

Kajian Dampak Lingkungan pada Proses Produksi Pupuk NPK di PT. X Menggunakan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA)

Aprilia Putri Ningrum

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

Email Korespondensi (Penulis): 20034010005@student.upnjatim.ac.id

Kata Kunci:

Industri Pupuk, Life Cycle Assessment (LCA), Pencemaran Lingkungan, software

ABSTRAK

Industri pupuk merupakan sektor strategis yang dapat meningkatkan perekonomian negara. Sebab, industri pupuk mempunyai peranan penting dalam meningkatkan produksi sektor pertanian sehingga akan menunjang program ketahanan pangan nasional di masa depan. NPK merupakan pupuk majemuk yang tersusun dari berbagai unsur yang dibutuhkan tanaman, antara lain nitrogen, fosfor, dan kalium. Secara garis besar proses pembuatan pupuk NPK terdiri dari *Raw Material Feeding, Pre-Neutralizer, Granulator, Dryer, Screening, Cooler, Polishing Screen, Coater, Recycle System, Scrubber, Bagging Plant*. Namun semakin berkembangnya industri pupuk dan aktivitas industri juga mempengaruhi perubahan lingkungan, seperti kualitas air, tanah dan udara. Metode penilaian siklus hidup (LCA) adalah alat analisis yang cocok untuk mengurangi polusi dan dampak lingkungan selama siklus hidup produk. Penelitian ini menggunakan software Open LCA 1.11.0. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana dampak lingkungan dari proses LCA dengan pendekatan *door-to-door* pada saat produksi.

Keyword:

Fertilizer Industry, Life Cycle Assessment (LCA), Environmental Pollution, software.

ABSTRACT

The fertilizer industry is a strategic sector that can improve the country's economy. This is because the fertilizer industry has an important role in increasing production in the agricultural sector so that it will support the national food security program in the future. NPK is a compound fertilizer composed of various elements that plants need, including nitrogen, phosphorus and potassium. In general, the process of making NPK fertilizer consists of Raw Material Feeding, Pre-Neutralizer, Granulator, Dryer, Screening, Cooler, Polishing Screen, Coater, Recycle System, Scrubber, Bagging Plant. However, the growing development of the fertilizer industry and industrial activities also affects environmental changes, such as the quality of water, soil and air. The life cycle assessment (LCA) method is a suitable analytical tool for reducing pollution and environmental impacts during the product life cycle. This research uses Open LCA 1.11.0 software. The aim of this research is to determine the extent of the environmental impact of the LCA process using a door-to-door approach during production.

1. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan salah satu industri yang potensial untuk dikembangkan di Indonesia. Pupuk merupakan salah satu hal yang dapat meningkatkan kualitas industri ini. Pupuk merupakan suatu bahan yang ditambahkan pada media tanam atau tanaman untuk memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman guna meningkatkan efisiensi produksi. Pupuk sering kali ditambahkan ke tanah untuk menyediakan satu atau lebih unsur yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Tanaman membutuhkan berbagai macam unsur antara lain C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, dll untuk pertumbuhan dan pembuahan yang optimal. Di antara unsur-unsur yang dibutuhkan tanaman, unsur N, P, dan K merupakan unsur yang paling penting dalam tumbuhan. Nitrogen merupakan komponen asam nukleat, protein, enzim biologis dan klorofil

(E. Sumiati 1983). Unsur N, P, dan K merupakan unsur pelengkap yang paling dibutuhkan oleh tanaman.

Elemen-elemen ini dapat diperkenalkan secara terpisah atau sekaligus. Unsur N sendiri dapat diberikan dalam bentuk pupuk amonia cair (NH₃) atau pupuk urea (CO₂(NH₂)₂), sedangkan unsur P dapat diberikan dalam bentuk pupuk TSP (triple superfosfat) atau pupuk NSP (superfosfat biasa) dan dapat digunakan unsur K. sebagai pupuk MOP (pupuk kalium). Selain diberikan secara terpisah, ketiga unsur tersebut juga dapat diberikan secara bersamaan dalam satu pupuk. Pupuk yang mengandung banyak bahan utama disebut pupuk majemuk. Jika unsur utama dalam pupuk adalah N, P dan K maka disebut pupuk NPK.

Proses produksi pupuk NPK menggunakan bahan kimia dalam seluruh operasionalnya dan menghasilkan emisi pada unit pengolahannya. Keberadaan industri pupuk dapat

menimbulkan pencemaran udara terutama dari sumber emisi gas rumah kaca, termasuk emisi dari sektor industri. Terdapat 3 sumber emisi gas rumah kaca di sektor industri: 40% konsumsi energi, 60% teknologi pengolahan, dan limbah industri. Target NDC 2030 mampu menurunkan emisi gas rumah kaca pada sektor industri (0,10%). Terdapat delapan subsektor industri yang menyumbang emisi gas rumah kaca paling besar, termasuk industri pupuk.

Industri pupuk menyumbang emisi gas rumah kaca yang cukup tinggi dari sisi konsumsi energi karena penggunaan bahan baku berupa solar dan beberapa industri pupuk menghasilkan amonia. Emisi gas rumah kaca dari industri pupuk antara lain karbon dioksida (CO₂) yang dapat merusak lapisan ozon, dan metana (CH₄) yang menyebabkan hujan asam. Kedua gas ini dihasilkan dari aktivitas konsumsi energi, proses industri, dan limbah.

Salah satu cara untuk mengetahui besarnya dampak adalah dengan melakukan penilaian dampak menggunakan Life Cycle Analysis (LCA) untuk setiap proses produksi. Penilaian siklus hidup (LCA) adalah metode yang digunakan untuk mengetahui seluruh dampak lingkungan dari aktivitas produksi suatu produk, dengan menggunakan pendekatan holistik pada setiap tahapannya. Bahan masukan dan keluaran, produk sampingan dan penggunaan sumber daya semuanya diperlukan dalam proses LCA. Sampai bahan baku habis, bahan baku tersebut juga dievaluasi oleh LCA. Pendekatan Penilaian Siklus Hidup (LCA) melibatkan identifikasi, pengukuran, evaluasi, dan kuantifikasi energi yang dikonsumsi, bahan mentah yang digunakan, emisi, dan masalah lain selama siklus hidup suatu produk. Analisis life cycle assessment (LCA) dapat dijadikan salah satu alternatif untuk mengurangi limbah dan mengelola sisa proses produksi

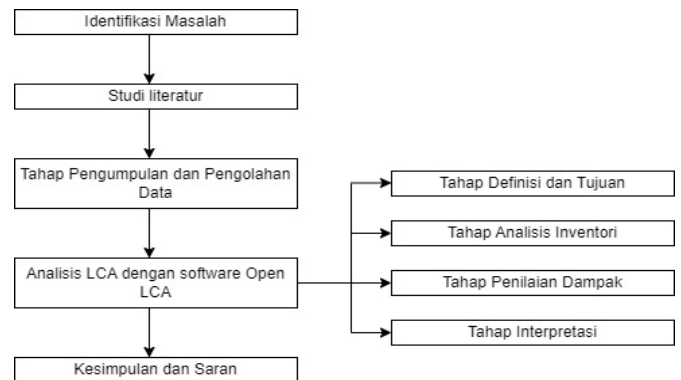
Untuk menjamin produksi yang optimal, perlu diatur peraturan-peraturan lingkungan. Hal ini sejalan dengan menurunnya kehandalan pabrik NPK. Langkah-langkah pencegahan harus diambil untuk mengendalikan emisi udara buang yang disebabkan oleh proses produksi NPK Pabrik X. Singkatnya, penilaian siklus hidup adalah metode kerja untuk memprediksi dan menganalisis dampak lingkungan yang berkelanjutan dari proses produksi. Tujuan dari metode LCA adalah untuk mengetahui dampak dari setiap komponen proses produksi untuk meminimalkan kerusakan lingkungan. Keuntungan dari penilaian siklus hidup adalah potensi dampak lingkungan dapat dianalisis secara komprehensif (Wahyudi, n.d.).

Keuntungan menggunakan metode LCA adalah dapat memahami informasi rinci mengenai dampak lingkungan dari proses manufaktur untuk mengidentifikasi perbaikan atau inovasi terbaik untuk mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan efisiensi bisnis secara optimal. Perangkat lunak yang digunakan untuk mengetahui tingkat dampak lingkungan pada proses LCA adalah Open LCA 1.11.0 karena dapat membantu menerapkan keterampilan LCA secara efektif, mengambil keputusan yang tepat dan mengubah siklus hidup produk menjadi produk yang lebih baik (Bagaswara dan Yuswono, 2017).

2. METODE PENELITIAN

Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan saat pelaksanaan penelitian, mulai dari identifikasi masalah, studi literatur,

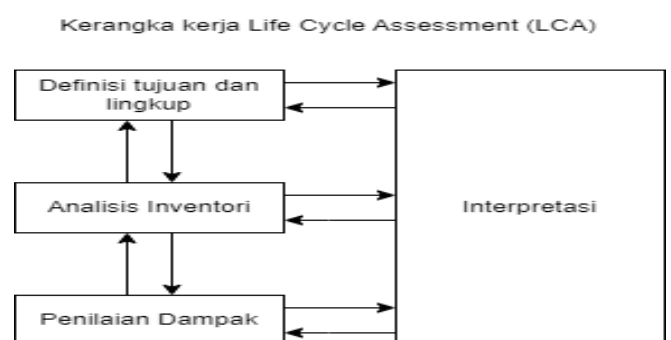
tahap pengumpulan dan pengoahan data primer, lalu dianalisis dengan metode Life Cycle Assessment (LCA) dengan menggunakan *software Open LCA 1.11.0*. Setelah itu didapatkan hasil dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses produksi pupuk NPK. Diagram tahapan pelaksanaan penelitian bisa dilihat gambar di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Perencanaan Sistem Kontrol
Sumber : Dokumen Pribadi Penulis

2.1 Prinsip Kerja

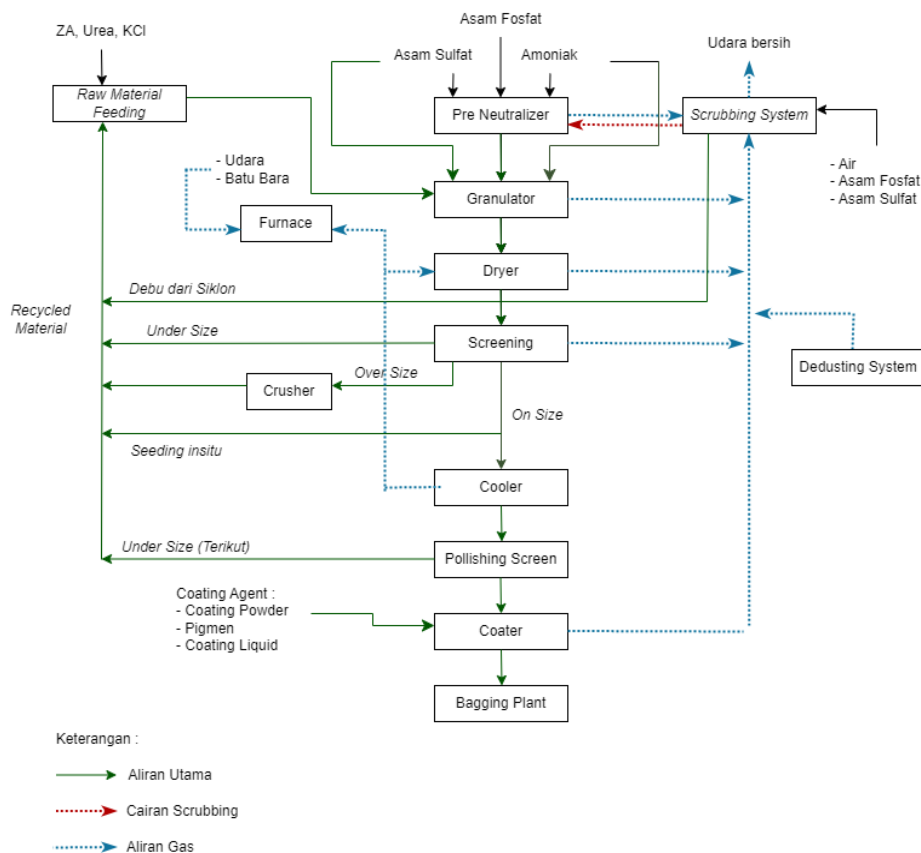
Penelitian ini menggunakan metode LCA untuk mengetahui sejauh mana dampak lingkungan selama produksi pupuk NPK. life cycle assessment (LCA) dilakukan untuk mengidentifikasi dan menganalisis dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh setiap tahapan siklus hidup produksi pupuk NPK. Ruang lingkup yang digunakan dalam penelitian ini adalah gate to gateway yaitu ruang lingkup proses pembuatannya. Beberapa tahap yang perlu dilakukan, yaitu penentuan goal and scope, inventarisasi, penilaian dampak, dan interpretasi. Berikut ini kerangka tahapan life cycle assessment pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Kerangka Tahapan Life Cycle Assessment (LCA)

Sumber gambar: SNI ISO 14040 : 2016

Analisis LCA terhadap proses produksi pupuk NPK dilakukan secara gate to gate. Ini terdiri dari sebelas proses produksi inti: 1) Raw Material Feeding, 2) Pre Neutralizer 3) Granulator, 4) Dryer 5) Screening, 6) Cooler, 7) Polishing Screen, 8) Coater, 9) Recycle System, 10) Scrubber, 11) Bagging Plant. Dengan cakupan penelitian hanya meliputi proses produksi Pupuk NPK yang batasannya dari bahan baku dimasukkan hingga produk yang dihasilkan. Untuk diagram proses produksi dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Flow Diagram Pupuk NPK

Sumber gambar : Google Search

2.2 Metode ReCiPe Midpoint (2016)

Metode *recipe* memiliki tujuan utama yaitu menyediakan metode yang menggabungkan *Eco-Indicator 99* dan *CML*, dalam versi yang diperbarui. *Recipe* membedakan dua tingkatan indikator: Indikator *midpoint*, dan indikator *endpoint* dengan pada kategori kerusakan kesehatan manusia, ekosistem dan ketersediaan sumber daya alam (Acero et al., 2016).

Indikator fokus terdiri dari 18 dampak fokus yang lebih fokus pada isu lingkungan individu, seperti perubahan iklim atau penipisan ozon. Indikator titik akhir memiliki 3 efek titik akhir yang menunjukkan pengaruh lingkungan pada tingkat klasifikasi yang lebih tinggi. Kategori tersebut adalah kesehatan manusia (dampak pada kesehatan manusia), "lingkungan" ekosistem dan sumber daya (kelangkaan sumber daya). Metode menggabungkan pendekatan berorientasi masalah dan berorientasi kerusakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah metodologi penelitian selesai, dilakukan analisis sistematis dan ditentukan besarnya dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh proses produksi pupuk NPK dengan menggunakan analisis perangkat lunak. Data yang diperoleh diolah dan dianalisis untuk evaluasi dengan menggunakan *software Open LCA 1.11.0*.

3.1 Definisi Tujuan dan Ruang Lingkup

Sebelum menentukan tujuan dan ruang lingkungnya, perlu didefinisikan konsep unit fungsional yang bersangkutan. Unit

fungsional penelitian ini adalah produksi pupuk NPK dalam 1 ton/tahun. Tujuan yang ingin dicapai adalah mengidentifikasi, mengevaluasi dan membandingkan komponen atau tahapan proses produksi pupuk NPK. Ruang lingkup yang digunakan adalah pendekatan *gate to gate life cycle analysis (LCA)* dengan melihat lokasi operasional terdekat, khususnya proses produksi pupuk NPK.

3.2 Analisis Inventori

Proses pembuatan pupuk NPK meliputi 11 tahapan yaitu 1) Raw Material Feeding, 2) Pre Neutralizer 3) Granulator, 4) Dryer, 5) Screening, 6) Cooler, 7) Polishing Screen, 8) Coater, 9) Recycle System, 10) Scrubber, 11) Bagging Plant. Setiap tahapan proses produksi pupuk NPK memerlukan input berupa sumber daya alam dan energi, output berupa produk akhir, limbah, emisi, dan produk samping sebagaimana ditampilkan pada Gambar

Tabel 1. Input-Output setiap Unit Proses

Unit Proses	Input	Output
Raw Material Feeding	Electricity, KCl, Urea, ZA	KCl, Urea, ZA, CO ₂ , NH ₄ , N ₂ O
Pre Neutralizer	Amoniak, Asam Fosfat, Asam Sulfat, Electricity, Hard Water, Larutan Scrubber, Steam	Slurry, Uap Air, Ammonia, Fluor, CO ₂ , NH ₄ , N ₂ O

Unit Proses	Input	Output
Granulator	Amoniak, Electricity, KCl, Recycle, Slurry, Urea, ZA	NPK, Uap air, Ammonia, Partikulat, CO ₂ , NH ₄ , N ₂ O
Dryer	Electricity, Gas Alam, NPK, Solar	NPK, Uap air, Partikulat, CO ₂ , NH ₄ , N ₂ O
Screening	Electricity, NPK	NPK, Recycle, CO ₂ , NH ₄ , N ₂ O
Cooler	Electricity, NPK	NPK, Partikulat, CO ₂ , NH ₄ , N ₂ O
Polishing Screen	Electricity, NPK	NPK, Recycle, CO ₂ , NH ₄ , N ₂ O
Coater	Electricity, NPK, Anticaking Coating Oil, Anticaking Coating Powder, Pigmen	NPK, CO ₂ , NH ₄ , N ₂ O
Recycle System	Recycle Screening, Recycle Polishing Screening, Recycle Scrubber, Electricity	Recycle, CO ₂ , NH ₄ , N ₂ O
Scrubber	Hard Water, Asam Fosfat, Petikulat, Amoniak, Uap Air, Electricity	Larutan Scrubber, Recycle Scrubber, Uap air, Ammonia, Partikulat, Fluor, CO ₂ , NH ₄ , N ₂ O
Bagging Plant	Pengantongan NPK, Curah NPK, Electricity, Kantong	Produk Pupuk Pengantongan NPK, Produk Pupuk Curah NPK, CO ₂ , NH ₄ , N ₂ O

3.3 Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Penilaian dampak lingkungan (LCIA) adalah proses ketiga untuk mengklasifikasikan dan mengevaluasi dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan. Penilaian dampak penelitian ini menggunakan open LCA dengan metode *ReCiPe Midpoint (2016)*. Kategori dampak dihasilkan menggunakan metode *ReCiPe Midpoint (2016)*. dapat disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Jenis dampak proses pembuatan pupuk NPK

Impact category	Reference unit	Result
Climate Change	kg CO ₂ eq	1.54369E+15
Marine eutrophication	kg N eq	6.37143E+11
Particulate matter formation	kg PM10 eq	2.20783E+12
Terrestrial acidification	kg SO ₂ eq	1.69037E+13

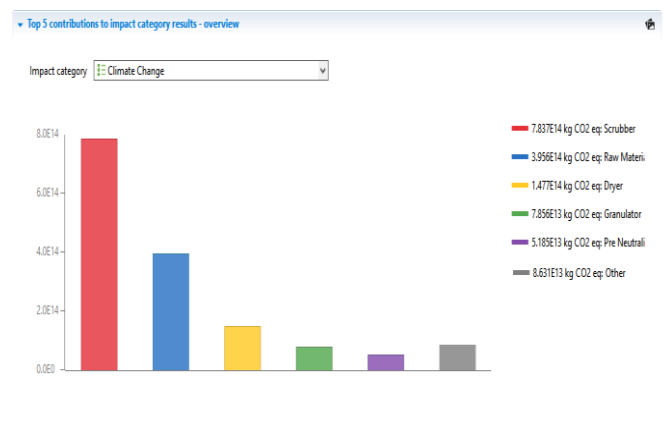
Sumber: Pengolahan data OpenLCA (2023)

Tabel 3 menunjukkan bahwa menurut hasil analisis OpenLCA, empat kategori dampak lingkungan terbesar adalah perubahan iklim (Climate Change), eutrofikasi laut (Marine eutrophication), pembentukan partikel (Particulate matter formation), dan pengasaman lahan (Terrestrial acidification). Selanjutnya setiap kategori dampak diberikan persentase berdasarkan kontribusi masing-masing tahapan dalam proses pembuatan pupuk NPK.

3.3.1 Climate Change

Climate change merupakan dampak lingkungan yang sumber utamanya adalah emisi N₂O akibat hasil dari emisi proses produksi dengan bahan baku ZA, KCl dan Urea. Pada sistem produk tersebut akan memerlukan energi dan menghasilkan GRK berupa CH₄ dan N₂O. Emisi yang dihasilkan adalah Gas Rumah Kaca (GRK), khususnya berupa N₂O, CH₄ dan CO₂ (Silalertruksa, et al., 2016)

Pada penelitian ini, tahapan pada proses pembuatan pupuk NPK yang berkontribusi paling tinggi terhadap dampak lingkungan climate change adalah unit scrubber. Dibandingkan dengan CO₂, N₂O merupakan gas rumah kaca dengan nilai GWP tertinggi yaitu 300 CO₂eq dibandingkan CO₂ dengan nilai 1. Hal ini terjadi karena proses denitrifikasi ZA, NPK dan Urea menghasilkan emisi N₂O ke atmosfer. udara selama produksi pupuk NPK sampai pupuk NPK siap diproduksi. (Syafuruddin, 2015). Gambar 4 adalah hubungan antara nilai *climate change* dengan unit proses pada produksi pupuk NPK di PT. X



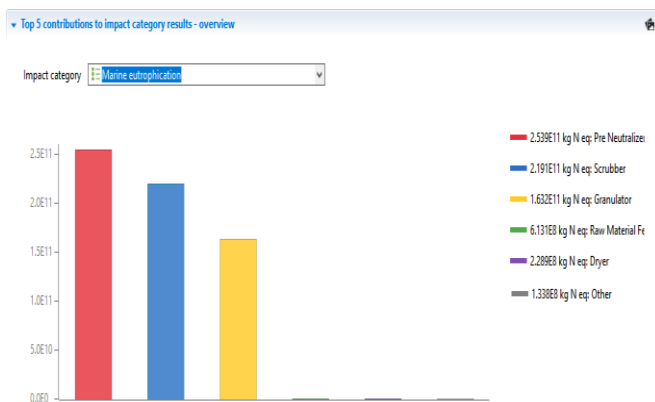
Gambar 4. Hubungan antara *impact* kategori *Climate Change* dengan unit proses produksi pupuk NPK

Sumber: Pengolahan data dengan open LCA (2023).

Dari Gambar 4 dapat dijelaskan bahwa unit proses yang berpengaruh terhadap perubahan iklim /*climate change* adalah Scrubber, *zRaw Material Feeding*, Dryer, Granulator, dan Pre-Neutralizer dengan nilai bervariasi dari 5.185 x 10¹³ kg CO₂ eq sampai 7.837 x 10¹⁴ kg CO₂ eq.

3.3.2 Marine Eutrophication

Eutrofikasi laut didefinisikan sebagai reaksi ekosistem laut terhadap ketersediaan nutrisi terbatas yang berlebihan. Konsep ‘nutrisi pembatas’ menyiratkan bahwa ketersediaan nutrisi pembataslah yang menentukan tingkat produksi primer dalam ekosistem. Di sini, kita mengasumsikan nitrogen (N) sebagai nutrisi pembatas di perairan laut. Pada penelitian ini, tahapan pada proses pembuatan pupuk NPK yang berkontribusi paling tinggi terhadap dampak lingkungan *Marine eutrophication* adalah unit pre-neutralizer. Gambar 5 adalah hubungan antara nilai *Marine Eutrophication* dengan unit proses pada produksi pupuk NPK di PT. X.



Gambar 5. Hubungan antara *impact* kategori *Marine eutrophication* dengan unit proses produksi pupuk NPK

Sumber: Pengolahan data dengan open LCA (2023).

Dari Gambar 5 dapat dijelaskan bahwa unit proses yang berpengaruh terhadap *Marine eutrophication* adalah *Pre-Neutralizer*, *Scrubber*, *Granulator*, *Raw Material Feeding*, dan *Dryer* dengan nilai bervariasi dari 2.289×10^8 kg N eq sampai 2.539×10^{11} kg N eq.

3.3.3 Particulate matter formation

Sebagian besar materi partikulat terbentuk di atmosfer dari reaksi kompleks bahan kimia seperti sulfur dioksida dan nitrogen oksida, yang merupakan polutan yang dihasilkan oleh pembangkit listrik, industri, dan mobil. Pada penelitian ini, tahapan pada proses pembuatan pupuk NPK yang berkontribusi paling tinggi terhadap dampak lingkungan *climate change* adalah unit *pre-neutralizer*, dikarenakan pada unit tersebut menggunakan listrik untuk pengoperasian unit sehingga akan menimbulkan emisi dari proses tersebut. Gambar 6 adalah hubungan antara nilai *particulate matter formation* dengan unit proses pada produksi pupuk NPK di PT. X Gambar 5 adalah hubungan antara nilai *Particulate matter formation* dengan unit proses pada produksi pupuk NPK di PT. X



Gambar 5. Hubungan antara *impact* kategori *particulate matter formation* dengan unit proses produksi pupuk NPK

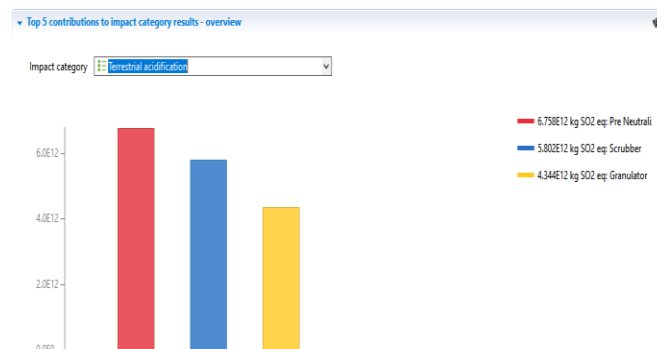
Sumber: Pengolahan data dengan open LCA (2023).

Dari Gambar 5 dapat dijelaskan bahwa unit proses yang berpengaruh terhadap *particulate matter formation* adalah *Pre-Neutralizer*, *Scrubber* dan *Granulator* dengan nilai

bervariasi dari 5.674×10^{11} kg PM₁₀ eq sampai 8.827×10^{11} kg PM₁₀ eq

3.3.4 Terrestrial acidification

Pengasaman terestrial ditandai dengan perubahan sifat kimia tanah setelah pengendapan unsur hara (yaitu nitrogen dan sulfur) dalam bentuk pengasaman. Di sini, kami menilai dampak lingkungan dari nitrogen oksida (NO_x), amonia (NH₃), dan sulfur dioksida (SO₂). Pada penelitian ini, tahapan pada proses pembuatan pupuk NPK yang berkontribusi paling tinggi terhadap dampak lingkungan *Terrestrial acidification* adalah unit *pre-neutralizer*. Gambar 6 adalah hubungan antara nilai *Terrestrial acidification* dengan unit proses pada produksi pupuk NPK di PT. X



Gambar 6. Hubungan antara *impact* kategori *Terrestrial acidification* dengan unit proses produksi pupuk NPK

Dari Gambar 6 dapat dijelaskan bahwa unit proses yang berpengaruh terhadap *Terrestrial acidification* adalah *Pre-Neutralizer*, *Scrubber* dan *Granulator* dengan nilai bervariasi dari 4.344×10^{12} kg SO₂ eq sampai 6.758×10^{12} kg SO₂ eq

3.4 Interpretasi

Interpretasi adalah langkah terakhir dari fase LCA. Rencana tindakan akan dikembangkan berdasarkan hasil interpretasi. Metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi permasalahan lingkungan hidup adalah analisis kontribusi yang dilanjutkan dengan analisis perbaikan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, hasil penilaian dampak siklus hidup dengan menggunakan *software Open LCA 1.6* metode *ReCiPe Midpoint (2016)* menunjukkan bahwa:

(1) Pada rangkaian proses produksi yang dilakukan oleh PT. X Selaras dampak terhadap lingkungan terbesar yang dihasilkan terdapat pada proses produksi dengan besaran gas rumah kaca (GRK) sebesar 173200616 ton CO₂, 27500689330 ton NH₄, dan 2933178505 ton N₂O.

(2) Empat kategori dampak lingkungan terbesar adalah *climate change*, *marine eutrophication*, *particulate matter formation*, dan *terrestrial acidification*

(3) Tahapan dalam proses pembuatan pupuk NPK yang memberikan kontribusi tertinggi pada unit produksi adalah *pre-neutralizer*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Setelah penulisan jurnal ini, penulis banyak menerima bantuan berupa sumbangan dan saran dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah berkontribusi dalam pembuatan jurnal ini. Mengingat masih terdapat beberapa kekurangan dan saran dalam pengerjaannya, serta kritik yang membangun sangat diharapkan dari semua pihak, maka penulis berharap semoga jurnal *Life Cycle Assessment (LCA) Proses Produksi Pupuk NPK Dengan Metode ReCiPe Tahun 2016* ini dapat bermanfaat untuk pembaca dan dapat meningkatkan pengetahuannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aceró, A. P., Rodríguez, C., & Changelog, A. C. (2016). LCIA methods Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories. http://www.openlca.org/files/openlca/Update_info_open
- Bagaswara, M. E. A., & Yuswono, H. (2017). Analisis dan Rekayasa Proses Produksi untuk Mengendalikan Environmental Impact Menggunakan Metode LCA. *Jurnal Metris*, 18, 95–104. <http://ojs.atmajaya.ac.id/index.php/metrisTelp>.
- Sumiati, E. (1983). Pengaruh Zat Pengatur Tumbuh Dan Pupuk Daun, Biokimia Terhadap Hasil Tanaman Tomat (*Lycopersicon Esculentum* Mill L.). *Bul. Penel. Hort.* 10(3) : 21-27.
- Wahyudi, J. (n.d.). Penerapan Life Cycle Assessment untuk Menakar Emisi Gas Rumah Kaca yang Dihasilkan dari Aktivitas Produksi Tahu.