

Analisis Potensi Dampak Lingkungan pada Proses Produksi Urea di Industri Pupuk Menggunakan Metode *Life Cycle Assesment* (LCA)

Farah Eka Putri Ramadaniati*

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

Email Korespondensi : 20034010041@student.upnjatim.ac.id

Kata Kunci:

Analisis Dampak Lingkungan, Life Cycle Assesment, OpenLCA, Urea

ABSTRAK

Indonesia terkenal sebagai negara agraris di mana bidang pekerjaan penduduknya bergantung pada sektor pertanian. Seiring bertambahnya kebutuhan akan hasil pertanian sebagai pemenuh kebutuhan pokok, maka produksi pupuk di Indonesia pun kian lama kian meningkat. Produksi pupuk dalam skala besar kemungkinan besar akan menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan. Proses produksi urea tentunya masih memiliki potensi dampak terhadap lingkungan sehingga diperlukan tindakan pencegahan dan alternatif untuk menciptakan proses pengolahan yang lebih ramah lingkungan. Studi ini bertujuan untuk menganalisis potensi dampak lingkungan serta mengetahui kategori dampak yang memiliki pengaruh terbesar (*hotspot*) dari proses produksi urea di industri pupuk berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 1 Tahun 2021. Penilaian potensi dampak ditinjau menggunakan metode *Life Cycle Assesment* melalui *software OpenLCA 1.11.0*. Ruang lingkup yang digunakan pada studi ini, yaitu pendekatan *gate to gate*, dimulai dari pengolahan bahan baku berupa amonia hingga menjadi produk akhir berupa urea. Berdasarkan hasil analisis, diketahui potensi dampak terbesar berasal dari proses *Prilling Unit* sebesar 0,00039623 kgSO₂eq pada kategori dampak potensi asidifikasi.

Keyword:

Environmental Impact Analyst, Life Cycle Assesment, OpenLCA, Urea

ABSTRACT

*Indonesia is known as an agricultural country where the population's employment depends on the agricultural sector. As the need for agricultural products to fulfill basic needs increases, fertilizer production in Indonesia is increasing over time. Fertilizer production on a large scale will likely have negative impacts on the environment.. Processing of urea still has potential impact on environment, so that precaution and alternative are needed to create a processing that is more environmentally friendly. This study purposed to analyze potential of environmental impact and to find out the impact category with the biggest influence (*hotspot*) from the urea production process based on Regulation of the Minister of Environment and Forestry Number 1 of 2021 . Potential environmental impact assesment is determined using Life Cycle Assesment method trough OpenLCA 1.11.0 software. The scope of study applied in this study is gate to gate approach, consist from start processing of ammonia material up to final product urea. Based on the results of the analysis, it is known that the biggest potential impact comes from the Prilling Unit process of 0,00039623kg SO₂ eq in the acidification potential category.*

1. PENDAHULUAN

Indonesia terkenal sebagai negara agraris yang artinya sektor pertanian merupakan bidang dengan banyak penduduk yang bekerja di bidang tersebut. Sumber daya alam yang

beragam serta lahan yang luas menjadi peluang besar untuk dapat dimanfaatkan dalam bidang pertanian. Sebagai negara agraris, pertanian memegang peran penting bagi pemenuhan kebutuhan pokok, mendongkrak sektor ekonomi, sosial, maupun perdagangan. Untuk mendukung sektor pertanian, diperlukan tingkat kesuburan yang tinggi dalam rangka

peningkatan produksi, mutu serta daya saing produk pertanian.

Kunci kesuburan tanah dalam sektor pertanian, yaitu pupuk dengan kandungan yang dapat menggantikan unsur yang sudah habis terserap oleh tanaman di dalam tanah. Pupuk urea adalah pupuk yang mengandung nitrogen (N) berkadar tinggi sebesar 45% - 56% (Fajrin, 2016). Unsur Nitrogen merupakan zat hara yang sangat diperlukan tanaman. Unsur nitrogen di dalam pupuk urea sangat bermanfaat bagi tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangan. Manfaat lainnya antara lain pupuk urea membuat daun tanaman lebih hijau, rimbun, dan segar (Gorung et al, 2022).

Di tahun 2021, total produksi pupuk urea di Indonesia mencapai 2,4 juta ton per tahun (Kemenperin, 2021). Seiring bertambahnya *demand* akan hasil pertanian sebagai pemenuh kebutuhan pokok, maka produksi pupuk di Indonesia pun kian lama kian meningkat. Produksi pupuk dalam skala besar kemungkinan besar akan menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan, baik dampak yang diakibatkan oleh proses produksi maupun distribusi produk.

Salah satu metode yang digunakan menentukan dampak lingkungan dari produk adalah Penilaian Siklus Hidup atau *Life Cycle Assesment* (LCA). Metode tersebut dapat digunakan untuk menganalisis potensi dampak lingkungan yang disebabkan oleh suatu aktivitas atau produk atau proses dengan mengetahui input yang digunakan, energi dan sumbernya sumber daya alam (Finnveden dan Potting, 2014). Mempelajari LCA dapat digunakan untuk mengidentifikasi proses dengan tujuan dapat meningkatkan kinerja prosesnya, meminimalkan dampak, dan mengoptimalkan pembuatan. Hasil penelitian LCA dapat memberikan produk ramah lingkungan, tidak hanya membawa keuntungan bagi industri, tetapi juga untuk melindungi lingkungan. Menurut SNI ISO 14040: 2016, implementasi LCA terdiri dari empat tahap: menentukan tujuan dan ruang lingkup, menganalisis inventarisasi, analisis dampak, dan interpretasi.

Berdasarkan pembahasan di atas, dilakukan analisis potensi dampak pencemaran lingkungan menggunakan *software OpenLCA 1.11.0* metode CML-IA *Baseline* dengan tujuan menganalisis potensi dampak lingkungan serta mengetahui kategori dampak yang memiliki pengaruh terbesar (*hotspot*) dari setiap proses produksi urea di industri pupuk

2. METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam studi ini yaitu metode *Life Cycle Assesment* (LCA) menggunakan CML-IA *Baseline* untuk mengukur dampak lingkungan dari proses produksi pupuk urea. Data yang akan di uji merupakan data kuantitatif dengan mengidentifikasi *input* dan *output* proses produksi pupuk urea baik berupa sumber energi, *raw material*, maupun pembuangan yang dilakukan pada lingkungan.

Beberapa tahapan yang dilakukan untuk studi, seperti :

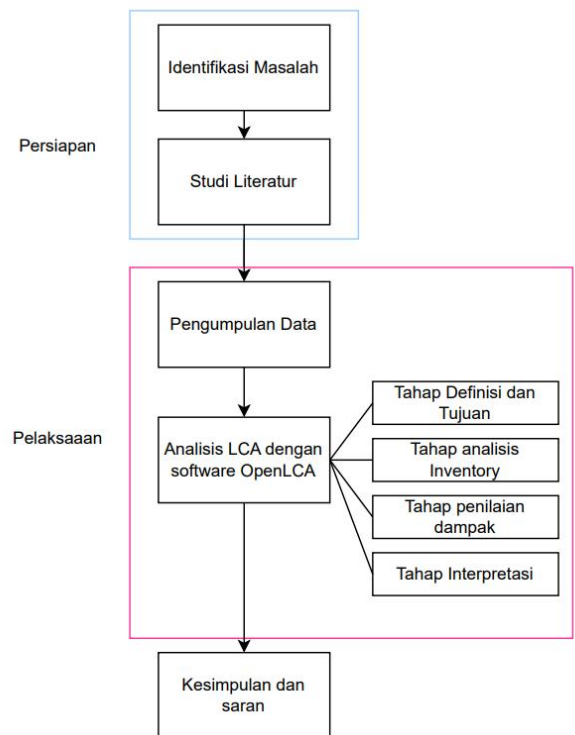
- (1) Identifikasi masalah. Menganalisa sumber masalah dan mencatat data-data yang mungkin diperlukan
- (2) Studi literatur melalui jurnal maupun buku bacaan berkaitan dengan masalah yang akan dibahas dalam studi
- (3) Pengumpulan data berupa data primer maupun sekunder

(4) Analisis dengan metode *Life Cycle Assesment* (LCA).

Dalam studi ini dilakukan analisis terhadap dampak yang ditimbulkan dari proses produksi urea. Berikut langkah langkah yang dilakukan pada *software OpenLCA 1.11.0*, sebagai berikut :

- (1) Klasifikasi Dampak
- (2) Karakterisasi Dampak
- (3) Interpretasi
- (4) Kesimpulan

Setelah didapatkan hasil, maka dilakukan interpretasi data dan dapat dijadikan acuan untuk alternatif proses untuk mengatasi isu lingkungan tersebut. Berikut diagram alir tahapan studi dapat dilihat di Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Studi

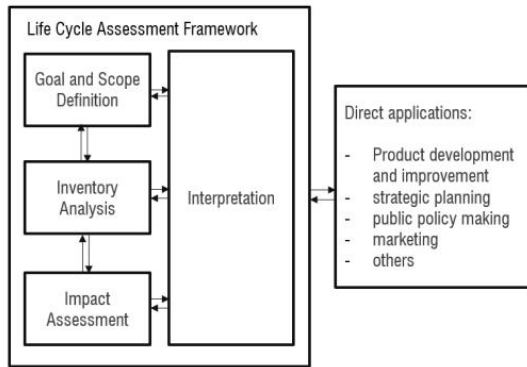
2.1 Tujuan dan Ruang Lingkup

Langkah awal yang perlu dilakukan yaitu menentukan tujuan dari kajian *Life Cycle Assesment*. Tujuan dari studi ini adalah untuk menganalisis potensi dampak lingkungan serta mengetahui kategori dampak yang memiliki pengaruh terbesar (*hotspot*) dari setiap proses produksi urea di industri pupuk. Fungsi unit yang digunakan dalam studi ini, yaitu 1 ton pupuk urea. Untuk memperoleh hasil analisis potensi dampak lingkungan, dilakukan pendekatan menggunakan *Life Cycle Assesment* (LCA) dengan *output* kajian berupa rekomendasi program untuk mengurangi potensi dampak lingkungan dan dapat diaplikasikan kedepannya.

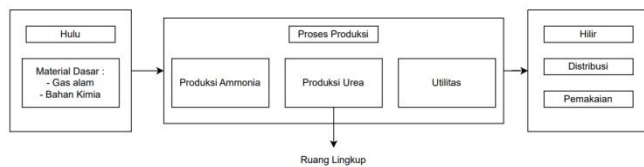
Dalam menganalisis dampak lingkungan menggunakan LCA perlu diketahui tahap-tahap yang diperlukan, seperti:

- (1) Penentuan *goal* dan *scope*
- (2) Analisis *inventory*
- (3) Penilaian dampak
- (4) Interpretasi

Berikut kerangka tahapan *life cycle assesment* pada Gambar 2 di bawah ini.

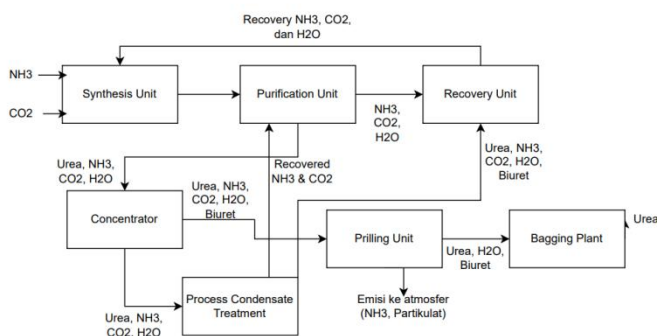


Gambar 2. Kerangka Tahapan *Life Cycle Assesment* (LCA)



Gambar 3. Batasan Sistem

Dalam proses produksi pupuk urea, batasan sistem meliputi hulu, proses produksi, dan hilir sesuai dengan gambar 3. Analisis potensi dampak lingkungan dalam proses produksi pupuk urea menggunakan sistem *gate to gate* pada batasan proses produksi. Batasan proses produksi terdiri dari 2 (dua) proses utama, yaitu proses produksi amonia dan proses produksi urea. Dalam studi ini, batasan hanya melingkupi pada proses produksi urea dimulai dari pengolahan bahan baku berupa amonia hingga menjadi produk akhir berupa urea. Sistem produksi urea yang dikaji dimulai dari masuknya amonia dan karbondioksia sebagai bahan baku dari proses produksi amonia ke proses produksi urea (*gate*). Berikut ini diagram proses produksi urea dapat dilihat pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Diagram Alir Proses Produksi Urea

2.2 Data Inventory

Dilakukan pertimbangan terhadap *input* dan *output* sebuah produk atau proses dalam batasan yang jelas pada *Inventory*

(ISO, 2006). Unit fungsi yang diacu pada studi ini adalah 1 ton pupuk urea. Data *inventory* merupakan data yang didapat dari industri pupuk terkait berupa data primer maupun sekunder. Data yang diolah antara lain penggunaan air, bahan kimia, dan listrik yang digunakan selama proses produksi di unit urea.

Pada tahap pengumpulan data *inventory* dilakukan rekapitulasi data bahan bakar, bahan baku, bahan kimia, serta emisi yang dihasilkan di tiap unit. Dilakukan pula penyamaan nilai satuan dan konversi nilai apabila masih belum berupa nilai satuan yang sama. Berikut langkah-langkah dalam menyusun data *inventory* :

- (1) Mengambarkan diagram alir proses secara umum yang menjelaskan semua unit proses yang akan dimodelkan dalam studi.
- (2) Mendeskripsikan unit proses secara rinci.
- (3) Membuat daftar data yang relevan berkaitan dengan pengoperasian pada unit proses
- (4) Mengembangkan daftar
- (5) Melakukan pengumpulan data serta perhitungan berkaitan dengan data yang diperlukan.

2.3 Kajian Potensi Dampak Lingkungan

Analisis potensi dampak lingkungan dilakukan menggunakan *software OpenLCA* 1.11.0 menggunakan *CML Baseline*. Metode *CML Baseline* didefinisikan sebagai pendekatan titik tengah. Penilaian dampak menggunakan metode *CML* meliputi analisis *climate change, acidification potential, depletion of abiotic resources, eutrophication, freshwater aquatic ecotoxicity, ozone layer depletion, human toxicity, terrestrial ecotoxicity*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Inventory

Tahap pengumpulan data inventori membutuhkan waktu yang relatif cukup lama, dikarenakan dibutuhkan akurasi, kualitas serta representatif data yang akan sangat berpengaruh pada hasil interpretasi akhir. Analisis *Inventory* dilakukan dengan mengumpulkan data *input* dan *output* material serta emisi yang dikeluarkan oleh proses produksi urea sesuai dengan batasan sistem yang ditetapkan.

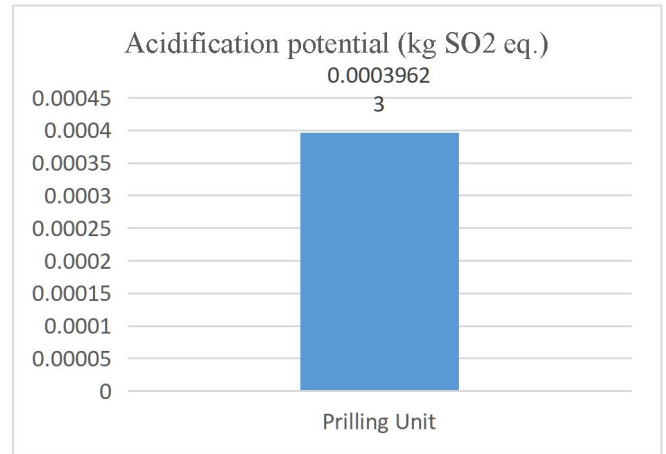
Sebagai contoh ilustrasi, pada *bagging plant* memerlukan *input* berupa Urea, H₂O, Biuret dan Listrik untuk menghasilkan *output* berupa pupuk urea. Pada *Prilling Unit* diketahui data bahwa unit tersebut memerlukan *input* berupa Urea, NH₃, H₂O, Biuret dan listrik untuk menghasilkan *output* berupa Urea, H₂O, Biuret. Selain produk dihasilkan pula emisi NH₃ dan debu partikulat dari hasil sisa produksi urea yang juga dilakukan pencatatan.

Tabel 1. Data *Inventory* Proses Produksi Urea

Proses	Input	Output
<i>Synthesis Unit</i>	CO ₂	Urea
	Udara	NH ₃
	H ₂	CO ₂
	Ar	H ₂ O
	NH ₃	

Proses	Input	Output
	H ₂ O	
	Listrik	
	Air	
<i>Purification Unit</i>	Urea	Urea
	CO ₂	CO ₂
	NH ₃	NH ₃
	H ₂ O	H ₂ O
	Listrik	
<i>Concentration Unit</i>	Urea	Urea
	CO ₂	CO ₂
	NH ₃	NH ₃
	H ₂ O	H ₂ O
	Listrik	Biuret
<i>Prilling Unit</i>	Urea	Urea
	NH ₃	H ₂ O
	H ₂ O	Biuret
	Biuret	Emisi NH ₃
	Listrik	Emisi Total Partikulat
<i>Recovery Unit</i>	Urea	CO ₂
	CO ₂	NH ₃
	NH ₃	H ₂ O
	H ₂ O	
<i>Process Condensate Treatment</i>	Urea	Urea
	CO ₂	CO ₂
	NH ₃	NH ₃
	H ₂ O	H ₂ O
	Listrik	
<i>Bagging Plant</i>	Urea	Urea
	H ₂ O	
	Biuret	
	Listrik	

meningkat (Norton *et al.*, 2013). Kategori dampak ini dinyatakan dalam unit kg SO₂.



Gambar 5. Hubungan Potensi Dampak Asidifikasi Dengan Unit Proses

Pada Gambar 5, terlihat bahwa *Prilling Unit* menjadi unit proses dengan kontribusi terhadap dampak asidifikasi akibat adanya emisi udara berupa NH₃ dan partikulat yang dilepaskan ke lingkungan. Emisi yang dihasilkan tersebut merupakan sisa hasil produksi dari pupuk urea. Dampak Asidifikasi akibat *Prilling Unit* sebesar 0,00039623 SO₂ eq per unit fungsional 1 ton urea.

3.2. Analisa Potensi Dampak Lingkungan

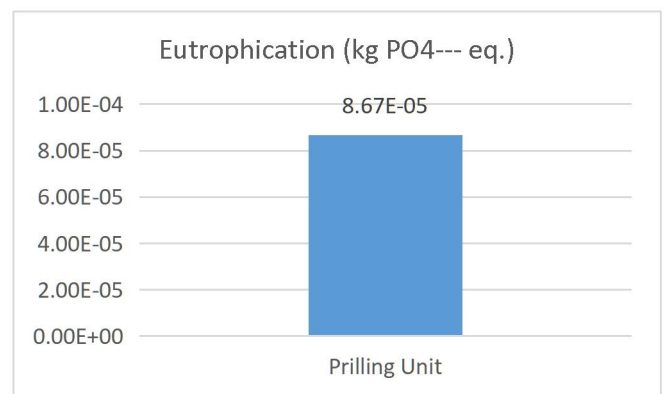
Analisa potensi dampak akan fokus untuk membahas terkait hasil analisis menggunakan *software OpenLCA 1.11.0* dengan metode *CML-IA Baseline*. Penilaian potensi dampak lingkungan dilakukan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 01 Tahun 2021 tentang Aspek *Life Cycle* Assesment. Dari hasil analisa potensi dampak lingkungan dari proses produksi pupuk urea pada tabel 2 terlihat bahwa potensi dampak yang dihasilkan dari proses produksi urea, sebagai berikut :

Tabel 2. Potensi Dampak Lingkungan dari Proses Produksi Urea

Kategori Dampak	Nilai	Satuan
Asidifikasi	0,00039623	kg SO ₂ eq
Eutrofikasi	8,66754E-05	kg PO ₄ eq
<i>Human toxicity</i>	2,47644E-05	kg 1,4 DB eq

3.2.3 Eutrofikasi

Eutrofikasi merupakan pencemaran air yang disebabkan oleh munculnya nutrisi berlebih ke dalam ekosistem air yang berakibat pada tidak terkontrolnya pertumbuhan tanaman air (Simbolon, 2016). Eutrofikasi memiliki dampak kondisi perairan berubah menjadi kehijauan, keruh, dan berbau tidak sedap dan mengurangi konsentrasi oksigen di dalamnya. Peningkatan pertumbuhan tanaman air nantinya dapat mengganggu ekosistem akuatik (Garno, 2012). Kategori dampak ini dinyatakan dalam unit kg PO₄.



Gambar 6. Hubungan Potensi Dampak Eutrofikasi dengan Unit Proses

Pada Gambar 6, terlihat bahwa *Prilling Unit* menjadi unit proses dengan kontribusi terhadap dampak eutrofikasi akibat adanya emisi udara berupa NH₃ dan partikulat yang

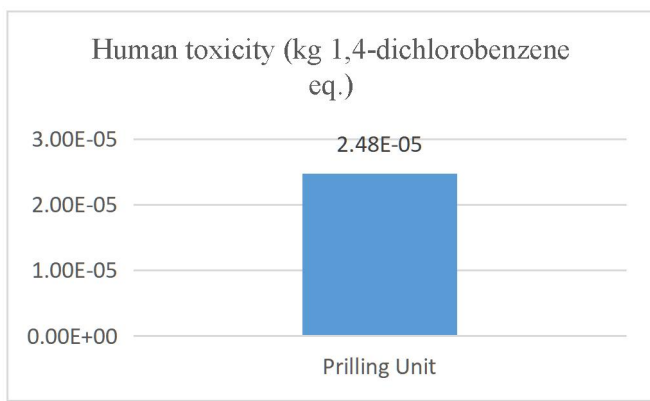
3.2.2 Potensi Asidifikasi (*Acidification Potential*)

Asidifikasi adalah salah satu jenis dampak lingkungan yang terjadi akibat proses pengasaman air. Asidifikasi memiliki dampak yang cukup signifikan bagi biota laut, dengan contoh dapat mengikis cangkang suatu biota laut. Pengasaman meningkat karena nilai SO₂ dan NO_x yang

dilepaskan ke lingkungan. Emisi yang dihasilkan tersebut merupakan sisa hasil produksi dari pupuk urea. Dampak Eutrofikasi akibat *Prilling Unit* sebesar $8,66754E-05$ PO_4 eq per unit fungsional 1 ton urea.

3.3.2 Human Toxicity

Human toxicity merupakan efek yang dapat dirasakan manusia akibat racun dari penggunaan bahan kimia (Norton *et al*, 2013). Dampak ini dapat menimbulkan kerugian kesehatan pada manusia. Potensi kategori dampak ini dihitung berdasarkan indeks yang menunjukkan potensi bahan kimia yang dapat merusak lingkungan. Efek yang dapat diakibatkan oleh dampak *human toxicity*, yaitu terjadinya perubahan pertumbuhan dan reproduksi pada manusia.



Gambar 7. Hubungan Potensi Dampak *Human Toxicity* dengan Unit Proses

Pada Gambar 6, terlihat bahwa *Prilling Unit* menjadi unit proses dengan kontribusi terhadap dampak *human toxicity* akibat adanya emisi udara berupa NH_3 dan partikulat yang dilepaskan ke lingkungan. Emisi yang dihasilkan tersebut merupakan sisa hasil produksi dari pupuk urea. Dampak Eutrofikasi akibat *Prilling Unit* sebesar $2,47644E-05$ kg $1,4$ DB eq per unit fungsional 1 ton urea.

3.3 Interpretasi

Interpretasi dilakukan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, serta menyimpulkan hasil analisis secara menyeluruh sehingga mengetahui sistem yang lebih baik untuk proses produksi pupuk urea ini. Hasil analisa menunjukkan unit *prilling* berkontribusi pada dampak ke lingkungan di kategori dampak dampak potensi asidifikasi, eutrofikasi, serta *human toxicity*. Dengan dampak terbesar di potensi asidifikasi sebesar $0,00039623$ kg SO_2 eq., diikuti dampak eutrofikasi sebesar $8,66754E-05$ kg $1,4$ -*dichlorobenzene* eq., dan dampak *Human Toxicity* sebesar $2,47644E-05$ kg PO_4 --- eq.

Unit *prilling* merupakan unit proses untuk membentuk butiran urea dari *concentration unit* menuju *Prilling Tower* dengan cara disemprotkan dari atas menara dan dipadatkan menggunakan *Cooler*. Proses pada unit *prilling* menghasilkan kontribusi yang cukup besar dipengaruhi dengan adanya kebutuhan energi yang cukup besar untuk sistem *cooling*

pada *prilling tower* yang digunakan untuk membentuk butiran urea.

3.4 Analisa Hotspot

Analisa terhadap *environmental hotspot* perlu dilakukan untuk memberikan gambaran terhadap kontribusi proses terhadap lingkungan dan dapat mengetahui langkah yang tepat untuk mengurangi potensi dampak lingkungan yang terjadi. Dari hasil analisa menggunakan *software OpenLCA* didapatkan unit yang memiliki potensi dampak lingkungan, yaitu Unit *Prilling* dengan kategori dampak potensi asidifikasi, eutrofikasi, serta *human toxic*.

Unit *prilling* merupakan unit proses untuk membentuk butiran urea dari *concentration unit* menuju *Prilling Tower* dengan cara disemprotkan dari atas menara dan dipadatkan menggunakan *Cooler*. Hal ini berkaitan dengan *output* dari unit proses tersebut yang menghasilkan debu partikulat dan amonia yang merupakan sisa hasil proses sebagai emisi ke lingkungan.

3.5 Rekomendasi Program

Berdasarkan hasil analisis, diketahui terlihat bahwa titik permasalahan lingkungan yang terbesar adalah pada proses *Prilling Unit* akibat adanya emisi udara berupa NH_3 dan partikulat yang dilepaskan ke lingkungan. Emisi yang dihasilkan tersebut merupakan sisa hasil produksi dari pupuk urea. Rekomendasi yang dapat diberikan yang dilakukan, yaitu dengan penambahan *cyclone* dalam *prilling tower* sebagai penangkap debu partikulat hasil *prilling* produk urea. Berdasarkan Riadi dan Adhhitama 2019, Efisiensi penyisihan debu urea menggunakan *cyclone* memiliki rata rata penyisihan debu partikulat sebanyak 89% dengan catatan semakin besar ukuran debu yang ditangkap, semakin besar pula efisiensinya.

Cyclone atau penangkap debu merupakan salah satu alternatif yang sering digunakan pada pengolahan akhir suatu proses. Dengan adanya penggunaan *cyclone* secara langsung pada *prilling tower* maka diharapkan dapat mengurangi potensi dampak yang dihasilkan, mengingat efisiensi pengurangan yang cukup tinggi hingga 89% untuk debu partikulat.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan studi yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan terkait potensi dampak pada proses produksi pupuk urea sebagai berikut :

(1) Analisis potensi dampak lingkungan dapat menjadi salah satu alat yang dapat digunakan untuk menganalisa potensi dampak ke lingkungan pada proses produksi. Akan tetapi, diperlukan pula komitmen dari industri untuk melakukan kajian dampak lingkungan.

(2) Berdasarkan hasil analisis potensi dampak lingkungan menggunakan metode *Life Cycle Assesment* dengan unit fungsional 1 ton pupuk urea diketahui potensi dampak terbesar, yaitu asidifikasi di unit proses *prilling* sebesar $0,00039623$ SO_2 eq. diikuti dampak Eutrofikasi

sebesar $8,66754E-05$ kg 1,4-dichlorobenzene eq., dan dampak *Human Toxicity* sebesar $2,47644E-05$ kg PO4 eq.

(3) Berdasarkan hasil analisis potensi dampak lingkungan, dapat dilakukan upaya upaya dalam mengurangi potensi dampak di proses *Prilling* setelah diketahui bahwa sumber dampak merupakan sisa hasil produksi urea berupa amonia dan partikulat sebagai penyumbang emisi di udara dan penyumbang potensi dampak terbesar.

(4) Unit yang ada pada proses produksi urea secara umum tidak memiliki dampak yang signifikan dikarenakan alur proses produksi urea yang memanfaatkan hasil produk sebuah unit proses menjadi input unit proses kembali dan meminimalkan terjadinya pembuangan emisi ke lingkungan.

(5) Rekomendasi yang dapat diberikan untuk proses unit *prilling* yaitu dengan dilakukan penambahan *cyclone* dalam *prilling tower* sebagai penangkap debu partikulat hasil *prilling* produk urea.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak serta rekanan yang telah membantu dan membimbing dalam menyelesaikan jurnal penulis dengan judul “Analisis Potensi Dampak Lingkungan Pada Proses Produksi Urea di Industri Pupuk Menggunakan *Life Cycle Assesment* (LCA)”. Penulis sadar bahwa masih terdapat beberapa kekurangan yang perlu masukan dan kritik membangun dari semua pihak yang membaca. Penulis harap jurnal ini akan dapat bermanfaat kedepannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Fajrin, MR. (2016). *Komposisi Unsur dalam Pupuk*. [www.Chemistric.com/2016/04/Komposisi Unsur dalam Pupuk.html](http://www.Chemistric.com/2016/04/Komposisi-Unsur-dalam-Pupuk.html)
- Finnveden G dan Potting J. (2014) Life Cycle Assessment. *Encyclopedia Toxicology* (3).
- Kemenperin. (2021). *Topang Ketahanan Pangan Nasional, Kemenperin Fokus Revitalisasi Industri Pupuk*. <http://ikft.kemenperin.go.id/industri-kimia-hulu-7/>
- Norton SA, Kopáček J, dan Fernandez IJ. (2013). *Acid rain - Acidification and Recovery*. *Treatise on Geochemistry*.
- Garno Y.S. (2012). Dampak Eutrofikasi Terhadap Struktur Komunitas dan Evaluasi Metode Penentuan Kelimpahan Fitoplankton. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 13(1), 67-74.
- Gorong S.A, Rondonuwu J.J, Titah T. (2022). Pengaruh Pemberian Pupuk Urea Terhadap Pertumbuhan Tanaman Bayan (*Amaranthus tricolor* L) Pada Tanah Sawah Di Desa Ranokentang Atas. *Soil Environmental* 22 (1), 12-16.
- ISO 14040. (2006). *Life Cycle Assesment*
- Simbolon, A. R. (2016) Pencemaran Bahan Organik dan Eutrofikasi di Perairan Citruiis, Pesisir Tangerang. *Jurnal Pro-life*, 3(2), 109-118.