

Analisis Dampak Asidifikasi Industri Semen PT X Metode Life Cycle Assessment (LCA) : Gate to Gate

Muhammad Riza Pahlevi dan Syadzadhiya Qotrunada Zakiyayasin Nisa*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi : syadzadhiya.tl@upnjatim.ac.id

Kata Kunci:

Asidifikasi, Life Cycle Assessment,
Produksi Semen

ABSTRAK

Potensi dari pertumbuhan ekonomi di dunia yang tinggi memiliki ancaman ekstrim terhadap berkurangnya pasokan energi, pemakaian bahan bakar fosil, gas berbahaya yang tinggi dan harga listrik. Industri semen merupakan salah satu penyumbang polusi udara terbesar di dunia karena tingkat konsumsi energi dan potensi emisi debu. Pencemaran udara terjadi jika komposisi zat-zat yg ada di udara melampaui ambang batas yang ditentukan. Adanya bahan-bahan kimia yang melampaui batas dapat membahayakan kesehatan. Salah satu dampak yang muncul dari proses produksi semen adalah terjadinya hujan asam atau asidifikasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan mengidentifikasi tahapan yang berkontribusi paling besar terhadap potensi dampak asidifikasi yang ditimbulkan dan menyajikan rekomendasi perbaikan dalam upaya penurunan dampak lingkungan pada proses produksi semen. Proses produksi semen diawali dengan tahap *Kiln Mill*, *Klin*, dan *Finish Mill*. Metode yang digunakan pada penelitian ini, yaitu *Life Cycle Assessment*. Ruang lingkup yang digunakan pada kajian ini, yaitu *gate to gate*. Data pada proses-proses produksi dianalisis melalui *software SimaPro 9.5*. Proses *Kiln Mill* merupakan tahapan dalam proses produksi semen yang menyumbang dampak asidifikasi terbesar dengan nilai 0,556 kgSO₂ eq/Ton. Alternatif program perbaikan yang disarankan, yaitu dengan penggunaan *Flue Gas Desulfurization (FGD) Tipe Basah* dan penanaman pohon di lingkungan industri.

Keyword:

Life Cycle Assessment, Cement
Production, Acidification

ABSTRACT

The high potential for economic growth in the world has extreme threats from reduced energy supplies, use of fossil fuels, high dangerous gases and electricity prices. According to the European Commission in 2010, the cement industry is an industry that requires heat and electrical energy, so around 40% of all operational costs are spent on energy procurement. The cement industry is one of the largest contributors to air pollution in the world due to the level of energy consumption and potential dust emissions. This is a major factor in the source of air pollution. Air emissions from the cement industry contain chemicals that are harmful to health and the environment. Air pollution occurs if the composition of substances in the air exceeds specified thresholds. The presence of chemicals that exceed the limits can endanger health. One of the impacts that arise from the cement production process is the occurrence of acid rain or acidification. The aim of this research is to analyze and identify the stages that contribute the most to the potential impact of acidification, and present recommendations for improvements in an effort to reduce the environmental impact of the cement production process. The cement production process begins with the *Kiln Mill*, *Clinker* and *Finish Mill* stages. The method used in this research is *Life Cycle Assessment*. The scope used in this study is *gate to gate*. Data on production processes is analyzed using *SimaPro 9.5* software. The *Kiln Mill* process is the stage in the cement production process that contributes to the largest acidification impact with a value of 0.556 kgSO₂ eq/ton. The recommended alternative repair program is the use of *Wet Type Flue Gas Desulfurization (FGD)* and planting trees in industrial environments.

1. PENDAHULUAN

Potensi pertumbuhan ekonomi di dunia yang tinggi memiliki ancaman ekstrim terhadap berkurangnya pasokan energi, pemakaian bahan bakar fosil, gas berbahaya yang tinggi dan harga listrik. Penghematan energi dan pengelolaan kemampuan lingkungan menjadi prioritas utama secara global (Yang *et al.*, 2011). Adaptasi dalam desakan

memenuhi produk yang dibutuhkan oleh manusia kadang kala menjadikan ekologi dan lingkungan hidup sebagai korban merupakan pengaruh dari pesatnya dunia industri masa ini (Sitorus *et al.*, 2012)

Industri semen berdasarkan *European Commission* tahun 2010 adalah industri yang memerlukan energi panas dan listrik sehingga sekitar 40% dari keseluruhan biaya operasional dihabiskan untuk pengadaan energi (Vito *et al.*, 2011). Industri semen merupakan salah satu penyumbang

polusi udara terbesar di dunia karena tingkat konsumsi energi dan potensi emisi debu. Hal ini menjadi faktor utama sumber polusi udara. Emisi udara dari industri semen mengandung zat-zat kimia yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan hidup, seperti CO, NO, SO, partikel-partikel dan beberapa mikropolutan (Anand *et al*, 2006). Selain adanya dampak gas rumah kaca, industri semen juga menghasilkan emisi lain, seperti NO_x, SO₂, PM, CO, dan lain-lain (Kuenen *et al*, 2016). Emisi ini juga memiliki potensi dampak asidifikasi dan dampak lainnya (Li *et al*, 2014).

Pencemaran udara terjadi jika komposisi zat-zat yg ada di udara melampaui ambang batas yang ditentukan. Adanya bahan-bahan kimia yang melampaui batas dapat membahayakan kesehatan manusia, mengganggu kehidupan hewan dan tumbuhan, serta terganggunya iklim (cuaca) dengan aktivitas manusia dan kemajuan teknologi terutama akibat proses pembakaran bahan bakar di industri atau kendaraan bermotor, maka banyak gas-gas yang dihasilkan dan bercampur dengan udara sebagai zat pencemar. Bahan kimia yang merupakan zat pencemar udara adalah karbondioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), sulfurdioksida (SO₂), oksida nitrogen (NO₂), senyawa hidrokarbon, dan partikulat logam berat (Pohan, 2002).

Secara umum, pemicu pencemaran udara memiliki kemiripan dengan pencemaran air. Polusi udara terjadi apabila tercampurnya udara di atmosfer dengan kandungan zat maupun radiasi yang memiliki imbas buruk pada organisme hidup. Pencemaran udara memiliki relasi yang kuat dengan kegiatan manusia sehari-hari yang mana tidak ada peninjauan kembali dari dampak lingkungan yang dihasilkan dari kegiatan pengolahan sumber daya alam. (Sastrawijaya, 2009).

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 tahun 1999, sulfur dioksida menjadi salah satu parameter pencemaran udara di mana zat ini memiliki bau yang tajam dan tidak termasuk zat yang *flammable*. SO₂ berasal dari proses pembakaran energi fosil yang memiliki kandungan sulfur (Wardhana, 2004). Menurut SK Gubernur Nomor 551 Tahun 2001, sulfur dioksida mempunyai baku mutu sebesar 900 µg/m³/1jam pengukuran (Pemerintah Daerah DKI, 2001). Sulfur dioksida (SO₂) di udara mempunyai dampak signifikan terhadap manusia akibat adanya sifat iritasi yang terkandung di dalamnya. Beberapa penyakit yang dapat ditimbulkan di antaranya adalah penyakit *emphisemia* dan *bronchitis*, serta penderita penyakit saluran pernapasan menjadi lebih parah keadaannya (Depkes, 2007)

Nitrogen oksida (NO_x) termasuk dalam kelompok gas yang terkandung di atmosfer terdiri atas nitrogen dioksida (NO₂) dan juga gas nitrik (NO). Terlepas dari adanya bentuk lain dari nitrogen oksida, tetapi kedua gas tersebutlah yang amat sering dijumpai menjadi polutan di udara. Nitrik oksida adalah gas yang tidak memiliki karakteristik fisik, tidak berwarna, dan tidak berbau. Nitrogen dioksida memiliki karakteristik fisik berwarna coklat kemerahan dan memiliki aroma yang menyengat. Bentuk dari senyawa NO_x, yaitu NO dan NO₂ merupakan senyawa yang berbahaya bagi manusia. Observasi aktivitas mortalitas dua senyawa tersebut menyatakan bahwa NO₂ berisiko empat kali lebih beracun dibandingkan dengan NO. Pada kuantitas normal pada atmosfer, NO tidak memberi dampak iritasi dan tidak berisiko, tetapi dalam konsentrasi udara ambien normal, NO

berpotensi teroksidasi menjadi NO₂ dan lebih beracun (I Gede Oka, 2013).

NH₃ atau senyawa yang disebut gas amonia adalah gas korosif, beracun, dan mengakibatkan iritasi. NH₃ mampu masuk ke dalam lajur inhalasi, ingesti, serta dermal di dalam tubuh manusia (BPOM, 2012). Pada umumnya, gas yang bisa bersarang di dalam tubuh adalah sebesar 78,3% melalui lajur inhalasi 21,7% serta melalui lajur ingesti. Gejala yang sering timbul akibat dari gas amonia adalah gejala ISPA sesak napas, batuk, jalan pernapasan kering, epifora (Hidayat, 2012)

Amonia memiliki karakter fisik tidak memiliki warna, tetapi terdapat aroma menyengat, bersifat korosif dan sangat beracun meskipun hanya dalam konsentrasi rendah (Suharto, 2011). Gas amonia mampu tercium aromanya pada kadar 0,003 ppm. *Chronic toxicity* amonia pada kadar >35 ppm mengakibatkan rusaknya organ paru-paru dan ginjal, menghambat pertumbuhan dan mengurangi kinerja otak serta penurunan kandungan darah (Rachmawati, 2000).

Dengan mengamati kegiatan eksploitasi sumber daya, jejak ekologi manusia secara global mengalami lonjakan eskalasi sebesar 80%. Saat ini sumber daya yang digunakan 1,2 kali lebih banyak dibandingkan dengan yang dapat diperbarui setiap tahun secara internasional (John *et al*, 2008). Eskalasi harga bahan baku dan bahan alami menjadi gambaran terjadinya kelangkaan sumber daya alam. Sebagai bukti peningkatan pemahaman lingkungan, industri dan pemilik bisnis melakukan penilaian dampak kegiatan industri terhadap lingkungan. Ramai perusahaan mencari taktik untuk melampaui kepatuhan menggunakan polusi strategi pencegahan dan sistem manajemen lingkungan untuk meningkatkan kinerja lingkungan dalam perusahaan (Jolliet *et al*, 2003). Salah satu langkah yang dapat dilakukan oleh industri adalah melaksanakan kegiatan produksi bersih.

Produksi bersih adalah ancangan yang dilakukan industri guna memangkas dampak produk dan produksi terhadap lingkungan melalui strategi *reduce, reuse, recycle* pada limbah. Kegiatan produksi bersih dapat diimplementasikan melalui kegiatan penilaian dampak siklus daur hidup dengan metode LCA. *Life Cycle Analysis* (LCA) atau sering juga disebut *Life Cycle Assessment* adalah sebuah metode berbasis *cradle to grave* (siklus tahapan produksi hingga pengolahan buangan) yang difungsikan agar diketahui kuantitas energi, anggaran, dan *impact* terhadap lingkungan akibat dari tahapan siklus hidup produk dari eksploitasi bahan baku hingga produk itu berakhir digunakan oleh konsumen. Setiap tahapan LCA dipaparkan melalui standar internasional (ISO 14040, ISO 14041). LCA merupakan salah satu cara penilaian siklus hidup (Jorgensen *et al*, 2008). Diterapkannya analisis LCA pada dampak proses produksi industri akan menjadikan munculnya titik kritis pemicu dampak pada lingkungan atau disebut dengan *hotspot* sehingga membuat industri lebih siap dalam mencari solusi dari dampak dengan baik dan benar.

SimaPro merupakan salah satu perangkat lunak yang mampu menjalankan melakukan pemeringkatan dan evaluasi dari dampak lingkungan dengan skema LCA. Keutamaan *SimaPro* adalah mampu menerapkan beraneka ragam proses dalam LCA, seperti pelaporan yang berkesinambungan, analisis *carbon footprint* dan *water footprint*, prosedur desain dari produk, pabrikasi produk yang bersifat *eco-friendly*, dan menentukan indikator kinerja primer. Selain

itu, kelebihan lain yang didapatkan dari *SimaPro* adalah sebagai berikut:

- (1) Mampu membuat model dan analisis daur hidup produk secara lengkap dan sistematis.
- (2) Mampu melakukan pengukuran dari dampak lingkungan yang dihasilkan produk atau layanan dari semua tahapan daur hidup produk.
- (3) Mampu mengenali banyak informasi krusial yang saling berhubungan pada rantai inventori, dari tahapan ekstraksi bahan baku sampai proses akhir produk.
- (4) Dilengkapi dengan bermacam-macam *inventory database* yang mendapat pembaruan, diantaranya: *Agri-footprint*, *Ecoinvent database*, *U.S. Life Cycle Inventory database*, *Swiss Input/Output database*, dan *inventory database* lainnya.
- (5) Memiliki berbagai metode analisis LCA pendukung, di antaranya: *Impact 2002+*, *Greenhouse Gas Protocol*, *ReCiPe 2016*, *Cummulative Energy Demand*, dan *Ecosistem Damage Potential*

SimaPro adalah *software* yang digunakan untuk mengumpulkan data, untuk menganalisis, dan memantau kinerja keberlanjutan produk dan jasa dari suatu perusahaan. *SimaPro* dapat digunakan untuk penilaian siklus hidup, pembuatan laporan mengenai *sustainability*, desain produk, menentukan indikator kinerja utama, dan lainnya. *SimaPro* dikembangkan untuk membantu dalam pengumpulan fakta dan menggunakan metode LCA untuk memberikan wawasan yang diperlukan untuk menciptakan nilai yang berkelanjutan. *SimaPro* telah menjadi perangkat lunak LCA terkemuka di dunia selama 25 tahun dan dipercaya oleh industri dan akademisi di lebih dari 80 negara (www.SimaPro.co.uk).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk 1) menganalisis dan mengidentifikasi tahapan yang berkontribusi paling besar terhadap potensi dampak asidifikasi yang ditimbulkan, dan 2) menyajikan rekomendasi perbaikan dalam upaya penurunan dampak lingkungan pada proses produksi semen

2. METODE PENELITIAN

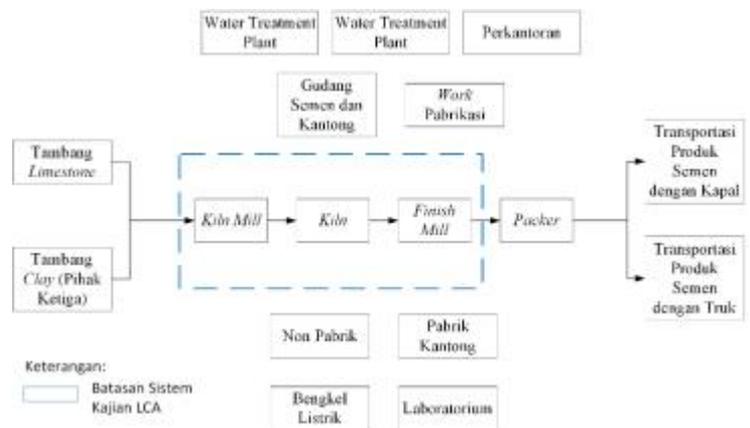
Metode penelitian yang akan dilakukan dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu tahap identifikasi masalah, perumusan masalah, penentuan tujuan dan manfaat, identifikasi input penelitian, perhitungan LCA, analisis, dan penutup.

Tahapan awal dalam kajian LCA adalah dengan tahapan penentuan dimulai dengan tahap penentuan limitasi dari kajian dan penghimpunan data primer dan sekunder dari penelitian. Data primer merupakan data yang didapatkan berdasarkan kondisi terkini dari industri pada bagian produksi dan data lain daur hidup sistem produk yang diteliti. Data sekunder adalah data yang didapatkan dan tersedia secara umum seperti database komersial dan database gratis, jurnal, dan spesifikasi alat yang mana data tersebut memenuhi dan masih berkorelasi dengan kualitas data.

Software yang dipakai dalam analisis LCA adalah *SimaPro* versi 9.5. Metode yang dipakai untuk penelitian ini yaitu CML-IA *baseline*. CML-IA *Baseline* merupakan salah satu sistem penilaian dampak yang disempurnakan pada tahun 2001 oleh Institut Lingkungan Hidup dalam Universitas Leiden di Belanda (Acero *et al*, 2016). Dalam metode CML-IA terdapat klasifikasi, karakteristik, dan

normalisasi (opsional). Metode CML-IA terbagi atas dua tipe, yaitu *baseline* dan *non-baseline*. CML-IA *baseline* merupakan kategori dampak yang paling biasa digunakan dalam analisis LCA. Metode CML-IA termasuk dalam kategori *midpoint* yang mana merupakan dampak langsung pada lingkungan dan menjadi kategori dampak primer sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 1 Tahun 2021 tentang Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Dampak yang dimaksud antara lain, potensi pemanasan global, potensi penipisan ozon, potensi hujan asam, dan potensi eutrofikasi.

Tahapan dalam analisis dampak lingkungan dengan menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA) terbagi menjadi 4 bagian, yaitu *goal and scope*, *life cycle inventory*, *life cycle impact assessment*, dan *intrepretation*. *Goal and scope* adalah batasan-batasan mengenai tujuan dan cakupan atau ruang lingkup analisis masalah. Ruang lingkup dari pembahasan analisis ini, yaitu secara *gate to gate*, dari *gate Kiln Mill*, Klinker, hingga *Finish Mill*, sedangkan unit fungsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 382.563 ton semen.



Gambar 1. Cakupan Analisis Pabrik Semen PT X

Setelah *goal and scope*, dilanjutkan dengan tahapan *life cycle inventory*, yaitu merupakan tahapan pengumpulan dan penyusunan inventori data melalui pengumpulan seluruh *input* dan *output* yang dipakai dalam proses produksi. Data yang dipakai sebagai penerapan ini dikelompokkan dalam dua kategori, yaitu primer dan sekunder. Data primer merupakan data yang didapatkan berdasarkan kondisi terkini dari industri pada bagian produksi dan data lain daur hidup sistem produk yang diteliti, misalnya data pada bagian penerimaan bahan baku, penggunaan energi, emisi yang dihasilkan, pemakaian bahan bakar, produk yang dihasilkan, dan lain-lain. Data sekunder adalah data yang didapatkan dan tersedia secara umum seperti database komersial dan database gratis, jurnal, dan spesifikasi alat yang mana data tersebut memenuhi dan masih berkorelasi dengan kualitas data.

Tahapan selanjutnya adalah *Life Cycle Impact Assessment*. Tahapan ini merupakan penilaian mengenai dampak yang diakibatkan oleh kegiatan produksi semen berdasarkan data *input* dan *output* yang telah diaosiasikan pada tahap LCI (*life Cycle Inventory*).

Interpretation atau interpretasi adalah tahapan keempat dalam analisis LCA. Tahap ini bertujuan untuk menentukan rekomendasi-rekomendasi perbaikan yang bisa diaplikasikan secara efektif dan efisien agar terjadi penyusutan maupun menghilangkan kategori dampak (negatif) yang dikeluarkan selama proses produksi berlangsung.

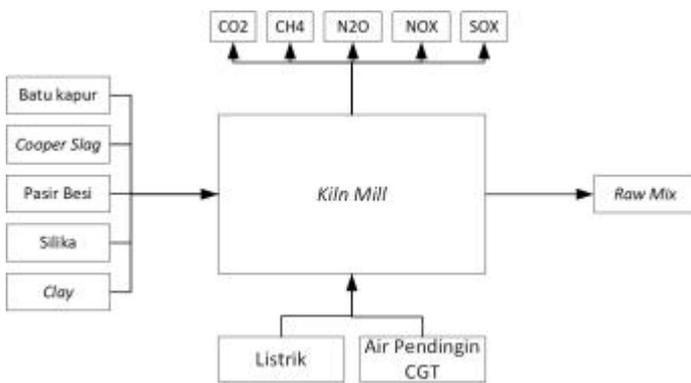
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses produksi semen dimulai dengan tahap *Kiln Mill*, Klinker, dan *Finish Mill*. Tahapan olah data dilakukan dengan *software SimaPro 9.5*. Berikut ini adalah pembahasan dari setiap *gate*.

3.1 Life Cycle Inventory

3.1.1 Kiln Mill

Campuran bahan baku material yang akan digunakan untuk proses pembuatan semen yang diperoleh dari kegiatan penambangan sebelumnya digiling dalam *gate kiln mill*. Hasil dari proses penggilingan ini adalah berupa *kiln mix* atau *kiln meal*. Hasil ini selanjutnya ditransportasikan ke separator untuk pemisahan antara material kasar dan halus. Material halus diteruskan ke *silos kiln mix*, sedangkan material kasar akan dikembalikan ke *kiln mill*. *Kiln mix* atau *kiln meal* ini selanjutnya dimasukkan ke dalam *homogenizing silo* untuk dihomogenkan campurannya agar dapat diperoleh kualitas yang lebih baik. *Kiln meal* yang homogen selanjutnya diumpungkan ke dalam *kiln* dan disebut dengan *kiln feed*.



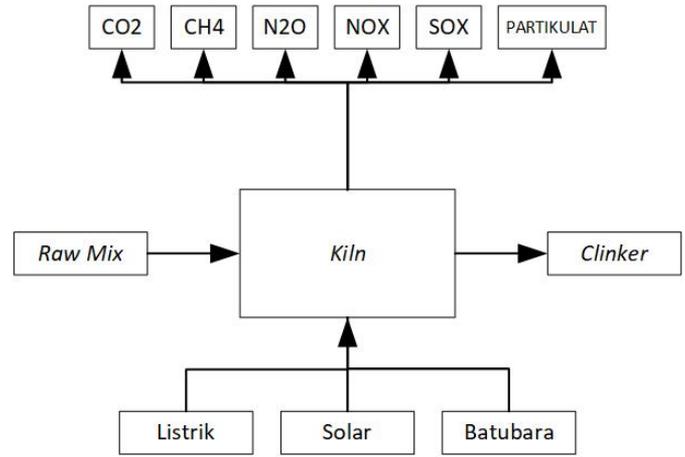
Gambar 1. Diagram Proses Kiln Mill

3.1.2 Kiln

Setelah *gate Kiln Mill*, maka dilanjutkan dengan proses pembuatan *clinker* dengan proses pembakaran melalui tahapan *Kiln*. Setidaknya terdapat 6 (enam) sub komponen kegiatan dalam proses pembuatan klinker, yaitu:

- (1) Transport *kiln meal* dari *Kiln Mix Silo* ke *Kiln*
- (2) Transport batu bara ke *Coal Mill*
- (3) Penggilingan batu bara di *Coal Mill*
- (4) Transport batu bara halus dari *Coal Mill* ke *Kiln*
- (5) Pembakaran *kiln mix* di *Kiln*
- (6) Penyimpanan *clinker* di *clinker Silo*

Pembuatan klinker dimulai dari *Kiln Feed* dalam *Kiln* (tanur putar). Hasil dari pembakaran *kiln feed* dengan adanya bahan bakar batu bara disebut *clinker*. Selanjutnya, *clinker* akan ditransporatsikan menuju ke dalam *clinker silo*.



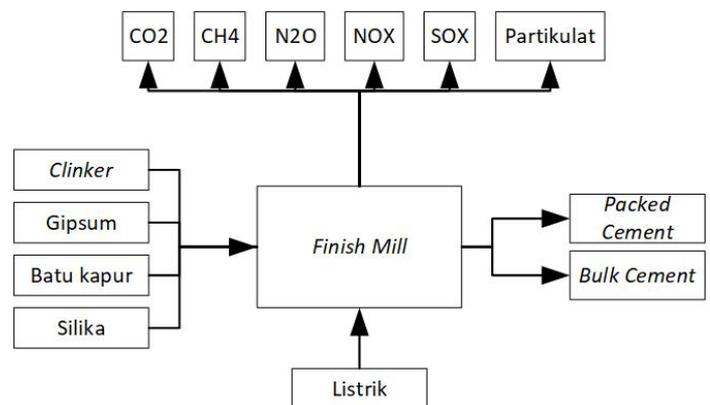
Gambar 2. Diagram Proses Kiln

3.1.3 Finish Mill

Proses pembuatan semen terdiri beberapa tahap kegiatan, yaitu:

- (1) Transportasi *clinker* dari *clinker silo* ke *Cement Mill*;
- (2) Pencampuran *clinker* dengan *gypsum* dan bahan tambahan lainnya seperti *fly ash*, *pozzolan*, *limestone* di *Cement Mill*;
- (3) Penggilingan semen di *Cement Mill*;
- (4) Transportasi semen ke *Cement Silo*

Proses pembuatan semen dimulai dengan *clinker* yang terdapat di *clinker silo* yang selanjutnya ditransportasikan ke *Cement Mill*. Di dalam *Cement Mill*, *clinker* dicampur dengan 3-5% *gypsum* dan digiling untuk menghasilkan semen dengan kehalusan yang mempunyai luas permukaan minimal 3.400 cm² /gram. Sistem penggilingan dilengkapi dengan alat penangkap debu (*dust collector*) untuk menangkap partikel-partikel semen yang sangat halus. Selanjutnya semen ditransportasikan ke *cement silo*. Semen di dalam *cement silo* kemudian sebagiannya ditransportasikan ke tempat pengantongan semen (kemasan kantong) dan sebagian lainnya ditransportasikan sebagai semen curah.



Gambar 3. Diagram Proses Finish Mill

3.2 Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Penilaian dampak daur hidup dilakukan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 01 Tahun 2021 tentang Aspek *Life Cycle Assessment, Product Category Rules* (PCR) Produk Semen Asosiasi Semen Indonesia (ASI) dan Buku Pedoman Penyusunan Laporan Penilaian Daur Hidup (LCA) oleh Sekretariat PROPER – Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia yang mana salah satu metode yang digunakan dalam proses analisis LCA, yaitu CML-IA *Baseline*. Versi yang digunakan adalah CML-IA *Baseline* V3.09. Kategori dampak sesuai dengan persyaratan PermenLHK No. 01 Tahun 2021, yaitu terdapat lima dampak primer dan tujuh dampak sekunder. Lima dampak primer di antaranya adalah *Global Warming Potential*, Penipisan Ozon, Asidifikasi, Eutrofikasi, *Non Renewable Energy*, sedangkan yang termasuk dampak sekunder di antaranya adalah *Photochemical Oxidation*, Penurunan Abiotik (fosil dan non-fosil), Penurunan Biotik (*terrestrial ecotoxicity* dan *aquatic ecotoxicity*), Karsinogenik, *Toxicity*, *Water Footprint*, dan *Land Use Change*

Kategori dampak asidifikasi merupakan salah satu dampak wajib atau primer dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 1 Tahun 2021. Hasil dari identifikasi isu penting atau penilaian dampak lingkungan berdasarkan kategori dampak asidifikasi yang berasal dari proses produksi oleh industri semen PT X dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Penilaian Dampak Proses Industri Semen PT X.

Gate	Satuan	Nilai
Kiln Mill	kgSO ₂ eq/Ton	0,556
Kiln	kgSO ₂ eq/Ton	0,494
Finish Mill	kgSO ₂ eq/Ton	0,373

3.3 Interpretasi

Analisis isu kategori dampak penting menggunakan dasar pertimbangan dampak seperti tercantum dalam PermenLH No. 01 Tahun 2021 berupa dampak primer dan sekunder. Pertimbangan menetapkan isu penting terutama menggunakan kategori dampak primer (dampak *global warming potential* (GWP), potensi penipisan lapisan ozon, potensi hujan asam, potensi eutrofikasi, dan *cumulative energy demand* (CED) atau dampak pemakaian energi). Identifikasi isu penting dampak asidifikasi masing-masing *gate* yang ada pada Tabel 1.

Dampak potensi asidifikasi disebabkan oleh dominan adanya emisi sulfur dioksida, nitrogen oksida, dan amonia. Sesuai hasil analisis dampak dari industri semen PT X kontributor potensi asidifikasi pada proses *gate* berasal dari kegiatan produksi semen.

Tabel 2. Kontributor Dampak Asidifikasi Industri Semen PT X.

Substance	Satuan	Kiln Mill	Kiln	Finish Mill
Sulfur Dioxide	%	61,612	62,963	59,930
Nitrogen Oxides	%	33,175	35,291	35,296
Amonia	%	1,422	1,7460	1,812

Dampak potensi asidifikasi dari proses *gate* karena adanya penggunaan bahan bakar dan penggunaan listrik. Persentase substansi dampak potensi asidifikasi terbesar dari setiap *gate* proses produksi semen didominasi oleh sulfur dioksida dengan menyumbang kontribusi antara 50-60%. Sesuai dengan pendekatan *Pareto Rules* di mana jika kontributor lebih dari 80%, maka akan memengaruhi hasil analisis dampak yang diperoleh.

Berdasarkan Tabel 1, *gate Kiln Mill* memiliki nilai asidifikasi yang tinggi merupakan *gate* menghasilkan dampak asidifikasi paling besar. Dari hasil di atas diinterpretasikan bahwa *hotspot* dari dampak Asidifikasi terdapat pada unit proses *Kiln Mill*.

3.4 Rekomendasi Perbaikan

Hasil analisis kajian proses produksi industri semen PT X menunjukkan bahwa terdapat dampak yang dihasilkan yang mana pada penelitian ini adalah asidifikasi. Timbulnya dampak lingkungan akibat adanya proses produksi semen akan terus berlanjut jika tidak ada upaya perbaikan. Oleh karena itu, perlu dibuat program rekomendasi. Rekomendasi program yang dapat dilakukan sebagai upaya dalam mengurangi dampak lingkungan dari PT Semen Padang antara lain :

(1) Penggunaan *Flue Gas Desulfurization* (FGD) Tipe Basah. Dari hasil analisis di atas dapat diinterpretasikan bahwa *hotspot* dari dampak asidifikasi adalah dari *gate Kiln Mill* dengan salah satu substansi yang memiliki nilai kontribusi tinggi adalah sulfur dioksida. Pelepasan sulfur dioksida yang berkombinasi dengan oksigen dan air yang terdapat pada atmosfer akan membentuk asam sulfat (H₂SO₄). Gas tersebut dapat memiliki potensi berbahaya bagi lingkungan, salah satunya adalah hujan asam. Salah satu upaya yang digunakan untuk mendegradasi kandungan sulfur dioksida dari *flue gas* (gas buang) atau dikenal dengan *flue gas desulfurization* (FGD).

Mekanisme FGD mendegradasi gas buang dengan jenis sulfur dioksida dengan penyemprotan *limestone* masuk ke dalam aliran *flue gas*. sebelum dibuang melalui pipa cerobong, *flue gas* buang dari proses pembakaran dimasukkan ke FGD kemudian disemprotkan udara sehingga terjadi oksidasi menjadi SO₃. Setelah Oksidasi, dilakukan tindakan pendinginan menggunakan air agar terjadi reaksi sehingga mengubahnya menjadi H₂SO₄ kemudian didinginkan dengan menggunakan air (H₂O) agar bereaksi menjadi asam sulfat (H₂SO₄) yang kemudian direaksikan menggunakan batu kapur sehingga tercipta pemisahan berupa *gypsum*. Kemudian, gas yang akan dibuang adalah berupa uap air tanpa ada kandungan oksida sulfur

(Purnamasari, 2017).

Wet scrubber adalah tipe FGD yang sering dipakai disebabkan oleh efisiensi yang maksimal dan produk olahan yang dihasilkan berupa *gypsum* sintesis dengan kualitas tinggi. Kelebihan penggunaan FGD *wet scrubber* adalah daya guna dengan presentase lebih dari 90% dan adanya kemampuan tinggi dalam penyerapan *scrubber* yang tinggi. Menurut EPA-CICA *United State EPA452/F-03-034*, berikut ini adalah keuntungan menggunakan FGD, yaitu:

- Adanya kemampuan FGD dalam menurunkan sulfur dioksida antaras ekitar 50 - 98%
- Hasil produksi FGD bisa diberdayakan lagi
- Proses modifikasi atau retrofit FGD memiliki tingkat kerumitan level menengah hingga rendah
- Mudah dan tersedianya *reagent* yang dibutuhkan

(2) Penanaman Pohon di Lingkungan Industri Semen PT X. Tanaman mampu mendegradasi polutan udara melalui oksigenisasi (Grey & Deneke, 1978). Oksigen dihasilkan oleh tanaman, kemudian terjadi proses pencampuran antara oksigen dengan polutan udara yang melewati sekitar tanaman sehingga membuat udara di sekitar tanaman menjadi bersih. Tanaman merupakan penyaring udara yang mampu menyerap gas polutan, seperti SO₂ dan HF serta polutan lain di udara dalam jumlah tertentu tanpa memperlihatkan efek kerusakan.

Tanaman yang memiliki tingkat efektivitas tinggi dalam penyerapan gas adalah tanaman yang memiliki banyak stomata, dapat bertahan terhadap gas tertentu, dan tidak memiliki waktu pertumbuhan lama. Selain itu, pola penanaman tanaman penyerap polusi harus memiliki ketahanan yang tinggi terhadap pengaruh udara. Penelitian pada jalan di Frankfurt oleh Bernatzky mendapat kesimpulan bahwasanya jalan dengan pohon terdapat sekitar 3000 partikel/liter (*quart*) udara, sedangkan jalan tanpa pohon memiliki sekitar 10000-12000 partikel/liter udara (Harris *et al*, 1999).

Jenis pohon yang memiliki kemampuan untuk menyerap polusi secara efektif adalah pohon yang memiliki tingkat kepadatan tajuk yang baik, terdiri atas campuran semak dan perdu, dan tanaman penutup tanah dan memiliki jumlah daun yang banyak. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Al-Hakim (2014) jenis pohon yang memiliki tingkat kesesuaian yang sangat tinggi dalam penyerapan polutan gas adalah diantaranya terdapat akasia flamboyan (*Delonix regia*), bunga kupu-kupu (*Bauhinia purpurea*), (*Acacia mangium*), kerai payung (*Fillicium decipiens*), angsana (*Pterocarpus indicus*), biola cantik (*Ficus lyrata*), glodogan tiang (*Polyalthia longifolia*), ki hujan (*Samanea saman*), dan mahoni (*Swietenia mahagoni*). Jenis pohon tersebut mempunyai level kepadatan tajuk yang baik dan digabung dengan tanaman semak, perdu, serta tanaman penutup tanah. Selain itu, sembilan jenis pohon tersebut memiliki ciri fisik yang menunjang terjadinya penyerapan polutan berasal dari daun yang tipis dan berjumlah banyak.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diambil beberapa konklusi. Asidifikasi merupakan salah satu dampak yang dihasilkan dari proses produksi semen. Dampak ini disebabkan karena adanya emisi sulfur dioksida, nitrogen

oksida dan amonia. Kontributor asidifikasi pada *gate* berasal dari kegiatan produksi semen dengan *hotspot* terjadi pada *gate Kiln Mill* dan kontributor tertinggi dari terjadinya asidifikasi adalah sulfur dioksida. Dampak asidifikasi dari proses *gate* karena adanya penggunaan bahan bakar listrik. Alternatif program perbaikan untuk mengurangi dampak asidifikasi pada lingkungan yang ditimbulkan dari adanya proses produksi di industri semen yaitu dengan penggunaan *Flue Gas Desulfurization* (FGD) Tipe Basah dan juga penanaman pohon di lingkungan industri semen PT X

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak ucapan terima kasih kepada seluruh jajaran civitas Prodi Teknik Lingkungan UPN "Veteran" Jawa Timur dan CV Hijau Asri yang telah memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Acerro, A. P., Rodríguez, C., & Ciroth, A. (2016). *LCIA Methods. Impact Assessment Methods in Life Cycle Assessment and Their Impact Categories*. GreenDelta.
- Al-Hakim, A. H. (2014). *Evaluasi Efektivitas Tanaman Dalam Mereduksi Polusi Berdasarkan Karakter Fisik Pohon pada Jalur Hijau Jalan Pajajaran Bogor*. [Skripsi, Institut Pertanian Bogor]. Repository IPB.
- Anand, S., Vrat, P., & Dahiya, R. (2006). Application of a System Dynamics Approach For Assessment And Mitigation of CO₂ Emissions From The Cement Industry. *Journal of Environmental Management*, 79(4), 383-398.
- Badan Pengawas Obat dan Makanan RI. (2012). *Amoniak*. Badan Pengawas Obat dan Makanan.
- Departemen Kesehatan Republik Indonesia. (2007). *Parameter Pencemar Udara Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan*. Depkes RI.
- Gubernur DKI Jakarta. (2001). Surat Keputusan (SK) Gubernur DKI Jakarta No. 551 Tahun 2001 tentang Baku Mutu Udara Ambien dan Baku Mutu Tingkat Kebisingan
- Grey, G.W., & Deneke, F.J. (1978). *Urban forestry*. John Wiley and Sons, Inc.
- Harris, R.W., Clark, J.R., & Matheny, N. P. (1999). *Arboriculture*. Prentice Hall, Inc.
- Hidayat, S., Yunus, F., & Susanto, A. D. (2012). Pengaruh Polusi Udara dalam Ruang Terhadap Paru. *Continuing Medical Education*, 39(1), 8-14.
- Reap, J., Roman, F., Duncan, S., & Bras, B. (2008). A survey of Unresolved Problems in Life Cycle Assessment: Part 2: Impact Assessment And Interpretation. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13, 374-388.
- Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., & Rosenbaum, R. (2003). IMPACT 2002+: a New Life Cycle Impact Assessment Methodology. *The international journal of life cycle assessment*, 8, 324-330.

- Jorgensen, A., Le Bocq, A., Nazarkina, L., Hauschild, M. (2008). Methodologies for Social Life Cycle Assessment. *Int J LCA*, 13(2). 96–103.
- Kuenen, J., Berdowski, J., Van der Most P., Boer, R.W., Rentz, O., Oertel, D., Pacyna, J.M., Pierce, M., Trozzi, C., Pulles, T., & Appelman, W. (2016). *Cement Production EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016: NFR 2.A.1*. European Environment Agency.
- Pohan, N. (2002). Pencemaran Udara dan Hujan Asam.
- Rachmawati, S. (2000). Upaya Pengelolaan Lingkungan Usaha Peternakan Ayam. *Wartazoa*, 9(2), 73-80.
- Sastrawijaya, A. T. (2009). *Pencemaran Lingkungan*. Rineka Cipta
- Sitorus, Marham, Sutiani, & Ani. (2012). *Pengelolaan dan Manajemen Laboratorium Kimia*. Graha Ilmu.
- Suharto, I. (2011). *Limbah Kimia dalam Pencemaran Udara dan Air*. Andi.
- Vito, A., Dangelico, M. R., Natallicio, A., & Yazan, M. D., (2011). Alternative Energy Source in Manufacturing Cement, Department of Mechanical and Management Engineering, Politecnico di Bari, Italy.
- Wardhana, W. A. (2004). *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Penerbit Andi.
- Yang, F., Liu, Q., Bai, X., & Du, Y. (2011). Conversion of Biomass into 5- Hydroxymethylfurfural Using Solid Acid Catalyst. *Bioresource Technology*, 102, 3424-3429.