

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Identifikasi Dampak Pencemaran Lingkungan**

Polusi atau pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan, atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. (BPHN, 1982). Suatu zat dapat disebut polutan apabila:

- Jumlahnya melebihi jumlah normal.
- Berada pada waktu yang tidak tepat
- Berada pada tempat yang tidak tepat

Menurut tempat terjadinya, pencemaran dapat digolongkan menjadi tiga, yaitu pencemaran udara, air, tanah, dan suara.

##### **1. Pencemaran udara**

Pencemaran udara dapat berupa gas dan partikel. Contohnya adalah gas CO<sub>2</sub> yang terlalu berlebihan di bumi dapat mengikat panas matahari sehingga suhu bumi panas. Pemanasan global di bumi akibat CO<sub>2</sub> disebut juga sebagai efek rumah kaca (Partikel SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub>). Kedua partikel ini bersama dengan partikel cair membentuk embun, membentuk awan dekat tanah yang dapat mengganggu pernapasan.

##### **2. Pencemaran air**

Polusi air dapat disebabkan oleh beberapa jenis pencemar adalah Pembuangan limbah industri, sisa insektisida, dan pembuangan sampah domestik, misalnya, sisa detergen mencemari air. Buangan industri seperti Pb, Hg, Zn, dan CO, dapat terakumulasi dan bersifat racun.

Sampah organik yang dibusukkan oleh bakteri menyebabkan O<sub>2</sub> di air berkurang sehingga mengganggu aktivitas kehidupan organisme air Fosfat hasil pembusukan bersama HO<sub>3</sub> dan pupuk pertanian terakumulasi dan menyebabkan eutrofikasi, yaitu penimbunan mineral yang menyebabkan

pertumbuhan yang cepat pada alga (*blooming algae*). Akibatnya, tanaman di dalam air tidak dapat berfotosintesis karena sinar matahari terhalang.

Bila terjadi pencemaran di air, maka terjadi akumulasi zat pencemar pada tubuh organisme air. Akumulasi pencemar ini semakin meningkat pada organisme pemangsa yang lebih besar.

### 3. Pencemaran tanah

Pencemaran tanah disebabkan oleh beberapa jenis pencemaran berikut ini adalah sampah-sampah plastik yang sukar hancur, botol, karet sintesis, pecahan kaca, dan kaleng detergen yang bersifat *non-biodegradable* (secara alami sulit diuraikan). Zat kimia dari buangan pertanian, misalnya insektisida.

### 4. Pencemaran suara

Polusi suara disebabkan oleh suara bising kendaraan bermotor, kapal terbang, deru mesin pabrik, radio/ *tape recorder* yang berbunyi keras sehingga mengganggu pendengaran.

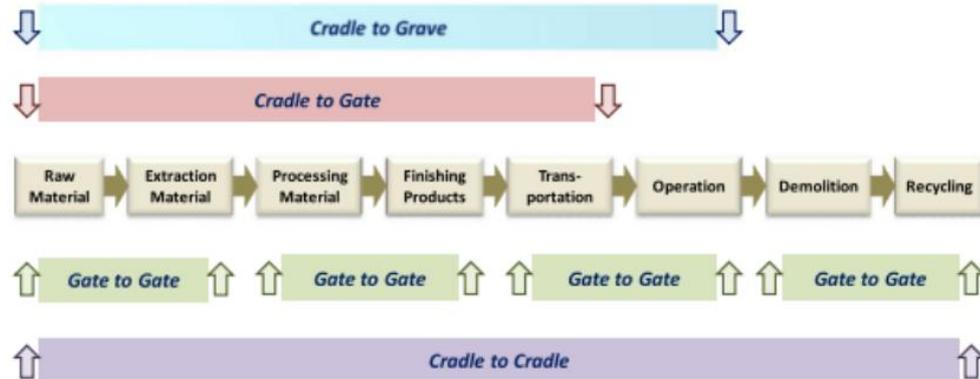
## 2.2 *Life Cycle Assessment*

*Life Cycle Assessment* adalah metode berbasis *cradle to grave* (analisis keseluruhan siklus dari proses produksi hingga pengolahan limbah) yang digunakan untuk mengetahui jumlah energi, biaya, dan dampak lingkungan yang disebabkan oleh tahapan daur hidup produk dimulai dari saat pengambilan bahan baku sampai dengan produk itu selesai digunakan oleh konsumen. (Harjanto, 2012).

Berdasarkan Standar Internasional. (ISO, 2020), penentuan batas-batas sistem LCA meliputi. (Hermawan, dkk., 2013) :

- a. *Cradle to grave*, ruang lingkup yang dimulai dari *raw material* sampai pada pengoperasian produk.
- b. *Cradle to gate*, ruang lingkup pada analisis daur hidup dimulai dari *raw material* sampai ke *gate* sebelum proses operasi.
- c. *Gate to gate*, meliputi proses dari tahap suatu proses. Contoh : *processing material-finishing products*/ produksi saja.
- d. *Cradle to cradle*, merupakan proses analisis yang dimulai dari bahan baku, proses produksi, energi yang digunakan pada tiap proses dan hasil

ekstraksi bahan baku tahap produksi, transportasi, dan penggunaan hingga produk akhir dalam siklus hidupnya (berlanjut)/ daur ulang material.



**Gambar 2.1** Ruang Lingkup LCA

Sumber : (Hermawan, Marzuki, Abduh, & Driejana, 2013)

### 2.2.1 Tahapan *Life Cycle Assessment*

Menurut (Hermawan, 2013), *Life Cycle Analysis* (LCA) dibagi menjadi empat tahapan, yaitu:

a) Tujuan, Ruang Lingkup, dan Definisi

Tahap pertama dari LCA, yaitu mendefinisikan ruang lingkup studi termasuk mendefinisikan fungsi dari masing-masing bagian, batasan studi, unit fungsional, alternatif rekomendasi, dan membuat *boundaries system* pada proses mana yang akan dianalisis.

b) Analisis Inventori (*Life Cycle Inventory*)

Pada tahapan ini, terjadi analisis persediaan (pengumpulan data) yang di dalamnya terdapat proses input dan output mengenai produk sepanjang siklus hidupnya. Pengumpulan data terkait dengan manufaktur, penggunaan, dan pembuangan akhir dari produk yang direncanakan.

c) Asesmen Dampak (*Life Cycle Impact Assessment*)

Pada tahapan ini, dilakukan evaluasi terhadap dampak potensi terhadap lingkungan dengan menggunakan hasil dari *life cycle*

*inventory* dan menyediakan informasi untuk menginterpretasikan pada fase terakhir. Dibagi menjadi tiga analisis (Rosenbaum, 2018), yaitu:

1. *Characterization*

*Characterization* merupakan penilaian besarnya substansi yang dapat berkontribusi pada kategori dampak, di dalam produksi berdasarkan faktor karakterisasinya.

2. *Damage Assessment*

Bertujuan untuk mengevaluasi dampak kerusakan yang terjadi berdasarkan dampak karakterisasinya serta sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan suatu keputusan untuk memperbaiki performa lingkungan.

3. *Normalization*

Pada penilaian *normalization* ini, nilai *impact* dari proses produksi akan dinormalisasikan. Hal ini dilakukan dengan menyamakan berbagai macam satuan pada masing-masing *impact category* menjadi satu-satuan yang sama. Sehingga nilai *impact* dari masing-masing *impact category* dapat dianggap sebanding.

4. *Weighting/ single score*

Metode yang diterapkan di dalam penentuan *single score* adalah dengan skala kontribusi urutan nilai tertinggi yang berpengaruh pada skenario produksi terhadap faktor kerusakan berdasarkan metode yang dipilih.

d) Interpretasi

Fase Interpretasi merupakan tahapan terakhir dari LCA yang dapat menjadi referensi selanjutnya untuk dapat menarik suatu kesimpulan dan pemberian rekomendasi berdasarkan hasil yang muncul, dimana dalam proses ini, terjadi penilaian pengaruh dari hasil variasi dalam suatu data proses, pemilihan model, serta variabel lainnya.

### 2.2.2 Metode *Life Cycle Assessment*

Metode dalam penilaian daur hidup (LCA) pada *Life Cycle Assessment* beragam, antara lain (Acero, Rodríguez, & Citroth, 2016):

#### 1. CML

Metode ini tercipta pada tahun 2000, kemudian mengalami pembaruan versi hingga kini terbagi menjadi 2 yaitu CML IA-*Baseline* dan CML IA-*Non Baseline*. Perbedaan keduanya adalah kategori dampak pada CML IA-*Non Baseline* lebih luas dibandingkan CML IA-*Baseline*. Namun pada metode CML ini, hanya terdapat 2 tahapan yaitu *characterization* dan *normalization*. Beberapa dampak yang ditawarkan antara lain *abiotic depletion*, *global warming*, *ozone layer depletion*, *human toxicity*, *aquatic ecotoxicity*, *terrestrial ecotoxicity*, *photochemical oxidation*, *eutrophication*, *acidification*.

#### 2. *Eco-Indicator 99*

*Eco-Indicator 99* adalah metode yang sering digunakan dalam mengidentifikasi dampak pada *Life Cycle Assessment*. *Eco-Indicator 99* adalah perkembangan dari *Eco-Indicator 95*. Pada metode ini terdapat 11 *impact category* yang dikelompokkan menjadi tiga *damage category*. *Damage category* tersebut antara lain. (Baayen, 2000):

- a. *Human health* yang ditunjukkan dengan unit satuan DALY (*Disability Adjusted Life Year*). Pada *damage category* ini meliputi enam *impact category* yaitu *carcinogens*, *respiratory organics*, *respiratory inorganics*, *climate change*, *radiation*, dan *ozone layer*.
- b. *Ecosystem quality* yang mempunyai satuan unit  $\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{yr}$  terdapat 3 *impact category*, yaitu *ecotoxicity*, *acidification/eutrophication* dan *land use*.
- c. *Resources* yang mempunyai satuan MJ surplus terdapat 2 *impact category*, yaitu *minerals* dan *fossil fuel*.

### 3. TRACI 2.1

Metode TRACI dikembangkan oleh *Environmental Protection Agency* (EPA). Metode ini fokus dalam *human toxicity* dan *ecotoxicity* yang disebabkan dari emisi kimia. (Bare, 2012). Beberapa dampak yang dihadirkan dari metode ini yaitu *global warming*, *ozone depletion*, *smog*, *acidification*, *carcinogen*, *non-carcinogen*, *respiratory effects*, *eutrophication*, *ecotoxicity*, *fossil fuel depletion*.

### 4. EDIP 2003

Metode pengembangan dari EDIP 97 yang dibuat oleh Denmark. Pada EDIP 2003 terdapat penambahan 2 kategori dampak yaitu *aquatic eutropication* (N-eq) dan *aquatic eutrophication* (P-eq). (Pré, 2014). Beberapa dampak yang diberikan pada metode ini ialah *global warming*, *ozone depletion*, *ozone formation*, *acidification*, *terrestrial eutrophication*, *aquatic eutrophication*, *human toxicity*, *ecotoxicity*, *slags/ ashes*, *hazardous waste*, *bulk waste*, *radioactive waste*, *resources*.

### 5. IMPACT 2002+

IMPACT 2002+ adalah suatu metodologi penilaian dampak yang mengusulkan implementasi yang layak dari pendekatan titik tengah atau kerusakan gabungan dengan menghubungkan semua jenis hasil inventaris siklus hidup melalui lima belas titik tengah kategori menjadi empat kategori kerusakan. Kelima belas dampak itu diantaranya *carcinogens*, *non-carcinogens*, *respiratory organics*, *respiratory inorganics*, *ionising radiation*, *ozone layer depletion*, *photochemical oxidation*, *aquatic ecotoxicity*, *terrestrial ecotoxicity*, *terrestrial acidification/ nitrification*, *aquatic acidification*, *aquatic eutrophication*, *land occupation*, *global warming*, *non-renewable energy*, *mineral extraction*. (Acero et al., 2014).

### 6. ReCiPe

ReCiPe merupakan metode perpaduan yang dihasilkan dari dua metode sebelumnya yakni CML dan *Eco-Indicator 99*, dengan

mengambil titik tengah CML dan titik akhir *Eco-Indicator 99*. Beberapa dampak yang ditawarkan pada metode ini adalah *global warming, ioning radiation, stratospheric ozone depletion, ozone formation, fine particulate matter, acidification, eutrophication, ecotoxicity, human toxicity, land use, mineral resource scarcity, water consumption, fossil resource scarcity*.

### **2.3 Kategori Dampak (*Impact Category*)**

Dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses produksi tahu dengan *life cycle assessment* terdiri atas dampak *midpoint* dan *endpoint*. Dampak *midpoint* adalah dampak menengah yang berpotensi menyebabkan dampak lanjutan yang lebih besar. (Filimonau, 2016). Contoh beberapa kategori dampak yang berpotensi ditimbulkan dari proses produksi tahu antara lain:

#### **2.3.1 *Respiratory Inorganics***

*Respiratory inorganics* adalah salah satu *impact category* yang berpengaruh pada kesehatan manusia. *Respiratory inorganics* adalah dampak saluran pernapasan manusia yang disebabkan oleh emisi debu sulfur dan nitrogen dioksida di udara. Satuan dari dampak *respiratory inorganics* adalah *Disability Adjusted Life Years (DALY)/kg* emisi. (Pré, 2014).

#### **2.3.2 *Land use***

*Land use* adalah dampak lingkungan yang mengakibatkan berkurangnya spesies akibat dari penggunaan lahan oleh manusia. Spesies hewan dan tumbuhan akan terganggu karena hilangnya tempat tinggal dan makanannya. *Land use* dapat terjadi karena pembukaan lahan baru, lahan yang dialih fungsikan dan penggundulan hutan. *Land use* mempunyai satuan *Potentially Disappeared Fraction (PDF)\*m<sup>2</sup>\*year*. (Pré, 2014).

### **2.3.3 Carcinogens**

*Carcinogenic effects* disebabkan oleh emisi zat karsinogenik terhadap udara, air, dan tanah. Zat karsinogenik merupakan zat dan eksposur yang bisa menyebabkan kanker. Kanker disebabkan oleh perubahan yang terjadi pada DNA sel, namun tidak semua zat 10 karsinogenik menyebabkan kanker dengan mempengaruhi DNA secara langsung, melainkan dengan cara lain seperti menyebabkan sel membelah pada tingkat yang lebih cepat dari biasanya yang dapat meningkatkan kemungkinan perubahan DNA dapat terjadi. Dampak ini dinyatakan dalam *Disability Adjusted Life Years (DALY)/kg* emisi. (Pré, 2014).

### **2.3.4 Climate change**

Kategori ini dapat menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan ekosistem, kesehatan manusia dan kesejahteraan materi. Perubahan iklim terkait dengan emisi gas rumah kaca ke udara. Model karakterisasi yang dikembangkan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* dipilih untuk pengembangan faktor karakterisasi. Faktor dinyatakan sebagai potensi pemanasan global untuk cakrawala waktu 100 tahun (GWP100), dalam kg karbon dioksida/kg emisi. Cakupan geografis indikator ini dalam skala global.

### **2.3.5 Fossil fuels**

*Fossil fuels* adalah dampak yang berhubungan dengan sumber daya. Dampak ini bisa terjadi akibat dari penggunaan sumber daya yang tidak dapat diperbarui. *Fossil fuels* dinyatakan dalam MJ surplus. (Pré, 2014).

## **2.4 Proses Produksi Tahu**

Proses pembuatan tahu merupakan proses yang berkelanjutan. Proses tersebut dimulai dengan pemilihan bahan baku kedelai, perendaman, penggilingan, pemasakan, penyaringan, penggumpalan, pencetakan, dan penguningan. (Purwadi dkk, 2007).

### a. Perendaman

Perendaman biji akan memperlunak struktur sel sehingga akan mengurangi energi yang diperlukan selama penggilingan. Struktur sel yang lunak juga akan mempermudah ekstraksi sari dari ampasnya. Waktu perendaman tergantung suhu air perendam, umur, dan varietas kedelai. Penyerapan air lebih cepat jika menggunakan air panas, tetapi jika air yang digunakan terlalu panas (lebih dari 55 °C) dapat menyebabkan kedelai setengah matang sehingga susu kedelai yang dihasilkan menurun. Proses perendaman umumnya dilakukan secara manual oleh pengrajin sendiri. Peralatan perendaman meliputi ember plastik dan sebagian merendamnya dalam keadaan masih terbungkus karung. Perendaman kedelai dilakukan dengan cara menuangkan kedelai kering kedalam bak perendaman (ember plastik) baik secara curah maupun dibungkus karung kemudian diberi air secukupnya.

Seorang pengrajin tahu di Bantul mengemukakan bahwa biji kedelai yang dibeli dari pasar langsung direndam tanpa penyortiran sebelumnya. Perendaman biasanya dilakukan pagi hari sebelum penggilingan. Perendaman yang umum dilakukan berkisar antara 3-4 jam untuk kedelai impor dan 4-5 jam untuk kedelai lokal. Biji kedelai yang telah direndam kemudian dibersihkan dengan menghilangkan air rendaman beserta kotoran-kotoran yang umumnya mengapung diatas air. (Ryan, 2019).



**Gambar 2.2** Perendaman & Pencucian

## b. Penggilingan

Biji kedelai tersebut kemudian digiling menjadi bubur kedelai. Penggilingan bertujuan untuk memperkecil ukuran partikel kedelai sehingga akan mempermudah ekstraksi protein kedelai ke dalam susu kedelai. Selama penggilingan dilakukan penambahan air dengan debit 1,8 liter per menit. Hal ini sesuai dengan pengamatan di industri tahu tempe PRIMKOPTI Ngoto Yogyakarta yaitu setiap penggilingan 10 kg kedelai kering akan menghasilkan bubur kedelai  $\pm$  25-30 liter dengan berat sekitar 45-50 kg. Jumlah kedelai untuk sekali penggilingan bervariasi ada yang 5 kg sekali giling dan ada juga yang 6 kg sekali giling. (Ryan, 2019).



**Gambar 2.3** Penggilingan

## c. Pemasakan

Bubur kedelai yang diperoleh sebagai hasil penggilingan selanjutnya dimasukkan ke dalam bak masak dengan penambahan air lagi sehingga bubur kedelai menjadi encer. Bubur kedelai ini kemudian dimasak. Dari pengamatan, setiap 10 kg kedelai kering akan menghasilkan bubur masak sekitar 100-120 liter. Hal ini sesuai dengan keterangan yang diberikan seorang pengrajin tahu yang menyatakan bahwa untuk mendapatkan bubur kedelai siap masak dari 10 kg kedelai kering harus ditambahkan 8 ember air.

UKM tahu tradisional umumnya memasak bubur kedelai dengan cara tradisional. Mereka masih menggunakan metode pemanasan langsung pada wajan yang dipasang permanen di atas tungku. Proses pemasakan dimulai dengan memasukan sejumlah air ke dalam wajan pemasak, kemudian dipanasi. Setelah

panas, bubur kedelai hasil proses penggilingan dimasukkan ke dalam wajan tersebut dan dipanaskan hingga mendidih.

Proses pemasakan bubur kedelai mempengaruhi kualitas tahu yang dihasilkan. Proses pemanasan secara langsung pada wajan tersebut menyebabkan timbulnya kerak pada dinding dasar wajan. Kerak timbul karena suhu wajan yang tinggi sehingga endapan bubur kedelai mengerak. Bila diaduk kerak ini akan bercampur dengan bubur kedelai sehingga menjadi kotor dan berwarna gelap (kecoklatan). Kerak tersebut menimbulkan bau sangit yang akan menyebar ke seluruh bubur kedelai. Bau tersebut akan terbawa hingga akhir proses, yaitu pencetakan. Tahu yang dihasilkan dari proses tersebut berwarna gelap dan berbau sangit. (Ryan, 2019).



**Gambar 2.4** Pemasakan

#### **d. Penyaringan**

Bubur kedelai yang telah dimasak kemudian disaring untuk mendapatkan sari kedelai (susu kedelai). Penyaringan yang umum dilakukan dengan meletakkan bubur kedelai diatas kain belacu (mori kasar) ataupun kain sifon yang sengaja dipasang diatas bak penampung. Kemudian dilakukan pengepresan dengan memberikan papan penjepit dan diberi beban sekuat-kuatnya agar semua air yang berada pada bubur kedelai terperas semua. Bila perlu ampas saringan diperas lagi dengan menambahkan sejumlah air. Menurut pengrajin tahu di Condong Catur, penyaringan dilakukan dengan menaruh bubur kedelai pada keranjang yang dilapisi kain belacu, kemudian diaduk hingga cairannya keluar. Penyaringan dilakukan beberapa kali dengan penambahan sejumlah air untuk

mendapatkan sari kedelai yang maksimal. Hasil utama penyaringan ini adalah sari kedelai, sedangkan hasil sampingannya berupa ampas yang banyak digunakan sebagai pakan ternak dan bahan dasar pembuatan tempe gembus. Air sari bubur kedelai akan menetes dengan sendirinya ke bak penampung yang sekaligus sebagai bak proses penggumpalan. Setelah air sari bubur kedelai tidak menetes lagi, ampas dari bubur kedelai yang masih mengandung air sari bubur kedelai di-*press* dengan alat penge-*press* yang dibuat dari kayu. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan sisa air sari bubur kedelai yang masih terdapat dalam ampas.



**Gambar 2.5** Penyaringan

#### **e. Pengasaman**

Proses pengasaman biasa disebut dengan penggumpalan tahu. Bahan untuk penggumpalan ini biasanya adalah batu tahu ( $\text{CaSO}_4$ ), asam cuka ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), ataupun asam bibit. Penggumpalan ini dilakukan dalam suhu  $50^\circ\text{C}$ . 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  $\text{CH}_3\text{COOH}$  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).

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).



**Gambar 2.6** Pengendapan & Penambahan Asam Cuka

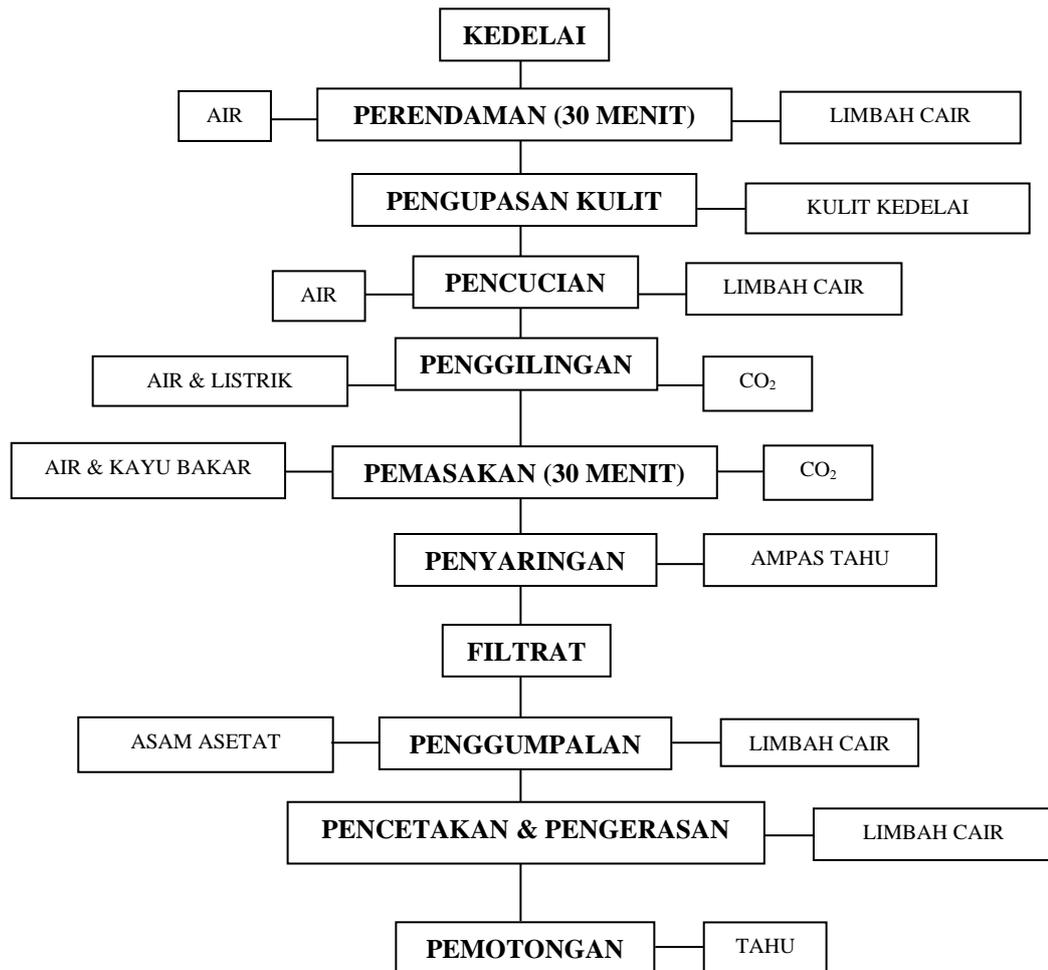
#### **f. Pencetakan**

Bubur kedelai yang telah digumpalkan selanjutnya dicetak menjadi tahu. Pengrajin tahu di Desa Adiwerna hampir semuanya menggunakan teknik cetak bungkus. Teknik cetak bungkus dilakukan dengan bantuan alat *press* yang ada cetakannya dengan ukuran cetakan yang berbeda-beda sesuai dengan jenis dan ukuran tahu yang akan dibuat. Tahu yang akan dicetak sebelumnya dibungkus dengan kain belacu yang dipotong segiempat kecil-kecil. Untuk pembungkusan dan pencetakan, para pengrajin tahu memperkerjakan 2 orang dengan lama waktu pembungkusan dan pencetakan adalah 30 menit untuk setiap kali masak.

Setelah proses pembungkusan dan pencetakan adalah melepaskan kain belacu yang dipakai sebagai bungkus pada waktu proses pencetakan. Untuk proses ini hanya dibutuhkan tenaga 1 orang saja. Tahu yang sudah jadi selanjutnya dapat dipasarkan.



**Gambar 2.7** Pencetakan & Pemotongan



**Gambar 2.8** Diagram Alir Proses Manufaktur

Sumber : Hutami, 2019

## 2.5 SimaPro

SimaPro adalah suatu perangkat lunak (*software*) professional untuk menganalisis *Life Cycle Assessment* (LCA). *Software* ini dapat menganalisis aspek lingkungan secara sistematis, konsisten, dan transparan berdasarkan seluruh siklus hidup. SimaPro didirikan di Belanda pada tahun 1990 yang kemudian turut dikembangkan serta dipasarkan oleh *Pre Consultants* sebagai spesialisasi dalam pemberian solusi lingkungan *Life Cycle Assessment* berdasarkan rekomendasi ISO 14040 *series*. (Starostka, 2015). Adapun beberapa kelebihan SimaPro adalah sebagai berikut :

1. Pemodelan siklus hidup dan produk yang sangat kompleks.
2. Memiliki fitur untuk analisis lanjutan & *Life Cycle Inventory*.
3. *Ecoinvent database* juga tersedia untuk versi pendidikan atau keperluan akademik berupa penelitian.
4. Tersedia dalam berbagai versi baik digunakan secara individu (*single user*) maupun berkelompok (*multi user*).
5. Tersedia dalam bermacam bahasa seperti Italia, Inggris, Perancis, Swedia, Jerman, Korea, Jepang, Belanda, dan Spanyol.

## 2.6 Penelitian Terdahulu

**Tabel 2.1** Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Tahun	Judul Penelitian	Resume
1	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</i> Sugihmanik, Grobogan	Kategori dampak tertinggi terjadi pada perubahan iklim dan asidifikasi. Perlu dilakukan konservasi air dan energi dengan membangun IPAL untuk evaluasi tingkat BOD/ COD dan <i>biodigester</i> .
2	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>	Penelitian ini menganalisis dampak lingkungan dari 1 kg produk tahu. Hasil perhitungan dengan metode CML-IA bahwa dampak pemanasan global adalah 0,978 kg CO <sub>2</sub> eq, penipisan lapisan ozon 1,55E-8, pengasaman 0,00157 kg SO <sub>2</sub> eq, dan eutrofikasi 0,00157 kg PO <sub>4</sub> eq. Penelitian ini perlu

No	Penulis	Tahun	Judul Penelitian	<i>Resume</i>
				dikembangkan dengan memberikan alternatif perbaikan dan menganalisis dampak lingkungan dari setiap skenario perbaikan sehingga nilai dampak lingkungan yang diperoleh lebih kecil.
3	S.D. Kurniawati, W. Supartono, A. Suyantohadi	2019	<i>Life cycle assessment on a small scale tofu industry in Baturetno village, Bantu district Yogyakarta</i>	Dalam memproduksi 1 kg tahu segar 1,5269 MJ/kg menghasilkan pencemar CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO dan CH <sub>4</sub> total 0,1766 kg CO <sub>2</sub> -ekuivalen. Gas-gas tersebut berpotensi pemanasan global.
4	Elvis Umbu Lolo, Richardus Indra Gunawan, Agerippa Yanuranda Krismani, Yonathan Suryo Pambudi	2021	Penilaian Dampak Lingkungan Industri Tahu Menggunakan <i>Life Cycle Assessment</i> (Studi Kasus: Pabrik Tahu Sari Murni Kampung Krajan, Surakarta)	5 kategori dampak lingkungan tertinggi, yang dihasilkan dari proses produksi pabrik tahu Bapak Aco dengan hasil sebagai berikut: <i>Acidification</i> 27,92294 kg SO <sub>2</sub> eq, <i>Eutrophication</i> 1,987027 kg PO <sub>4</sub> eq, <i>Global warming</i> 4026,078 kg CO <sub>2</sub> eq, <i>Human toxicity</i> 436,9892 kg 1,4-DB eq, dan <i>Photochemical oxidation</i>

No	Penulis	Tahun	Judul Penelitian	<i>Resume</i>
				0,085625 kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq. Perbaikan yang dilakukan yakni <i>technology change</i> , <i>better process control</i> , dan <i>input change</i> .
5	Masayu Rosyidah, Ansyori Masruri, Romyzar Arya Putra, Mayanita, Ananda, Cindy	2020	<i>Analysis Of Environmental Impact With The Life Cycle Assessment (LCA) Method On Tofu Production</i>	Berdasarkan hasil pengolahan <i>Life Cycle Assessment</i> memperoleh nilai skor tunggal 4076,345 Pt, dengan dampak lingkungan Kesehatan Manusia 1701,54 (41,7%), Kualitas Ekosistem 1409.057 (34,6%), dan Sumber Daya 965,7484 (23,7%). Rekomendasi perbaikan mengganti kayu bahan bakar dengan biogas yang terbuat dari ampas tahu.