

**SKRIPSI**

**ANALISIS *GREEN MANUFACTURING* PADA SIKLUS PRODUKSI  
*BUTSUDAN* DENGAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA)  
(Studi Kasus PT. Maruki International Indonesia)**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**HARDIANI NUR IKHWANA  
D071191055**



**DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**SKRIPSI**

**ANALISIS *GREEN MANUFACTURING* PADA SIKLUS PRODUKSI  
*BUTSUDAN* DENGAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA)  
(Studi Kasus PT. Maruki International Indonesia)**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**HARDIANI NUR IKHWANA  
D071191055**



**DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****ANALISIS *GREEN MANUFACTURING* PADA SIKLUS PRODUKSI  
BUTSUDAN DENGAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)*  
(Studi Kasus PT. Maruki International Indonesia)**

dan diajukan oleh

**HARDIANI NUR IKHWANA****D071191055**Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian Studi Program  
Sarjana Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



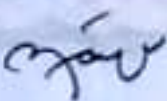
Pada tanggal 29 September 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

  
Dr. Ir. Syarifuddin M Parenteng, S.T., M.T., IPU., CSRS  
NIP. 19761021 200812 1 002  
Ir. Diniary Ikasari S., S.T., M.T  
NIP. 19941201 202208 6 001Ketua Program Studi, Teknik Industri  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Ir. Kifayah Amar, S.T., M.Sc., Ph.D, IPU  
NIP. 19740621 200604 2 001

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hardiani Nur Ikhwana  
NIM : D071191055  
Program Studi : Teknik Industri  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

***Analisis Green Manufacturing pada Siklus Produksi Batsudan dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA)***  
**(Studi Kasus PT. Maruki International Indonesia)**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua Informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 29 September 2023

Yang Menyatakan Tanda Tangan,

A handwritten signature in black ink is written over a red and white 10,000 Rupiah stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'REPUBLIK INDONESIA', '10000', and 'METERAI TEMPEL'. A unique identification number 'FRABAKX707707734' is printed at the bottom of the stamp.

Hardiani Nur Ikhwana

## KATA PENGANTAR

Puji syukur dihanturkan atas kehadiran Allah SWT karena atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga peneliti dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “Analisis *Green Manufacturing* pada Siklus Produksi *Butsudan* dengan metode *Life Cycle Assessment (LCA)* (Studi Kasus PT. Maruki International Indonesia)”. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW, Nabi yang telah membimbing kita dari zaman kegelapan menuju zaman terang benderang seperti saat ini.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bimbingan, sumbangan pemikiran dan motivasi dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini saya mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT sebagai pemberi rahmat, pengabul doa penulis hingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis, Ayahanda Makmur, S.E dan Ibunda Harlina, dan keluarga penulis yang telah mendidik dan mengajarkan bagaimana menjadi manusia yang baik dengan kesabaran yang luar biasa.
3. Ibu Ir. Kifayah Amar, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU selaku Ketua Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Dr. Ir. Syarifuddin M Parenreng, S.T., M.T, IPU., CSRS, selaku pembimbing I dan Ibu Ir. Diniary Ikasari S, S.T., M.T, selaku pembimbing II dalam menyusun tugas akhir ini, terima kasih banyak atas bimbingan dan bantuannya selama proses penyusunan skripsi ini dimulai dari awal hingga selesai.
5. Bapak Dr. Ir. Sapta Asmal, S.T., M.T., IPM dan Ibu Ir. A. Besse Riyani Indah, S.T., M.T., IPM selaku penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam perbaikan tugas akhir saya.
6. Bapak dan Ibu dosen serta staf Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

7. Bapak Syamsudin sebagai *manager cost production* dan H. Andi Mukhtar sebagai supervisor tata usaha kayu di PT. Maruki International Indonesia serta seluruh insan PT. Maruki International Indonesia yang telah membantu penulis dalam proses pengambilan data.
8. Saudara Muhammad Ario yang telah memberikan saran dan dukungan kepada penulis.
9. Teman-teman HEURIZTIC19 yang telah banyak membantu pada saat kuliah dan tetap bersama penulis ketika terdapat masalah yang tidak bisa diselesaikan sendiri.
10. Teman-teman PEJUANG S.T (Hamsah, Rhifqi, Tegar, Accung, Clara, Kasmi, Unnu, Yuli, Tuti dan Nana) yang telah bersedia menjadi tempat berdiskusi, belajar bersama dan berjuang mendapatkan gelar S.T.
11. Teman-teman asisten Laboratorium Sistem Manufaktur Terintegrasi.
12. Teman-teman beserta semua pihak yang telah mendukung dan membantu serta menyemangati dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
13. *My self who wants to process, is strong, patient and able to survive so far has finished studying at Hasanuddin University Industrial Engineering.*

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharap kritik dan saran dari pembaca demi kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis berharap semoga karya yang sederhana ini dapat bermanfaat dengan baik untuk penulis dan para pembaca.

Gowa, 29 September 2023

  
Penulis

## ABSTRAK

**HARDIANI NUR IKHWANA.** Analisis *Green Manufacturing* pada Siklus Produksi *Butsudan* dengan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA) (Studi Kasus PT Maruki International Indonesia) (dibimbing oleh Dr. Ir. Syarifuddin M Parenreng, S.T., M.T, IPU., CSRS dan Ir. Diniary Ikasari S, S.T., M.T)

PT. Maruki International Indonesia merupakan perusahaan meubel yang memproduksi *Butsudan*. Untuk mendukung perusahaan *green manufacturing*, perusahaan perlu meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, menghemat energi dan sumber daya alam. Oleh sebab itu, perlu dilakukan evaluasi terhadap produksi dan distribusi bahan baku serta produk jadi dengan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) menggunakan *software* SimaPro 9.5.0.0. Terdapat empat langkah dalam pengelolaan *Life Cycle Assessment* (LCA), langkah pertama adalah menentukan tujuan dan ruang lingkup penelitian. Tujuan penelitian ini adalah strategi meminimalisir penggunaan energi dan material serta mengurangi dampak produksi dan distribusi terhadap lingkungan. Ruang lingkup amatannya adalah *cradle-to-gate*. Tahap selanjutnya adalah *Life Cycle Inventory* (LCI), yaitu mengumpulkan data *input* dan *output*. Selanjutnya dilakukan *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) dengan metode EDIP 2003. Kemudian tahap interpretasi yaitu rekomendasi perbaikan.

Hasil *network* menggunakan *software* SimaPro 9.5.0.0 yaitu penggunaan energi listrik memberikan dampak tertinggi sebesar 100%, untuk material yang memberikan dampak tertinggi adalah kertas gosok sebesar 8.58%, kemudian untuk distribusi yang memberikan dampak tertinggi adalah distribusi dari Jepang sebesar 0.00547%. Kategori *impact assessment* yang memberikan dampak tertinggi yaitu *impact Aquatic eutrophication (P)* dengan nilai 63.9%. Rekomendasi perbaikan untuk menghemat energi listrik pada perusahaan manufaktur dapat dilakukan dengan memanfaatkan lingkungan perusahaan, mengganti filter dalam sistem ventilasi secara teratur dan merawat mesin dan alat secara rutin. Untuk mengurangi penggunaan kertas gosok, perusahaan dapat melakukan perbaikan berdasarkan rujukan strategi *Cleaner Production (CP)*. Menghemat bahan bakar transportasi kapal laut dapat dilakukan dengan menggunakan aplikasi teknologi pelumasan udara.

**Kata Kunci:** *Green Manufacturing, Butsudan, Life Cycle Assessment, SimaPro 9.5.0.0*

## ABSTRACT

**HARDIANI NUR IKHWANA.** *Analisis Green Manufacturing pada Siklus Produksi Butsudan dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA) (Studi Kasus PT Maruki International Indonesia) (supervised by Dr. Ir. Syarifuddin M Parenreng, S.T., M.T, IPU., CSRS dan Ir. Diniary Ikasari S, S.T., M.T)*

*PT. Maruki International Indonesia is a furniture company that produces Butsudan. To support green manufacturing companies, companies need to minimize negative impacts on the environment, save energy and natural resources. Therefore, it is necessary to evaluate the production and distribution of raw materials and finished products using the Life Cycle Assessment (LCA) method using SimaPro 9.5.0.0 software. There are four steps in the management of Life Cycle Assessment (LCA), the first step is to determine the purpose and scope of the research. The purpose of this research is a strategy to minimize the use of energy and materials and reduce the impact of production and distribution on the environment. The scope of the observation is cradle-to-gate. The next stage is the Life Cycle Inventory (LCI), which collects input and output data. Then a Life Cycle Impact Assessment (LCIA) was carried out using the EDIP 2003 method. Then the interpretation stage was recommendations for improvement.*

*The results of the network using SimaPro 9.5.0.0 software are the use of electrical energy which has the highest impact of 100%, for the material which has the highest impact is abrasive paper of 8.58%, then for the distribution which has the highest impact is the distribution from Japan of 0.00547%. The impact assessment category that gave the highest impact was Aquatic eutrophication (P) with a value of 63.9%. Recommendations for improvements to save electrical energy in manufacturing companies can be done by taking advantage of the company's environment, changing filters in the ventilation system regularly and maintaining machines and tools regularly. To reduce the use of scouring paper, companies can make improvements based on the Cleaner Production (CP) strategy. Saving fuel for marine transportation can be done by using the application of air lubrication technology.*

**Keywords:** *Green Manufacturing, Butsudan, Life Cycle Assessment, SimaPro 9.5.0.0*



## DAFTAR ISI

SAMPUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>13</b>
1.1 Latar Belakang .....	13
1.2 Rumusan Masalah .....	15
1.3 Tujuan Penelitian .....	15
1.4 Manfaat Penelitian .....	15
1.5 Batasan Masalah .....	16
1.6 Sistematika Penulisan.....	17
<b>BAB II TEORI DASAR .....</b>	<b>18</b>
2.1 <i>Green Manufacturing</i> .....	18
2.1.1 <i>Global Reporting Initiative (GRI)</i> .....	19
2.1.2 <i>Environmental, Social, and Governance (ESG)</i> .....	20
2.2 <i>Supply Chain Management (SCM)</i> .....	28
2.3 <i>Business Process Modelling Notation (BPMN)</i> .....	29
2.4 <i>Life Cycle Assessment</i> .....	30
2.4.1 Batasan Sistem <i>Life Cycle Assessment</i> .....	30
2.4.2 Tahap Amatan dalam <i>Life Cycle Assessment</i> .....	31
2.4.3 Fase Pelaksanaan <i>Life Cycle Assessment</i> .....	32
2.5 <i>Software Life Cycle Assessment (LCA)</i> .....	35
2.6 <i>Cleaner Production</i> .....	37
2.7 Studi Terdahulu.....	40
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>47</b>
3.1 Objek Penelitian.....	47
3.2 Jenis Data .....	47
3.3 Pengumpulan Data .....	47
3.4 Metode Pengumpulan Data.....	47

3.5	Kerangka Pikir Penelitian .....	48
3.6	Prosedur Penelitian .....	50
3.7	<i>Flowchart</i> Penelitian .....	53
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....		54
4.1	Gambaran Umum PT. Maruki Inernational Indonesia .....	54
4.2	Produk <i>Butsudan</i> .....	54
4.3	<i>Business Process Modelling</i> (BPM) PT. Maruki International Indonesia .....	55
4.4	<i>Supply Chain Management</i> (SCM) <i>Butsudan</i> .....	58
4.4.1	<i>Supplier</i> Bahan Baku .....	58
4.4.2	Proses Produksi <i>Butsudan</i> .....	79
4.4.3	Distributor .....	83
4.4.4	<i>Retailer</i> .....	83
4.4.5	<i>Costumer</i> .....	83
4.5	Pengolahan Data dengan Metode <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) .....	84
4.5.1	<i>Goals and Scope Definition</i> .....	84
4.5.2	<i>Life Cycle Inventory</i> .....	84
4.5.3	<i>Life Cycle Impact Assessment</i> .....	92
4.5.4	<i>Life Cycle Interpretation</i> .....	104
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		108
5.1	Kesimpulan .....	108
5.2	Saran .....	109
DAFTAR PUSTAKA .....		111
LAMPIRAN .....		114

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Kategori Angka Rentang ISPU .....	26
Tabel 2 Penjelasan Nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) .....	27
Tabel 3 Penelitian terdahulu .....	40
Tabel 4 Perbandingan Penelitian Terdahulu .....	46
Tabel 5 Jenis Kayu untuk Produksi <i>Butsudan</i> Selama Tahun 2022 .....	60
Tabel 6 Distribusi Kayu untuk Produksi <i>Butsudan</i> Selama Tahun 2022 .....	62
Tabel 7 <i>Harboard</i> untuk Produksi <i>Butsudan</i> Selama Tahun 2022 .....	65
Tabel 8 Lem untuk Produksi <i>Butsudan</i> Selama Tahun 2022 .....	67
Tabel 9 Cat untuk Produksi <i>Butsudan</i> Selama Tahun 2022 .....	69
Tabel 10 Kertas Gosok untuk Produksi <i>Butsudan</i> Selama Tahun 2022 .....	72
Tabel 11 Aksesoris untuk Produksi <i>Butsudan</i> Selama Tahun 2022 .....	77
Tabel 12 Paku, Pernis, Tinner dan Engsel untuk Produksi <i>Butsudan</i> Tahun 2022 .....	79
Tabel 13 Distribusi <i>Butsudan</i> Selama Tahun 2022 .....	83
Tabel 14 Data <i>Input</i> Bahan Baku Produksi <i>Butsudan</i> Selama Tahun 2022 .....	85
Tabel 15 Data <i>Input</i> Distribusi Bahan Baku ke PT. Maruki International Indonesia .....	86
Tabel 16 Data <i>Input</i> Distribusi <i>Butsudan</i> ke PT. Maruki International Japan, Inc .....	87
Tabel 17 Data <i>Input</i> Listrik Selama Tahun 2022 .....	88
Tabel 18 Data <i>Output</i> Produk Akumulasi Selama Tahun 2022 .....	89
Tabel 19 Data <i>Output</i> Emisi Akumulasi Selama Tahun 2022 .....	90
Tabel 20 Data <i>Output Waste</i> Akumulasi Selama Tahun 2022 .....	91
Tabel 21 Kategori Dampak Metodologi EDIP 2003 .....	93
Tabel 22 <i>Impact Category</i> Hasil <i>Characterization</i> .....	97
Tabel 23 <i>Impact Category</i> Hasil <i>Normalization</i> .....	99
Tabel 24 <i>Impact Category</i> Hasil <i>Weighting</i> .....	101
Tabel 25 <i>Impact Category</i> Hasil <i>Single Score</i> .....	103

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Kerangka Kerja <i>Life Cycle Assessment</i> .....	33
Gambar 2 Kerangka Pikir .....	48
Gambar 3 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	53
Gambar 4 <i>Business Process Modelling</i> PT. Maruki International Indonesia .....	56
Gambar 5 <i>Supply Chain Management (SCM) Butsudan</i> .....	58
Gambar 6 Data <i>Input</i> Material Bahan Baku <i>Butsudan</i> Selama Tahun 2022 .....	86
Gambar 7 Data <i>Input</i> Distribusi Bahan Baku <i>Butsudan</i> Selama Tahun 2022 .....	87
Gambar 8 Data <i>Input</i> Distribusi <i>Butsudan</i> Selama Tahun 2022 .....	88
Gambar 9 Data <i>Input</i> Listrik Selama Tahun 2022 .....	88
Gambar 10 Data <i>Output</i> Produk Selama Tahun 2022 .....	89
Gambar 11 Data <i>Output</i> Emisi Selama Tahun 2022 .....	91
Gambar 12 Data <i>Output</i> Waste Selama Tahun 2022 .....	91
Gambar 13 <i>Network</i> Produksi dan Distribusi Selama Tahun 2022 .....	95
Gambar 14 Hasil <i>Characterization</i> Produksi dan Distribusi <i>Butsudan</i> .....	97
Gambar 15 Hasil <i>Normalization</i> Produksi dan Distribusi <i>Butsudan</i> .....	99
Gambar 16 Hasil <i>Weighting</i> Produksi dan Distribusi <i>Butsudan</i> .....	101
Gambar 17 Hasil <i>Single Score</i> Produksi dan Distribusi <i>Butsudan</i> .....	102

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di era globalisasi ini, dunia industri manufaktur mengalami perkembangan yang sangat pesat. Setiap perusahaan dituntut untuk melakukan peningkatan secara bertahap dan berkelanjutan agar mampu bersaing dalam era globalisasi. Hal ini telah menyebabkan situasi yang sangat mengkhawatirkan karena konsumsi energi dan konsumsi sumber daya alam (bahan baku penting seperti baja, aluminium, tembaga, nikel, seng, kayu, dan bahan baku lainnya yang berasal dari alam) ikut meningkat di seluruh dunia. Konsumsi energi oleh sektor industri lima puluh tahun terakhir mencapai setengah dari energi dunia (Sangwan & Mittal, 2015). Negara-negara di dunia telah berkomitmen untuk lebih memperhatikan aspek lingkungan dalam semua kegiatan yang dilakukan. Komitmen tersebut yaitu dalam mengurangi polusi dari industri, hal ini diperjelas pada Kongres Amerika Serikat yang telah mencanangkan untuk mengurangi polusi akibat CO<sub>2</sub> sebanyak 83% pada tahun 2050 (Dornfeld, 2013).

Manufaktur merupakan salah satu elemen penting dari pembangunan berkelanjutan karena memproduksi produk yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Manufaktur adalah sistem *input-output*, di mana sumber daya adalah *input* dan ditransformasikan melalui proses manufaktur menjadi produk atau produk setengah jadi (Sangwan dan Mittal, 2014). Perusahaan manufaktur merupakan perusahaan yang memproduksi bahan baku menjadi produk setengah jadi dan produk jadi yang memiliki nilai jual. Dalam proses produksi, penggunaan energi dan dampak produksi terhadap lingkungan harus diperhatikan untuk menciptakan perusahaan *green manufacturing*. *Green Manufacturing* (GM) pada dasarnya adalah proses/sistem yang berdampak minimal pada lingkungan atau tidak menimbulkan dampak negatif pada lingkungan (Dornfeld, 2013).

Perusahaan yang bergerak di bidang meubel, menggunakan kayu sebagai bahan utama, dan diperoleh dari pemasok kayu. Proses produksi meubel dari bahan baku

kayu menghasilkan limbah berupa serbuk kayu dan potongan kayu, penggunaan kayu yang berlebihan dalam produksi meubel bisa meningkatkan kebutuhan energi material serta menimbulkan polusi. PT Maruki International Indonesia merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak pada bidang meubel khususnya *Butsudan*. *Butsudan* digunakan sebagai media untuk berkomunikasi dengan para leluhur di Jepang sehingga ditempatkan secara khusus dan bahkan menjadi simbol kelas sosial masyarakat Jepang. *Butsudan* memiliki harga rentang dari jutaan hingga miliaran rupiah. Masyarakat Jepang biasanya akan memilih *Butsudan* dengan kualitas terbaik untuk menghormati para leluhurnya. *Butsudan* yang diproduksi oleh PT. Maruki International Indonesia memproduksi beragam tipe sesuai dengan selera konsumen masyarakat Jepang yang target pasarnya adalah golongan menengah ke atas. Seluruh hasil produksi perusahaan diekspor dan dipasarkan di Jepang. *Butsudan* yang dihasilkan terdiri dari berbagai tipe serta jenis kayu berbeda, mempunyai karakteristik dan makna tersendiri.

PT. Maruki Internasional Indonesia merupakan perusahaan meubel yang memproduksi *Butsudan*, dengan bahan baku utama menggunakan kayu. Berdasarkan hasil wawancara kepada bapak Syamsudin sebagai *manager cost production* di PT. Maruki Internasional Indonesia mengatakan bahwa selama tahun 2022 limbah kayu hasil produksi *Butsudan* sebesar 33 M<sup>3</sup> atau 33.000 kg. Parameter limbah Untuk mendukung perusahaan *green manufacturing* telah melebihi batas toleransi dan setelah saya mencari di internet belum pernah dilakukan penelitian *green manufacturing* pada perusahaan ini, untuk mendukung perusahaan *green manufacturing* proses produksi di perusahaan perlu meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, menghemat energi dan sumber daya alam, serta melestarikan sumber daya alam dan energi untuk menjamin ketersediaannya di masa yang akan datang. Proses yang dilakukan juga harus aman bagi karyawan dan masyarakat. Oleh karena itu, peneliti akan melakukan penelitian mengenai “Analisis *Green Manufacturing* pada Siklus Produksi *Butsudan* dengan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA)”. Pendekatan LCA dibantu menggunakan *software* SimaPro dengan ruang lingkup *cradle to gate*.

*Life Cycle Assessment* (LCA) adalah metodologi standar yang telah muncul untuk mengevaluasi siklus hidup suatu sistem dalam hal kontribusi lingkungannya

sambil menyediakan jalur untuk membandingkan kemungkinan opsi sistem dari sudut pandang lingkungan. LCA mendukung pengambilan keputusan dengan menerjemahkan inventarisasi yang dihasilkan ke dalam profil yang mencakup berbagai skor dampak lingkungan pada kategori seperti pemanasan global, pengasaman, dll (Hauschild dan Huijbregts, 2015).

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1) Bagaimana lini produksi *cradle to gate* pada produksi *Butsudan* dalam pengelolaan *life cycle assessment* di PT. Maruki International Indonesia?
- 2) Bagaimana *input* dan *output* pada produksi *Butsudan* dalam pengelolaan *life cycle assessment* di PT. Maruki International Indonesia?
- 3) Bagaimana hasil *life cycle assessment* terhadap produksi *Butsudan* pada PT Maruki Intenational Indonesia?
- 4) Bagaimana solusi dalam mendukung *green manufacturing* dan manufaktur berkelanjutan pada PT. Maruki International Indonesia dengan metode *life cycle assessment*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui lini produksi *cradle to gate* pada produksi *Butsudan* dalam pengelolaan *life cycle assessment* di PT. Maruki International Indonesia.
- b. Analisis *input* dan *output* pada produksi *Butsudan* dalam pengelolaan *life cycle assessment* di PT. Maruki International Indonesia.
- c. Evaluasi hasil *life cycle assessment* terhadap produksi *Butsudan* pada PT Maruki Intenational Indonesia.
- d. Solusi dalam mendukung *green manufacturing* dan manufaktur berkelanjutan pada PT. Maruki International Indonesia dengan metode *life cycle assessment*.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi peneliti, diharapkan dapat:
  - a. Dapat menerapkan atau mengimplementasikan bidang ilmu yang telah didalami selama kuliah dalam kehidupan nyata.
  - b. Dengan melakukan penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan peneliti, tidak hanya sesuai teoritis semata.
2. Bagi akademik:
  - a. Dalam lingkup Program Studi Teknik Industri Universitas Hasanuddin, diharapkan dapat menjadi salah satu referensi untuk mengetahui riset mengenai manfaat *green manufacturing* pada siklus produksi produk.
  - b. Memberikan referensi bacaan dalam bentuk tugas akhir untuk kebutuhan perpustakaan terutama mengenai konsep *Life Cycle Assessment (LCA)*.
3. Bagi perusahaan:
  1. Memberikan rekomendasi kepada PT. Maruki International Indonesia untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi dan distribusi *Butsudan*.
  2. Diharapkan perusahaan menerapkan konsep *Life Cycle Assessment (LCA)* untuk menilai siklus produksi *Butsudan* tiap periode sebagai metode untuk mengetahui dampak yang timbul terhadap lingkungan dalam mendukung SDGs.

### **1.5 Batasan Masalah**

Berdasarkan masalah di atas, maka dengan ini peneliti akan membatasi pembahasan yang akan diuraikan yaitu:

1. Data yang diambil pada bulan Januari-Desember tahun 2022 yaitu data siklus hidup produk *Butsudan*.
2. Penelitian ini menerapkan konsep *Life Cycle Assessment (LCA)* dan menggunakan *software SimaPro 9.5.0.0* untuk mengetahui berapa nilai dampak produksi yang dihasilkan dari proses produksi *Butsudan*.



3. Penelitian ini tidak membahas terkait limbah dan hanya berfokus pada proses distribusi dan produksi.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan sistematikan tugas akhir diperlukan metode penulisan yang tepat untuk memudahkan penulis dan pembaca memahami isi laporan tugas akhir. Berikut sistematika penulisan tugas akhir:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini membahas teori yang berkaitan dengan permasalahan dalam penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan masalah. Selain itu, terdapat penelitian terdahulu sebagai referensi dan perbandingan dengan penelitian penulis.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini memuat uraian tentang objek penelitian, jenis dan sumber data, metode pengumpulan data, dan kerangka alir penelitian.

### **BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Bab ini memuat uraian tentang analisa dan pembahasan hasil-hasil yang diperoleh dari pengolahan data untuk mendapatkan hasil sesuai dengan tujuan penulisan.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran sebagai bahan pertimbangan perbaikan selanjutnya.

## BAB II

### TEORI DASAR

#### 2.1 *Green Manufacturing*

*Green Manufacturing* (GM) pada dasarnya adalah proses/sistem yang berdampak minimal pada lingkungan atau tidak menimbulkan dampak negatif pada lingkungan (Dornfeld, 2013). Negara-negara di dunia telah berkomitmen untuk lebih memperhatikan aspek lingkungan dalam semua kegiatan yang dilakukan terutama dalam mengurangi CO<sub>2</sub> dan mengurangi polusi dari industri, seperti Kongres Amerika Serikat yang telah mencanangkan untuk mengurangi polusi akibat CO<sub>2</sub> sebanyak 83% pada tahun 2050 (Dornfeld, 2013).

Manufaktur merupakan salah satu elemen penting dari pembangunan berkelanjutan karena memproduksi barang-barang yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Manufaktur adalah sistem *input-output*, di mana sumber daya adalah *input* dan ditransformasikan melalui proses manufaktur menjadi produk atau produk setengah jadi (Sangwan dan Mittal, 2015).

Konsep *green* meliputi proses pembuatan produk dengan penggunaan material minimal dan proses yang meminimasi dampak negatif terhadap lingkungan, hemat energi dan sumber daya alam, aman bagi karyawan, masyarakat, dan konsumen, dengan tetap bernilai ekonomis (Dornfeld, 2013; Rehman dkk., 2013). Istilah *green* juga dapat digunakan untuk menunjukkan atau mengacu pada rangkaian kegiatan untuk mengurangi dampak dari sebuah proses atau sistem manufaktur terhadap lingkungan jika dibandingkan dengan kondisi awal, seperti pengurangan limbah berbahaya yang dihasilkan, mengurangi penggunaan pendingin pada proses permesinan, atau mengubah campuran energi yang digunakan sehingga memungkinkan untuk penggunaan sumber energi terbarukan (Dornfeld, 2013).

Proses produksi *green manufacturing* mengacu pada penggunaan *input* energi minimum atau pengurangan maksimum emisi gas rumah kaca dengan kondisi lain yang tidak berubah. Dengan kata lain, manufaktur hijau melibatkan peningkatan efisiensi energi atau efisiensi karbon (Long, Shao, dan Chen 2016; Schipper 2007).

Kerangka kerja dan model konseptual yang baru-baru ini diusulkan untuk 4.0 *green manufacturing* menjanjikan, tetapi aplikasi dunia nyata diperlukan untuk menunjukkan kegunaan dan efektivitasnya. Misalnya, Rodriguez *et al.* (2022) mengusulkan kerangka kerja dan indikator untuk mengoptimalkan kualitas dan kinerja keberlanjutan dalam proses manufaktur aditif. Lin *et al.* (2021) mengusulkan kerangka kerja LCA berbasis sistem penyimpanan data digital untuk mentransfer data inventaris aman antara pemasok dan produsen. Kerangka pabrik pintar oleh Jena *et al.* (2020) bertujuan untuk mendukung penjadwalan pemeliharaan otonom dengan memprediksi kegagalan dan membantu pengambilan keputusan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan meminimalkan pemborosan. kerangka *Digital Twins* yang diusulkan oleh Barni *et al.* (2018) bertujuan untuk mengoptimalkan siklus hidup produk di seluruh rantai nilai.

### **2.1.1 Global Reporting Initiative (GRI)**

Panduan Pelaporan Aspek Lingkungan Hidup untuk Laporan Keberlanjutan (2022) menyebutkan, standar *Global Reporting Initiative* (GRI) merupakan salah satu standar internasional untuk laporan keberlanjutan yang mengkomunikasikan bagaimana perusahaan mengidentifikasi dan mengelola dampak yang dihasilkan dari kegiatan dan kemitraan bisnisnya terhadap perekonomian, lingkungan hidup, dan masyarakat. Standar GRI yang dijadikan rujukan dalam penelitian ini adalah GRI Standar Universal dari *GRI Standards* 2021. Berikut Standar GRI yang berkaitan dengan penelitian ini:

GRI 301 – 1: Material yang digunakan berdasarkan berat atau volume

GRI 301 – 2: Material *input* dari daur ulang yang digunakan

GRI 301 – 3: Produk yang dikeringkan dan material kemasannya

GRI 302 – 1: Konsumsi energi dalam organisasi

GRI 302 – 2: Konsumsi energi di luar organisasi

GRI 302 – 3: Intensitas energi

GRI 302 – 4: Pengurangan konsumsi energi

GRI 302 – 5: Pengurangan pada energi yang dibutuhkan untuk produk dan jasa

GRI 304 – 1: Lokasi operasi yang dimiliki, disewa, dikelola, atau berdekatan dengan,

kawasan lindung dan kawasan dengan nilai keanekaragaman hayati tinggi di luar kawasan lindung

GRI 304 – 2: Dampak signifikan dari kegiatan, produk, dan jasa pada keanekaragaman hayati

GRI 305 – 1: Emisi GRK (Cakupan 1) langsung

GRI 305 – 2: Emisi energi GRK (Cakupan 2) tidak langsung

GRI 305 – 3: Emisi GRK (Cakupan 3) tidak langsung lainnya

GRI 305 – 4: Intensitas emisi GRK

GRI 305 – 6: Emisi zat perusak ozon (ODS)

GRI 305 – 7: Nitrogen Oksida (NOX), sulfur oksida (SOX), dan emisi udara signifikan lainnya

GRI 305 – 5: Pengurangan emisi GRK

GRI 306 – 3: Timbulan limbah

### **2.1.2 *Environmental, Social, and Governance (ESG)***

*Environmental, Social and Governance (ESG)* adalah kerangka kerja yang digunakan untuk menilai praktik dan kinerja bisnis organisasi pada berbagai isu keberlanjutan dan etika. Ini juga menyediakan cara untuk mengukur risiko dan peluang bisnis di area tersebut. Di pasar modal, beberapa investor menggunakan kriteria ESG untuk mengevaluasi perusahaan dan membantu menentukan rencana investasi mereka, sebuah praktik yang dikenal sebagai investasi ESG. Sementara keberlanjutan, etika, dan tata kelola perusahaan umumnya dianggap sebagai indikator kinerja non-keuangan, peran program ESG adalah untuk memastikan akuntabilitas dan penerapan sistem dan proses untuk mengelola dampak perusahaan, seperti jejak karbonnya dan cara penanganannya. karyawan, pemasok, dan pemangku kepentingan lainnya. Inisiatif ESG juga berkontribusi pada upaya keberlanjutan bisnis yang lebih luas yang bertujuan memposisikan perusahaan untuk kesuksesan jangka panjang berdasarkan manajemen perusahaan dan strategi bisnis yang bertanggung jawab (Mathis, 2023).

Menurut Mathis (2023), dengan meningkatnya jumlah dana ESG untuk mengelola investasi, para pemimpin bisnis dan TI di perusahaan semakin memperhatikan ESG sebagai pendekatan fungsional untuk menjalankan bisnis. Setiap

aspek ESG berperan penting dalam upaya meningkatkan fokus perusahaan pada praktik yang berkelanjutan dan beretika. Berikut rincian kriteria ESG yang umum digunakan oleh perusahaan dan investor.

### 1. *Environmental*

Faktor lingkungan melibatkan pertimbangan dampak keseluruhan organisasi terhadap lingkungan dan potensi risiko serta peluang yang dihadapinya karena masalah lingkungan, seperti perubahan iklim dan tindakan untuk melindungi sumber daya alam. Contoh faktor lingkungan yang dapat menjadi kriteria ESG adalah sebagai berikut:

- a) Konsumsi energi dan efisiensi.
- b) Jejak karbon, termasuk emisi gas rumah kaca.
- c) Pengelolaan sampah.
- d) Polusi udara dan air.
- e) Hilangnya keanekaragaman hayati.
- f) Penggundulan hutan.
- g) Penipisan sumber daya alam.

### 2. *Social*

Faktor sosial membahas bagaimana perusahaan memperlakukan kelompok orang yang berbeda seperti karyawan, pemasok, pelanggan, anggota masyarakat, dan banyak lagi. Kriteria yang digunakan antara lain sebagai berikut:

- a) Upah yang adil untuk karyawan, termasuk upah hidup.
- b) Program keragaman, kesetaraan, dan inklusi.
- c) Pengalaman dan keterlibatan karyawan.
- d) Kesehatan dan keselamatan kerja.
- e) Perlindungan data dan kebijakan privasi.
- f) Perlakuan yang adil terhadap pelanggan dan pemasok.
- g) Tingkat kepuasan pelanggan.
- h) Hubungan masyarakat, termasuk hubungan organisasi dengan dan dampaknya terhadap komunitas lokal di mana organisasi beroperasi.
- i) Pendanaan proyek atau lembaga yang membantu masyarakat miskin dan kurang terlayani.

j) Dukungan untuk hak asasi manusia dan standar perburuhan.

### 3. *Governance*

Faktor tata kelola memeriksa bagaimana perusahaan mengatur dirinya sendiri, dengan fokus pada kontrol dan praktik internal untuk menjaga kepatuhan terhadap peraturan, praktik terbaik industri, dan kebijakan perusahaan. Contohnya termasuk yang berikut:

- a) Kepemimpinan dan manajemen perusahaan.
- b) Komposisi dewan, termasuk keragaman dan strukturnya.
- c) Kebijakan kompensasi eksekutif.
- d) Transparansi keuangan dan integritas bisnis.
- e) Kepatuhan peraturan dan inisiatif manajemen risiko.
- f) Praktik bisnis yang etis.
- g) Aturan tentang korupsi, penyuapan, konflik kepentingan, dan donasi politik serta lobi.

Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, disingkat limbah B3 adalah sisa suatu usaha atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya atau beracun yang karena sifat dan/atau konsentrasinya atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan atau merusakkan lingkungan hidup atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain (PP No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun).

Karakteristik limbah B3 berdasarkan PP No. 85 Tahun 1999 tentang Perubahan Atas PP No.18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun antara lain :

1. Mudah meledak, limbah yang pada suhu dan tekanan standar (25 C, 760 mmHg) dapat meledak atau melalui reaksi kimia dan atau fisika dapat menghasilkan gas dengan suhu dan tekanan tinggi yang dengan cepat dapat merusak lingkungan sekitarnya.
2. Mudah terbakar, limbah yang mempunyai sifat :
  - a) Berupa cairan yang mengandung alkohol kurang dari 24% volume dan atau pada titik nyala tidak lebih dari 60 derajat Celcius akan menyala apabila

terjadi kontak dengan api, percikan api atau sumber nyala lain pada tekanan udara 760 mmHg.

- b) Bukan berupa cairan, yang pada temperatur dan tekanan standar dapat mudah menyebabkan kebakaran melalui gesekan, penyerapan uap air, atau perubahan kimia secara spontan dan apabila terbakar dapat menyebabkan kebakaran yang terus menerus.
  - c) Merupakan limbah yang bertekanan yang mudah terbakar.
  - d) Merupakan limbah pengoksidasi.
3. Bersifat reaktif, limbah yang mempunyai sifat :
- a) Pada keadaan normal tidak stabil dan dapat menyebabkan perubahan tanpa peledakan.
  - b) Dapat bereaksi hebat dengan air.
  - c) Apabila bercampur air berpotensi menimbulkan ledakan, menghasilkan gas, uap atau asap beracun dalam jumlah yang membahayakan bagi kesehatan manusia dan lingkungan.
  - d) Limbah Sianida, Sulfida, atau Amoniak yang pada kondisi pH antara 2 dan 12.5 dapat menghasilkan gas, uap atau asap beracun dalam jumlah yang membahayakan?bagi kesehatan manusia dan lingkungan
4. Beracun, Limbah yang mengandung pencemar yang bersifat racun bagi manusia atau lingkungan yang dapat menyebabkan kematian atau sakit yang serius apabila masuk kedalam tubuh?melalui pernapasan, kulit, atau mulut.
5. Infeksius, limbah laboratorium medis atau limbah lainnya yang terinfeksi kuman penyakit yang dapat menular.
6. Bersifat korosif, limbah yang memiliki dari salah satu sifat :
- a) Menyebabkan iritasi (terbakar) pada kulit.
  - b) Menyebabkan proses pengkaratan pada lempeng baja dengan laju korosi lebih besar dari 6,35 min/tahun dengan temperature 550 C.
  - c) Mempunyai pH sama atau kurang dari 2 untuk limbah bersifat asam dan dan sama atau lebih besar dari 12.5 untuk yang bersifat basa.

Jenis limbah B3 menurut sumbernya meliputi :

1. Limbah B3 dari sumber tidak spesifik, yaitu B3 yang berasal bukan dari proses utamanya tetapi berasal dari kegiatan pemeliharaan alat, pencucian, inhibitor korosi, pelarutan kerak, pengemasan, dll.
2. Limbah B3 dari sumber spesifik, yaitu B3 bahan awal, produk atau sisa proses suatu industri atau kegiatan tertentu.
3. Limbah B3 dari bahan kimia kadaluarga, tumpahan, bekas kemasan dan buangan produk yang tidak memenuhi spesifikasi.

Limbah adalah sisa dari suatu kegiatan yang sudah tidak memiliki kegunaan, limbah dapat berupa padatan atau cairan, limbah juga terdiri dari limbah domestik dan limbah industri, limbah domestik berasal dari kegiatan domestik seperti air bekas cucian, sampah rumah tangga, dan sampah restoran, limbah industri berasal dari hasil aktivitas produksi di industri (Utami, 2021). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 tahun 2016, ada tujuh parameter yang harus dipenuhi sebelum limbah dapat dibuang, yaitu kadar COD, BOD, pH, amonia, minyak dan lemak, total padatan terlarut, dan total coliform.

1) BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

BOD adalah nilai oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri dan mikroorganisme pada saat mereka mengurai bahan organik dalam kondisi aerob (membutuhkan oksigen) pada suhu tertentu. Nilai BOD yang tinggi menunjukkan bahwa bakteri membutuhkan banyak oksigen. Jika kadar BOD pada limbah masih tinggi dan limbah dibuang ke sumber air publik maka biota air yang hidup di dalamnya akan mati karena asupan oksigennya akan habis terserap oleh bakteri yang ada pada air limbah untuk mengurai bahan organik di dalamnya. Berdasarkan Permen LHK Nomor 68 Tahun 2016 kadar maksimal dari BOD adalah sebesar 30 mg/L.

2) COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam proses oksidasi kimiawi bahan organik oleh oksidan kuat, seperti misalnya kalium dikromat, amonia dan nitrit. COD sering digunakan sebagai ukuran polutan dalam air limbah. Nilai COD yang tinggi pada air limbah menunjukkan bahwa air tersebut masih berbahaya sehingga sebelum dibuang ke sumber air, zat berbahaya yang terkandung dalam air limbah tersebut harus distabilkan terlebih dahulu dengan



bantuan bakteri ataupun zat kimia. Berdasarkan Permen LHK Nomor 68 Tahun 2016 kadar maksimal dari COD adalah 100 mg/L.

3) pH

Derajat keasaman atau yang dikenal dengan pH juga merupakan parameter yang harus dipenuhi sebelum membuang limbah ke sumber air agar tidak membahayakan. Idealnya air memiliki pH netral antara 6,5-8. Berdasarkan Permen LHK Nomor 68 Tahun 2016 kadar maksimal pH air limbah sebelum dibuang adalah 6-9. Air dengan pH dibawah 6 akan bersifat asam dan berbahaya bagi lingkungan dan sebaliknya juga jika air memiliki pH di atas 9 akan memiliki kadar basa yang tinggi juga akan memberikan dampak yang buruk untuk lingkungan.

4) Amonia

Amonia merupakan hasil penguraian atau pembusukan protein tanaman atau kotoran hewan. Sebelum dibuang, amonia harus dirombak menjadi nitrit dan nitrat yang akan terbang pada saat proses aerasi atau penguapan. Proses perombakan ini dilakukan dengan menambahkan mikroba pengurai pada amonia. Berdasarkan Permen LHK Nomor 68 Tahun 2016 kadar maksimal amonia adalah 10 mg/L.

5) Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak tidak dapat larut oleh air sehingga minyak dan lemak yang dibuang ke sumber air dalam jumlah yang banyak dan secara terus menerus akan menghasilkan endapan yang berbahaya bagi biota air. Untuk mengurangi konsentrasi minyak dan lemak pada air biasanya dengan menggunakan metode penguapan. Berdasarkan PERMEN LHK Nomor 68 Tahun 2016 kadar maksimal minyak dan lemak adalah 5 mg/L.

6) TSS (Total Padatan Terlarut)

Total padatan terlarut adalah partikel yang ukurannya lebih besar dari 2 mikron yang ditemukan di air. Ukuran rata-rata filter adalah 2 mikron sehingga apapun yang memiliki ukuran lebih besar dari itu dianggap sebagai padatan terlarut. Sebagian besar padatan terlarut terdiri dari bahan anorganik. Nilai konsentrasi TSS yang tinggi pada air dapat menurunkan aktivitas fotosintesis tanaman air dan

akan mengakibatkan naiknya suhu permukaan air yang berdampak pada penurunan kadar oksigen yang mengakibatkan matinya biota air. Cara yang digunakan untuk mengurangi kadar TSS sebelum dibuang ke sumber air adalah dengan menggunakan metode filtrasi atau penyaringan. Berdasarkan Permen LHK Nomor 68 Tahun 2016, nilai maksimal dari TSS adalah 30 mg/liter.

#### 7) Total *Coliform*

*Coliform* diketahui sebagai indikator organisme, karena bakteri ini dapat ditemukan di semua lingkungan. Beberapa bakteri ini bersifat patogen tetapi sebagian besar tidak berbahaya. Deteksi *coliform* menunjukkan adanya penyakit potensial di lingkungan sehingga coliform memiliki peran penting untuk membantu meningkatkan kesadaran dan menemukan sumber bakteri. Semakin rendah kandungan *coliform* maka kualitas air semakin baik. Berdasarkan PERMEN LHK Nomor 68 Tahun 2016 kadar maksimal *coliform* adalah 100 mL. Untuk menurunkan kadar coliform di air adalah dengan menambahkan desinfektan seperti klorin.

Permen LHK Nomor 14 Tahun (2020) menyatakan, Indeks Standar Pencemar Udara yang selanjutnya disingkat ISPU adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi mutu udara ambien di lokasi tertentu, yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. Berikut penjelasan kategori angka rentang ISPU.

Tabel 1 Kategori Angka Rentang ISPU

Kategori	Status Warna	Angka Rentang
Baik	Hijau	1 – 50
Sedang	Biru	51 – 100
Tidak Sehat	Kuning	101 – 200
Sangat Tidak Sehat	Merah	201 - 300
Berbahaya	Hitam	≥ 301

Tabel 2 Penjelasan Nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Kategori	Keterangan	Apa yang harus dilakukan
Baik	Tingkat kualitas udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan, tumbuhan.	Sangat baik melakukan kegiatan di luar
Sedang	Tingkat kualitas udara masih dapat diterima pada kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan.	Kelompok sensitif: Kurangi aktivitas fisik yang terlalu lama atau berat. Setiap orang: Masih dapat beraktivitas di luar
Tidak sehat	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan dan tumbuhan	Kelompok sensitif: Boleh melakukan aktivitas di luar, tetapi mengambil rehat lebih sering dan melakukan aktivitas ringan. Amati gejala berupa batuk atau nafas sesak. Penderita asma harus mengikuti petunjuk kesehatan untuk asma dan menyimpan obat asma. Penderita penyakit jantung: gejala seperti palpitasi/jantung berdetak lebih cepat, sesak nafas, atau kelelahan yang tidak biasa mungkin mengindikasikan masalah serius. Setiap orang: Mengurangi aktivitas fisik yang terlalu lama di luar ruangan.

Lanjutan Tabel Penjelasan Nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Sangat Tidak Sehat	Tingkat kualitas udara yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.	Kelompok sensitif: Hindari semua aktivitas di luar. Perbanyak aktivitas di dalam ruangan atau lakukan penjadwalan ulang pada waktu dengan kualitas udara yang baik. Setiap orang: Hindari aktivitas fisik yang terlalu lama di luar ruangan, pertimbangkan untuk melakukan aktivitas di dalam ruangan.
Berbahaya	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan perlu penanganan cepat.	Kelompok sensitif: Tetap di dalam ruangan dan hanya melakukan sedikit aktivitas Setiap orang: Hindari semua aktivitas di luar

## 2.2 Supply Chain Management (SCM)

ISO 9001, *Supply chain management* (SCM) adalah sistem tahapan dalam bisnis mengubah bahan mentah menjadi produk akhir sampai tahap distribusi kepada konsumen. Istilah ini berlaku untuk bisnis yang berupa produksi barang ataupun penyedia jasa.

Karena beberapa poin klausul di dalam ISO 9001 ada yang membahas mengenai bagaimana menjaga kualitas rantai pasok, sehingga mutu dari produk tetap terkendali. Dengan demikian, badan usaha mampu memberikan kepuasan yang lebih baik terhadap konsumen. Berikut klausul atau materi di dalam ISO 9001 yang bisa memberikan pengaruh yang besar terhadap kualitas *supply chain management* perusahaan.

### a) Klausul 4.4.1 (d)

Bagian ini disebut sebagai pengadaan, setiap perusahaan dan organisasi harus mengidentifikasi keperluan sumber daya terutama untuk bahan baku produksi. Selain itu, ketersediaan sumber daya juga disesuaikan dengan jumlah dan kualitas yang telah ditentukan. Di dalam klausul ini juga disebutkan bahwa perlu adanya

sistem pemantauan pembelian untuk memastikan semua pengadaan barang yang dilakukan terpantau dengan baik.

b) Klausul 8.5

Selanjutnya, badan usaha juga perlu melakukan proses produksi dalam kendali (*control*). Hal ini berarti, tidak ada kendala teknis yang kemungkinan bisa menghambat jalannya proses produksi. Semua aspek diperhatikan, mulai dari ketersediaan sumber daya manusia yang kompeten di bidangnya, infrastruktur, alat penunjang kerja, dan sebagainya. Tidak hanya manufaktur, tetapi juga perusahaan dan organisasi di bidang lainnya juga bisa menerapkan hal yang sama. Karena pada dasarnya ISO 9001 merupakan standardisasi yang universal dan bisa diterapkan pada berbagai organisasi profit dan non-profit.

c) Klausul 7.1.5.1

Terakhir *supply chain management* juga tercantum dalam klausul ISO yang membahas mengenai penyimpanan dan distribusi produk. Setiap badan usaha perlu melakukan pemeliharaan dan menjaga kualitas bahan sampai ke tangan konsumen.

### **2.3 Business Process Modelling Notation (BPMN)**

Hammer dan Champy (1994), proses bisnis merupakan sekumpulan aktivitas yang memerlukan satu atau lebih masukan / *input* dan membentuk suatu keluaran / *output* yang memiliki nilai yang diinginkan pelanggan. Indrajit (tahun 2002), proses bisnis adalah sejumlah aktivitas yang mengubah sejumlah *input* menjadi *output* untuk orang lain. Paul Harmon pada bukunya yang berjudul “*Business Process Change*” (2003), proses Bisnis adalah serangkaian aktivitas yang dilakukan oleh suatu bisnis dimana mencakup inisiasi input, transformasi dari suatu informasi, dan menghasilkan *output*.

*Business Process Modeling Notation* (BPMN) menggambarkan suatu bisnis proses diagram yang mana didasarkan kepada teknik diagram alur, dirangkai untuk membuat model-model grafis dari operasi-operasi bisnis dimana terdapat aktivitas-aktivitas dan kontrol-kontrol alur yang mendefinisikan urutan kerja. BPMN dikembangkan oleh *konsorsium industry* yaitu konstituen yang mewakili berbagai

*vendor* alat BPM tetapi bukan sebagai pembuka akhir, mengemukakan bahwa “ *The Business Process Modeling Notation is Emerging as a standard language for capturing business processes, especially at the level of domain analysis and high level systems design*” (BPMI.org, 2006).

## **2.4 Life Cycle Assessment**

*Life Cycle Assessment* (LCA) adalah pendekatan dari buaian hingga liang lahat untuk mengevaluasi berbagai sistem industri. Ini adalah sistem yang dimulai dengan pengumpulan bahan mentah dari lingkungan untuk menghasilkan produk tertentu dan berakhir pada titik di mana semua bahan kembali ke lingkungan. LCA adalah metodologi untuk mengevaluasi dampak lingkungan terkait produk atau proses selama siklus hidupnya (Goswein *et al.*, 2019).

LCA mencakup semua item yang terkait dengan suatu kegiatan termasuk ekstraksi bahan baku, proses produksi, transportasi, distribusi, konsumsi, penggunaan kembali, pemeliharaan, daur ulang dan pembuangan, dan terakhir, ini menyajikan informasi yang komprehensif. perspektif dampak lingkungannya yang mengarah pada pengambilan pilihan terbaik untuk aktivitas tersebut (Guin ee & Lindeijer, 2002).

Penilaian siklus hidup LCA adalah salah satu metode yang paling tepat untuk melaporkan dampak lingkungan dari semua proses industri maritim. Konsep siklus hidup telah mempengaruhi dan membentuk berbagai metode dan teknik untuk menghitung, mengevaluasi, dan meningkatkan kinerja lingkungan produk dan sistem produksi, seperti pendekatan *cradle to-grave* yang paling umum (Ferreira *et al.*, 2021).

### **2.4.1 Batasan Sistem *Life Cycle Assessment***

Mengacu kepada Permen LHK No. 1/2021 tentang penilaian kinerja pengelolaan lingkungan suatu perusahaan yang memerlukan indikator tertentu (PROPER), lingkup proses yang dinilai adalah *cradle to grave*, *cradle to gate* dan *gate to gate*. Istilah lain yang sering digunakan untuk menjelaskan *cradle*, *gate* dan *grave* adalah *upstream* atau hulu, *core* atau inti, dan *downstream* atau hilir. Istilah ini sering digunakan pada

aturan kategori produk.

- a. Hulu atau *cradle* merupakan proses yang terjadi sebelum bahan baku masuk ke proses inti dari organisasi..
- b. Inti atau *gate* merupakan proses yang terjadi di dalam organisasi, yang masuk dalam kendali organisasi
- c. Hilir atau *grave* merupakan kegiatan setelah keluar dari pintu organisasi, dapat merupakan kegiatan distribusi, konsumsi dan juga pengolahan di akhir hidup produk.

Ruang lingkup pada LCA dapat dibagi menjadi empat macam berdasarkan standar ISO 14040 dan 14043 (dalam *Scientific Applications International Corporation*, 2006) antara lain yaitu:

- a) *Cradle to grave*, di mana ruang lingkup dimulai dari *raw* material hingga proses operasi produk.
- b) *Craddle to gate*, di mana ruang lingkup dimulai dari *raw* material hingga ke batas sebelum dilakukan operasi proses.
- c) *Gate to gate*, di mana ruang lingkup ini merupakan siklus terpendek. Hal ini disebabkan lingkup hanya meninjau kegiatan terdekat.
- d) *Gate to grave*, di mana ruang lingkup dimulai dari *raw* material hingga daur ulang material.

#### **2.4.2 Tahap Amatan dalam *Life Cycle Assessment***

Tahap amatan dalam LCA dapat dibagi menjadi empat macam (*Scientific Applications International Corporation* , 2006) :

- a) Ekstraksi *Raw Material*

Siklus hidup suatu produk dimulai dari perpindahan *raw material* dan sumber energi dari bumi. Memotong pohon dan menambang material yang tidak dapat diperbaharui termasuk salah satu contoh ekstraksi bahan baku. Selain itu, transportasi bahan-bahan baku tersebut, mulai dari tempat pengambilan ke proses pengolahannya termasuk ke dalam tahap ini.

- b) *Material Processing* dan Manufaktur

Banyak proses yang terlibat dalam produksi. Selama proses ini, bahan baku

diubah menjadi suatu produk, hingga selanjutnya sampai ke tangan konsumen. Proses manufaktur terdiri dari 3 bagian yaitu *material manufacture*, *product fabrication*, dan *filling packaging*. Tahap ini adalah tahap utama dari analisa siklus hidup.

c) *Use/ Reuse/ Maintenance*

Tahap ini melibatkan cara penggunaan, *reuse* dan *maintenance* yang dilakukan oleh konsumen, serta seluruh aktivitas yang berhubungan dengan waktu guna produk. Di dalam tahap ini, perhitungan kebutuhan energi dan buangan *environmental* dari penyimpanan dan konsumsi produk juga termasuk. Apabila produk memerlukan *recondition*, maka perbaikan atau servis untuk mempertahankan performansi juga termasuk ke dalam tahap ini. Saat konsumen sudah tidak memerlukan produk, produk ini akan dibuang atau di daur ulang.

d) *Recycle/Waste Management*

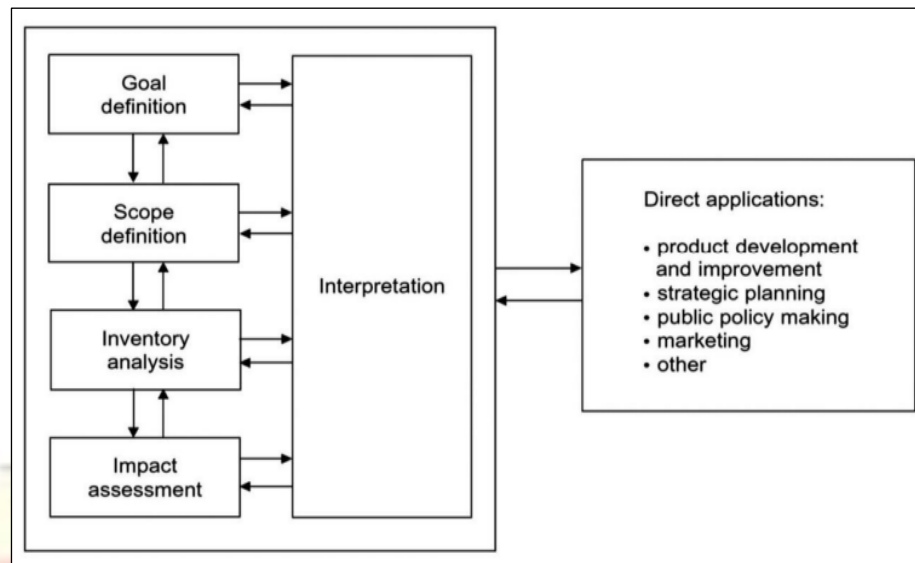
Tahap ini memperhitungkan kebutuhan energi dan *waste* ke lingkungan yang berhubungan dengan disposisi produk dan *material*.

### 2.4.3 Fase Pelaksanaan *Life Cycle Assessment*

1) Tujuan dan Ruang Lingkup

Ruang lingkup menentukan kerangka kerja di mana studi dilakukan dan harus konsisten dengan tujuan evaluasi, itu tidak akan memberikan informasi yang valid tanpa menentukan tujuan dan ruang lingkup. Dalam menentukan ruang lingkup, perlu ditentukan unit fungsional. Menurut ISO 14040, unit fungsional harus merepresentasikan aspek kuantitatif dan kualitatif dari produk. Sehingga untuk aspek kualitatif yaitu kegunaan dari produk dan untuk aspek kuantitatif yaitu volume dari produk. Pada tahap tujuan kajian, produk akhir yang diharapkan, batasan-batasan sistem, unit operasional dan asumsi-asumsi dari studi ditentukan. Batasan sistem biasanya ditentukan oleh *input* dan *output* dari diagram alir. Semua operasi dampak yang terkait dengan siklus hidup produk, proses dan aktivitas ditempatkan dalam batasan sistem (Rebitzer *et al.*, 2004).





Gambar 1 Kerangka Kerja *Life Cycle Assessment*  
(Arvanitoyannis, 2008)

## 2) *Life Cycle Inventory* (LCI)

LCA tahap kedua adalah *Life Cycle Inventory* (LCI) yang meliputi pengumpulan data yang dibutuhkan berdasarkan tujuan dan metode pembelajaran. Dengan kata lain, persiapan inventarisasi bahan *input* dan *output* ke dan dari sistem (Curran, 2017). Berikut data inventori yang diperlukan dalam penelitian LCA:

### a. Pengumpulan Data

Data untuk setiap proses dalam batas sistem secara konvensional dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Pernollet *et al.*, 2017):

- 1) Masukan energi, bahan mentah, produk sampingan, dan masukan fisik lainnya.
- 2) Produk, produk sampingan, dan limbah.
- 3) Emisi udara, dan pembuangan polutan ke dalam air dan tanah.
- 4) Aspek lingkungan lainnya.

### b. Perhitungan Data

Setelah pengumpulan data yang dibutuhkan, metode perhitungannya adalah sebagai berikut (Soust-Verdaguer *et al.*, 2017):

- 1) Memvalidasi dan menyetujui data yang dikumpulkan.
- 2) Menentukan hubungan antara data dan proses tunggal.
- 3) Menentukan hubungan antara data dan aliran referensi di unit fungsional.

### 3) *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)*

Penilaian Dampak Siklus Hidup (LCIA) membantu untuk interpretasi dan evaluasi dampak lingkungan berdasarkan analisis inventarisasi dalam kerangka tujuan dan ruang lingkup studi. Bahkan, ini termasuk hubungan antara data dan tahap LCI dengan kategori dampak lingkungan dan karakteristik kategori tersebut untuk menginterpretasikan jenis dan jumlah kategori dampak terhadap lingkungan. (Meex *et al.*, 2018).

ISO mengembangkan sebuah standar untuk melakukan penilaian dampak yang berjudul ISO 14042 yang menyebutkan bahwa 3 langkah pertama, yaitu pemilihan kategori, klasifikasi dan karakterisasi, adalah langkah utama untuk melakukan LCIA. Sedangkan langkah-langkah lainnya bersifat opsional, tergantung pada tujuan dan lingkup penelitian LCIA bertujuan untuk menghubungkan antara produk dan proses dengan dampak lingkungan potensialnya. Berikut ini adalah tahap-tahap untuk melakukan LCIA:

#### a. Pemilihan dan Pendefinisian Kategori Dampak

Identifikasi kategori dampak lingkungan yang relevan, contohnya *global warming, acidification, terrestrial toxicity*.

#### b. *Classification*

Identifikasi hasil LCI dengan kategori dampak yang sesuai, contohnya mengklasifikasikan emisi karbon dioksida dengan pemanasan global.

#### c. *Characterization*

Memodelkan dampak LCI dalam kategori dampak menggunakan faktor konversi berbasis ilmu pengetahuan. Contohnya, pemodelan dampak potensial dari karbon dioksida dan metana pada pemanasan global. *Characterization* merupakan penilaian besarnya substansi yang berkontribusi pada kategori *impact*. Nilai kontribusi relatif dari substansi dapat diketahui dengan mengalikan substansi yang berkontribusi pada kategori *impact* dengan *characterization factors*.

#### d. *Normalization*

Menggambarkan dampak potensial dalam cara yang dapat dibandingkan (misalnya membandingkan dampak pemanasan global karbon dioksida dan

metana untuk dua pilihan). Nilai normalisasi dapat diketahui dengan cara membagi nilai *characterization* dengan nilai “normal”, sehingga semua *impact category* memiliki unit yang sama dan bisa dibandingkan.

e. *Grouping*

Menyortir atau memberikan peringkat kepada indikator (misalnya menyortir indikator berdasarkan lokasi: lokal, regional, dan global).

f. *Weighting*

Memberikan penekanan pada dampak potensial yang paling penting. Nilai perbandingan berdasarkan pembobotan antar kategori didapatkan dengan cara mengalikan nilai *impact* dengan faktor *weighting*.

4) *Life Cycle Interpretation*

Interpretasi adalah tahap akhir dari LCA yang menggabungkan analisis inventarisasi dan evaluasi dampak untuk mencapai hasil dan saran. Hasil interpretasi dapat digunakan untuk pengambil keputusan sebagai rekomendasi dan hasil yang konsisten dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian. Tahap interpretasi harus mencerminkan fakta bahwa hasil tahap evaluasi data didasarkan pada pendekatan relatif dan komparatif dan hanya mencerminkan dampak dan potensi lingkungan. Selain itu, hal ini tidak boleh ditafsirkan sebagai dampak lingkungan aktual yang diperkirakan atau sebagai perkiraan terlampauinya ambang batas atau sebagai risiko terhadap lingkungan atau kesehatan manusia. Pada tahap ini, hasil akan diinterpretasikan berdasarkan tujuan studi dan strategi pengelolaan akan dipresentasikan. Interpretasi siklus hidup adalah metode sistematis untuk mengidentifikasi, mengendalikan, dan mengevaluasi data yang dihasilkan dari inventarisasi dan analisis (Hollberg *et al.*, 2020).

## 2.5 Software Life Cycle Assessment (LCA)

Pedoman penyusunan laporan LCA (2021), secara umum, LCA dapat dilakukan dengan menggunakan *software* (perangkat lunak) pendukung maupun secara manual. *Software* LCA memiliki peran penting untuk mengakses *database* LCA, simulasi menyusun sistem produk, dan menilai dampak lingkungan (*life cycle impact assessment*). Ketiga peranan ini juga menekankan mengenai pentingnya penggunaan

*software* LCA. Berikut *Software* yang digunakan dalam *life cycle assessment* :

1. GaBi

*Software* GaBi adalah suatu *software* pemodelan dan *reporting* LCA dengan pengumpulan data dan analisis hasil secara intuitif. *Software* GaBi dapat memungkinkan para professional LCA dalam mempengaruhi keputusan bisnis dengan meminimalisir resiko dan mengkomunikasikan manfaat produk dan meningkatkan pendapatan. GaBi menilai setiap bahan baku dan proses di setiap fase mulai dari ekstraksi hingga akhir masa pakai di seluruh rantai pasokan.

2. OpenLCA

OpenLCA adalah *software* LCA yang bersifat sumber terbuka (*open source*) yang memisahkan fungsi simulasi, *database*, dan *life cycle impact assessment* (LCIA). Meski terpisah, sejumlah *database* LCA dan LCIA dapat terhubung dengan mudah dengan *software* LCA terbuka.

3. SimaPro

SimaPro adalah sebuah *software* yang dapat digunakan untuk melakukan penilaian dampak lingkungan dengan pendekatan LCA. Keunggulan utama Simapro adalah dapat menerapkan berbagai aplikasi LCA, seperti pelaporan keberlanjutan, analisa jejak karbon dan air, proses desain produk, pembuatan produk ramah lingkungan, dan penentu indikator kinerja utama. Selain itu, keunggulan lainnya yang diperoleh dari SimaPro adalah sebagai berikut:

- a. Mampu memodelkan dan menganalisis siklus hidup produk yang kompleks dengan cara yang sistematis dan transparan.
- b. Mampu mengukur dampak lingkungan dari produk dan layanan di seluruh tahap siklus hidup produk.
- c. Mampu mengidentifikasi informasi-informasi penting yang saling bertautan dalam rantai pasok, mulai dari ekstraksi bahan baku hingga akhir umur produk.
- d. Dilengkapi dengan beragam *database* inventori yang *up to date*, diantaranya: *Agri-footprint*, *Ecoinvent database*, *U.S. Life Cycle Inventory database*, *Swiss Input/Output database*, *Industry data library: Plastics Europe*, *ERASM*, *Worldsteel*.

- e. Memiliki berbagai metode analisis LCA pendukung, diantaranya: *Impact 2002+*, TRACI 2.1, ReCiPe 2016, *Ecosystem Damage Potential*, *Greenhouse Gas Protocol*, dan *Cummulative Energy Demand*.

*Software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *software* SimaPro. SimaPro sendiri merupakan sebuah aplikasi komputer yang dikembangkan, karena banyaknya permasalahan aset di sektor publik maupun sektor privat. Aplikasi ini membantu untuk mengelola, mengidentifikasi, menginventarisasi, dan menganalisa aset terutama aset tak bergerak seperti bangunan dan properti.

SimaPro dapat digunakan untuk mengumpulkan data, menganalisa data dan mengawasi *life cycle* dari produk dari mulai ekstraksi bahan baku, *supply chain*, distribusi, penggunaan sampai dengan akhir siklus hidup produk dengan menggunakan database yang telah ada. SimaPro adalah salah satu perangkat *life cycle assessment* terkemuka serta dengan reputasi 25 tahun di industri dan akademisi pada lebih dari 80 negara.

Keuntungan menggunakan SimaPro sesuai dengan ISO 14040 antara lain adalah:

1. Dapat memodelkan dan menganalisis siklus hidup yang kompleks dengan cara yang sistematis dan transparan.
2. Dapat mengukur dampak lingkungan dari produk dan jasa di semua tahapan siklus hidup.
3. Dapat mengidentifikasi *hotspot* di setiap link dari *supply chain*, dari mulai ekstraksi bahan baku hingga pembuangan.

Penggunaan program ini sudah sesuai dengan ISO 14040 mengenai LCA, sehingga penggunaan program ini lebih akurat untuk menganalisis LCA. Akan tetapi, program ini memiliki kelemahan, yaitu *database* yang digunakan hanya terbatas pada wilayah Amerika Serikat dan Eropa.

## **2.6 Cleaner Production**

*Cleaner Production* atau pencegahan polusi adalah konsep '*pollution prevention*' (P2) dinyatakan sebagai pola pikir lingkungan proaktif yang menjanjikan manajemen industri lebih berkelanjutan. Dengan sasaran pada penyebab, daripada

akibat, aktifitas mempolusi, P2 mencari cara menghilangkan polutan disumbernya dan sekaligus menghindari kebutuhan untuk mengolah atau membuang polutan tersebut. Konsep P2 menawarkan pemecahan masalah dimana inovasi dan cara berpikir baru akan membawa pada pengurangan limbah, dan sekaligus membuat keuntungan bagi perusahaan dengan mengurangi biaya atau merangsang produk baru. *Cleaner Production* menjadi solusi paling langsung dari masalah lingkungan - menghilangkan polutan lewat reduksi sumber polusi atau mendaur ulang sebelum pengolahan atau pembuangan akhir (*final disposal*) menjadi isu (Purwanto, 2005).

UNEP (*United Nations Environment Programme*) (1996), sendiri menciptakan istilah *Cleaner Production* (CP) untuk menggambarkan konsep tersebut. CP menggambarkan pendekatan preventif hingga pengelolaan lingkungan. Meski demikian, ini bukan merupakan definisi legal atau ilmiah untuk dibedah, dianalisis atau mengalami perselisihan teoretis. Definisi ini lebih mengacu pada bagaimana barang dan jasa diproduksi dengan dampak minimal dengan keterbatasan teknologi dan ekonomi (Nelsson, 2007).

Produksi bersih, seperti yang didefinisikan oleh Kementerian Ekologi dan Lingkungan Republik Rakyat Tiongkok, mengacu pada penerapan langkah-langkah yang berkelanjutan seperti meningkatkan desain produk, menggunakan energi bersih dan bahan baku, mengadopsi proses, teknologi dan peralatan canggih, meningkatkan manajemen, dan pemanfaatan secara *komprehensif* dan lainnya untuk mengurangi polusi pada sumbernya, meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya, dan mengurangi atau menghindari timbulnya dan emisi polutan selama produksi, layanan, dan penggunaan produk, untuk pada akhirnya mengurangi atau menghilangkan bahaya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. lingkungan. Dengan kata lain, produksi bersih adalah metode perlindungan lingkungan siklus hidup baru yang melibatkan seluruh aktivitas produksi dan operasi perusahaan (Zhu *et al.*, 2022).

UNEP (*United Nations Environment Programme*) (1996), menciptakan *Cleaner Production* sendiri mengharuskan agar sumber daya dapat diolah secara efisien, sehingga dapat dikatakan bahwa CP memiliki lima prinsip dasar dalam penerapannya, yakni:

- 1) *Input Substitution*

Prinsip ini ditandai dengan penggunaan bahan baku atau bahan pembantu atau alat operasional yang kurang berbahaya, serta penggunaan bahan operasi dengan masa pakai lebih lama.

2) *Good Housekeeping*

Prinsip ini dicapai dengan cara meningkatkan efisiensi material dan energi dari tindakan dalam proses, misalnya dengan mengurangi kerugian akibat kebocoran. Dalam prinsip ini, perlu dilakukan pelatihan bagi karyawan.

3) *Internal Recycling*

Prinsip ini dilakukan dengan membuat *closed loop* aliran material untuk air, pelarut, dan sebagainya.

4) *Technological Optimisation/Change*

Prinsip ini ditandai dengan penggunaan teknologi terbaru, perbaikan kontrol proses, perancangan ulang proses, dan perubahan atau pergantian proses berbahaya.

5) *Optimisation of the Product*

Prinsip mengarahkan agar produk memiliki siklus hidup lebih panjang, lebih mudah diperbaiki atau didaur ulang, serta penggunaan material yang tidak berbahaya dalam pembuatan produk tersebut.

Ketika dihadapkan pada dampak kebijakan *Cleaner Production*, perusahaan mungkin memiliki beberapa tanggapan. Pertama, mereka mungkin menggunakan peralatan produksi yang lebih canggih, yang menghasilkan peningkatan produktivitas dan kemampuan untuk terlibat dalam tahapan produksi yang lebih banyak. Hasilnya adalah perluasan rantai produksi dalam negeri dan pengurangan ketergantungan perusahaan pada *input* luar negeri. Kedua, perusahaan perlu terus meningkatkan efisiensi energi dan sumber daya mereka, yang membuat permintaan *input* per unit *output* dan di *input* permintaan *input* impor menurun. Ketiga, untuk mengurangi polusi, perusahaan dapat mengurangi produksi produk intensif polusi atau membuat produk yang sudah ada menjadi lebih bersih, yang mengarah pada peningkatan variasi *input* bersih di pasar domestik dan akhirnya mengurangi ketergantungan perusahaan pada input bersih impor. Sejauh ini, beberapa literatur fokus pada alasan perusahaan mengadopsi strategi produksi bersih (Blackman dan Kildegaard 2010; Padda dan

Muhammad 2019). Hanya sedikit literatur yang mempelajari pengaruh kebijakan produksi bersih terhadap emisi polusi perusahaan (Huang, Luo, dan Xia 2013), produktivitas dan *output* (Severo *et al.* 2015), dan kualitas produk (Guo *et al.* 2006).

## 2.7 Studi Terdahulu

Penelitian terkait perencanaan persediaan telah diimplementasikan oleh para peneliti terdahulu.

Tabel 3 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
1	Neslihan Top a, Ismail Sahin a, Sachin Kumar Mangla b, Muruvvet Deniz Sezer c and Yigit Kazancoglu (2022)	<i>Towards sustainable production for transition to additive manufacturing: a case study in the manufacturing industry</i>	<i>Life Cycle Assessment</i> (LCA)	Menurut hasil LCA, penggunaan satu jenis material dan metode produksi untuk produk yang didesain ulang, serta mengurangi jumlah material yang digunakan dengan meniadakan pengencang, menghasilkan pengurangan konsumsi material sebesar 60,45% dan 85,59% pengurangan emisi CO2 dibandingkan dengan CM. Meskipun waktu produksi dalam CM lebih pendek dari FDM, kebutuhan akan desain cetakan dan manufaktur dengan prapemrosesan menghasilkan peningkatan waktu pengiriman. Hasil menunjukkan bahwa biaya satuan material untuk kedua metode pembuatan sangat mirip. Studi ini memberikan berbagai implikasi yang menciptakan pembangunan berkelanjutan di industri manufaktur untuk transisi ke AM.

Lanjutan Tabel 3 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
----	----------	-------	--------	-------



2	Alireza Habibi, Hossein Tavakoli, Amin Esmaeili & Abooali Golzary (2022)	<i>Comparative life cycle assessment (LCA) of concrete mixtures: a critical review</i>	<i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	Hasil menunjukkan pengaruh penggunaan agregat daur ulang dan bahan tambahan semen (SCM) pada sifat mekanik dan daya tahan Beton belum dibahas dengan baik dalam pekerjaan penelitian sebelumnya. Sebagai kelanjutan dari studi ini, signifikansi campuran beton dibandingkan dalam rentang kuat tekan (CS) yang sama dan masa pakai yang sama, serta perlunya analisis sensitivitas, telah dibahas.
3	Mehmet Önal (2022)	<i>Evaluation of shipyard operation processes with cradle-to-gate life cycle assessment based on material consumption rates for an aluminum and steel yacht</i>	<i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	Hasil dari studi LCA menunjukkan bahwa Material aluminium dari S1 hingga S5 mengurangi dampak lingkungan terkait proses sekaligus meningkatkan dampak berbasis material karena persentase material aluminium yang digunakan dalam proses ini meningkat.
4	Amin Lotfalian Dehkordi & Ashkan Farsi (2022)	<i>Investigation of energy consumption system and environmental pollutants in the spinach (Spinacia oleracea) production process through life cycle assessment method</i>	<i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	Berdasarkan hasil normalisasi, perairan laut (MAE), perairan air tawar (FAET) dan pengasaman (AC) memiliki nilai tertinggi di antara kategori dampak dengan masing-masing 20.4E-09, 3.61E-09 dan 1.99E-09. Akhirnya dalam studi ini, indeks dampak lingkungan diperkirakan sebesar 14,24 nPt.ha <sup>-1</sup> . Porsi DE dan IDE terhadap total emisi masing-masing adalah 18,55% dan 81,45%. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan sistem irigasi modern (sprinklers) dan pompa irigasi yang efisien merupakan metode untuk mengurangi listrik. .

Lanjutan Tabel 1 Penelitian Terdahulu

5	Alfredo Mejia, Helen Harwatt, Karen Jaceldo-Siegl, Kitti Sranacharoenpong, Samuel Soret & Joan Sabaté (2018)	<i>Greenhouse Gas Emissions Generated by Tofu Production: A Case Study</i>	<i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	Total CO <sub>2</sub> e dari tahu kemasan adalah 982 g/kg, protein 9820 g/kg, kalori 1150 g/1000, dan 336 g/paket eceran 396 g. Untuk 1 kg tahu kemasan, 16% CO <sub>2</sub> e dihasilkan dari produksi kedelai, 52% dari pembuatan tahu, 23% dari pengemasan, dan 9% dari transportasi. Tahu, makanan nabati kaya protein, menghasilkan GRK yang relatif rendah.
---	--	--	------------------------------------	---

Neslihan Top a, Ismail Sahin a, Sachin Kumar Mangla b, dan Muruvvet Deniz Sezer (2022), melakukan penelitian tentang “*Towards sustainable production for transition to additive manufacturing: a case study in the manufacturing industry*”. *Additive Manufacturing (AM)* telah muncul sebagai teknologi digital penting dalam meningkatkan efisiensi produksi dengan menganalisis kemungkinan dampak lingkungan dari operasi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki dampak produk yang didesain ulang untuk transisi ke AM pada proses produksi yang berkelanjutan. Pada penelitian ini, sebuah produk skala industri didesain ulang berdasarkan prinsip AM dan diproduksi menggunakan teknik *Fused Deposition Modeling (FDM)*. Dampak lingkungan dari metode produksi dievaluasi dalam hal konsumsi bahan dan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment (LCA)*. Dengan demikian, menurut hasil LCA, penggunaan satu jenis material dan metode produksi untuk produk yang didesain ulang, serta mengurangi jumlah material yang digunakan dengan meniadakan pengencang, menghasilkan pengurangan konsumsi material sebesar 60,45% dan 85,59% pengurangan emisi CO<sub>2</sub> dibandingkan dengan CM. Meskipun waktu produksi dalam CM lebih pendek dari FDM, kebutuhan akan desain cetakan dan manufaktur dengan prapemrosesan menghasilkan peningkatan waktu pengiriman. Hasil menunjukkan bahwa biaya satuan material untuk kedua metode pembuatan sangat mirip. Studi ini memberikan berbagai implikasi yang menciptakan pembangunan berkelanjutan di industri manufaktur untuk transisi ke AM.

Alireza Habibi, Hossein Tavakoli, Amin Esmaeili & Abooali Golzary (2022), melakukan penelitian tentang “*Comparative life cycle assessment (LCA) of concrete mixtures: a critical review*”. Ruang lingkup penelitian ini adalah untuk meninjau publikasi terbaru di bidang industri manufaktur beton untuk mempelajari dampak lingkungannya dari perspektif *Life Cycle Assessment (LCA)*. Studi ini juga mengintegrasikan LCA dalam publikasi terbaru, emisi gas rumah kaca, lapisan ozon, nutrisi, oksidasi fotokimia, dampak terhadap ekotoksitas terestrial, dan toksisitas manusia pada daur ulang limbah bahan bangunan. Ini juga mengklasifikasikan tahapan produk yang berbeda dan meninjau metodologi, asumsi, dan batasan yang berbeda. Hasil menunjukkan pengaruh penggunaan agregat daur ulang dan bahan tambahan semen (SCM) pada sifat mekanik dan daya tahan beton belum dibahas dengan baik dalam pekerjaan penelitian sebelumnya. Sebagai kelanjutan dari studi ini, signifikansi campuran beton dibandingkan dalam rentang kuat tekan (CS) yang sama dan masa pakai yang sama, serta perlunya analisis sensitivitas, telah dibahas.

Mehmet Önal (2022), melakukan penelitian tentang “*Evaluation of shipyard operation processes with cradle-to-gate life cycle assessment based on material consumption rates for an aluminum and steel yacht*”. Proses pembuatan kapal berkontribusi terhadap dampak lingkungan industri pelayaran. Beberapa bahan pembuatan kapal berbahaya bagi lingkungan selama produksi, konstruksi, operasi, dan daur ulang. Industri pembuatan kapal harus mengadopsi perspektif siklus hidup untuk menerapkan fokus lingkungan yang lebih terintegrasi. Saat menentukan proporsi bahan yang digunakan, kriteria ekspektasi bahan, dan biaya konstruksi dalam syarat dan ketentuan yang disyaratkan untuk kapal yang dibangun dari berbagai bahan, dampak lingkungan dari bahan pemrosesan dan bahan terkait juga harus dipertimbangkan. Menggunakan *life cycle assessment (LCA)*, penelitian ini bertujuan untuk menentukan dampak lingkungan dari pembangunan kapal pesiar dengan 9,21% aluminium dan 91,79% baja menggunakan berbagai skenario rasio material. Akibatnya, metode pemrosesan bahan yang relevan dibandingkan dengan perubahan rasio bahan. Karena persentase bahan aluminium yang digunakan dalam skenario 1 sampai 5 meningkat, dampak berbasis bahan meningkat, sedangkan dampak lingkungan dari proses menurun.

Amin Lotfalian Dehkordi & Ashkan Farsi (2022), melakukan penelitian tentang “*Investigation of energy consumption system and environmental pollutants in the spinach (*Spinacia oleracea*) production process through life cycle assessment method*”. Penelitian ini dilakukan pada tahun panen 2020-2021. Informasi yang diperlukan untuk penelitian ini dikumpulkan dengan menggunakan metode random sampling dari 90 peternakan di Isfahan, Iran melalui observasi dan kuesioner. Temuan menunjukkan bahwa total energi, *output* dan rasio energi dalam satu hektar produksi masing-masing adalah 4279 MJ/ha, 3154 MJ/ha dan 1,02. Listrik yang digunakan untuk menjalankan pompa irigasi memiliki konsumsi energi tertinggi di antara input yang tersedia (1544 MJ.ha<sup>-1</sup>). Metode *Center of Environmental Science* (CML2) digunakan untuk mengidentifikasi dampak lingkungan yang paling penting selama masa budidaya dan 10 dampak lingkungan dihitung dalam tiga faktor klasifikasi, normalisasi dan pembobotan. Berdasarkan hal tersebut, emisi yang terkait dengan konsumsi pupuk kandang ditentukan sebagai emisi utama. Emisi langsung dari pembakaran solar dan pupuk kandang (bayam) ditentukan sebagai *hotspot* utama dalam toksisitas manusia (HT) dan eutrikikasi (UE). Berdasarkan hasil normalisasi, perairan laut (MAE), perairan air tawar (FAET) dan pengasaman (AC) memiliki nilai tertinggi di antara kategori dampak dengan masing-masing 20.4E-09, 3.61E-09 dan 1.99E-09. Akhirnya dalam studi ini, indeks dampak lingkungan diperkirakan sebesar 14,24 nPt.ha<sup>-1</sup>. Porsi DE dan IDE terhadap total emisi masing-masing adalah 18,55% dan 81,45%. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan sistem irigasi modern (*sprinklers*) dan pompa irigasi yang efisien merupakan metode untuk mengurangi listrik.

Alfredo Mejia, Helen Harwatt, Karen Jaceldo-Siegl, Kitti Sranachoenpong, Samuel Soret & Joan Sabaté (2018) melakukan penelitian tentang “*Greenhouse Gas Emissions Generated by Tofu Production: A Case Study*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi emisi gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan oleh produksi tahu. Penilaian siklus hidup parsial (LCA) dilakukan menggunakan perangkat lunak SimaPro 8 dengan unit fungsional 1 kg tahu kemasan dan batas gerbang peternakan ke pabrik. Data produksi asli untuk periode 1 tahun diperoleh dari produsen tahu yang berbasis di Amerika Serikat dan digunakan dengan data produksi

kedelai dari database SimaPro 8 Ecoinvent 3.1 dan US *Life Cycle Inventory* untuk menghitung GHGE terkait sebagai setara karbon dioksida (CO<sub>2</sub>e). Perhitungan LCA mencakup masukan sumber daya yang diperlukan untuk memproduksi dan mengemas tahu: kedelai, air, listrik, gas alam, transportasi, dan bahan pengemas. Batas LCA adalah dari buaian (yaitu kebun kedelai) sampai pintu keluar pabrik (yaitu *pasca* pengemasan). Analisis ketidakpastian dilakukan dengan menggunakan simulasi *Monte Carlo*. Total CO<sub>2</sub>e dari tahu kemasan adalah 982 g/kg, protein 9820 g/kg, kalori 1150 g/1000, dan 336 g/paket eceran 396 g. Untuk 1 kg tahu kemasan, 16% CO<sub>2</sub>e dihasilkan dari produksi kedelai, 52% dari pembuatan tahu, 23% dari pengemasan, dan 9% dari transportasi. Tahu, makanan nabati kaya protein, menghasilkan GRK yang relatif rendah.

Perbandingan tiap penelitian terdahulu dengan penelitian kali ini adalah sebagai berikut.



Tabel 4 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Judul	Produk					Ruang Lingkup	Metode LCA
	Mesin Ukiran Laser	Beton	Kapal Pesiar	Bayam	Tahu		
<i>Towards sustainable production for transition to additive manufacturing: a case study in the manufacturing industry</i>	✓					Gate to Grave	
<i>Comparative life cycle assessment (LCA) of concrete mixtures: a critical review</i>		✓				Cradle to Gate	
<i>Evaluation of shipyard operation processes with cradle-to-gate life cycle assessment based on material consumption rates for an aluminum and steel yach</i>			✓			Cradle to Gate	✓
<i>Investigation of energy consumption system and environmental pollutants in the spinach (Spinacia oleracea) production process through life cycle assessment method</i>				✓		Cradle to Gate	
<i>Greenhouse Gas Emissions Generated by Tofu Production: A Case Study</i>					✓	Cradle to Gate	