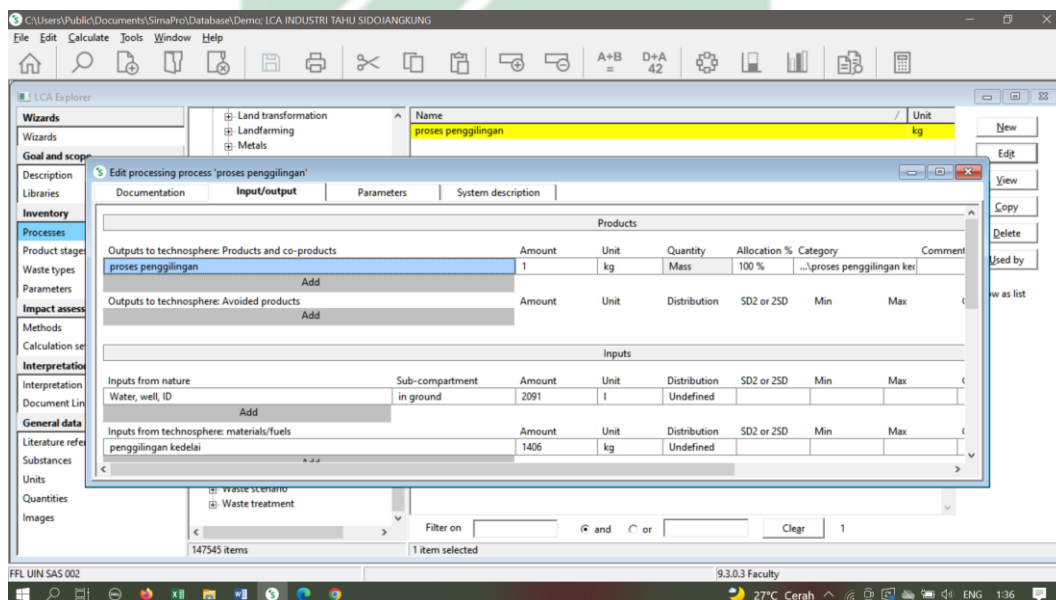
Berdasarkan perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa penggunaan listrik selama 1 (satu) bulan adalah sebesar 2.185,9 kgCO₂/kWh. Keseluruhan kebutuhan listrik ini didasarkan pada pemakaian mesin penggiling. Selanjutnya, *Life cycle inventory* dari proses penggilingan kedelai di UD.X ditunjukkan pada Tabel 4.4

Tabel 4. 4 *Life cycle inventory* pada proses penggilingan kedelai

<i>Input</i>			<i>Output</i>		
Material	Kuantitas	Satuan	Material	Kuantitas	Satuan
Kedelai bersih	1.406	Kg	Bubur kedelai	3.497	Kg
Air Bersih	2.091	Kg	Emisi	78,3	KgCO ₂

Sumber: hasil perhitungan, 2022

Pada proses penggilingan ini diasumsikan tidak ada air yang menjadi limbah, hal ini karena air bersih langsung dialirkan dari kran yang terletak di atas mesin penggilingan, sehingga semua air akan terproses pada saat menggiling kedelai. Bubur kedelai yang dihasilkan didapatkan dari penjumlahan kedelai bersih dengan penggunaan air bersih. Sedangkan untuk emisi yang dihasilkan pada proses penggilingan disebabkan karena pemakaian listrik sebagai energi utama untuk mengoperasikan mesin penggiling. *Life cycle inventory* diinput ke software SimaPro untuk dianalisis. Input proses penggilingan ke SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.18



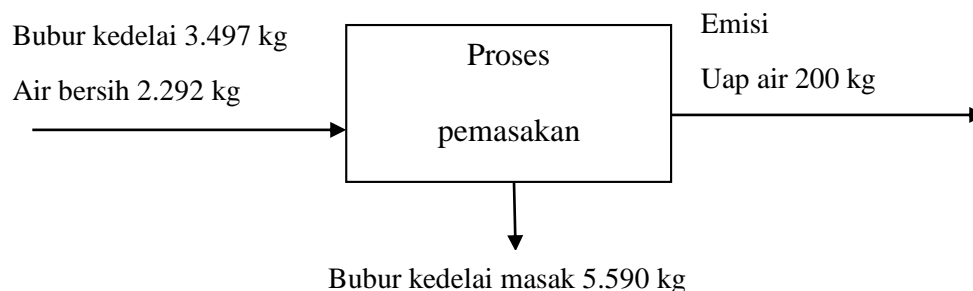
Gambar 4.18 Input inventory pada proses penggilingan

(Sumber: hasil analisis, 2022)

D. Proses Pemasakan

Tahap pemasakan dilakukan setelah kedelai digiling menjadi bubur kedelai. Jumlah bubur kedelai yang masuk pada proses pemasakan adalah 3.497 kg. Data input selanjutnya adalah air bersih. Air bersih pada proses ini berjumlah 2.292 liter. Air bersih ditambahkan sedikit demi sedikit menggunakan gayung berukuran 6 liter. Penambahan air ini dilakukan terus menerus sampai bubur kedelai mendidih dan matang. Energi panas yang diperlukan pada

proses pemasakan diperoleh dari pembakaran kayu. *Material balance* pada proses pemasakan dapat dilihat pada Gambar 4.19



Gambar 4. 19 Material balance pada proses pemasakan

(Sumber: hasil analisis, 2022)

Bubur kedelai masak didapatkan dari bubur kedelai ditambahkan dengan air bersih. Perhitungan air bersih pada proses ini didasarkan dari jumlah penambahan air oleh pekerja menggunakan gayung yang memiliki volume 6 liter. Pada saat awal penambahan air, gayung tersebut terisi penuh dengan penambahan air hingga 3-4 kali. Setelahnya, air bersih ditambahkan sedikit demi sedikit dengan volume air 600 liter yang dilakukan sebanyak $\pm 40-60$ kali. Data proses pemasakan rata-rata selama 1 (satu) bulan secara keseluruhan dilampirkan pada Lampiran IV. Perhitungan pada proses pemasakan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

- Kapasitas masak keseluruhan = 1.230 masak
- Penggunaan air bersih pada proses pemasakan per 16 kg kedelai (Penambahan 1)
 - = 6 liter x 4 kali penambahan
 - = 24 liter
- Penggunaan air bersih pada proses pemasakan per 16 kg kedelai (Penambahan 2)
 - = 600 ml x 47 kali penambahan
 - = 28.200 mL atau 28,2 liter
- Total penggunaan air bersih pada proses pemasakan per 16 kg kedelai

$$\begin{aligned}
 &= \text{penambahan 1} + \text{penambahan 2} \\
 &= 24 \text{ liter} + 28,2 \text{ liter} \\
 &= 52,2 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

- Penggunaan air bersih proses pemasakan selama 28 hari
 $= \text{kapasitas masak keseluruhan} \times \text{air bersih}$
 $= 1230 \times 52,2 \text{ liter} = 64.183 \text{ liter}$
- Rata-rata penggunaan air bersih proses penggilingan selama 28 hari
 $= \frac{64.183 \text{ liter}}{28 \text{ hari}} = 2.292 \text{ liter per hari}$

Berdasarkan dari data yang diperoleh dari wawancara dengan pekerja di pabrik tahu “UD.X”, energi yang diperoleh dari bahan bakar untu proses pemasakan berasal dari pembakaran kayu. Untuk menghitung emisi CO₂ yang dihasilkan dari sumber energi pembakaran kayu dihitung menggunakan metode IPCC pada sektor energi.

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Konsumsi energi} \times \text{FE}$$

Dimana :

Konsumsi energi : *jumlah konsumsi kayu bx NCV kayu*

NCV : nilai *Net Calorific Volume* setiap volume bahan bakar

FE : faktor emisi

Faktor emisi jaringan ketenaga listrikan dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4. 5 Faktor emisi gas rumah kaca sektor industri

Bahan bakar	Faktor emisi (ton/CO ₂ /TJ)			NCV (TJ/Gg)	%C
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O		
Gas alam	56,10	1	0,1	48	73,4%
LPG	63,10	1	0,1	47,3	81,4%
Biodiesel	70,80	3	0,6	27	52,1%
Jet kerosene	71,50	3	0,6	44,1	86,0%

Kerosene lainnya	71,90	3	0,6	43,8	85,9
Minyak diesel	74,10	3	0,6	43	86,9
Minyak residu	77,40	3	0,6	40,4	85,3%
Batu bara antrasit	98,30	10	1,5	26,7	71,6%
Batu bara bituminous	94,60	10	1,5	25,8	66,6%
Batu bara sub-bituminous	96,10	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%
<i>Black liquor</i>	95,30	3	2	11,8	30,7
<i>Coke</i>	107	10	1,5	28,2	82,3%

Sumber: Modul Pelatihan Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca dan Perhitungan Baseline Bidang Energi, Transportasi, dan Industri, 2012

Merujuk pada Tabel 4.5, faktor emisi yang digunakan pada penelitian ini untuk menghitung emisi CO₂, CH₄, dan N₂O pada sektor energi bahan bakar, berturut-turut adalah sebesar 112 ton/CO₂/TJ, 30 ton/CO₂/TJ, dan 4 ton/CO₂/TJ dengan nilai NCV adalah 15,6 TJ/Gg dikarenakan industri tahu UD.X menggunakan kayu bakar sebagai keperluan memasak. Maka, perhitungan emisi dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini

$$\begin{aligned} \text{Konsumsi energi} &= 0,001519 \text{ Gg/hari} \times 15,6 \text{ TJ/Gg} \\ &= 0,023696 \text{ TJ/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 &= 0,023696 \frac{\text{TJ}}{\text{hari}} \times 112 \frac{\text{ton}}{\text{CO}_2} / \text{TJ} \\ &= 2,653 \text{ tonCO}_2/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisi CH}_4 &= 0,023696 \frac{\text{TJ}}{\text{hari}} \times 30 \frac{\text{ton}}{\text{CO}_2} / \text{TJ} \\ &= 0,710 \text{ tonCH}_4/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisi N}_2\text{O} &= 0,023696 \frac{\text{TJ}}{\text{hari}} \times 4 \frac{\text{ton}}{\text{CO}_2} / \text{TJ} \\ &= 0,0947 \text{ tonN}_2\text{O}/\text{hari} \end{aligned}$$

Output yang dihasilkan dari proses pemasakan di pabrik tahu “UD.X” berupa produk dan limbah. Produk yang dihasilkan berupa bubur kedelai masak. Sedangkan limbah yang dihasilkan berupa

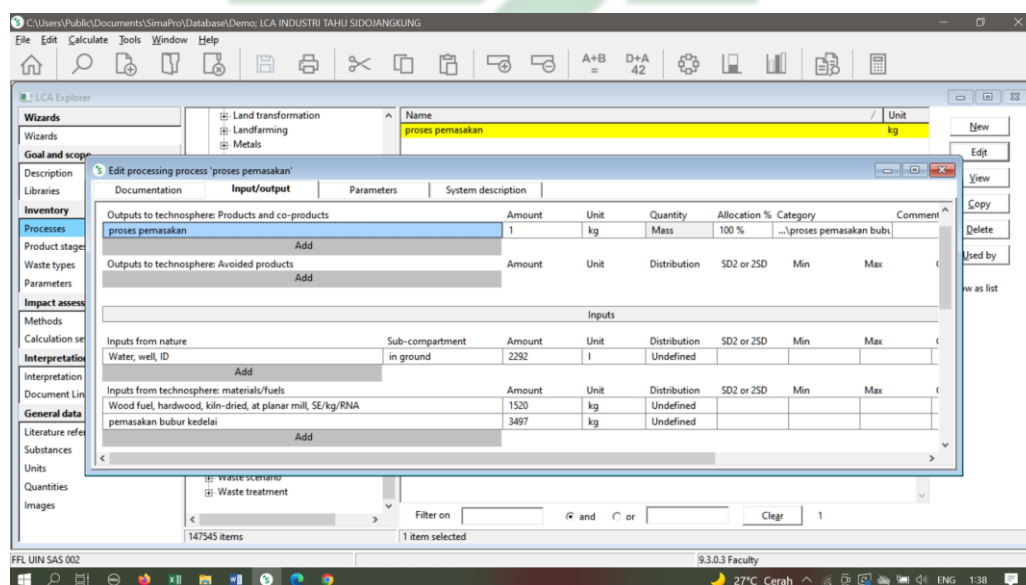
emisi dari pembakaran kayu untuk proses pemasakan dan uap air. Selanjutnya, *Life cycle inventory* dari proses pemasakan kedelai di UD.X ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 *Life cycle inventory* pada proses pemasakan

Input			Output		
Material	Kuantitas	Satuan	Material	Kuantitas	Satuan
Bubur kedelai	1.406	Kg	Bubur kedelai masak	5.590	Kg
Air Bersih	2.291	Kg	Emisi CO ₂	2,653	TonCO ₂ /TJ
			Emisi CH ₄	0,710	TonCH ₄ /Tj
			Emisi N ₂ O	0,0947	TonN ₂ O/TJ
			Uap air	200	Kg

Sumber: hasil perhitungan, 2022

Pada proses pemasakan, diasumsikan tidak ada air yang menjadi air limbah, hal ini karena air bersih yang digunakan seluruhnya untuk diproses dengan bubur kedelai. Output limbah yang dihasilkan berupa uap air dan emisi. Uap air berasal dari penguapan air dan bubur kedelai yang dimasak. Sedangkan emisi dihasilkan dari pembakaran kayu pada tungku sebagai energi utama pemasakan bubur kedelai. *Life cycle inventory* diinput ke software SimaPro untuk dianalisis. Input proses pemasakan ke SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.20

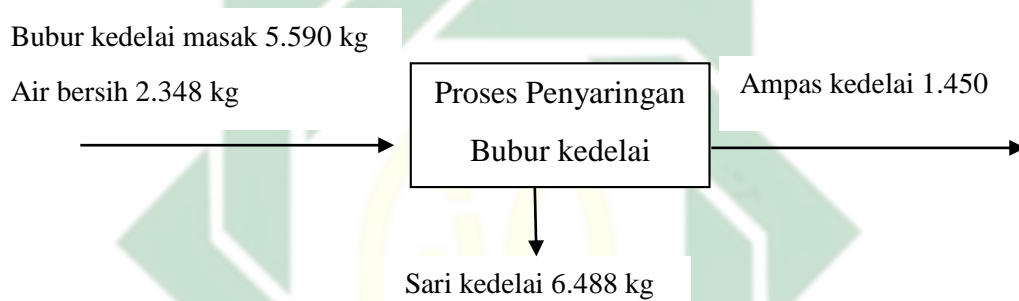


Gambar 4. 20 Input inventory pada proses pemasakan

(Sumber: hasil analisis, 2022)

E. Proses Penyaringan

Tahap penyaringan dilakukan untuk mendapatkan sari kedelai dari pemasakan bubur kedelai. Jumlah bubur kedelai yang masuk pada proses ini berjumlah 5.590 kg bubur kedelai masak. Air bersih juga dibutuhkan dalam proses ini untuk membantu penyaringan agar sari-sari kedelai tersaring sesuai dengan yang diharapkan. Air bersih yang diperlukan pada proses ini berjumlah 2.348 liter. Penyaringan dilakukan dengan meletakkan bubur kedelai masak di atas kain yang selanjutnya akan diperas dengan tenaga manusia. *Material balance* pada proses penyaringan dapat dilihat pada Gambar 4.21



Gambar 4. 21 *Material balance* pada proses penyaringan bubur kedelai

(Sumber: hasil analisis, 2022)

Sari kedelai pada tahap ini dihitung dari jumlah bubur kedelai masak ditambahkan air bersih yang selanjutnya dikurangi dengan ampas kedelai yang dihasilkan. Sehingga didapatkan sari kedelai sebesar 6.488 kg. Proses penyaringan untuk 16 kg kedelai atau permasaknya dilakukan sebanyak 3 kali. Setiap 1 kali penyaringan ditambahkan air sedikit demi sedikit sebanyak 19 liter. Gayung yang digunakan pada proses ini berukuran 6 liter. Namun, setelah dilakukan wawancara dengan pegawai dan pengukuran secara langsung, penambahan air per gayungnya hanya 1 liter. Data proses penyaringan rata-rata selama 1 (satu) bulan secara keseluruhan dilampirkan pada Lampiran IV. Berikut merupakan perhitungan proses penyaringan rata-rata selama 1 (satu) bulan.

- Kapasitas masak keseluruhan = 1.230 masak
- Penggunaan air bersih pada proses penyaringan per 16 kg kedelai

= 1 liter x 17,813 kali penambahan

= 17,813 liter

- Proses penyaringan per 16 kg dilakukan sebanyak 3 kali
= 17,813 liter x 3 kali penyaringan = 53,44 liter
- Penggunaan air bersih proses pemasakan selama 28 hari
= kapasitas masak keseluruhan x air bersih
= 1230 x 53,44 liter = 65.731 liter
- Rata-rata penggunaan air bersih proses penyaringan selama 28 hari
= $\frac{65.731 \text{ liter}}{28 \text{ hari}} = 2.347,5$ liter per hari atau 2348 liter per hari

Output yang dihasilkan dari proses penyaringan di pabrik tahu “UD.X” berupa produk dan limbah. Produk yang dihasilkan berupa sari kedelai. Sedangkan limbah yang dihasilkan berupa ampas bubur kedelai. Ampas bubur kedelai tersebut dijual kembali kepada peternak, yang digunakan sebagai pakan ternak. Selanjutnya, *Life cycle inventory* dari proses penyaringan bubur kedelai di UD.X ditunjukkan pada Tabel 4.7

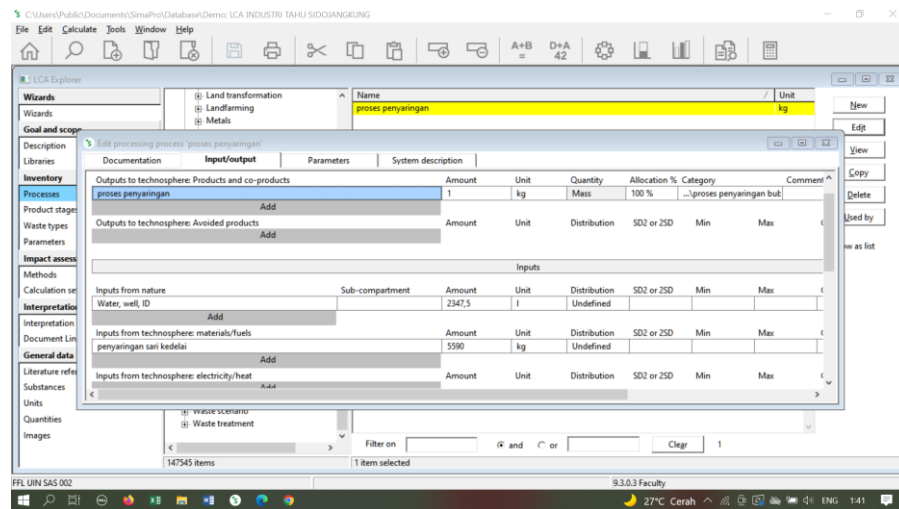
Tabel 4. 7 *Life cycle inventory* pada proses penyaringan

<i>Input</i>			<i>Output</i>		
Material	Kuantitas	Satuan	Material	Kuantitas	Satuan
Bubur kedelai masak	5.590	Kg	Sari kedelai	6.488	Kg
Air Bersih	2.348	Kg	Ampas bubur kedelai	1.450	Kg

Sumber: hasil perhitungan, 2022

Pada proses penyaringan diasumsikan tidak ada air yang menjadi air limbah atau air yang tercecer, hal ini karena air bersih yang digunakan seluruhnya diproses dengan bubur kedelai untuk menghasilkan sari kedelai serta semua air yang digunakan pada proses ini langsung masuk ke dalam bak penyaringan. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Septifani, et al., 2021 yang mengasumsikan bahwa air bersih pada proses penyaringan diproses menjadi sari kedelai. *Life cycle inventory* diinput ke

software SimaPro untuk dianalisis. Input proses penyingran ke SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.22

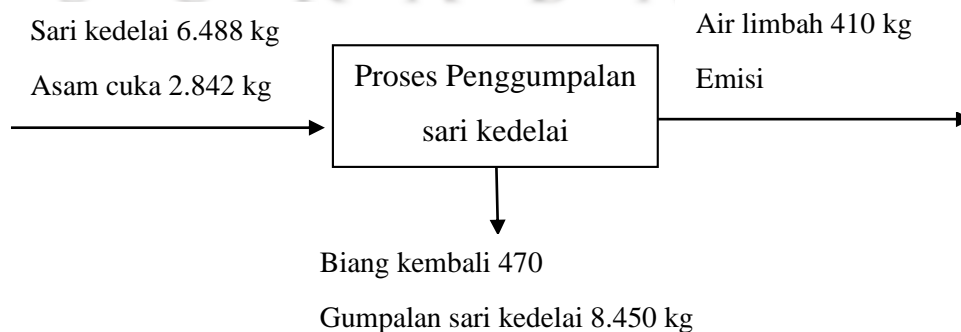


Gambar 4. 22 Input inventory pada proses penyingran

(Sumber: hasil analisis, 2022)

F. Proses Penggumpalan

Proses ini dilakukan untuk menggumpalkan sari kedelai dengan bantuan asam cuka. Jumlah sari kedelai yang masuk pada proses ini sebanyak 6.488 kg sari kedelai. Asam cuka yang digunakan pada proses penggumpalan sari kedelai di UD.X Desa Sidojangkung adalah CH_3COOH . Setiap tempat pemasakan, disediakan 3 tong berukuran 200 liter. Asam cuka yang dibutuhkan pada proses penggumpalan sebanyak 2.842 kg. *Material balance* pada proses penggumpalan dapat dilihat pada Gambar 4.23



Gambar 4. 23 Material balance pada proses penggumpalan sari kedelai

(Sumber: hasil analisis, 2022)

Gumpalan sari kedelai pada tahap ini dihitung dari jumlah sari kedelai ditambahkan asam cuka yang selanjutnya dikurangi dengan biang kembali dan air limbah yang dihasilkan. Sehingga didapatkan gumpalan sari kedelai sebesar 8.450 kg. Proses penggumpalan ini dilakukan setelah penyaringan sebanyak 3 kali untuk per 16 kg kedelai atau permasaknya sudah selesai. Penambahan asam cuka dilakukan sedikit demi sedikit hingga mulai terbentuk gumpalan sari kedelai. Data proses penggumpalan rata-rata selama 1 (satu) bulan secara keseluruhan dilampirkan pada Lampiran IV. Berikut merupakan perhitungan proses penggumpalan rata-rata selama 1 (satu) bulan.

- Kapasitas masak keseluruhan = 1.230 masak
- Penambahan asam cuka pada proses penggumpalan per 16 kg kedelai (penambahan 1)
 $= 1 \text{ liter} \times 15 \text{ kali penambahan} = 15 \text{ liter}$
- Penambahan asam cuka pada proses penggumpalan per 16 kg kedelai (penambahan 2)
 $= \frac{1}{4} \text{ tong} \times 200 \text{ liter} = 50 \text{ liter}$
- Total penambahan asam cuka
 $= \text{penambahan 1} + \text{penambahan 2}$
 $= 15 \text{ liter} + 50 \text{ liter} = 65 \text{ liter}$
- Penambahan cuka pada proses penggumpalan selama 28 hari
 $= \text{kapasitas masak keseluruhan} \times \text{asam cuka}$
 $= 1230 \times 65 \text{ liter} = 79.578 \text{ liter}$
- Rata-rata penggunaan air bersih proses penyaringan selama 28 hari
 $= \frac{79.578 \text{ liter}}{28 \text{ hari}} = 2.842 \text{ liter per hari}$

Output yang dihasilkan dari proses penggumpalan di pabrik tahu “UD.X” berupa produk dan limbah. Produk yang dihasilkan berupa gumpalan sari kedelai dan biang kembali Sedangkan limbah yang dihasilkan berupa limbah cair dan emisi. *Life cycle inventory* dari

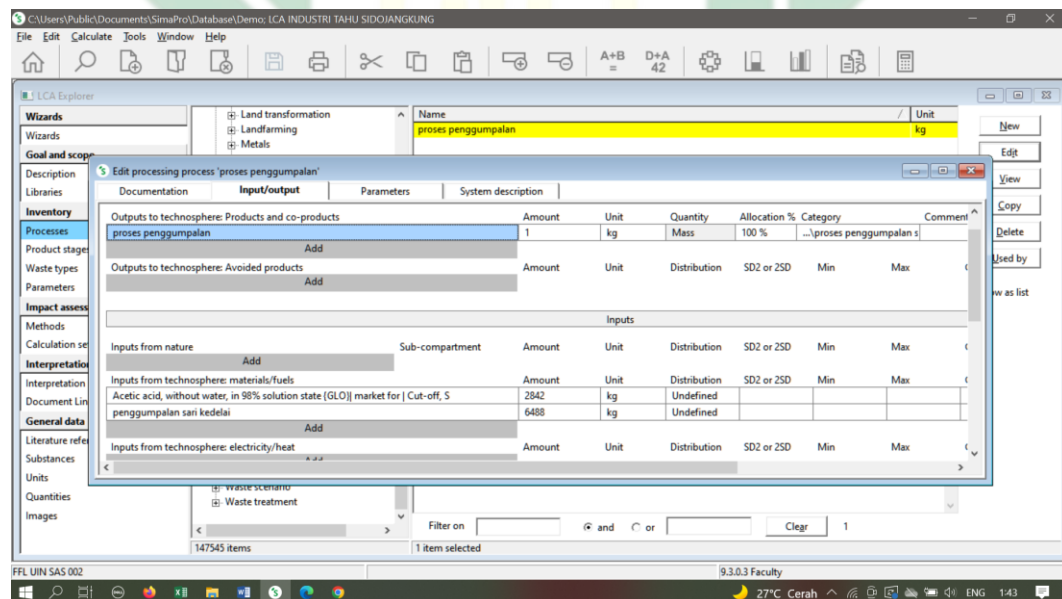
proses penggumpalan sari kedelai di UD.X ditunjukkan pada Tabel 4.8

Tabel 4. 8 *Life cycle inventory* pada proses penggumpalan

<i>Input</i>			<i>Output</i>		
Material	Kuantitas	Satuan	Material	Kuantitas	Satuan
Sari kedelai	6.488	Kg	Gumpalan sari kedelai	8.450	Kg
Asam cuka	2.842	Kg	Biang kembali	470	Kg
			Air limbah	410	kg

Sumber: hasil perhitungan, 2022

Limbah cair dihasilkan dari sari kedelai yang ditambahkan asam cuka namun tidak menggumpal, sehingga sisa cairan sebagian dibuang dan ada yang dikembalikan untuk proses penggumpalan selanjutnya. Sedangkan, emisi pada output proses penggumpalan ini dihasilkan dari adanya pemakaian asam cuka (CH_3COOH). *Life cycle inventory* diinput ke software SimaPro untuk dianalisis. Input proses penggumpalan ke SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.24



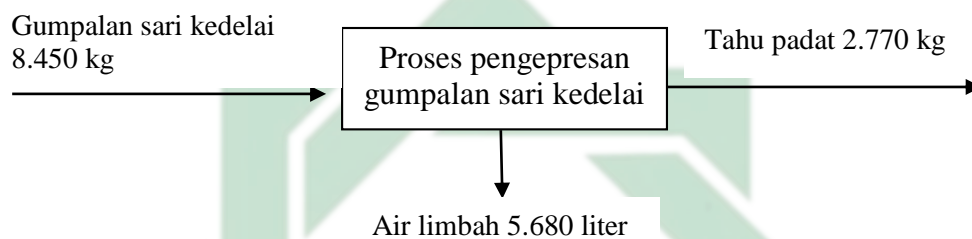
Gambar 4. 24 Input inventory pada proses penggumpalan

(Sumber: hasil analisis, 2022)

G. Proses Pengepresan

Proses ini dilakukan untuk menghilangkan kadar air dan memadatkan gumpalan sari kedelai. Jumlah gumpalan sari kedelai

yang masuk pada proses ini sebanyak 8.450 kg gumpalan sari kedelai. Gumpalan sari kedelai dimasukkan ke dalam cetakan yang telah dilapisi kain. Setiap 16 kg kedelai atau permasaknya, diperlukan 8 cetakan yang ditumpuk masing-masing 4 cetakan. Selanjutnya alat press yang berupa jirigen yang diisi batu dengan berat $\pm 5-15$ kg diletakkan di atas cetakan untuk menghilangkan kadar air dan memadatkan gumpalan sari kedelai. *Material balance* pada proses pengepresan dapat dilihat pada Gambar 4.25



Gambar 4. 25 *Material balance* pada proses pengepresan gumpalan sari kedelai

(Sumber: hasil analisis, 2022)

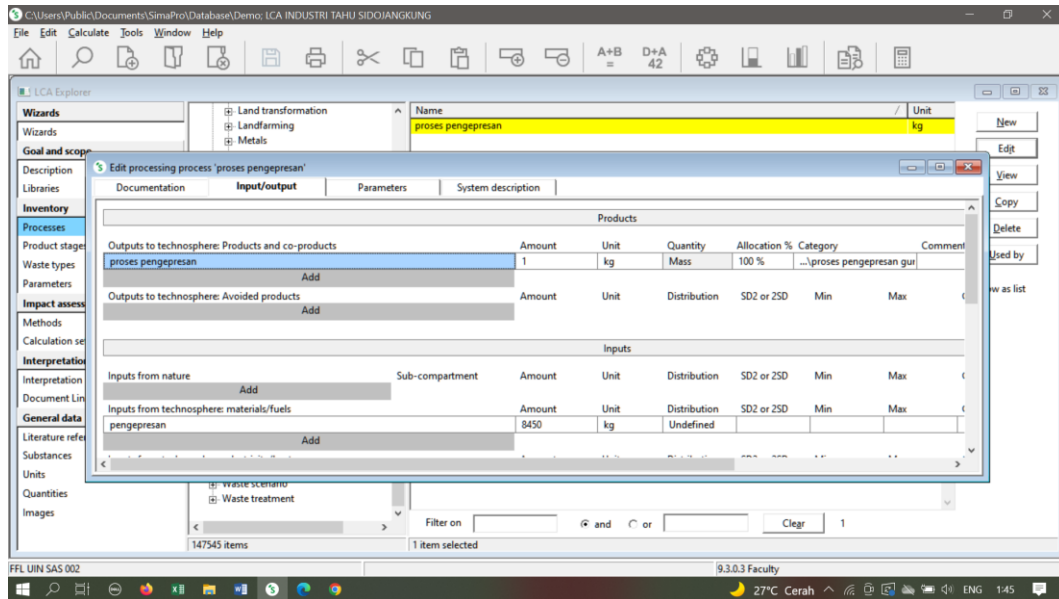
Setiap 16 kg kedelai menghasilkan 63 kg tahu. Berat satu tahu yang dihasilkan adalah $\pm 157,5$ gr. Air limbah yang dihasilkan dari proses ini dihasilkan dari pengurangan gumpalan sari kedelai dengan berat tahu padat yang dihasilkan. Air limbah yang keluar dari hasil pengepresan akan keluar melalui lubang-lubang yang ada di cetakan. *Life cycle inventory* dari proses pengepresan gumpalan sari kedelai di UD.X ditunjukkan pada Tabel 4.9

Tabel 4. 9 *Life cycle inventory* pada proses pengepresan

<i>Input</i>			<i>Output</i>		
Material	Kuantitas	Satuan	Material	Kuantitas	Satuan
Gumpalan sari kedelai	8.450	Kg	Tahu padat	2.770	Kg
			Air limbah	5.680	Kg

Sumber: hasil perhitungan, 2022

Limbah cair dihasilkan dari pengepresan gumpalan sari kedelai seluruhnya akan dibuang dan langsung mengalir ke drainase. *Life cycle inventory* diinput ke software SimaPro untuk dianalisis. Input proses pengepresan ke SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.26

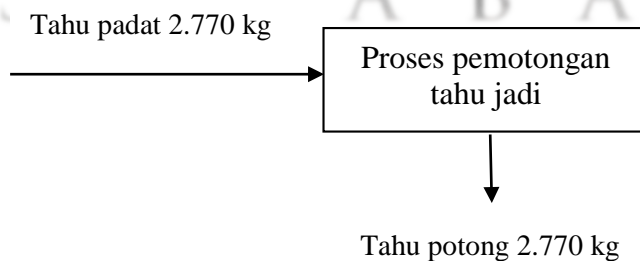


Gambar 4. 26 Input inventory pada proses pengepresan

(Sumber: hasil analisis, 2022)

H. Proses Pemotongan

Proses pemotongan merupakan proses paling akhir dalam proses produksi tahu. Tahu jadi yang dihasilkan dari proses sebelumnya, akan dipotong dengan ukuran panjang ± 10 cm, lebar ± 7 cm dan tinggi ± 5 cm. Tahu jadi pada setiap cetakan dipotong sebanyak ± 50 potong tahu. Jumlah tahu padat yang masuk pada proses ini adalah 2.770 kg. Proses pemotongan dilakukan oleh pekerja dengan menggunakan pisau dan penggaris yang terbuat dari kayu. *Material balance* pada proses pemotongan dapat dilihat pada Gambar 4.27



Gambar 4. 27 *Material balance* pada proses pemotongan tahu jadi

(Sumber: hasil analisis, 2022)

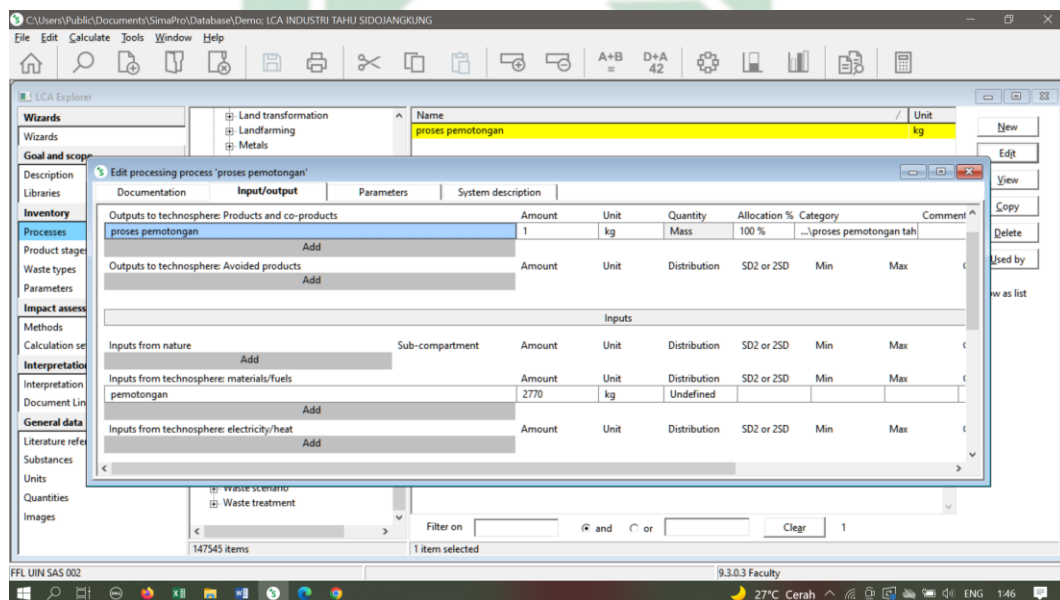
Pada tahap ini, jumlah input dan output adalah sama, karena pada proses ini tidak membutuhkan bahan input selain output produk dari proses sebelumnya yaitu tahu jadi. Berikut merupakan life cycle inventory pada proses pemotongan disajikan pada Tabel 4.10

Tabel 4. 10 *Life cycle inventory* proses pemotongan tahu jadi

<i>Input</i>			<i>Output</i>		
Material	Kuantitas	Satuan	Material	Kuantitas	Satuan
Gumpalan sari kedelai	8.450	Kg	Tahu padat	2.770	Kg

Sumber: hasil perhitungan, 2022

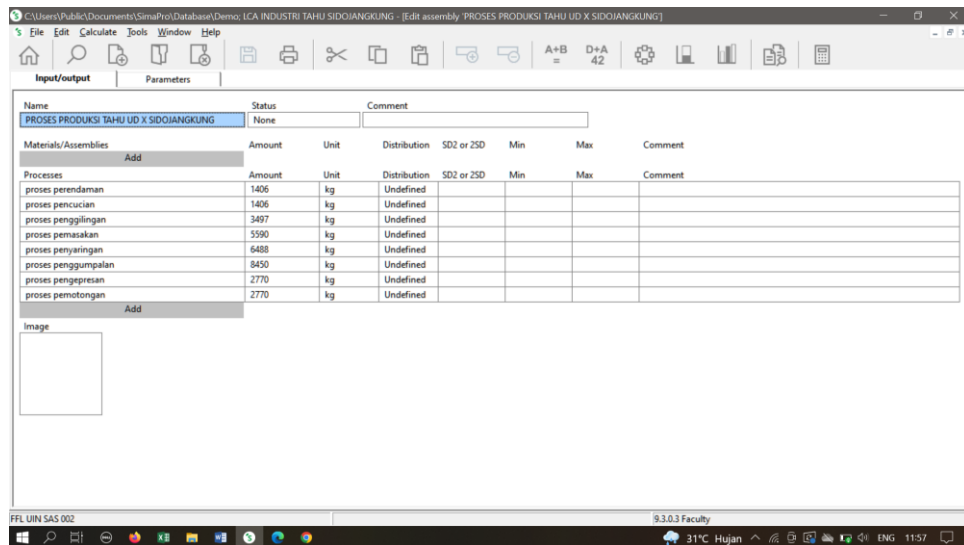
Life cycle inventory diinput ke software SimaPro untuk dianalisis. Input proses pemotongan ke SimaPro dapat dilihat pada Gambar 4.28



Gambar 4. 28 Input inventory pada proses pemotongan

(Sumber: hasil analisis simapro, 2022)

Setelah keseluruhan input *inventory* setiap proses sudah dilakukan, tahap selanjutnya adalah melakukan input setiap *inventory* proses ke *product stage* untuk mengkuantifikasi jumlah output dari setiap proses. Input proses ke *product stage* ditunjukkan pada Gambar 4.29



Gambar 4. 29 Input product stage

(Sumber: hasil analisis simapro, 2022)

4.4.3 Life Cycle Impact Assessment

Life cycle impact assessment atau siklus penilaian dampak merupakan tahap untuk menganalisis dampak. Analisis dampak diawali dengan karakterisasi dan normalisasi terhadap besarnya dampak lingkungan yang dihasilkan dari setiap proses. Metode yang digunakan untuk menganalisis adalah CML-IA (baseline). Metode CML-IA mampu menilai dampak *indicator midpoint* atau titik tengah.

Dampak *marine aquatic ecotoxicity*, *global warming*, dan *fresh water aquatic* merupakan 3 dampak dengan nilai terbesar. Sesuai dengan batasan masalah pada bab 1 di atas, bahwa penelitian ini mengkuantifikasi keseluruhan dampak yang terdapat di metode CML-IA (baseline), namun hanya 3 dampak tertinggi saja yang akan dianalisis.

Tahap selanjutnya, dilakukan penilaian terhadap dampak yang dihasilkan, yaitu tahap klasifikasi, karakterisasi, dan normalisasi setiap dampak.

A. Klasifikasi Dampak

Tahap klasifikasi dampak membutuhkan keseluruhan data input berupa material dan bahan bakar serta membutuhkan data output

yang berupa emisi dan limbah yang dihasilkan pada setiap proses pada setiap kategori dampak.

1. *Marine water aquatic ecotoxicity*

Ekotoksikologi adalah studi tentang toksisitas yang dipicu oleh zat alami ataupun zat buatan manusia pada biota. Dengan ekotoksikologi dapat ditetapkan jenis dan tingkat kontaminan yang membahayakan tumbuhan dan hewan. Ekotoksikologi memberikan wawasan tentang kesehatan ekosistem yang tidak dapat ditentukan dari pengukuran bahan kimia di lingkungan saja (*Western Australia Government, 2015*).

Pencemaran berasal dari bahan kimia yang disebabkan oleh zat-zat bersifat persisten dan berdampak buruk terhadap kesehatan manusia dan/atau lingkungan, seperti poliklorinasi bifenil (PCB), dioksin, beberapa pestisida (seperti DDT) dan, zat polifluoroalkil (PFAS). Bahan kimia persisten telah memasuki lingkungan, efeknya akan berlanjut untuk waktu yang sangat lama (*European Commission, 2020*). Faktor karakterisasi dinyatakan sebagai ekuivalen 1,4-diklorobenzena/kg. Pada ekotoksitas laut mengacu pada dampak zat beracun pada ekosistem laut. Kategori ini juga mengacu pada dampak zat beracun pada ekosistem terrestrial (*Pré Sustainability, 2014*).

2. *Global Warming Potential*

Pemanasan global didefinisikan sebagai tren peningkatan jangka panjang dari peningkatan suhu global rata-rata. Potensi pemanasan global (GWP) mengukur seberapa banyak panas yang terperangkap oleh gas rumah kaca (GRK) di atmosfer. Semakin tinggi GWP, semakin banyak panas yang terperangkap oleh gas, oleh karena itu, semakin tinggi GWP semakin berbahaya bagi iklim.

Gas rumah kaca secara alami sudah ada di atmosfer, namun juga dapat timbul karena aktivitas manusia. Dalam hubungannya dengan *global warming*, gas rumah kaca utama seperti Karbondioksida (CO₂), Metana (CH₄), Nitrogen oksida (N₂O) memiliki nilai GWP pada waktu pemaparan sebesar 5-200 tahun. Nilai GWP dinyatakan dalam satuan kg CO₂ ekuivalen. Keseluruhan senyawa yang memiliki kontribusi pada potensi pemanasan global akan dikonversi menjadi berat CO₂ (Ain, 2021).

3. *Fresh water aquatic*

Emisi beberapa zat, seperti logam berat, dapat berdampak pada ekosistem. Kategori indikator ini mengacu pada dampak terhadap ekosistem air tawar, sebagai akibat dari emisi zat beracun ke udara, air dan tanah.

Jalur dampak ekotoksitas merupakan kombinasi faktor risiko lingkungan, faktor paparan ekologis, faktor efek ekotoksitas, dan faktor kerusakan efek ekotoksitas. Faktor risiko menunjukkan distribusi dan transformasi bahan kimia di lingkungan, faktor paparan terkait terlarut dengan total massa kimia di lingkungan, faktor efek ekotoksitas menunjukkan potensi efek ekotoksitas per unit massa kimia terlarut di lingkungan, dan faktor kerusakan akhirnya menghubungkan efek potensial kerusakan pada kualitas ekosistem. Termasuk zat kimia organik dan ion logam.

Bahan kimia persisten telah memasuki lingkungan, efeknya akan berlanjut untuk waktu yang sangat lama (*European Commission*, 2020). Faktor karakterisasi dinyatakan sebagai ekuivalen 1,4-diklorobenzena/kg. Pada ekotoksitas laut mengacu pada dampak zat beracun pada ekosistem laut. Kategori ini juga mengacu pada dampak zat beracun pada ekosistem terrestrial (*Pré Sustainability*, 2014).

B. Karakterisasi Dampak

Tahap ini dimulai dari keseluruhan input-output yang akan dinilai kontribusinya dan berhubungan dengan lingkungan sesuai *impact category* (Aniza, 2017). Keseluruhan dampak unit satuannya belum disetarakan pada tahap ini.

1. *Marine aquatic ecotoxicity*

Proses produksi tahu yang menghasilkan dampak marine aquatic toxicity adalah tahap penggilingan, pemasakan, dan penggumpalan. Berdasarkan pengolahan data dari simapro, didapatkan nilai ecotoxicity seperti pada Tabel 4.11

Tabel 4. 11 Nilai karakterisasi ecotoxicity

Proses	Nilai Ecotoxicity (kg1,4 DB-eq)
Proses perendaman	-
Proses pencucian	-
Proses penggilingan	$1,01 \times 10^9$
Proses pemasakan	$2,21 \times 10^9$
Proses penyaringan	-
Proses penggumpalan	$3,29 \times 10^{10}$
Proses pengepresan	-
Proses pemotongan	-

sumber: hasil analisis simapro, 2022

Proses penggilingan menghasilkan nilai ecotoxicity sebesar $1,01 \times 10^9$ kg1,4 DB-eq, proses pemasakan menghasilkan nilai ecotoxicity sebesar $2,21 \times 10^9$ kg1,4 DB-eq, dan proses penggumpalan menghasilkan nilai ecotoxicity sebesar $3,29 \times 10^{10}$ kg1,4 DB-eq.

Proses penggilingan kedelai memberikan kontribusi pada dampak *marine aquatic ecotoxicity*, hal ini disebabkan oleh pemakaian energi listrik sebagai energi utama. Input kebutuhan listrik perharinya adalah sebesar 108 kWh. Substansi yang memiliki kontribusi terbesar dan memberikan pengaruh terhadap

dampak tersebut adalah beryllium sebesar $4,95 \times 10^8$ kg_{1,4} DB-eq, hidrogen fluoride sebesar $1,83 \times 10^8$ kg_{1,4} DB-eq, dan nikel sebesar $1,35 \times 10^8$ kg_{1,4} DB-eq. Substansi tersebut merupakan substansi yang terdapat pada inventory di simapro akibat dari pemakaian listrik.

Sumber utama berilium di lingkungan adalah pembakaran bahan bakar fosil (Tepper, 1972 dalam Regulations & Agency Protection, n.d.) Berilium memasuki saluran air melalui pelapukan batuan dan tanah, melalui kejatuhan atmosfer dan melalui pembuangan dari operasi industri dan kota. Konsentrasi dari berilium dalam air laut dilaporkan sama dengan 6×10^{-4} pg/l (Goldberg, 1965 dalam Regulations & Agency Protection, n.d.)

'Logam yang lebih ringan' atau berilium juga bisa menjadi racun dalam keadaan tertentu. Toksisitas akut berilium terhadap ikan tergantung pada kesadahan air. Sebagai contoh, efek kronis berilium pada *Daphnia magna* menunjukkan efek buruk pada reproduksi di konsentrasi 5,3 g/L (USEPA 1980 dalam Australian Government Initiative, 2000).

Proses pemasakan juga memberikan kontribusi terhadap dampak *marine aquatic ecotoxicity*, hal ini disebabkan oleh pembakaran kayu sebagai energi utama dalam proses memasak. Input kebutuhan kayu bakar setiap harinya adalah sebesar 1.520 kg. Substansi yang memiliki kontribusi terbesar dan memberikan pengaruh terhadap dampak tersebut adalah hidrogen fluoride sebesar $1,61 \times 10^9$ kg_{1,4} DB-eq, barium sebesar $5,38 \times 10^8$ kg_{1,4} DB-eq, beryllium sebesar $1,87 \times 10^7$ kg_{1,4} DB-eq. Substansi tersebut merupakan substansi yang terdapat pada inventory di simapro akibat dari pembakaran kayu.

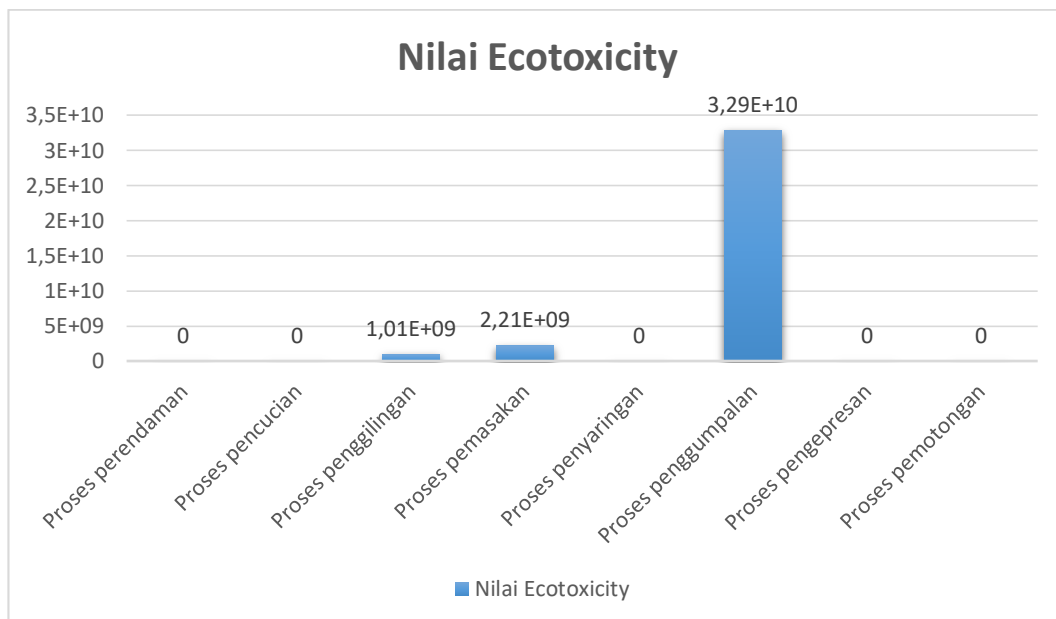
Proses penggumpalan menjadi kontributor terbesar terhadap dampak *marine aquatic toxicity*. Bahan penggumpal yang digunakan adalah CH_3COOH . Substansi yang memiliki

kontribusi terbesar dan memberikan pengaruh terhadap dampak tersebut adalah hidrogen fluoride sebesar $1,16 \times 10^{10}$ kg_{1,4} DB-eq, beryllium sebesar $1,13 \times 10^{10}$ kg_{1,4} DB-eq, dan nikel sebesar $1,94 \times 10^9$ kg_{1,4} DB-eq. Substansi tersebut merupakan substansi yang terdapat pada inventory di simapro akibat dari pemakaian CH_3COOH .

HF adalah asam anorganik yang sangat korosif dan beracun. Paparan lingkungan terhadap HF dapat terjadi karena emisi ke air atau udara. Emisi yang dilepaskan ke atmosfer dapat disebabkan karena penggunaan bahan kimia.

HF mungkin beracun bagi kehidupan akuatik dan darat, dengan efek tergantung pada konsentrasi paparannya. Jika HF dilepaskan ke lingkungan dalam konsentrasi yang cukup, ion fluoride yang masuk ke dalam air bisa menjadi racun bagi tanaman dan hewan di sekitarnya, sementara HF di udara dalam awan uap bisa membakar jaringan tumbuhan dan hewan. HF sangat larut dalam air. Ion fluorida, tersedia dalam HF berair, ditemukan mematikan bagi ikan air tawar pada 60 miligram per liter (mg/L). Ion fluorida berbahaya bagi banyak spesies ikan lainnya pada konsentrasi 40 mg/L ke bawah. Kehidupan air lain yang lebih sensitif terpengaruh pada tingkat serendah 10 mg/L. Menurut Penelitian di Kanada, konsentrasi fluoride yang sama dengan atau melebihi 1,5 mg/L merupakan bahaya di lingkungan laut, sementara kadarnya kurang dari 0,5 mg/L menimbulkan risiko minimal efek merusak (Air & As, n.d.)

Grafik nilai karakterisasi ecotoxicity ditunjukkan pada Gambar 4.30



Gambar 4. 30 Grafik karakterisasi Ecotoxicity

(sumber: hasil analisis simapro, 2022)

Selain tahapan produksi tahu yang menjadi kontributor terhadap dampak *marine aquatic ecotoxicity*, juga didapatkan hasil bahwa beberapa tahapan produksi tahu tidak memiliki dampak tersebut, yaitu pada tahap perendaman, pencucian, penyaringan, pengepresan, dan pemotongan. Penyebabnya adalah, karena pada keempat proses tersebut tidak menggunakan bahan bakar maupun bahan kimia lainnya untuk memproses tahu. Pada keempat tahap tersebut juga dilakukan pemrosesan secara manual dengan tenaga manusia. Sehingga tidak menghasilkan emisi yang dapat meningkatkan terjadinya *marine aquatic ecotoxicity*.

2. Global Warming Potential

Proses produksi tahu yang menghasilkan *global warming potential* adalah tahap penggilingan, pemasakan, dan penggumpalan. Berdasarkan pengolahan data dari simapro, didapatkan nilai global warming potential seperti pada Tabel 4.12

Tabel 4. 12 Nilai karakterisasi GWP setiap proses produksi tahu

Proses	Nilai GWP (kgCO ₂ -eq)
Proses perendaman	-
Proses pencucian	-
Proses penggilingan	6,94 x 10 ⁵
Proses pemasakan	2,68 x 10 ⁸
Proses penyaringan	-
Proses penggumpalan	2,61 x 10 ⁷
Proses pengepresan	-
Proses pemotongan	-

Sumber: hasil analisis simapro, 2022

Proses penggilingan menghasilkan nilai GWP sebesar 6,94 x 10⁵ kgCO₂-eq, proses pemasakan menghasilkan nilai GWP sebesar 2,68 x 10⁸ kgCO₂-eq, dan proses penggumpalan menghasilkan nilai GWP sebesar 2,61 x 10⁷ kgCO₂-eq.

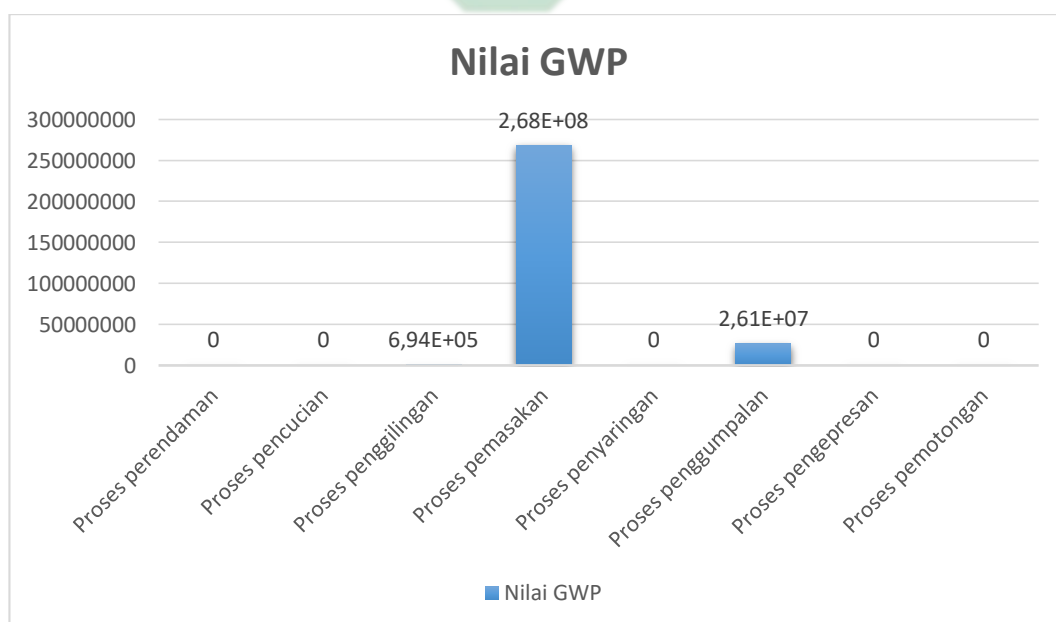
Proses penggilingan kedelai memberikan kontribusi pada dampak *global warming potential*, hal ini disebabkan oleh pemakaian energi listrik sebagai energi utama. Input kebutuhan listrik perharinya adalah sebesar 108 kWh. Substansi yang memiliki kontribusi terbesar dan memberikan pengaruh terhadap dampak tersebut adalah CO₂, CH₄, dan N₂O berturut-turut sebesar 4,15 x 10⁵ kgCO₂-eq, 6,57 x 10³ kgCO₂-eq, dan 2,29 x 10³ kgCO₂-eq. Substansi tersebut merupakan substansi yang terdapat pada inventory di simapro akibat dari pemakaian listrik.

Proses pemasakan bubur kedelai memberikan nilai GWP tertinggi karena sumber energi utama yang digunakan adalah kayu bakar. Input kayu bakar pada tahap ini sebesar 1.520 kg yang menghasilkan nilai emisi N₂O, CH₄, dan CO₂ berturut-turut sebesar 1,48 x 10⁸ kgCO₂-eq, 1,11 x 10⁸ kgCO₂-eq, dan 1,48 x 10⁷ kgCO₂-eq. Besarnya energi untuk proses pemasakan dapat disebabkan oleh efisiensi tungku yang rendah. Hal ini menyebabkan energi yang hilang pada saat proses pembakaran

juga cukup tinggi. Pembakaran kayu memiliki efisiensi berkisar 16% lebih rendah jika dibandingkan dengan efisiensi dari pembakaan petroleum gas (LPG) yang dapat mencapai 60% (Jan Lam, 2011). Selain itu, aktivitas pembakaran kayu juga terus menerus dilakukan 30 menit sebelum pabrik beroperasi hingga selesai produksi yaitu selama $\pm 6-7$ jam.

Tahap penggumpalan juga menjadi kontributor terhadap dampak *global warming*. Bahan penggumpal yang digunakan adalah CH_3COOH . Substansi yang memiliki kontribusi terbesar dan memberikan pengaruh terhadap dampak tersebut adalah CO_2 , CH_4 , dan N_2O berturut-turut sebesar $2,12 \times 10^7 \text{ kgCO}_2\text{-eq}$, $4,65 \times 10^6 \text{ kgCO}_2\text{-eq}$, dan $1,65 \times 10^5 \text{ kgCO}_2\text{-eq}$. Pemakaian bahan tersebut dapat menyebabkan terbentuknya gas CO_2 dan CH_4 . Asam asetat CH_3COOH yang teroksidasi menjadi senyawa organik volatil (OVOCs) ditemukan di lingkungan terpencil dan perkotaan dalam bentuk gas dan partikel (Khare et al., 1999; Paulot dkk., 2011 dalam Treadaway, et al., 2018).

Grafik nilai karakterisasi GWP ditunjukkan pada Gambar 4.31



Gambar 4. 31 Grafik karakterisasi GWP

(Sumber: hasil analisis simapro, 2022)

Selain tahapan produksi tahu yang menjadi kontributor terhadap dampak *global warming potential*, juga didapatkan hasil bahwa beberapa tahapan produksi tahu tidak memiliki dampak terhadap *global warming potential*, yaitu pada tahap perendaman, pencucian, penyaringan, pengepresan, dan pemotongan. Penyebabnya adalah, karena pada keempat proses tersebut tidak menggunakan bahan bakar maupun bahan kimia lainnya untuk memproses tahu. Pada keempat tahap tersebut juga dilakukan pemrosesan secara manual dengan tenaga manusia. Sehingga tidak menghasilkan emisi yang dapat meningkatkan terjadinya *global warming potential*.

3. *Fresh water aquatic ecotoxicity*

Proses produksi tahu yang menghasilkan dampak *fresh water aquatic ecotoxicity* adalah tahap penggilingan, pemasakan, dan penggumpalan. Berdasarkan pengolahan data dari simapro, didapatkan nilai *fresh water aquatic ecotoxicity* seperti pada Tabel 4.13

Tabel 4. 13 Nilai karakterisasi ecotoxicity

Proses	Nilai Ecotoxicity (kg1,4 DB-eq)
Proses perendaman	-
Proses pencucian	-
Proses penggilingan	$3,99 \times 10^5$
Proses pemasakan	$3,27 \times 10^5$
Proses penyaringan	-
Proses penggumpalan	$1,47 \times 10^7$
Proses pengepresan	-
Proses pemotongan	-

Sumber: hasil analisis simapro, 2022

Proses penggilingan menghasilkan nilai *ecotoxicity* sebesar $3,99 \times 10^5$ kg1,4 DB-eq, proses pemasakan menghasilkan nilai

ecotoxicity sebesar $3,27 \times 10^5$ kg_{1,4} DB-eq, dan proses penggumpalan menghasilkan nilai *ecotoxicity* sebesar $1,47 \times 10^7$ kg_{1,4} DB-eq.

Proses penggilingan kedelai memberikan kontribusi pada dampak *fresh aquatic ecotoxicity*, hal ini disebabkan oleh pemakaian energi listrik sebagai energi utama. Input kebutuhan listrik perharinya adalah sebesar 108 kWh. Substansi yang memiliki kontribusi terbesar dan memberikan pengaruh terhadap dampak tersebut adalah nikel sebesar $1,94 \times 10^5$ kg_{1,4} DB-eq. Substansi tersebut merupakan substansi yang terdapat pada *inventory* di simapro akibat dari pemakaian listrik. Kehadiran empat logam berat (tembaga, seng, nikel, dan kromium heksavalen) telah diidentifikasi sebagai indikator kualitas air yang buruk (Svecevičius, 2010).

Nikel (Ni) adalah logam alami yang umumnya ada di tanah, air, udara dan kompartemen biologis. Limbah cair kota, limbah industri, limpasan hasil tambang, limpasan perkotaan, lindi TPA, dan gangguan tanah/substrat merupakan sumber utama Ni masuk ke ekosistem perairan (European Commission, 2020). Peningkatan kadar Ni di ekosistem perairan (baik air tawar dan air laut), yang disebabkan oleh sumber alami dan input antropogenik, dapat menyebabkan racun yang merugikan pada organisme. Pada spesies air tawar, taksa yang paling sensitif termasuk *gastropoda*, *cladocerans* dan tumbuhan berpembuluh (yaitu, *Lemna sp.*), dengan ganggang uniseluler, serangga, amfibi, dan ikan menjadi kurang sensitif (Wang, et al., 2020).

Proses pemasakan juga memberikan kontribusi terhadap dampak *marine aquatic ecotoxicity*, hal ini disebabkan oleh pembakaran kayu sebagai energi utama dalam proses memasak. Input kebutuhan kayu bakar setiap harinya adalah sebesar 1.520 kg. Substansi yang memiliki kontribusi terbesar dan memberikan

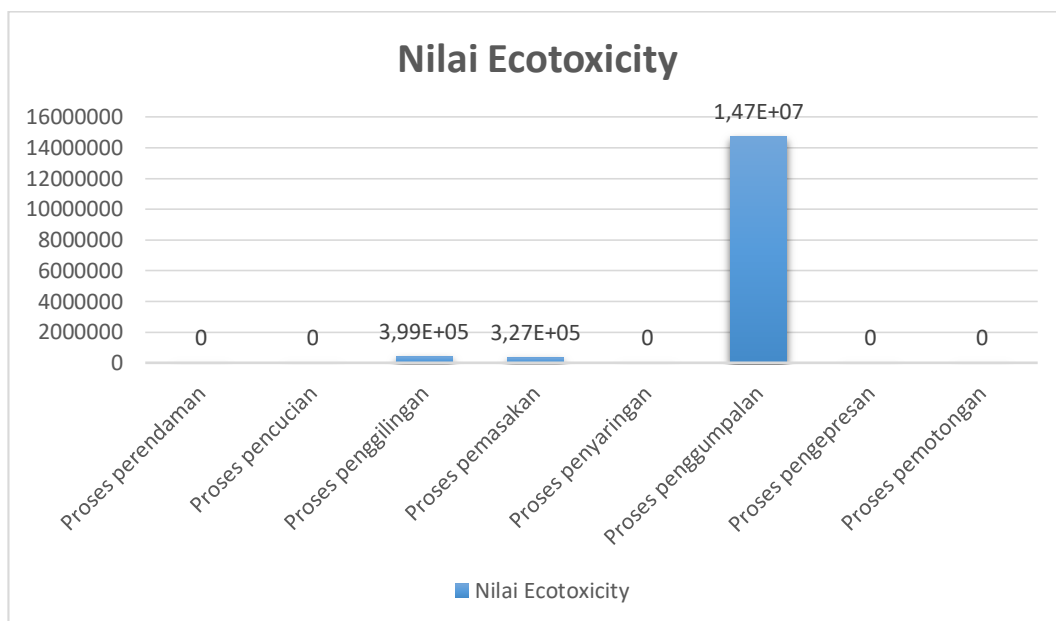
pengaruh terhadap dampak tersebut adalah barium sebesar $1,47 \times 10^5$ kg_{1,4} DB-eq, dioxin sebesar $1,1 \times 10^5$ kg_{1,4} DB-eq, dan acrolein sebesar $6,42 \times 10^4$ kg_{1,4} DB-eq. Substansi tersebut merupakan substansi yang terdapat pada inventory di simapro akibat dari pembakaran kayu.

Barium adalah logam yang sangat reaktif yang terjadi secara alami hanya dalam keadaan gabungan. Elemen dilepaskan ke media lingkungan melalui proses alami dan sumber antropogenik. Barium dilepaskan terutama ke atmosfer sebagai akibat dari emisi industri selama penambangan, penyulingan, dan produksi bahan kimia barium, pembakaran bahan bakar fosil. Barium juga terdapat secara alami di sebagian besar di badan air permukaan (yaitu, sekitar 99% dari yang diperiksa), pelepasan barium ke air permukaan dari sumber alami jauh lebih rendah daripada air tanah (Moffet, *et al.*, 2007).

Proses penggumpalan menjadi kontributor terbesar terhadap dampak *marine aquatic toxicity*. Bahan penggumpal yang digunakan adalah CH_3COOH . Substansi yang memiliki kontribusi terbesar dan memberikan pengaruh terhadap dampak tersebut adalah copper sebesar $5,03 \times 10^6$ kg_{1,4} DB-eq, nickel sebesar $2,79 \times 10^6$ kg_{1,4} DB-eq, dan beryllium sebesar $1,91 \times 10^6$ kg_{1,4} DB-eq. Substansi tersebut merupakan substansi yang terdapat pada inventory di simapro akibat dari pemakaian CH_3COOH .

Cu adalah salah satu unsur yang paling beracun bagi spesies akuatik, pada tingkat tepat di atas yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan reproduksinya dapat terakumulasi dan menyebabkan kerusakan permanen pada beberapa spesies. Cu sangat beracun (mematikan) bagi ikan air tawar di konsentrasi mulai dari 10 – 20 ppb (Carol Ann Woody & Louise, 2012).

Grafik nilai karakterisasi *ecotoxicity* ditunjukkan pada Gambar 4.32



Gambar 4. 32 Grafik karakterisasi *ecotoxicity*

(sumber: hasil analisis simapro, 2022)

C. Normalisasi Dampak

1. *Marine Aquatic Ecotoxicity*

Proses penggumpalan menjadi kontributor terbesar pada dampak *marine aquatic ecotoxicity*. Nilai yang dihasilkan dari proses penggumpalan yang memberikan pengaruh pada dampak ini adalah sebesar 0,000282 Kg_{1,4-DB eq}. Nilai normalisasi *ecotoxicity* ditunjukkan pada Tabel 4.14

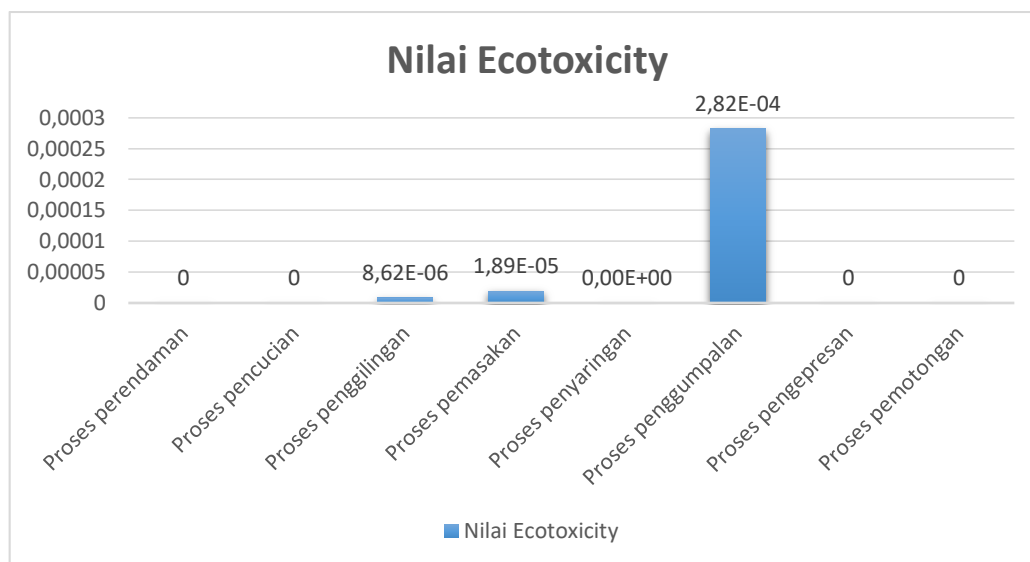
Tabel 4. 14 Nilai normalisasi *ecotoxicity*

Proses	Nilai Ecotoxicity (Kg _{1,4-DB eq})
Proses perendaman	-
Proses pencucian	-
Proses penggilingan	$8,62 \times 10^{-6}$
Proses pemasakan	$1,89 \times 10^{-5}$
Proses penyaringan	-
Proses penggumpalan	0,000282

Proses pengepresan	-
Proses pemotongan	-

Sumber: hasil analisis simapro, 2022

Tingginya nilai ecotoxicity pada proses penggumpalan dikarenakan pada proses tersebut menggunakan bahan penggumpal berupa CH_3COOH .



Gambar 4. 33 Grafik normalisasi ecotoxicity

(sumber: hasil analisis simapro, 2022)

2. Global warming potential

Proses pemasakan menjadi kontributor terbesar pada dampak *global warming potential*. Nilai yang dihasilkan dari proses pemasakan yang memberikan pengaruh pada dampak ini adalah sebesar $5,34 \times 10^{-5}$ $\text{KgCO}_2\text{-eq}$. Nilai normalisasi GWP ditunjukkan pada Tabel 4.15

Tabel 4. 15 Nilai normalisasi GWP

Proses	Nilai GWP ($\text{KgCO}_2\text{-eq}$)
Proses perendaman	-
Proses pencucian	-
Proses penggilingan	$1,38 \times 10^{-7}$
Proses pemasakan	$5,34 \times 10^{-5}$
Proses penyaringan	-

Proses penggumpalan	5,2 x 10 ⁻⁶
Proses pengepresan	-
Proses pemotongan	-

Sumber: hasil analisis simapro, 2022

Tingginya nilai GWP pada proses pemasakan dikarenakan pada proses tersebut menggunakan kayu bakar sebagai energi utama untuk proses memasak. Emisi gas rumah kaca global dapat disebabkan oleh kegiatan ekonomi yang mengarah pada produksinya, seperti produksi listrik, kegiatan industri, pertanian dan perhutanan, transportasi (EPA, 2004). Hal ini sejalan dengan firman Allah SWT pada Surah 30 ayat 41 yang berbunyi

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ
الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

Yang artinya: “telah Nampak kerusakan di darat dan laut dengan apa yang telah dibuat oleh tangan manusia sendiri, agar Dia bisa membiarkan mereka merasakan beberapa akibat dari perbuatan mereka, agar mereka bisa kembali”

Sudah suatu kewajiban untuk mengatasi kebiasaan, pola pikir, dan akar penyebab perubahan iklim, degradasi lingkungan, dan hilangnya keanekaragaman hayati dalam lingkup pengaruh tertentu, seperti firman Allah SWT dalam Al-Qur'an Surah 17 ayat 37 yang berbunyi

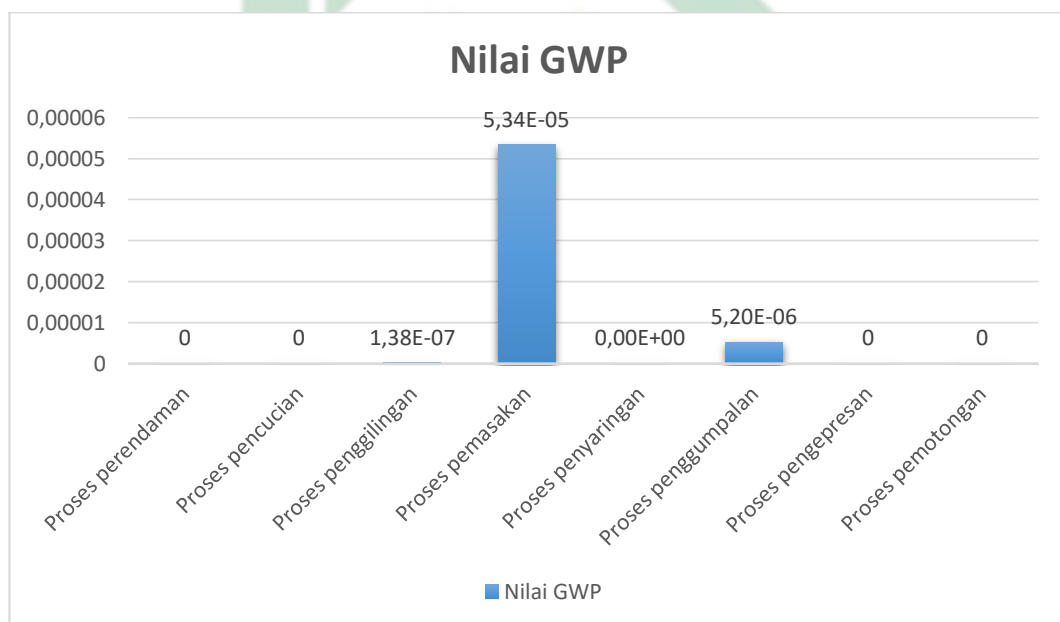
وَلَا تَمْشِ فِي الْأَرْضِ مَرَحًا إِنَّكَ لَنْ تَخْرِقَ الْأَرْضَ وَلَنْ تَبْلُغَ الْجِبَالَ
طُولًا ﴿٣٧﴾

Yang artinya: “Jangan berdiri dengan angkuh di bumi. Kamu tidak akan pernah membelah bumi. Kamu juga tidak akan pernah menyaingi ketinggian pegunungan”

Islam mengajarkan kita bahwa Allah akan terus memberi kita sumber daya yang cukup untuk sepanjang waktu. Tetapi melalui penyalahgunaan manusia, keseimbangan ini dapat berubah. Keserakahan pribadi manusia inilah yang membuat mereka menyalahgunakan sumber daya ini dan menghilangkan orang lain yang mungkin membutuhkan sumber daya tersebut.

Maka dari itu, sudah seharusnya kita mengetahui dampak-dampak lingkungan yang telah timbul akibat kegiatan yang kita lakukan yang tidak selaras dengan lingkungan.

Grafik nilai normalisasi GWP ditunjukkan pada Gambar 4.34



Gambar 4. 34 Grafik normalisasi GWP

(Sumber: hasil analisis, 2022)

3. *Fresh Water Aquatic Ecotoxicity*

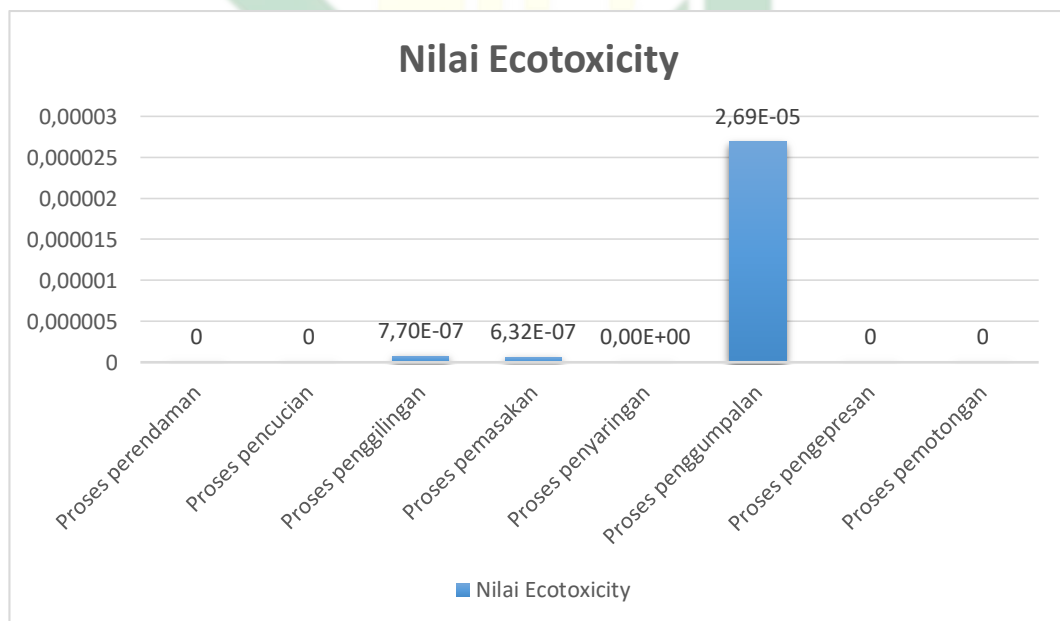
Proses penggumpalan menjadi kontributor terbesar pada dampak *fresh water aquatic ecotoxicity*. Nilai yang dihasilkan dari proses penggumpalan yang memberikan pengaruh pada

dampak ini adalah sebesar $2,69 \times 10^{-5}$ Kg1,4-DB eq. Nilai normalisasi ecotoxicity ditunjukkan pada Tabel 4.16

Tabel 4. 16 nilai normalisasi ecotoxicity

Proses	Nilai ecotoxicity (Kg1,4-DB eq)
Proses perendaman	-
Proses pencucian	-
Proses penggilingan	$7,7 \times 10^{-7}$
Proses pemasakan	$6,32 \times 10^{-7}$
Proses penyaringan	-
Proses penggumpalan	$2,69 \times 10^{-5}$
Proses pengepresan	-
Proses pemotongan	-

Sumber: hasil analisis simapro, 2022



Gambar 4. 35 Grafik normalisasi ecotoxicity

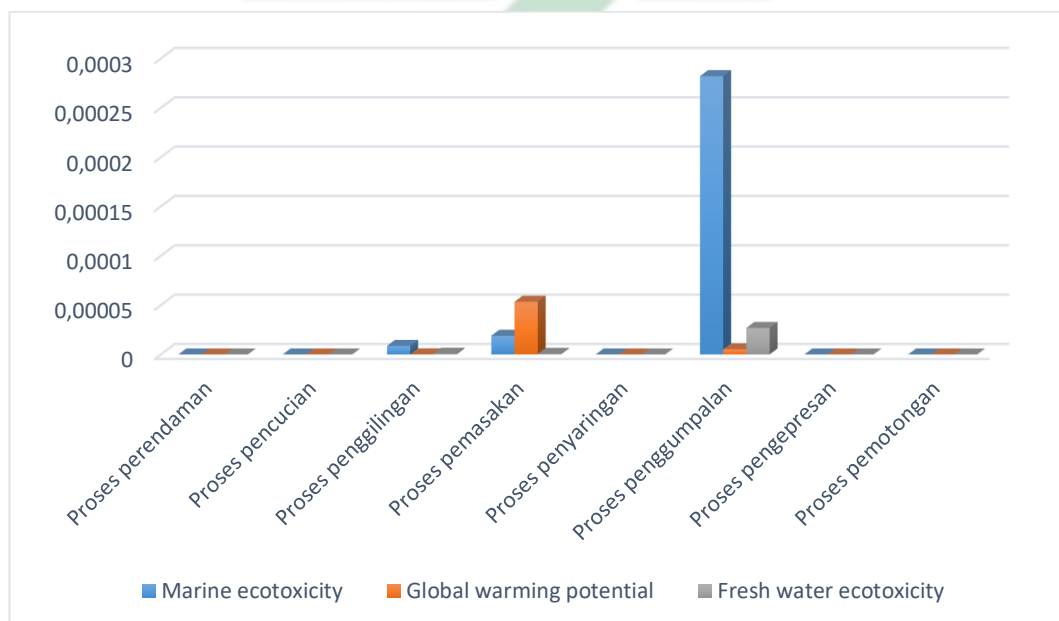
(sumber: hasil analisis simapro, 2022)

Tingginya nilai ecotoxicity pada proses penggumpalan dikarenakan pada proses tersebut menggunakan bahan penggumpal berupa CH_3COOH .

4.4.4 Interpretation

Interpretasi merupakan tahap terakhir dalam analisis LCA. Tujuan interpretasi adalah untuk melakukan identifikasi, evaluasi, dan menyimpulkan keseluruhan hasil analisis terhadap kegiatan proses produksi tahu di UD.X Desa Sidojukung (Ain, 2021). Pada tahap ini dilakukan pengidentifikasian proses-proses yang mempunyai kontribusi terbesar pada hasil indikator dampak lingkungan dengan cara melakukan analisis kontribusi (Aniza, 2017).

Analisis kontribusi dilakukan untuk dapat mengetahui kontribusi yang paling dominan dari proses produksi tahu. Pada analisis ini akan ditunjukkan kategori dampak terbesar yang berkontribusi terhadap lingkungan (Fitriani, 2019). Hasil analisis kontribusi dampak secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.36



Gambar 4. 36 Grafik kontribusi dampak

(Sumber: hasil analisis simapro, 2022)

Proses produksi tahu sebenarnya mencakup 8 proses, dari proses perendaman, pencucian, penggilingan, pemasakan, penyaringan, penggumpalan, pengepresan, dan pemotongan. Namun Gambar 4.36 dibuat berdasarkan dari proses yang memiliki dampak lingkungan. Karena pada proses perendaman, pencucian, penyaringan, dan pemotongan tahu tidak memiliki dampak lingkungan. Pada proses pengepresan memiliki dampak lingkungan, namun dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses tersebut tidak termasuk ke dalam 3 dampak terbesar.

Berdasarkan Gambar 4.36 dapat diketahui bahwa dampak *marine aquatic ecotoxicity* terbesar hingga terkecil berturut-turut dihasilkan dari proses penggumpalan, pemasakan, dan penggilingan yaitu sebesar 0,000282 kg_{1,4} DB-eq, $1,89 \times 10^{-5}$ kg_{1,4} DB-eq, $8,62 \times 10^{-6}$ kg_{1,4} DB-eq. Pada proses penggumpalan, kontribusi terbesar dihasilkan dari pemakaian bahan kimia CH₃COOH untuk menggumpalkan sari kedelai. Substansi terbesar yang dihasilkan adalah hidrogen fluoride $9,91 \times 10^{-5}$ kg_{1,4} DB-eq. Pada proses pemasakan, substansi terbesar yang dihasilkan adalah hidrogen fluoride sebesar $1,38 \times 10^{-5}$ kg_{1,4} DB-eq. Substansi tersebut dihasilkan dari pembakaran kayu sebagai energi utama untuk memasak bubur kedelai. Pada proses penggilingan, substansi terbesar yang dihasilkan adalah beryllium sebesar $4,24 \times 10^{-6}$ kg_{1,4} DB-eq.

Dampak *global warming* terbesar hingga terkecil berturut-turut dihasilkan dari proses pemasakan, penggumpalan, dan penggilingan yaitu sebesar $5,34 \times 10^{-5}$ kgCO₂-eq, $5,20 \times 10^{-6}$ kgCO₂-eq, dan $1,38 \times 10^{-7}$ kgCO₂-eq. Pada proses pemasakan, kontribusi terbesar adalah dari pembakaran kayu dengan substansi terbesarnya adalah N₂O yaitu sebesar $2,79 \times 10^{-5}$ kgCO₂-eq. Substansi tersebut merupakan kontributor emisi gas rumah kaca (Wahyudi, 2019). Sedangkan pada

proses penggilingan, CO₂ merupakan substansi terbesar, yaitu $8,15 \times 10^{-5}$ kgCO₂-eq yang dihasilkan dari pemakaian energi listrik sebagai sumber energi utama. Pada proses penggumpalan, substansi terbesar yang dihasilkan yaitu $5,2 \times 10^{-6}$ kgCO₂-eq yang dihasilkan dari pemakaian bahan kimia yaitu CH₃COOH atau asam cuka sebagai bahan penggumpal sari kedelai. Emisi CO₂ merupakan kontributor utama pemanasan global dan perubahan iklim yang mampu menimbulkan dampak bagi manusia dan lingkungan (Ali, *et al.*, 2020).

Dampak selanjutnya yaitu *fresh water aquatic ecotoxicity*, proses yang memiliki kontribusi terbesar hingga terkecil secara berturut-turut adalah pada proses penggumpalan, pemasakan, dan penggilingan yaitu sebesar $2,69 \times 10^{-5}$ kg1,4 DB-eq, $6,32 \times 10^{-7}$ kg1,4 DB-eq, dan $7,70 \times 10^{-7}$ kg1,4 DB-eq. Pada proses penggumpalan, kontribusi terbesar dihasilkan dari pemakaian bahan kimia CH₃COOH untuk menggumpalkan sari kedelai. Substansi terbesar yang dihasilkan adalah copper sebesar $9,71 \times 10^{-6}$ kg1,4 DB-eq. Pada proses pemasakan, substansi terbesar yang dihasilkan adalah barium sebesar $6,96 \times 10^{-11}$ kg1,4 DB-eq. Substansi tersebut dihasilkan dari pembakaran kayu sebagai energi utama untuk memasak bubur kedelai. Pada proses penggilingan, substansi terbesar yang dihasilkan adalah nickel sebesar $3,75 \times 10^{-7}$ kg1,4 DB-eq. Cu adalah salah satu unsur yang paling beracun bagi spesies akuatik, pada tingkat tepat di atas yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan reproduksinya dapat terakumulasi dan menyebabkan kerusakan permanen pada beberapa spesies. Cu sangat beracun (mematikan) bagi ikan air tawar di konsentrasi mulai dari 10 – 20 ppb (Carol Ann Woody & Louise, 2012).

4.5 Analisis Alternatif Bahan Bakar

Energi terbarukan dari limbah pengolahan makanan (limbah organik) dipandang sebagai salah satu pilihan utama sebagai pengganti bahan bakar fosil dan mampu mengurangi emisi gas rumah kaca (Faisal, *et al.*, 2014). Biomassa tersebut mengandung karbon sebagai sumber energi terbarukan dan tidak mengarah terhadap peningkatan CO₂ rumah kaca. Hal ini diharapkan menjadi sumber energi di masa depan. Teknologi fermentasi anaerobic memiliki potensi besar untuk dijadikan biogas. Biogas adalah sumber energi yang ideal dan bersih. Maka dari itu pemanfaatan limbah cair organik yang dihasilkan dari industri makanan dan industri berbasis agro menjadi bahan baku potensial untuk memproduksi energy terbarukan tersebut.

Biogas adalah bahan bakar padat, cair atau gas yang dihasilkan dari bahan organik. Biogas dapat diproduksi secara langsung dari tanaman atau tidak langsung dari limbah industri, komersial, domestik, atau pertanian. Limbah cair tahu dapat dimanfaatkan dan diolah menjadi biogas (Masayu, *et al.*, 2020). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Mahastuti, 2017) pada skenario biogas telah diuji pada Perangkat Lunak SimaPro sebagai penggantinya sumber energi dari kayu bakar dalam proses pemasakan kedelai menunjukkan bahwa dampak *climate change* yang tergabung dalam kategori dampak *human health* pada nilai *single score* sebesar -53,4752 DALY, sedangkan produksi tahu menggunakan kayu bakar sebesar -94,8447. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan biogas sebagai bahan bakar memiliki dampak lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan kayu bakar.

Salah satu limbah yang menarik adalah limbah pengolahan tahu, yang mengandung karbon organik yang sangat tinggi. Limbah cair pengolahan tahu berpotensi menghasilkan energi terbarukan energi seperti metana, biohidrogen dan etanol. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Faisal, *et al.*, 2014) menunjukkan bahwa sekitar 128,52 m³/hari CH₄ diproduksi dari 10 pabrik tahu di Banda Aceh. Secara teoritis, 1 kg COD akan menghasilkan 0,35 m³ metana dan nilai ini dapat digunakan untuk tujuan asumsi perancangan dan pengoptimalan biogas. Sedangkan, untuk menganalisis potensi gas yang dihasilkan dan kebutuhan energi bahan bakar industri tahu

atau *supply demand* pada penelitian ini dihitung berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Risyad, 2018).

4.5.1 Konsumsi Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan oleh industri tahu UD.X yaitu kayu bakar dan solar. Kayu bakar merupakan sumber energi utama untuk proses pemasakan. Sedangkan solar merupakan sumber energi sekunder yang digunakan pada proses penggilingan sebagai pengganti listrik apabila terjadi pemadaman. Kayu bakar yang digunakan di UD.X ini diperoleh dari sisa pabrik kayu. Ketergantungan terhadap kayu bakar disebabkan karena industri ini tidak memiliki instalasi biodigester. Selain itu, proses pembakaran kayu bakar hanya memiliki cerobong asap sebagai keluarnya asap agar sisa pembakarannya tidak masuk ke rumah warga sekitar. Penggunaan bahan bakar pada proses pemasakan di industri tahu UD.X dapat dilihat pada Tabel 4.17

Tabel 4. 17 Konsumsi Bahan Bakar Industri tahu UD.X

Sumber bahan bakar	Jumlah bahan bakar (kg/bulan)	Limbah cair (liter/hari)
Kayu bakar	42.561	8.045

Sumber: hasil perhitungan, 2022

Dari tabel 4.19 di atas dapat diketahui bahwa kebutuhan jumlah kayu bakar per bulan adalah sebesar 42.561 kg/bulan. Seluruh kayu tersebut habis dibakar setiap bulannya, karena kayu merupakan sumber energi utama dan satu-satunya yang digunakan di industri tahu UD. X Desa Sidojangkung.

4.5.2 Input-Output Pengolahan Biogas

Industri tahu UD. X Desa Sidojangkung rata-rata perhari memiliki kapasitas produksi sebanyak 703 kg kedelai. Bahan baku kedelai diperoleh dari pengepul ataupun petani kedelai. Sumber energi utama yang digunakan di industri tahu UD. X adalah air, listrik, bahan bakar (kayu bakar dan solar). Energi biogas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu energi yang didapatkan dari limbah cair tahu. Input pengolahan biogas dapat dilihat pada Tabel 4.18

Tabel 4. 18 Input pengolahan biogas

Kapasitas kedelai (kg)	Limbah cair (liter)
703	8045

Sumber: hasil perhitungan, 2022

Output pengolahan limbah cair tahu yaitu biogas. Kuantitas biogas tersebut tergantung dari jumlah limbah cair tahu yang masuk ke dalam biodigester. Pengolahan biogas ini dimanfaatkan sebagai bahan bakar pengganti kayu untuk proses pemasakan bubur kedelai. Jumlah output yang dihasilkan dari pengolahan limbah cair industri tahu dapat dilihat pada Tabel 4.19

Tabel 4. 19 Output pengolahan limbah industri tahu

Limbah cair (liter/hari)	Potensi biogas (m ³ /hari)
8045	9,96

Sumber: hasil perhitungan, 2022

Berdasarkan sampling selama 1 (satu) bulan atau 28 hari pada industri tahu UD. X yang memiliki kapasitas produksi rata-rata per harinya sebesar 703 kg kedelai dihasilkan rata-rata limbah cair industri tahu sebanyak 8.045 liter/hari.

4.5.3 Analisis Supply dan Demand Energi Biogas

Analisis supply pada penelitian ini digunakan untuk melakukan pengkajian sumber energi biogas dari ketersediaan limbah cair industri tahu UD. X Desa Sidojukung. Dasar yang digunakan untuk menghitung ketersediaan kebutuhan energi pada penelitian ini adalah dari penelitian yang dilakukan oleh Risyad, 2018. Potensi gas yang terbentuk dari penelitian yang dilakukan oleh Risyad, 2018 mengacu pada standar atau acuan potensi gas dari pengolahan limbah cair industri tahu sebesar 2.560 liter atau 2,560 m³ dengan kapasitas produksi sebanyak 200-400 kg kedelai/hari adalah sebesar 3.17 m³/hari (Dinata, dkk., 2015).

Industri tahu UD. X Desa Sidojukung, Kecamatan Menganti, Kabupaten Gresik ini memiliki rata-rata kapasitas produksi sebesar 703 kg kedelai/hari. Berdasarkan kapasitas produksi tersebut, dihasilkan limbah cair sebesar 8.045 liter/hari. Perhitungan potensi biogas

didasarkan pada pengolahan limbah cair dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

- Potensi biogas yang dihasilkan

$$= \frac{8,045 \text{ m}^3/\text{hari}}{2,560 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 3,17 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 9,96 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan nilai sebesar 9,96 m³/hari dengan pengolahan limbah cair tahu sebesar 8.045 liter/hari dengan acuan ketersediaan energi didasarkan dari jumlah limbah cair tahu per hari sebesar 2,560 m³ berpotensi menghasilkan gas sebesar 3.17 m³/hari (Dinata, dkk., 2015). Perhitungan tersebut dilakukan karena tidak ada pengukuran variable-variabel tersebut di lapangan.

Biogas dapat diubah ke beberapa bentuk energi. Proses konversi biogas yang dapat digunakan sebagai alternative dalam rangka pengurangan penggunaan energi fosil (Risyad, 2018). Pemanfaatan limbah cair tersebut mampu menghemat pemakaian bahan bakar fosil. Besaran perbandingan untuk menggantikan 1 m³ biogas dapat dilihat pada Tabel 4.20

Tabel 4. 20 Perbandingan bahan terganti setiap 1m³ biogas

Bahan bakar	Besaran yang terganti setiap 1m ³ biogas
LPG	0,46 kg
Minyak tanah	0,62 liter
Bensin	0,8 liter
Kayu bakar	3,5 kg

Sumber: Kementrian ESDM, 2012

Berdasarkan Tabel 4.20, diketahui bahwa besaran perbandingan untuk menggantikan 1 m³ biogas pada bahan bakar kayu adalah sebesar 3,5 kg. Kebutuhan energi untuk memasak pada produksi tahu UD. X Desa Sidojangkung akan dibandingkan dengan penggunaan kayu bakar. Perhitungan kebutuhan energi industri tahu menggunakan bahan bakar kayu sebanyak 1.520 kg atau 1,520 m³ untuk memasak. Perhitungan tersebut menggunakan koefisien konversi kesetaraan biogas dengan

kayu bakar (Agustina, 2017 dalam Risyad, 2018). Perhitungan *demand energi* biogas dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Demand biogas} = \frac{\text{konsumsi energi}}{\text{perbandingan sumber energi}}$$

Keterangan:

Demand biogas (m³/hari)

Konsumsi energi (m³/hari)

Perbandingan sumber energi (m³)

Sehingga, perhitungan *demand* biogas pada industri tahu di UD.X adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Demand biogas} &= \frac{\text{konsumsi energi}}{\text{perbandingan sumber energi}} \\ &= \frac{1,520 \text{ m}^3/\text{hari}}{0,0035 \text{ m}^3/\text{hari}} \\ &= 434,28 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 4. 21 Tabel jumlah *supply* dan *demand* energi biogas

Jumlah limbah cair (liter/hari)	limbah tahu	<i>Supply</i>	<i>Demand</i> biogas	<i>Demand</i> kayu bakar	Selisih
8.045 liter/hari		9,96 m ³ /hari	434,28 m ³	1.520 kg	424,32 m ³

Sumber: hasil perhitungan, 2022

Berdasarkan Tabel 4.21 bahwa jumlah *supply* biogas yang dihasilkan dari pengolahan limbah cair tahu adalah sebesar 9,96 m³/hari sedangkan jumlah *demand* biogas yang digunakan untuk menggantikan 1.520 kg kayu adalah sebesar 434,28 m³. Dari hasil tersebut diketahui bahwa *supply* yang dibutuhkan jumlahnya lebih kecil atau kurang dari *demand* biogas yang dibutuhkan untuk menggantikan kayu bakar untuk proses memasak per harinya yaitu sebesar -424,32 m³. Sehingga kebutuhan energi biogas tidak dapat didistribusikan karena tidak mencukupi kebutuhan energi untuk proses pemasakan.

Perilaku yang baik dalam Islam bergantung pada efisiensi penggunaan sumber daya alam dan pengurangan limbah, yang menjamin kondisi lingkungan yang baik. Menurut Allah, ‘Makan dan minumlah, tetapi pemborosan jangan berlebihan’ (Al-Araf: 31). Mengurangi limbah dapat bermanfaat bagi lingkungan dengan berbagai

cara. Misalnya, pengurangan limbah mencerminkan penggunaan sumber daya alam secara efisien. Ini juga menyelamatkan lingkungan dari masalah yang ditimbulkan oleh pencemaran limbah

Biogas dapat digunakan sebagai alternatif bahan bakar, namun pada penelitian ini jumlahnya tidak memenuhi *demand* kayu bakar yang digunakan sebagai energi utama pada proses pemasakan. Maka dari itu, kayu bakar bisa tetap menjadi energi utama dalam proses pemasakan, namun bahan bakar biogas juga dapat digunakan sebagai alternatif pendukung.

4.5.4 Analisis *Demand* LPG

LPG atau *Liquid Petroleum Gas* adalah campuran gas hidrokarbon yang mudah terbakar yang meliputi propana, butana, isobutana dan campuran ketiga gas LPG tersebut (Elgas, 2021). LPG umumnya digunakan untuk gas pemanas rumah dan memasak. Gas LPG berasal dari sumur minyak dan gas, karena merupakan bahan bakar fosil. Proses manufaktur gas LPG meliputi proses pengolahan gas alam dan proses kilang minyak mentah. LPG, dicairkan melalui tekanan, berasal dari pemrosesan gas alam dan penyulingan minyak. Di berbagai negara, gas bahan bakar pemanas LPG yang dipasok dapat berupa campuran propana, butana atau propana-butana.

Dikarenakan energi biogas sebagai bahan bakar alternative tidak dapat didistribusikan karena *supply* biogas yang terlalu kecil dan *demand* yang dibutuhkan terlalu besar menyebabkan energi biogas tidak dapat didistribusikan, sehingga penulis melakukan analisis perhitungan terhadap bahan bakar LPG. Pemilihan alternative LPG ini didasarkan karena pembakaran kayu memiliki nilai factor emisi CO₂, CH₄, dan N₂O yang lebih besar daripada pembakaran LPG dengan mengesampingkan analisis ekonomi atau biaya.

Dikarenakan tidak adanya pengukuran variable penggunaan LPG di industri tersebut, maka penulis melakukan analisis perhitungan LPG berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Universitas Sebelas Maret,

2015 bahwa 80 kg kayu bakar setara dengan 1 tabung gas LPG 3 kg. Maka perhitungan demand LPG untuk menggantikan 1.520 kg kayu bakar pada industri kecil “UD.X” adalah sebagai berikut:

- *Demand LPG*

$$= \frac{1520 \text{ kg/hari}}{80 \text{ kg}} \times 3 \text{ kg}$$

$$= 57 \text{ kg LPG}$$

$$= 19 \text{ tabung LPG/hari}$$

Merujuk pada Tabel 4.5, faktor emisi yang digunakan pada penelitian ini untuk menghitung emisi CO₂, CH₄, dan N₂O pada sektor energi bahan bakar LPG, berturut-turut adalah sebesar 63,10 tonCO₂/TJ, 1 ton/CO₂/TJ, dan 0,1 ton/CO₂/TJ dengan nilai NCV adalah 47,3 TJ/Gg. Maka, perhitungan emisi dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini

$$\text{Kebutuhan LPG} = 57 \text{ kg}$$

$$\text{Konsumsi energi} = 0,000057 \text{ Gg/hari} \times 47,3 \text{ TJ/Gg}$$

$$= 0,0026961 \text{ TJ/hari}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 0,0026961 \frac{\text{TJ}}{\text{hari}} \times 63,10 \frac{\text{ton}}{\text{CO}_2} / \text{TJ}$$

$$= 0,17012391 \text{ tonCO}_2/\text{hari}$$

$$\text{Emisi CH}_4 = 0,0026961 \frac{\text{TJ}}{\text{hari}} \times 1 \frac{\text{ton}}{\text{CO}_2} / \text{TJ}$$

$$= 0,0026961 \text{ tonCH}_4/\text{hari}$$

$$\text{Emisi N}_2\text{O} = 0,0026961 \frac{\text{TJ}}{\text{hari}} \times 0,1 \frac{\text{ton}}{\text{CO}_2} / \text{TJ}$$

$$= 0,00026961 \text{ tonN}_2\text{O}/\text{hari}$$

Selanjutnya, dilakukan analisis pada *software* SimaPro 9.3 didapatkan nilai karakterisasi dampak *global warming potential* yang dihasilkan dari pemakaian LPG adalah sebesar $1,97 \times 10^6$ kg CO₂-eq. Nilai tersebut berbeda jauh dengan nilai karakterisasi dampak *global warming potential* yang dihasilkan dari pembakaran kayu sebesar $2,95 \times 10^8$ kg CO₂-eq. Nilai GWP untuk pemakaian LPG dapat dilihat pada Gambar 4.37

No	Process	Project	Unit	Total	proses pemasakan lpg
	Total of all processes		kg CO2 eq	1,976	1,976
1	proses pemasakan lpg	LCA INDUSTRI TAHU SIDOI	kg CO2 eq	1,776	1,776
2	Liquefied petroleum gas (LPG) market for Cut-off, 5	Ecoinvent 3 - allocation, ci	kg CO2 eq	1,965	1,965
3	pemasakan bubur kedelai	LCA INDUSTRI TAHU SIDOI	kg CO2 eq	-	-

Gambar 4. 37 Nilai karakterisasi GWP Proses pemasakan menggunakan LPG

(Sumber: hasil analisis simapro, 2022)

4.6 Perbandingan IPCC 2006

IPCC atau *Intergovernmental Panel on Climate Change* adalah badan internasional terkemuka yang melakukan penilaian terhadap perubahan iklim. Kegiatan utama IPCC adalah penyusunan laporan yang menilai status pengetahuan tentang perubahan iklim. Ini termasuk laporan penilaian, laporan khusus dan laporan metodologi (*IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 1996).

Dikutip dari Bailey, *et al.*, 2022 dalam *Global Climate Change* NASA, 2022 mengatakan bahwa *climate change* atau perubahan iklim merupakan perubahan dari pola cuaca rata-rata jangka panjang yang memberi pengaruh pada iklim lokal, regional, dan global. Perubahan iklim mengacu pada perubahan iklim buatan manusia (antropogenik) yang diyakini menyebabkan peningkatan suhu global yang didorong oleh emisi gas seperti karbon dioksida dan metana, yang dikenal sebagai gas rumah kaca.

Gas rumah kaca merupakan kelompok gas yang berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim. Protokol Kyoto, kesepakatan lingkungan yang diadopsi oleh banyak pihak dalam Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim (UNFCCC) pada tahun 1997 untuk mengekang pemanasan global, saat ini mencakup tujuh gas rumah kaca: gas

non-fluorinated terdiri dari karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitrogen oksida (N₂O). Gas berfluorinasi: hidrofluorokarbon (HFC), perfluorokarbon (PFC), belerang heksafluorida (SF₆), nitrogen trifluorida (NF₃) (IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 1996*). Emisi gas rumah kaca global dapat disebabkan oleh kegiatan ekonomi yang mengarah pada produksinya, seperti produksi listrik, kegiatan industri, pertanian dan perhutanan, transportasi (EPA, 2004).

IPCC telah membagi emisi ke beberapa sektor, antara lain sektor energi, sektor industri, sektor pertanian dan perhutanan, serta sektor limbah. Pada penelitian ini akan dihitung emisi CO₂ yang dihasilkan dari sektor energi listrik pada proses produksi tahu. Berikut merupakan perhitungan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan sektor energi listrik

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 &= 108 \frac{\text{kWh}}{\text{hari}} \times 0,725 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} \times 1 \\ &= 78,3 \text{ kgCO}_2\text{-eq} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas diketahui bahwa emisi CO₂ yang dihasilkan dari sektor energi listrik adalah sebesar 78,3 kgCO₂-eq/hari. 0,725 kgCO₂/kWh merupakan factor emisi listrik di area Jawa-Madura-Bali. Sedangkan 108 kWh merupakan banyaknya penggunaan energi listrik selama memproduksi tahu rata-rata 1 (satu) hari. Nilai GWP CO₂ adalah 1. Perhitungan di atas dibandingkan dengan nilai CO₂ yang dihasilkan pada analisis simapro 9.3. Nilai CO₂-eq pada Simapro yang dihasilkan dari pemakaian listrik adalah sebesar 120 kgCO₂-eq.

Terdapat perbedaan pada kedua nilai tersebut, hal ini disebabkan karena SimaPro memiliki *inventory* data tersendiri pada pemakaian listrik yang didapatkan dari sumber market (PLN) di Indonesia pada voltase yang tinggi dengan lingkup global yang di dalamnya memiliki *inventory* substansi yang lengkap. Sedangkan pada perhitungan pada IPCC hanya menghitung emisi CO₂ pada lingkup regional. Sehingga menyebabkan kedua nilai tersebut berbeda.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

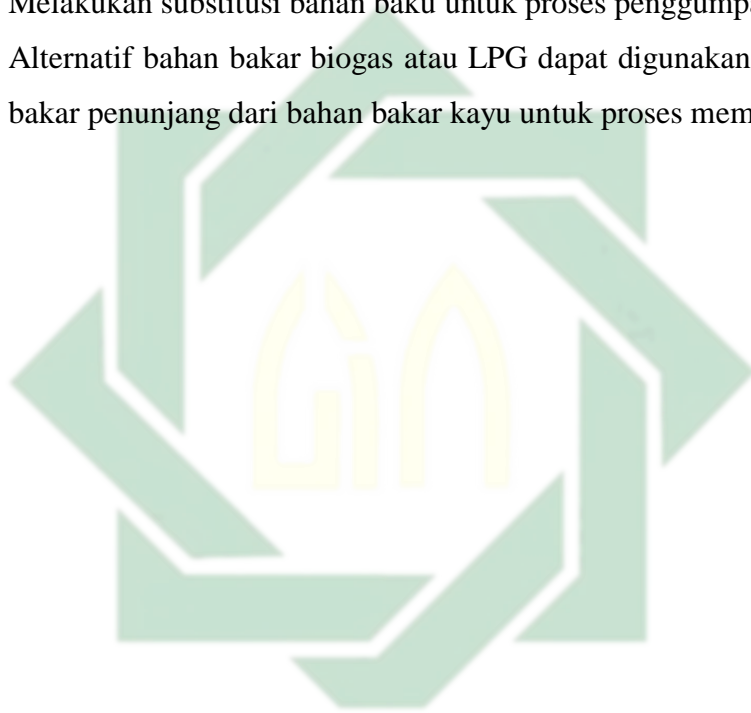
Berdasarkan hasil penelitian dan analisis mengenai dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi tahu adalah sebagai berikut:

1. Proses produksi tahu di industri kecil “UD.X” Desa Sidojangkung Kecamatan Menganti, Gresik dilakukan melalui 8 tahap, yaitu tahap perendaman kedelai, tahap pencucian kedelai, tahap penggilingan kedelai, tahap pemasakan bubur kedelai, tahap penyaringan bubur kedelai masak, tahap penggumpalan sari kedelai, tahap pengepresan gumpalan sari kedelai, dan tahap pemotongan tahu.
2. Hasil analisis LCA yang didapatkan dari tahap normalisasi dampak dihasilkan 3 dampak lingkungan terbesar hingga terkecil berturut-turut adalah *marine aquatic ecotoxicity*, *global warming potential*, dan *fresh water aquatic* sebesar 0,000309 Kg1,4 DB-eq, $5,87 \times 10^{-5}$ kgCO₂-eq, dan $2,83 \times 10^{-5}$ Kg1,4 DB-eq. Ketiga dampak tersebut dihasilkan dari proses penggilingan kedelai, proses pemasakan bubur kedelai, dan proses penggumpalan sari kedelai.
3. Alternatif bahan bakar yang direncanakan adalah biogas yang dihasilkan dari limbah cair tahu. Namun hasil analisis menunjukkan potensi gas dari limbah cair tahu tidak memenuhi *demand* kayu bakar yang digunakan pada proses pemasakan rata-rata perharinya. Selain itu, LPG juga dapat digunakan sebagai alternatif pada industri tahu “UD. X” Desa Sidojangkung, Kecamatan Menganti, Gresik karena menghasilkan dampak lebih kecil daripada kayu bakar.

5.2 Saran

1. Membuat biodigester untuk pengolahan limbah cair menjadi biogas

2. Menggunakan APD yang sesuai
3. Mengganti tungku pembakaran yang dapat meningkatkan efisiensi pembakaran
4. Melakukan perubahan penempatan unit proses untuk mengurangi tumpahan bahan sehingga dapat menghemat pemakaian air bersih
5. Menempatkan peralatan yang tidak digunakan pada tempat yang terpisah dari tempat pemrosesan agar tidak terjadi penumpukan alat
6. Melakukan substitusi bahan baku untuk proses penggumpalan
7. Alternatif bahan bakar biogas atau LPG dapat digunakan sebagai bahan bakar penunjang dari bahan bakar kayu untuk proses memasak



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR PUSTAKA

- Acero, A. P., Rodriguez, C., & Ciroti, A. (2016). Lcia Methods: Impact Assessment Methods In Life Cycle Assessment And Their Impact Categories. Version 1.5.6. *Green Delta*, 23, 1–23. <https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2015/11/Lcia-Methods-V.1.5.4.pdf>
- Aditya, M. R. T., Marisa, D., & Suhartono, E. (2015). Potensi Antiinflamasi Jus Buah Manggis (*Garcinia mangostana*) Terhadap Denaturasi Protein In Vitro. *Jurnal Berkala Kedokteran*, 11(2), 149–156.
- Ahmed, R., Muztaba, H., & Monjur, M. (2010). Environmental Degradation : An Islamic Perspective. *Social Science Review*, 27(1), 1–14. <https://www.researchgate.net/publication/283503050>
- Ain, T. N. (2021). *Kajian Skenario Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Di Kota Sukabumi Dengan Metode Life Cycle Assessment (Lca) Tugas* [Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya]. <http://digilib.uinsby.ac.id/id/eprint/48449>
- Air, C., & As, A. (N.D.). *Hydrogen Fluoride Study Report To Congress*. 112(6).
- Ali, K. A., Ahmad, M. I., & Yusup, Y. (2020). Issues, Impacts, And Mitigations Of Carbon Dioxide Emissions In The Building Sector. *Sustainability (Switzerland)*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/su12187427>
- Amin, F., & Nika, F. A. (2021). *Environmental Protection From Islamic Perspective*. June. <https://www.researchgate.net/publication/352759203>
- Aniza, E. A. (2017). *Analisis Dampak Lingkungan Penggunaan Material Pada Produksi Batik Cap Menggunakan Simapro (Studi Kasus : Ukm Batik Putra Laweyan , Surakarta)* [Universitas Muhammadiyah Surakarta]. http://eprints.ums.ac.id/55542/1/Naskah_Publikasi.pdf

- Anzecc & Armcanz. (2000). Atrazine In Freshwater And Marine Water. *Water Quality Guidelines*, 1–2. <https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/guideline-values/default/water-quality-toxicants/toxicants/atrazine-2000>
- Carol Ann Woody, B., & Louise, S. O. (2012). *Effects Of Copper On Fish And Aquatic Resources Prepared For Effects Of Copper On Fish And Aquatic Resources*. June. www.adfg.alaska.gov/sf/sarr/awc/index.cfm?adfg
- Cherubini, F., Bargigli, S., & Ulgiati, S. (2009). Life Cycle Assessment (Lca) Of Waste Management Strategies: Landfilling, Sorting Plant And Incineration. *Energy*, 34(12), 2116–2123. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.08.023>
- Darsih, Iyan, R. Y., & Pailis, E. A. (2017). Peranan Sektor Industri Kecil Batu Bata Press Dalam Meningkatkan Pendapatan Masyarakat Di Kecamatan Tenayan Raya Kota Pekanbaru. *Jurnal Online Mahasiswa*, 4(1), 956–967. <https://jom.unri.ac.id/index.php/jomfekon/article/view/13015/12657>
- Dinata, M. A., Saputra, S. I. H., Fadhil, F. F., Afyani, E., Fatoni, A., & Rahayu, S. S. (2015). Bima “Biogas Mandiri” Hasil Pengolahan Limbah Cair Tahu Dengan Digester Anaerob Tipe Fixe Dome Untuk Terciptanya Energi Pedesaan Adiwerna Tegal. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 10, 68–73. <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa/article/view/217>
- 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/https://dx.doi.org/10.21771/jrtppi.2015.v6.no2.p75%20-%2080>
- Epa. (2004). Photochemical Smog: What It Means For Us. *Epa 90/04*, 1(21), 1–7.
- European Commission. (2020). *Green Deal: Chemicals Strategy Towards A Toxic-Free Environment - Questions And Answers*. October. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_1840

- Faisal, M., Machdar, I., Mulana, F., & Daimon, H. (2014). Potential Renewable Energy From Tofu Processing Waste In Banda Aceh City, Indonesia. *Asian Journal Of Chemistry*, 26(19), 6601–6604. <https://doi.org/10.14233/Ajchem.2014.16728>
- Fitriani, E. (2019). *Penerapan Life Cycle Assessment (Lca) Pada Industri Kecil Menengah Keripik Sanjai Di Bukittinggi*.
- Gabi. (2010). Handbook For Life Cycle Assessment (Lca) Using The Gabi Education. *Pe International*, 1–66.
- Goedkoop, M., Oele, M., Vieira, M., Leijting, J., Ponsioen, T., & Meijer, E. (2016). *Simapro Tutorial Colophon* (5.3; Nomor January). www.Pre-Sustainability.Com. www.Pre-Sustainability.Com
- Goedkoop, M., & Spriensma, R. (2001). The Eco-Indicator 99 - A Damage Oriented Method For Life Cycle Impact Assessment. *Assessment, January 2001*, 144.
- Guinée, J. B., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Koning, A. De, Oers, L. Van, Sleeswijk, A. W., Suh, S., & Haes, H. A. U. (2004). *Handbook On Life Cycle Assessment Operational Guide To The Iso Standards* (J. B. Guinée (Ed.)). Kluwer Academic Publishers. <https://B-Ok.Asia/Book/1122729/59d2a5?Dsource=Recommend>
- Hauschild, M. Z., & Huijbregts, M. A. J. (2015). “Life Cycle Impact Assessment” (Hauschild Mz And Huijbregts Maj Eds). In *Lca Compendium - The Complete World Of Life Cycle Assessment, Life Cycle Impact Assessment* (Nomor January, Hal. 139–162). <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9744-3>
- Hikmah, S. F., Rahman, A., Kholiq, I. N., & Andriani, Z. Z. D. (2019). Teknologi Pengolahan Limbah Industri Tahu Sebagai Upaya Pengembangan Usaha Kecil Menengah (Ukm) Di Kecamatan Gambiran Kabupaten Banyuwangi. *Jurnal Istiqro*, 5(1). <https://doi.org/10.30739/Istiqro.V5i1.342>
- Indrasti, N. S., & Fauzi, A. M. (2009). *Produksi Bersih 1.Pdf* (M. Dr. Ir. Elang Ilik Martawijaya & S. Dewi Sartika Sardin (Ed.); Juli 2009). Kampus Ipb

Taman Kencana Bogor.

- Ippc Guidelines For National Greenhouse Gas Inventories, 2006. (1966). Stationary Combustion. *Journal Of Applied Mechanics And Technical Physics*, 7(6), 69–70. <https://doi.org/10.1007/Bf00914340>
- Irawan, D., Dharmawan, A. H., & Sumarti, T. (2020). Bioenergi Pedesaan: Solusi Konflik Sosial Ekologi Dan Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(2), 247–252. <https://doi.org/10.14710/Jil.18.2.247-252>
- Istianah. (2015). Upaya Pelestarian Lingkungan Hidup Dalam Perspektif Hadis. *Riwayah*, 1(2), 249–270. <http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/Riwayah/article/view/1802>
- Jan Lam, F. Ter H. (2011). Domestic Biogas Compact Course: *Domestic Biogas Compact Course*.: 1. Jan Lam, F. Ter H. Domestic Biogas Compact Cour.
- Jolliet, O., Saadé-Sbeih, M., Shaked, S., Jolliet, A., & Crettaz, P. (2016). Environmental Life Cycle Assessment. In *Pci-Paint And Coatings Industry* (Internatio, Nomor Jul). <https://doi.org/10.1007/Bf02978949>
- 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>
- Kun-Mo, L., & Inaba, A. (2004). Life Cycle Assessment: Best Practices Of International Organization For Standardization (Iso) 14040 Series. *Committee On Trade And Investment, February*, 99. http://publications.apec.org/publication-detail.php?pub_id=453
- Kurniawati, S. D., Supartono, W., & Suyantohadi, A. (2019). Life Cycle Assessment On A Small Scale Tofu Industry In Baturetno Village - Bantu District - Yogyakarta. *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, 365(1), 0–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/365/1/012066>
- 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>
- Mahastuti, N. (2017). Analisis Gate To Gate Dengan Metode Eco Indicator 99 (H) Pada Pengukuran Eko Efisiensi Di Industri Kecil (Studi Kasus: Ikm Tahu Kampung Purwogondo, Kecamatan Kartasura, Sukoharjo). *Skripsi Teknik Industri*, 99, 19.
- Martavitri, R. M. (2016). *Gresik ' Respirator ' [Institut Teknologi Sepuluh Nopember]*. <https://repository.its.ac.id/eprint/71573>
- 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>
- Matawal, D. S., & Maton, D. J. (2013). Climate Change And Global Warming: Signs, Impact And Solutions. *International Journal Of Environmental Science And Development*, February 2013, 62–66.
<https://doi.org/10.7763/ijesd.2013.v4.305>
- Mauliva, A. R. Y., Putri, H., & Waluyo, J. (2022). *Jurnal Teknologi Lingkungan Analysis Of Potential Ghg Emissions From Tofu Industry And Its Mitigation In Indonesia Analisis Potensi Emisi Gas Rumah Kaca Dari Industri Tahu Dan Mitigasinya Di Indonesia*. 23(1), 62–70.
- Moffet, D., Smith, C., Stevens, Y., Ingerman, L., Swarts, S., & Chappell, L. (2007). Toxicological Profile For Barium And Barium Compounds. *Agency For Toxic Substances And Disease Registry*, August, 1–231.
<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp24.pdf>
<http://stacks.cdc.gov/view/cdc/6955/>
- Mulyani, A., & Rijal, M. (2018). *Industrialisasi, Pencemaran Lingkungan Dan Perubahan Struktur Kesehatan Masyarakat*. 7(2), 107–117.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33477/bs.v7i2.654>

- Ningrum, N. K., Widiana, D. R., & Afiuddin, A. E. (2020). Life Cycle Assessment (Lca) Emisi Gas Dan Partikulat Pada Proses. *Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan Dan Infrastruktur (Sentikuin, 3, 1–7.*
- Nur Afifah, W. (2014). Dampak Negatif Industri Pt. Semen Indonesia Terhadap Masyarakat Desa Temandang. *Paradigma, 2(1), 1–7.*
- Olagunju, B. D., & Olanrewaju, O. A. (2020). Comparison Of Life Cycle Assessment Tools In Cement Production. *South African Journal Of Industrial Engineering, 31(4), 70–83.* <https://doi.org/10.7166/31-4-2317>
- Pagoray, H., Sulistyawati, S., & Fitriyani, F. (2021). Limbah Cair Industri Tahu Dan Dampaknya Terhadap Kualitas Air Dan Biota Perairan. *Jurnal Pertanian Terpadu, 9(1), 53–65.* <https://doi.org/10.36084/jpt.v9i1.312>
- Pamungkas, A. W., & Slamet, A. (2017). Pengolahan Tipikal Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu Di Kota Surabaya. *Jurnal Teknik Its, 6(2).* <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24585>
- Parameswari, P. P., Yani, M., & Ismayana, A. (2019). Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assesment) Produk Kina Di Pt Sinkona Indonesia Lestari. *Jurnal Ilmu Lingkungan, 17(2), 351.* <https://doi.org/10.14710/jil.17.2.351-358>
- Pré Sustainability. (2014). *Simapro Database Manual.* 3–48. <http://www.Pre-Sustainability.Com/Download/Databasemanualmethods.Pdf>
- Pujadi, & Yola, M. (2013). Analisis Sustainability Packaging Dengan Metode Life Cycle Assessment (Lca). *Uin Sultan Syarif Kasim Riau, 1, 1–127.*
- Purwadi, D., Purwadi, T., Rahardjo, B., Ciptohadijoyo, S., & Goenadi, S. (2007). *Peningkatan Kinerja Industri Tahu Melalui Pengembangan Kelembagaan Di Tingkat Pengrajin (Studi Kasus Di Sentra Industri Tahu Adiwerna Tegal).* <https://adoc.pub/Peningkatan-Kinerja-Industri-Tahu-Melalui-Pengembangan-Kelem.html>
- Putri, H. P. (2017). Life Cycle Assessment (Lca) Emisi Pada Proses Produksi Bahan Bakar Minyak (Bbm) Jenis Bensin Dengan Pendekatan Analytical Hierarchy Process (Ahp) [Institut Teknologi Surabaya]. In

<https://Repository.Its.Ac.Id/43311/> (Vol. 65, Nomor 1).
<https://Repository.Its.Ac.Id/Id/Eprint/43311>

Regulations, W., & Agency, U. S. E. P. (N.D.). *Aepa Ambient Water Quality Criteria For Beryllium*.

Risyad, M. Z. (2018). *Pemanfaatan Limbah Cair Industri Tahu Menjadi Biogas Di Desa Beji Kecamatan Junrejo*.
[Http://Repository.Ub.Ac.Id/162296/%0ahttp://Repository.Ub.Ac.Id/162296/1/M Zulfa Risyad.Pdf](http://Repository.Ub.Ac.Id/162296/%0ahttp://Repository.Ub.Ac.Id/162296/1/M%20Zulfa%20Risyad.Pdf)

Rosita, R., Hudoyo, A., & Soelaiman, A. (2019). Analisis Usaha, Nilai Tambah, Dan Kesempatan Kerja Agroindustri Tahu Di Bandar Lampung. *Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis*, 7(2), 211. <https://doi.org/10.23960/jiia.v7i2.211-218>

Salomone, R. (2018). Life Cycle Assessment Applied To Coffee Production: Investigating Environmental Impacts To Aid Decision Making For Improvements At Company Level. *Journal Of Food Agriculture And Environment*, 1(2), 295–300.

Sari, I. P., Kuniawan, W., & Sia, F. L. (2021). Environmental Impact Of Tofu Production In West Jakarta Using A Life Cycle Assessment Approach. *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, 896(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/896/1/012050>

Sayow, F., Polii, B. V. J., Tilaar, W., & Augustine, K. D. (2020). Analisis Kandungan Limbah Industri Tahu Dan Tempe Rahayu Di Kelurahan Uner Kecamatan Kawangkoan Kabupaten Minahasa. *Agri-Sosioekonomi*, 16(2), 245. <https://doi.org/10.35791/agrsosek.16.2.2020.28758>

Septifani, R., Suhartini, S., & Perdana, I. J. (2021). Cleaner Production Analysis Of Tofu Small Scale Enterprise. *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, 733(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012055>

Setiani, B. E., Bintoro, V. P., & Fauzi, R. N. (2021). Pengaruh Penambahan Sari

Jeruk Nipis (*Citrus Aurantifolia*) Sebagai Bahan Penggumpal Alamiterhadap Karakteristik Fisik Dan Kimia Tahu Kacang Hijau (*Vigna Radiata*). *Jurnal Teknologi Pangan Dan Hasil Pertanian*, 16(1), 1–16.
[Http://Journals.Usm.Ac.Id/Index.Php/Jtphp](http://Journals.Usm.Ac.Id/Index.Php/Jtphp)

Shofi, S. A. (2019). Peran Industri Kecil Dalam Meningkatkan Perekonomian Masyarakat Menurut Perspektif Ekonomi Islam (Studi Kasus Pada Usaha Konveksi Jilbab Di Desa Pendosawalan Kec. Kalinyamatan Kab. Jepara). *Nanotechnology*, 27(9), 3505–3515.
<http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Cej.2014.10.020>
<http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Apcatb.2013.08.019>
<http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Tsf.2016.12.015>

Sholikhah, L. M. A. (2017). *Peran Usaha Industri Kecil Tahu Terhadap Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat Desa Kalisari Kecamatan Cilongok Kabupaten Banyumas* (Vol. 110265) [Universitas Negeri Yogyakarta].
[Http://Eprints.Uny.Ac.Id/53239/5/7](http://Eprints.Uny.Ac.Id/53239/5/7). Ringkasan Skripsi 13416241058.Pdf

Standard, I. I. 14040. (2006). International Standard Assessment — Requirements And. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, 2006(7), 652–668. [Http://Www.Springerlink.Com/Index/10.1007/S11367-011-0297-3](http://Www.Springerlink.Com/Index/10.1007/S11367-011-0297-3)

Susilawati, S. (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](https://Doi.Org/10.22437/Esehad.V2i1.13749)

Svecevičius, G. (2010). Acute Toxicity Of Nickel To Five Species Of Freshwater Fish. *Polish Journal Of Environmental Studies*, 19(2), 453–456.

The European Union, & Directive Buildings. (2020). *Environmental Impact Assessment Of Materials Used In Nearly Zero-Energy Buildings. 1*.
[Http://Www.Eem.Lv/Docs/2020/Package/Eem.Package.9.B.Pdf](http://Www.Eem.Lv/Docs/2020/Package/Eem.Package.9.B.Pdf)

Treadaway, V., Heikes, B. G., Mcneill, A. S., Silwal, I. K. C., & O'sullivan, D. W. (2018). Measurement Of Formic Acid, Acetic Acid And Hydroxyacetaldehyde, Hydrogen Peroxide, And Methyl Peroxide In Air By Chemical Ionization Mass Spectrometry: Airborne Method Development. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(4), 1901–1920.

<https://doi.org/10.5194/amt-11-1901-2018>

- Triyono, A. (2010). Mempelajari Pengaruh Penambahan Beberapa Asam Pada Proses Isolasi Protein Terhadap Tepung Protein Isolat Kacang Hijau (*Phaseolus Radiatus L.*). *Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses*, 4–5.
- Ula, R. A., Prasetya, A., & Haryanto, I. (2021). Life Cycle Assessment (Lca) Pengelolaan Sampah Di Tpa Gunung Panggung Kabupaten Tuban, Jawa Timur Life Cycle Assessment (Lca) Of Municipal Solid Waste Management In Gunung Panggung Landfill, Tuban Regency, East Java. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(2), 147–161.
- Wahyudi, J. (2019). Emisi Gas Rumah Kaca (Grk) Dari Pembakaran Terbuka Sampah Rumah Tangga Menggunakan Model Ipc. *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan Dan Iptek*, 15(1), 65–76. <https://doi.org/10.33658/Jl.V15i1.132>
- Wang, Z., Yeung, K. W. Y., Zhou, G. J., Yung, M. M. N., Schlekat, C. E., Garman, E. R., Gissi, F., Stauber, J. L., Middleton, E. T., Lin Wang, Y. Y., & Leung, K. M. Y. (2020). Acute And Chronic Toxicity Of Nickel On Freshwater And Marine Tropical Aquatic Organisms. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, 206(September), 111373. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111373>
- Weidema, B., Wenzel, H., Petersen, C., & Hansen, K. (2004). The Product, Functional Unit And Reference Flows In Lca. In *Cardiology (Switzerland)* (Nomor 70). <https://doi.org/10.1159/000169769>
- Widhiyanti, E., & Widowati, E. (2015). Perbedaan Jarak Tempat Tinggal Dari Lokasi Industri Genteng Terhadap Penurunan Fungsi Paru Penduduk Di Desa Kedawung. *Journal.Unnes.Ac.Id*, 2(2), 40–47. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujph/article/view/6573/4777>
- Ziyadi, M., Ozer, H., & Al-Qadi, I. L. (2017). Functional Unit Choice For Comparative Pavement Lca Involving Use-Stage With Pavement Roughness Uncertainty Quantification (Uq). *Pavement Life-Cycle Assessment - Proceedings Of The Pavement Life-Cycle Assessment*

Symposium, 2017, 133–144. <https://doi.org/10.1201/9781315159324-15>

Zulfikar, A. (2016). *Analisa Life Cycle Assessment Pada Proses Produksi Di Ukm Murni Mandiri, Kecamatan Ngancar, Kabupaten Kediri* (Nomor July).



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A