

**ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN PADA PROSES
PRODUKSI SEMEN DI PT X MENGGUNAKAN METODE
*LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)***

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

**RAUDHATUL MUTIARA
NIM. 210702041
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
DARUSSALAM – BANDA ACEH
2025 M / 1447 H**

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN PADA PROSES
PRODUKSI SEMEN DI PT X MENGGUNAKAN
METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA)**

TUGAS AKHIR

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Diajukan oleh:

RAUDHATUL MUTIARA

NIM. 210702041

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

Banda Aceh, 9 Mei 2025

Telah Diperiksa dan Disetujui oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II


Suardi Nur, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIDN. 2010108103


Muhammad Haikal, S.T., M.Sc.
NUPTK. 4557773674130302

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh


Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.
NIDN. 2009118301

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN PADA PROSES PRODUKSI SEMEN DI PT X MENGGUNAKAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)*

TUGAS AKHIR

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Kamis, 12 Juni 2025
Kamis, 16 Dzulhijjah 1446 H

Panitia Ujian Munqasyah Skripsi

Ketua,

Suardi Nur, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIDN. 2010108103

Sekretaris,

Ir. Muhammad Haikal, S.T., M.Sc.
NUPTK. 4557773674130302

Penguji I,

Dr. Ir. Juliansyah Harahap, M.Sc., IPM.
NIDN. 2031078204

Penguji II,

Teuku Muhammad Ashari, M.Sc.
NIDN. 200202831

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



Prof. Dr. Ir. M. Dirhamsyah, M.T., IPU
NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Nama : Raudhatul Mutiara
NIM : 210702041
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Skripsi : Analisis Dampak Lingkungan pada Proses Produksi Semen di PT X Menggunakan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA)

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam penulisan Skripsi ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila di kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 30 Juni 2025
Yang membuat pernyataan,



METERAI
TEMBUK
7EAMX32585523

Raudhatul Mutiara
NIM: 210702041

ABSTRAK

Nama : Raudhatul Mutiara
NIM : 210702041
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Analisis Dampak Lingkungan pada Proses Produksi Semen di PT X Menggunakan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA)
Tanggal Sidang : 12 Juni 2025
Jumlah Halaman : 126 Halaman
Pembimbing I : Suardi Nur, S.T., M.Sc., Ph.D.
Pembimbing II : Ir. Muhammad Haikal, S.T., M.Sc.
Kata Kunci : industri semen, emisi udara, *kiln*, LCA, *hotspot*.

PT X adalah pabrik semen di Provinsi Aceh dengan kapasitas 1,2 juta ton per tahun. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dan mengevaluasi dampak lingkungan proses utama produksi semen menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) menggunakan pendekatan *cradle-to-gate*, yang meliputi: (1) *Goal and scope*, (2) *Life Cycle Inventory* (LCI), (3) *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), dan (4) *Interpretation*. Sistem yang dianalisis mencakup unit *mining*, *raw mill*, *coal mill*, *kiln*, *cement mill*, dan *packing*. Data inventaris mencakup emisi, konsumsi bahan bakar, energi, dan bahan baku, yang diolah menggunakan *software* OpenLCA 2.3.0. LCIA menggunakan pendekatan *midpoint* TRACI 2.1 pada kategori *global warming*, *smog*, *acidification*, *eutrophication*, dan *respiratory effects*. Hasil LCI menunjukkan beban emisi tertinggi berasal dari proses kalsinasi sebesar 424 645,03 ton CO₂ atau 59,98% dari total beban emisi proses produksi semen. Berdasarkan hasil LCIA, kategori dampak tertinggi adalah *global warming* (559,18 kg CO₂ eq) dan *smog* (5,76 kg O₃ eq), dengan *hotspot* proses terletak pada unit *kiln* dan konsumsi listrik. Berdasarkan hasil interpretasi, diajukan dua skenario program alternatif yaitu substitusi bahan bakar unit *kiln* dengan 70% *fine coal* dan 30 % biomassa sekam padi untuk skenario 1, serta 60% *fine coal* dan 40% RDF untuk skenario 2. Skenario 1 dipilih lebih efektif mengurangi dampak lingkungan karena mampu menurunkan dampak *global warming* sebesar 8,9%, Sedangkan skenario 2 justru meningkatkan dampak *global warming* sebesar 3,83%.

ABSTRACT

Name : Raudhatul Mutiara
Student ID Number : 210702041
Department : Environmental Engineering
Title : Environmental Impact Analysis on the Cement Production Process at PT X Using Life Cycle Assessment (LCA) Method
Session Date : 12 June 2025
Number of Pages : 126 Pages
Advisor I : Suardi Nur, S.T., M.Sc., Ph.D.
Advisor II : Ir. Muhammad Haikal, S.T., M.Sc.
Keywords : cement industry, air emissions, kiln, LCA, hotspot.

PT X is a cement factory in Aceh Province with a capacity of 1.2 million tons per year. This study aims to identify and evaluate the environmental impact of the main cement production processes using Life Cycle Assessment (LCA) method with a cradle-to-gate approach, which includes: Goal and scope, Life Cycle Inventory, Life Cycle Impact Assessment (LCIA), and Interpretation. The system analyzed includes mining units, raw mills, coal mills, kilns, cement mills, and packing units. Inventory data includes emissions, fuel consumption, energy consumption, and raw material consumption, which were processed using OpenLCA 2.3.0 software. LCIA applies the midpoint TRACI 2.1 approach to the categories of global warming, smog, acidification, eutrophication, and respiratory effects. The LCI results show that the highest emission load comes from the calcination process, amounting to 424,645.03 tons of CO₂ or 59.98% of the total emission load of the cement production process. Based on the LCIA results, the highest impact categories are global warming (559.18 kg CO₂ eq) and smog (5.76 kg O₃ eq), with process hotspots located in the kiln unit and electricity consumption. Based on the interpretation results, two alternative program scenarios were proposed: scenario 1 involves substituting kiln unit fuel with 70% fine coal and 30% rice husk biomass, while scenario 2 involves 60% fine coal and 40% RDF. Scenario 1 is more effective in reducing environmental impacts as it can reduce global warming impacts by 8.9%, while scenario 2 actually increases global warming impacts by 3.83%.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas ke hadirat Allah Swt. yang telah melimpahkan nikmat dan karunianya-Nya, diantaranya nikmat iman dan kesehatan. Selawat serta salam semoga tercurahkan kepada Rasulullah saw. yang telah mengubah tatanan hidup manusia ke arah yang lebih baik dari zaman sebelumnya.

Ucapan rasa syukur kepada Allah Swt. karena tugas akhir ini telah dapat penulis selesaikan. Penulis mengangkat judul tugas akhir yaitu “Analisis Dampak Lingkungan pada Proses Produksi Semen di PT X Menggunakan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA)”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana strata-1 pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Selama penyusunan tugas akhir ini, penulis menyampaikan rasa sayang dan terima kasih kepada kedua orang tua, Ayahanda Sairil dan Ibunda Tuti yang senantiasa memberi dukungan, semangat, serta doa untuk penulis. Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang telah banyak memberikan bantuan dan bimbingan demi kelancaran penulisan tugas akhir ini:

1. Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
2. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc. selaku Kepala Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry dan Pembimbing Akademik Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry yang telah memberikan bimbingan serta dukungan kepada penulis selama perkuliahan berlangsung.
4. Bapak Suardi Nur, S.T., M.Sc., Ph. D. dan Bapak Ir. Muhammad Haikal, S. T., M.Sc., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan masukan yang sangat bermanfaat dalam penulisan tugas akhir ini.
5. Bapak Ilham Syahputra selaku Kepala *Environment & Management System* PT X.

6. Nailus Sa'adah selaku *Environment Officer* sekaligus pembimbing lapangan penulis dalam melakukan penelitian, yang membimbing, mengarahkan dan memberikan saran kepada penulis selama penelitian. Tidak lupa pula kepada seluruh *Environment Officer* PT X yang turut serta memberikan saran dan masukan kepada penulis selama penelitian.
7. Seluruh staf Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar Raniry yang telah membantu dalam pengurusan administrasi.
8. Teman – teman seperjuangan di Teknik Lingkungan Angkatan 2021, terimakasih atas dukungan dan semangat kalian serta yang telah membantu penulis dalam proses pelaksanaan penulisan tugas akhir ini.
9. Dengan penuh rasa syukur, penulis mengucapkan terima kasih kepada diri sendiri atas ketekunan dan dedikasi yang tiada henti selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. *Your unwavering discipline and hard work have culminated in this milestone. Teruslah berjuang dan keep believing in your potential.*

Akhir kata, penulis berharap Allah Swt. membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah meluangkan waktu dan membantu penulisan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak khususnya perkembangan ilmu pengetahuan dan Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan tugas akhir ini.

Banda Aceh, 5 Maret 2025

Penulis,

Raudhatul Mutiara

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Proses Produksi Semen	5
2.1.1 Persiapan Bahan Baku.....	7
2.1.2 Proses Penggilingan Bahan Baku (<i>Unit Raw Mill</i>)	9
2.1.3 Proses Penggilingan Batu Bara menjadi <i>Fine Coal</i> (<i>Unit Coal Mill</i>).....	10
2.1.4 Proses Pemanasan, Pembakaran, dan Pendinginan (<i>Unit Kiln</i>)	11
2.1.5 Proses Penggilingan <i>Clinker</i> (<i>Unit Cement Mill</i>).....	14
2.1.6 Pengepakan dan Pengapalan	14
2.2 Emisi Udara dan Perhitungan Beban Emisi pada Industri Semen	15
2.2.1 Emisi Udara Industri Semen	15
2.2.2 Perhitungan Beban Emisi Berdasarkan Tier	18
2.3 <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA).....	24
2.3.1 Pengertian dan Tujuan LCA.....	24

2.3.2 Tahapan LCA	24
2.3.3 Pendekatan LCA	25
2.3.4 Metode Penilaian Dampak (LCIA) dalam LCA	26
2.4 OpenLCA 2.3.0	29
2.5 Penelitian Terdahulu	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Umum.....	35
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	36
3.3 Tahapan Pendahuluan	36
3.4 Metode Pengumpulan Data	37
3.5 Metode Analisis Data	37
3.5.1 Analisis Beban Emisi Udara Proses Produksi Semen.....	37
3.5.2 Analisis <i>Life Cycle Assessment</i> Menggunakan OpenLCA.....	39
3.5.3 Penentuan Rekomendasi Program Alternatif	40
3.6 Diagram Alir Penelitian	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Analisis Perhitungan Beban Emisi	42
4.1.1 Perhitungan Beban Emisi Unit <i>Mining (Limestone & Siltstone)</i>	42
4.1.2 Perhitungan Beban Emisi Unit <i>Raw Mill</i>	44
4.1.3 Perhitungan Beban Emisi Unit <i>Kiln</i>	46
4.1.4 Perhitungan Beban Emisi Unit <i>Coal Mill</i>	52
4.1.5 Perhitungan Beban Emisi Unit <i>Cement Mill</i>	54
4.1.6 Perhitungan Beban Emisi Unit <i>Packing</i>	56
4.1.7 Beban Emisi per Ton Produksi Semen.....	58
4.2 Analisis <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) Menggunakan OpenLCA	60
4.2.1 Penentuan Tujuan dan Lingkup (<i>Goal and Scope</i>)	60
4.2.2 Penentuan <i>Life Cycle Inventory</i> (LCI)	60
4.2.3 Penentuan <i>Life Cycle Impact Assessment</i> (LCIA)	65
4.2.4 Interpretasi Data	72
4.3 Rekomendasi Program Alternatif.....	74
4.3.1 Skenario 1	74
4.3.2 Skenario 2.....	76

BAB V PENUTUP.....	79
5.1 Kesimpulan.....	79
5.2 Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA.....	80
LAMPIRAN.....	85



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Produksi Semen PT X.....	6
Gambar 2.2 Penambangan Bahan Baku <i>Limestone</i>	7
Gambar 2.3 <i>Limestone Crusher</i>	8
Gambar 2.4 <i>Siltstone Crusher</i>	8
Gambar 2.5 Unit <i>Raw Mill</i>	9
Gambar 2.6 <i>Vertical Roller Mill</i> pada Unit <i>Coal Mill</i>	10
Gambar 2.7 Unit <i>Preheater</i> dengan 4 Tingkat <i>Cyclone</i>	11
Gambar 2.8 Unit <i>Rotary Kiln</i>	12
Gambar 2.9 Unit <i>Cooler</i>	13
Gambar 2.10 Proses Pemanasan, Pembakaran, dan Pendinginan pada <i>Rotary Kiln</i>	13
Gambar 2.11 Unit <i>Cement Mill</i>	14
Gambar 2.12 Pengepakan dan Pengapalan	14
Gambar 2.13 Sistem Penghitungan Emisi Berdasarkan Tier	19
Gambar 2.14 <i>Life Cycle Assessment Framework</i>	25
Gambar 2.15 Ruang Lingkup LCA.....	26
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian	36
Gambar 4.1 Neraca Massa Unit <i>Mining</i>	61
Gambar 4.2 Neraca Massa Unit <i>Raw Mill</i>	61
Gambar 4.3 Neraca Massa Unit <i>Kiln</i>	62
Gambar 4.4 Neraca Massa Unit <i>Coal Mill</i>	63
Gambar 4.5 Neraca Massa <i>Cement Mill</i>	64
Gambar 4.6 Neraca Massa Unit <i>Packing</i>	64
Gambar 4.7 Besaran Kategori Dampak <i>Global Warming</i> dengan Unit Proses Produksi Semen PT X	67
Gambar 4.8 Besaran Kategori Dampak <i>Smog</i> dengan Unit Proses Produksi Semen PT X	68
Gambar 4.9 Besaran Kategori Dampak <i>Acidification</i> dengan Unit Proses Produksi Semen PT X	69

Gambar 4.10 Besaran Kategori Dampak <i>Respiratory Effects</i> dengan Unit Proses Produksi Semen PT X.....	70
Gambar 4.11 Besaran Kategori Dampak <i>Eutrophication</i> dengan Unit Proses Produksi Semen PT X.....	71
Gambar 4.12 Persentase Kontribusi Dampak Setiap Unit Proses Produksi Semen.....	73
Gambar 4.13 Perbandingan Skenario 1 dan Skenario 2.....	77



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Emisi Udara Industri Semen	16
Tabel 2.2 Sumber Emisi Udara, Jenis Emisi, dan Pedoman Perhitungan Beban Emisi Proses Produksi Semen	19
Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu	31
Tabel 3.1 Kebutuhan Data.....	37
Tabel 4.1 Beban Emisi <i>Stack Unit Mining (Limestone & Siltstone)</i>	43
Tabel 4.2 Beban Emisi <i>Stack Unit Raw Mill</i>	45
Tabel 4.3 Faktor Emisi dan Nilai Kalor Bahan Bakar Unit <i>Kiln</i>	46
Tabel 4.4 Beban Emisi <i>Stack Unit Kiln</i>	47
Tabel 4.5 Beban Emisi Bahan Bakar IDO Unit <i>Kiln</i>	48
Tabel 4.6 Beban Emisi Bahan Bakar <i>Fine Coal</i> Unit <i>Kiln</i>	48
Tabel 4.7 Beban Emisi Bahan Bakar Biomassa Sekam Padi Unit <i>Kiln</i>	48
Tabel 4.8 Beban Emisi Bahan Bakar Biomassa <i>Coffee Husk</i> Unit <i>Kiln</i>	49
Tabel 4.9 Beban Emisi Bahan Bakar Biomassa <i>Saw Dust</i> Unit <i>Kiln</i>	49
Tabel 4.10 Beban Emisi Bahan Bakar <i>Waste Oil</i> Unit <i>Kiln</i>	49
Tabel 4.11 Beban Emisi Bahan Bakar <i>Solid AF</i> Unit <i>Kiln</i>	50
Tabel 4.12 Persentase Bahan Bakar Unit <i>Kiln</i> Berdasarkan Energi	50
Tabel 4.13 Beban Emisi Bahan Bakar Unit <i>Kiln</i>	50
Tabel 4.14 Beban Emisi <i>Stack Unit Coal Mill</i>	53
Tabel 4.15 Beban Emisi <i>Stack Unit Cement Mill</i>	55
Tabel 4.16 Beban Emisi <i>Stack Unit Packing</i>	57
Tabel 4.17 Beban Emisi Proses Produksi Semen	58
Tabel 4.18 Beban Emisi per Ton Produksi Semen	59
Tabel 4.19 Hasil LCIA Proses Produksi Semen PT X.....	65
Tabel 4.20 Hasil Kontribusi Dampak Langsung.....	66
Tabel 4.21 Persentase Kontribusi Dampak Terhadap Tiap Unit Proses Produksi Semen PT X	73
Tabel 4.22 Perbandingan Dampak Lingkungan Antara Sebelum dan Sesudah Rekomendasi Program Skenario 1	75

Tabel 4.23 Perbandingan Dampak Lingkungan Antara Sebelum dan Sesudah Rekomendasi Program Skenario 2	76
--	----



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Gambar Pedoman Dokumen	86
Lampiran II Perhitungan Beban Emisi Udara Proses Produksi Semen PT X.....	91
Lampiran III Hasil <i>Life Cycle Inventory</i> (LCI)	99
Lampiran IV Penggunaan <i>Software</i> OpenLCA 2.3.0.....	102
Lampiran V Perhitungan Substitusi Bahan Bakar	109



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri semen merupakan salah satu industri manufaktur terpenting di Indonesia. Produk semen digunakan secara luas sebagai bahan dasar dalam pembangunan gedung, jalan raya, jembatan, dan proyek-proyek konstruksi lainnya. Beberapa jenis semen yang umum ditemukan di Indonesia adalah *Ordinary Portland Cement* (OPC), *White Cement*, dan *Portland Composite Cement* (PCC) (Purnawan dan Prabowo, 2018). PT X merupakan industri semen yang beroperasi di Provinsi Aceh. PT X memproduksi 2 jenis tipe semen yaitu OPC yang terdiri dari 90% *clinker*, 5% *limestone*, dan 5% *gypsum*; dan PCC yang terdiri dari 65% *clinker*, 30% *limestone*, dan 5% *gypsum* (Aprilia, 2021). Tahapan proses produksi semen di PT X yaitu *Quarry*, *Crusher*, *Stockpile*, *Raw Mill*, *Kiln*, *Cement Mill*, dan *Packing Plant* (Yunis dkk., 2023). Menurut data dari PT X tahun 2024, total produksi semen di PT X mencapai 1,2 juta ton per tahun. Jenis semen yang paling banyak diproduksi PT X adalah semen portland komposit (PCC) dengan bahan baku utama batu kapur (Sari dkk., 2023).

Proses produksi semen menghasilkan berbagai limbah yang berpotensi menimbulkan dampak lingkungan. Produk samping (*by-product*) dari proses produksi semen meliputi emisi udara, limbah padat, dan air limbah. Limbah padat dibagi menjadi limbah B3 dan limbah non-B3. Pengelolaan limbah B3 dilakukan melalui fasilitas *hazardous waste treatment*, sedangkan limbah non-B3 diolah pada unit *solid waste treatment*. Selanjutnya air limbah industri diproses di instalasi *sewage treatment plant* sebelum dibuang ke lingkungan (Laporan LCA PT X, 2024). Emisi udara seperti CO₂, SO₂, NO_x, dan partikulat timbul dari transportasi material, pembakaran bahan bakar, serta konsumsi listrik (Delima dan Farahdiba, 2022; Sitohang dkk., 2023). Saat ini, PT X menerapkan pengendalian emisi udara terbatas pada pemasangan *bag filter* untuk menekan debu partikulasi pada cerobong sehingga belum menerapkan pengolahan lanjutan untuk emisi udara. Oleh karena itu, analisis LCA proses produksi semen dengan produk samping berupa emisi

udara menjadi penting untuk memahami secara menyeluruh potensi dampaknya terhadap lingkungan dan merumuskan langkah mitigasi yang lebih efektif.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk melakukan evaluasi terhadap dampak lingkungan dari proses produksi semen di PT X menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Pendekatan dalam LCA mengacu pada analisis yang mencakup pengumpulan bahan mentah dari alam (*mining*) hingga selesai proses produksi (*packing*). Seperti yang dijelaskan oleh Nurzamilov dan Sitogasa (2024), LCA merupakan metode yang efektif untuk menganalisis dampak lingkungan dari suatu produk atau proses. Dengan mengacu pada standar SNI ISO 14040 (2016) tentang Manajemen lingkungan — Penilaian daur hidup — Prinsip dan kerangka kerja, penelitian ini berupaya mengidentifikasi aktivitas produksi yang paling berdampak pada lingkungan (*hotspot*), sehingga memungkinkan PT X mengimplementasikan langkah-langkah mitigasi yang tepat dan efisien dalam meminimalisasi dampak lingkungan dari operasional produksinya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang akan dibahas antara lain:

1. Berapa total beban emisi udara yang dihasilkan dari proses produksi semen di PT X?
2. Bagaimana dampak lingkungan yang ditimbulkan dalam proses produksi semen di PT X menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA)?
3. Bagaimana rekomendasi program alternatif yang efektif dapat diterapkan untuk mengurangi dampak lingkungan dari proses produksi semen di PT X?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis beban emisi udara yang dihasilkan pada kegiatan produksi semen di PT X.

2. Mengidentifikasi dan menghitung besaran dampak lingkungan yang terjadi akibat kegiatan produksi di PT X menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA).
3. Merumuskan rekomendasi program alternatif untuk mengurangi dampak lingkungan dari pencemaran yang dihasilkan pada proses produksi PT X.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang ingin dicapai, penelitian ini diharapkan memberikan manfaat baik secara langsung maupun tidak langsung. Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut.

a. Manfaat Teoritis

1. Memperkaya keilmuan bidang Teknik Lingkungan khususnya analisis LCA pada industri semen, sekaligus memperdalam pemahaman tentang kontribusi tiap tahapan produksi semen terhadap lingkungan.
2. Menyediakan model konseptual dan dataset awal yang dapat dijadikan acuan atau perbandingan dalam penelitian lanjutan terkait optimasi proses dan pengembangan metodologi LCA industri semen.

b. Manfaat Praktis

1. Memberikan rekomendasi kebijakan dan program alternatif spesifik yang dapat diimplementasikan PT X untuk menurunkan emisi udara secara terukur.
2. Menjadi alat bantu bagi manajemen PT X dalam menyusun strategi keberlanjutan (*sustainability roadmap*) dan memenuhi persyaratan regulasi lingkungan.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini tidak menggunakan data primer berupa pengukuran langsung bahan baku, bahan bakar, konsumsi energi listrik, dan emisi udara di lapangan.

2. Penelitian ini tidak menghitung beban emisi selain sumber emisi tidak bergerak; tidak menghitung beban emisi transportasi bahan baku dan pengoperasian alat berat dari *mining* ke unit proses produksi.
3. Penelitian ini tidak menganalisis produk samping selain emisi udara; limbah padat dan air limbah tidak dikaji.
4. Penelitian ini tidak mencakup tahap penggunaan maupun akhir masa pakai produk, karena pendekatan analisis dibatasi pada *cradle-to-gate* (*mining* hingga *packing*).
5. Penelitian ini hanya menganalisis emisi udara CO₂, CO, CH₄, N₂O, SO₂, NO_x, dan partikulat.
6. Penelitian ini tidak membahas level *endpoint* dalam LCIA; penilaian dampak lingkungan menggunakan metode TRACI 2.1 hanya pada tingkat *midpoint*.

