



Analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) pada Proses Produksi Pupuk ZA II Menggunakan Metode *Recipe* 2016

Saffira Arlisa Devi¹, Mohammad Mirwan^{2*}

^{1,2*}Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, UPN Veteran Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

Email: ¹saffiraarlisa@gmail.com, ^{2*}mmirwan.tl@upnjatim.ac.id

Abstract

The operation of the fertilizer industry can cause environmental pollution, so that preventive or preventive measures are needed aimed at controlling the remaining air emissions produced and creating alternative ways of production that are environmentally friendly. In this study, the environmental impact is determined using the life cycle assessment (LCA) method, on the products and emissions produced as well as the materials used, such as raw materials, chemicals and fuels. Environmental impact assessments were carried out using an endpoint approach using the 2016 recipe method and divided into three main categories including human health, ecosystem quality and resources. In this study, SimaPro 9.4.0.2 and Open LCA 1.11.0 software are used to determine the extent of the environmental impact of the LCA process. In the LCA results, the most important moisture category in the entire ZA II fertilizer production process is resource impact with the "lost fossil" impact category, while the process unit that produces the highest impact value is drying and cooling. The effects seen in this unit are due to the presence of ammonia chemicals from dirt-repellent materials, the resulting ammonia and carbon dioxide emissions, and excessive electricity consumption. Therefore, it is necessary to provide alternative recommended repair programs. Alternative programs that can be used to minimize the impact include: reducing anti-caking doses, using transformers, and combining reducing anti-caking doses & using transformers.

Keywords: Environmental Pollution, Analysis, Software, ZA Fertilizer, Life Cycle Assessment (LCA).

Abstrak

Beroperasinya industri pupuk hal ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, sehingga diperlukan tindakan pencegahan atau *preventif* yang bertujuan untuk mengendalikan sisa emisi udara yang dihasilkan dan menciptakan *alternatif* cara produksi yang ramah lingkungan. Dalam studi ini, dampak lingkungan ditentukan dengan *metode life cycle assessment* (LCA), pada produk dan emisi yang dihasilkan serta bahan yang digunakan seperti bahan baku, bahan kimia, dan bahan bakar. Penilaian dampak lingkungan dilakukan dengan pendekatan titik akhir menggunakan *metode resipe* 2016 dan dibagi menjadi tiga kategori utama termasuk kesehatan manusia, kualitas ekosistem dan sumber daya. Dalam studi ini, perangkat lunak SimaPro 9.4.0.2 dan Open LCA 1.11.0 digunakan untuk menentukan sejauh mana dampak lingkungan dari proses LCA. Pada hasil LCA, kategori kelembaban yang paling penting dalam keseluruhan proses produksi pupuk ZA II adalah dampak sumber daya dengan kategori dampak "kehilangan fosil", sedangkan unit proses yang menghasilkan nilai dampak tertinggi adalah pengeringan dan pendinginan. Efek yang terlihat pada unit ini adalah karena adanya bahan kimia amoniak dari bahan anti kotoran, emisi amoniak dan karbondioksida yang dihasilkan, serta konsumsi listrik yang berlebihan. Oleh karena itu, perlu diberikan alternatif program perbaikan yang direkomendasikan. Alternatif program yang dapat digunakan untuk meminimalkan dampak antara lain: pengurangan dosis anti caking, penggunaan *transformator*, dan penggabungan antara pengurangan *dosis anti caking* & penggunaan *transformator*.

Kata Kunci: Pencemaran Lingkungan, Analisa, Software, Pupuk ZA, *Life Cycle Assessment* (LCA).

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris yang berbasis pada sektor pertanian, dimana pada sektor ini dapat menjangkau kebutuhan utama manusia dalam pemenuhan kebutuhan pangan. Salah satu masalah di bidang pertanian adalah hilangnya unsur hara tanah yang diserap oleh akar tanaman untuk kelangsungan hidup. Oleh karena itu, diperlukan upaya pemupukan untuk mengganti unsur hara yang hilang (Mahaputra et al., 2016). Pupuk yang baik adalah pupuk nitrogen dan sulfur yaitu pupuk ZA. Pupuk ZA, juga dikenal sebagai *amonium sulfat*, adalah salah satu pestisida anorganik yang dirancang untuk menyediakan *nutrisi nitrogen* dan *sulfur* tambahan bagi tanaman. Selain itu, pupuk ZA merupakan salah satu jenis *herbisida* organik yang dapat membunuh gulma dibandingkan dengan pupuk lainnya (Fauziah et al., 2018). Salah satu produk pupuk yang diproduksi oleh PT Petrokimia Gresik adalah Pupuk ZA II dengan produksi tahunan sebesar 250.000 ton (Petrokimia Gresik, 2019). Proses produksi pupuk ZA menggunakan bahan kimia dalam setiap operasinya dan menghasilkan emisi sebesar 16 ton/bulan di unit pengolahan. Keberadaan industri pupuk dapat menimbulkan pencemaran udara, antara lain emisi berupa nitrogen oksida (NO, N₂O, NO₂). Beberapa gas lain yang terdistribusi di atmosfer antara lain uap air (H₂O), karbon dioksida (CO₂), *metana* (CH₄), *hidrogen sulfida* (H₂S) dengan klorofluorokarbon seperti gas *halon*. Kehadiran gas-gas ini dapat menyebabkan rumah kaca dan pemanasan global (Savci, 2012)

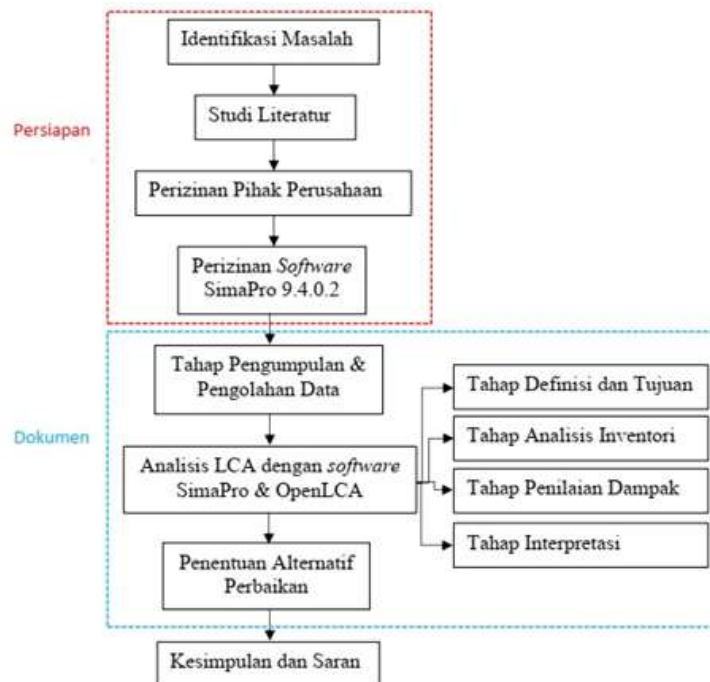
Salah satu cara untuk mengetahui besarnya dampak adalah dengan melakukan penilaian dampak menggunakan Life Cycle Analysis (LCA) untuk setiap proses produksi. Untuk menjamin produksi yang optimal, perlu diatur peraturan-peraturan lingkungan. Hal ini sejalan dengan menurunnya kehandalan pabrik ZA II. Langkah-langkah pencegahan harus diambil untuk mengendalikan emisi udara buang yang disebabkan oleh proses produksi ZA. Pabrik II, PT Petrokimia Gresik. 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.). Manfaat menggunakan metode LCA dapat memahami informasi detail tentang dampak lingkungan dari proses produksi untuk mengidentifikasi perbaikan atau inovasi terbaik untuk mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan kinerja perusahaan secara optimal. Perangkat lunak yang digunakan untuk menentukan tingkat dampak lingkungan dalam proses LCA adalah SimaPro 9.4.0.2 dan Open LCA 1.11.0 karena dapat membantu menerapkan keahlian LCA secara efektif, mendukung keputusan yang tepat dan mengubah siklus hidup produk dengan lebih baik (Bagaswara & Yuswono, 2017). Pada penelitian ini menggunakan pendekatan kategori dampak *endpoint*. Pendekatan ini menggambarkan efek kerusakan lingkungan akibat suatu zat tertentu terhadap aspek lingkungan. Untuk bisa memunculkan kategori dampak tersebut, salah satu metode *database* yang bisa digunakan ialah metode *Recipe* 2016. Pemilihan metode juga disesuaikan dengan kegiatan proses produksi yang dianalisis.

Pada penelitian ini *scope* kajian LCA meliputi *gate to gate*, yaitu dimulai dari proses pengolahan bahan baku dimasukkan hingga produk pupuk dihasilkan. Hasil dari analisa LCA dapat dijadikan acuan bagi perusahaan untuk memilih *alternatif* perbaikan sebagai upaya meminimalisir emisi udara yang ditimbulkan pada proses produksi Pupuk ZA II. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif untuk mengurangi potensi dampak pencemaran dan meningkatkan efisiensi produksi dengan cara yang lebih ramah lingkungan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian ini adalah eksperimen langsung dan diujikan langsung pada benda uji. Pengujian dilakukan di industri pupuk ZA II. Penelitian ini terdiri dari dua variabel yaitu dependen dan independen. Variabel dependen meliputi desain penelitian, desain studi kasus dan metode penelitian sederhana dengan latar belakang intensif dan ekstensif fokus pada fenomena untuk mengembangkan model. Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah proses produksi pupuk ZA II. Dampak lingkungan yang ditimbulkan berdasarkan metode yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan kondisi lapangan dan skenario alternatif proses produksi pupuk ZA II. Selain itu, terdapat juga variabel bebas yaitu variabel yang nilainya ditentukan sebelum penelitian dilakukan dan nilainya berubah sesuai dengan tujuan penelitian. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah pupuk ZA II. . Pemulihan data diulang untuk setiap perekaman untuk menghindari kesalahan saat membaca data dari alat atau orang.

Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan saat pelaksanaan penelitian, mulai dari identifikasi masalah, studi literatur, mengurus perizinan pada pihak perusahaan, *lisensi* penggunaan *software* SimaPro 9.4.0.2, tahap pengumpulan data primer dari perusahaan, pengumpulan data sekunder dari sumber literatur (jurnal, buku, dan sebagainya), pengolahan data, analisis dengan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Setelah didapatkan hasil dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses produksi pupuk ZA II kemudian dapat ditentukan rekomendasi program alternatif perbaikan dengan menginput hasil diskusi untuk mengatasi permasalahan isu lingkungan tersebut. Diagram tahapan pelaksanaan penelitian bisa dilihat gambar 1 di bawah ini.

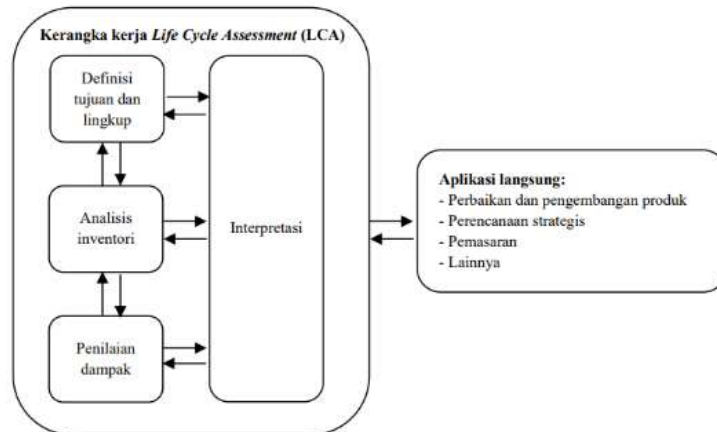


Gambar 1. Diagram Perencanaan Sistem Kontrol
Sumber gambar: Dokumen Pribadi Penulis

2.1 Prinsip Kerja

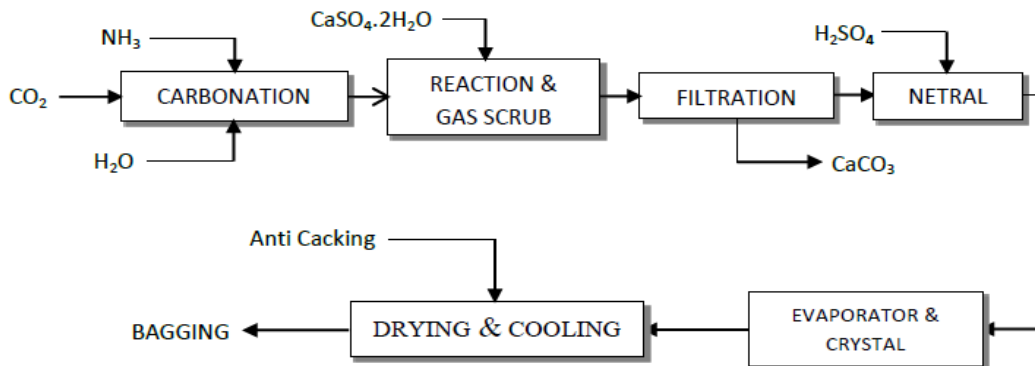
Pada analisis dampak lingkungan menggunakan metode LCA terdapat beberapa tahap yang perlu dilakukan, yaitu penentuan *goal and scope*, inventarisasi, penilaian dampak, dan interpretasi. *Output* dari kajian LCA yang dilakukan berupa rekomendasi

program perbaikan yang dapat diaplikasikan secara langsung kedepannya. 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 ZA II dilakukan secara *gate to gate*. Ini terdiri dari enam proses produksi inti: karbonisasi, reaksi, filtrasi, netralisasi, pengupaan dan kristalisasi, dan pengeringan dan pendinginan, dan memiliki kontrol emisi dalam bentuk scrubber dan pengering-pendingin. Dengan cakupan penelitian hanya meliputi proses produksi Pupuk ZA II 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 ZA II
Sumber gambar: PT Petrokimia Gresik

2.2 Metode *Recipe* 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

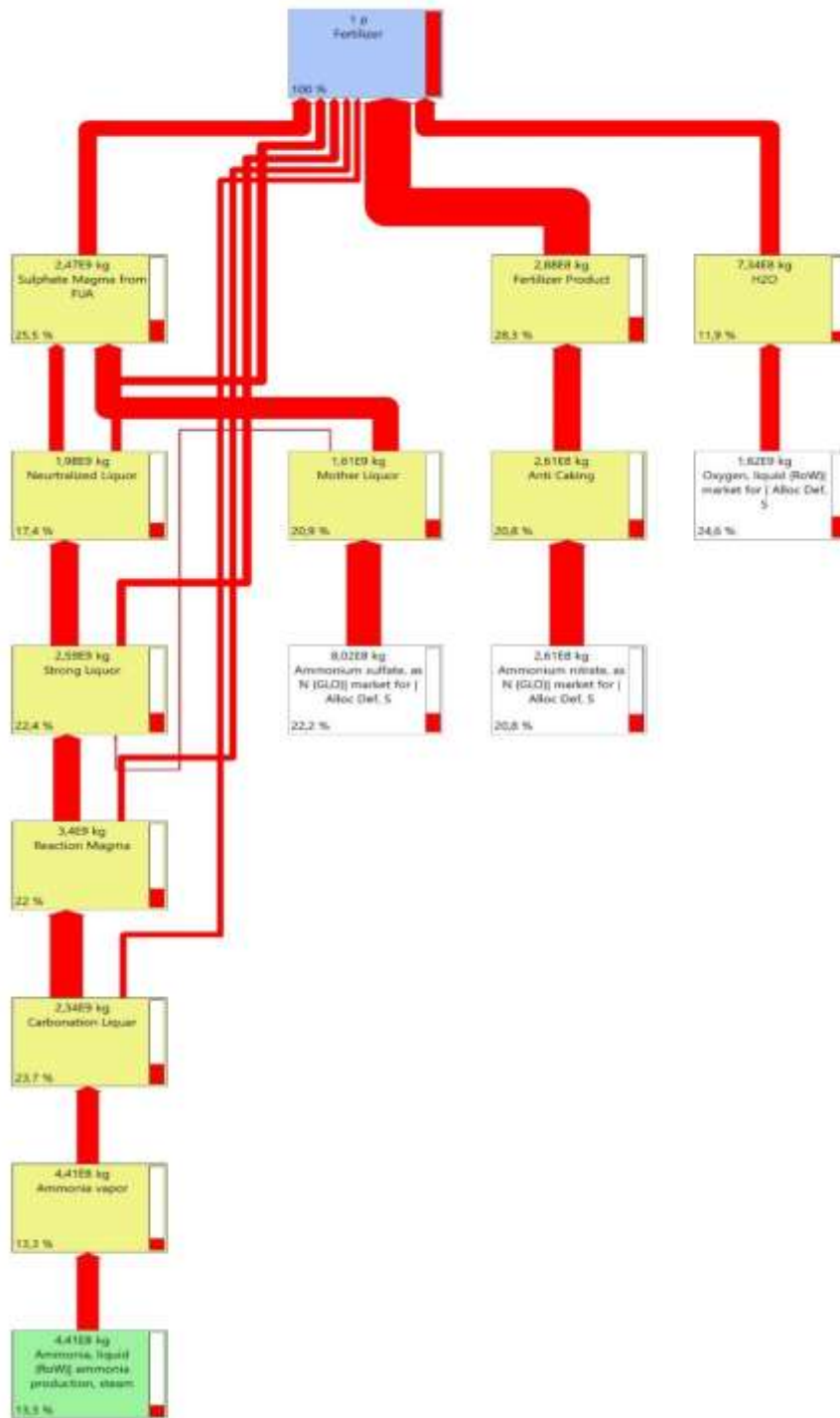
manusia), "lingkungan" ekosistem dan sumber daya (kelangkaan sumber daya). Metode menggabungkan pendekatan berorientasi masalah dan berorientasi kerusakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah metodologi penelitian selesai, dilakukan analisis sistematis dan ditentukan besarnya dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh proses produksi pupuk ZA II dengan menggunakan analisis perangkat lunak dan program perbaikan alternatif untuk mengurangi dampak lingkungan dan efisiensi produksi ditentukan. Data yang diperoleh diolah dan dianalisis untuk evaluasi dengan menggunakan software SimaPro 9.4.0.2 dan Open LCA 1.11.0. Perhitungan dampak berdasarkan metode *recipe* 2016.

3.1. Life Cycle Impact Assessment (LCIA) dengan *software* SimaPro 9.4.0.2

Pada tahap LCIA terdapat 4 tahap penilaian dampak, yaitu karakterisasi, normalisasi, pembobotan, dan evaluasi individu. Dalam penelitian LCA ini, digunakan pendekatan penilaian *endpoint*. Hal ini dikarenakan pendekatan *endpoint* menggambarkan efek kerusakan lingkungan akibat suatu zat tertentu dan menunjukkan dampak lingkungan pada tingkat kategori yang lebih tinggi namun bersifat global. Dalam pendekatan ini, dampak lingkungan dibagi menjadi tiga kategori kerusakan: dampak kesehatan manusia, kerusakan ekosistem (kualitas ekosistem), dan dampak penggunaan sumber daya alam (*resources*). Metode yang digunakan dengan SimaPro 9.4.0.2 adalah *resipe* 2016. Metode ini dipilih karena *resipe* 2016 memberikan nilai faktor karakteristik yang mendunia dan dapat digunakan di Indonesia (Devia et al., 2017). Selain itu, *Recipe* 2016 merupakan bagian dari pendekatan *endpoint* yang penilaian dampaknya bervariasi. Beberapa dampak yang terdapat dalam metode ini antara lain *fossil depletion*, *metal* penipisan, perubahan iklim, kesehatan manusia, pembentukan partikel, toksisitas manusia, perubahan iklim, ekosistem, penggunaan lahan pertanian, dan lain – lain. Selain itu, metode ini cocok untuk memverifikasi formula studi penilaian siklus hidup untuk mencapai tujuan penelitian. Setelah menentukan metode, hasil online diperoleh. Hasil jaringan menunjukkan semua aliran proses yang terdiri dari beberapa proses yang berdampak pada lingkungan. Arti dari garis merah tebal menunjukkan pentingnya konteks dan dampak lingkungan dari setiap langkah. Berikut merupakan *network result* dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Network Result Proses Produksi Pupuk ZA II
 Sumber gambar: Dokumen Pribadi Penulis

Dari hasil pada gambar 4 diatas dapat dilihat bahwa proses yang menghasilkan produk berupa pupuk memiliki dampak atau kontribusi tertinggi. Proses tersebut ialah *drying & cooling*. Hal ini diduga karena adanya penggunaan bahan kimia dari *anti caking* dan penggunaan energi yang berlebih.

1. Tahap Karakterisasi

Pada langkah ini, mengidentifikasi dan mengklasifikasikan data input untuk analisis inventaris siklus hidup ke dalam kategori dampak yang telah ditentukan sebelumnya

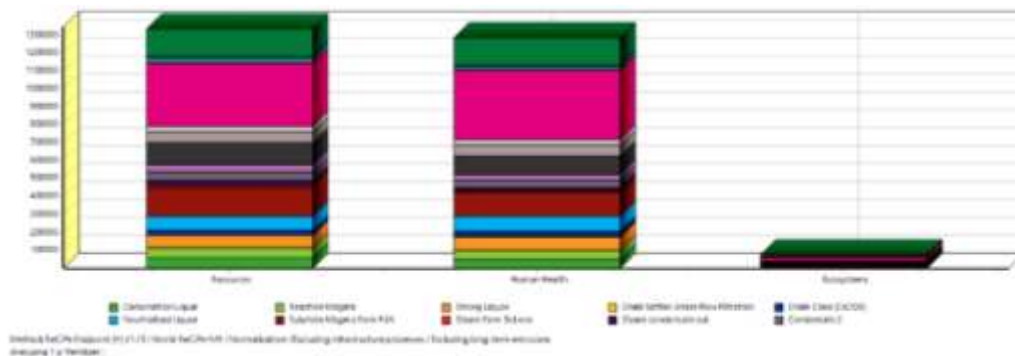
sesuai dengan metode dan basis data yang digunakan. Pada tahap karakterisasi ini dilakukan pengukuran dampak produk atau kegiatan pada masing-masing indikator dampak. Berikut ini adalah dua efek utama dari langkah karakterisasi, yang tercantum dalam tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Karakterisasi *Software* SimaPro

<i>Impact Category</i>	<i>Unit</i>	<i>Total</i>
<i>Fossil depletion</i>	\$	297438959,7
<i>Metal depletion</i>	\$	29594547,06

2. Normalisasi

Fase ini adalah *fase leveling unit* yang digunakan untuk efek lingkungan. Pemulusan dilakukan dengan mengalikan fitur dengan faktor normalisasi sehingga hasil kelas efek memiliki satuan yang sama. Hal ini membuat lebih mudah untuk membandingkan hasil analisis. Pada tahap ini dampak yang dihasilkan telah dikategorikan pada kategori *endpoint*, dimana dari analisis LCA yang telah dilakukan, didapatkan hasil kategori dampak tertinggi, terdapat pada kategori *resources* dengan nilai 1334296,70. Berikut ini grafik perbedaan antara ketiga kategori dampak *endpoint*.



Gambar 5. Perbedaan Hasil Normalisasi Dampak pada Proses Produksi Pupuk ZA II
 Sumber gambar: Dokumen Pribadi Penulis

3. Tahap Pembobotan dan *Single Score*

Langkah ini adalah langkah penilaian *life cycle impact assessment* (LCIA), yang menentukan bobot atau peringkat relatif untuk kategori dampak yang berbeda sesuai dengan tingkat kepentingannya. Efek sumber daya adalah efek terbesar yang dihasilkan oleh 400pt. Satuan yang digunakan pada *software weight output* SimaPro 9.4.0.2 adalah Pt (titik). Pada skala, 1 pt sesuai dengan seperseribu dampak lingkungan bagi rata-rata penduduk Eropa/asing dalam satu tahun (Aniza, 2017).

3.2. LCIA dengan *software* Open LCA 1.11.0

Penilaian dampak pada penelitian ini menggunakan *software* Open LCA 1.11.0 dengan *metode recipe* 2016. Adapun kategori dampak yang dihasilkan menggunakan *metode Recipe* 2016 dengan *database ecoinvent* menghasilkan dampak tertinggi yaitu *resources total* yang terdiri dari *fossil depletion* dan *metal depletion* dari proses produksi pupuk ZA II. Berikut ini hasil kontribusi *substance* yang mempengaruhi adanya dampak yang ditimbulkan tersebut.

1. *Fossil Depletion*

Fossil depletion merupakan adanya potensi menipisnya sumber daya alam akibat pemborosan energi fosil sehingga menyebabkan penurunan jumlah material anorganik.

Dimana dampaknya dapat mempengaruhi kerusakan alam dan ekosistem. Hubungan antara *impact category fossil depletion* dengan *input* dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Hubungan Antara *Impact Category Fossil Depletion* Dengan *Input*
Sumber gambar: Dokumen Pribadi Penulis

Besarnya pengaruh tersebut disebabkan oleh tingginya konsumsi mesin produksi untuk mengendalikan seluruh unit proses produksi Pupuk ZA II yang listriknya bersumber dari bahan bakar fosil yaitu batu bara. Selain itu, konsumsi solar saat menggunakan kendaraan pengangkut (*dump truck*) juga berdampak signifikan. Dapat dijelaskan bahwa elemen material dan energi yang berpengaruh terhadap *fossil depletion* adalah pemakaian pupuk urea berbasis *nitrogen* (*amonium sulfat*), *emisi* yang dihasilkan yaitu *amonia*, pemakaian *gypsum*, dan adanya *substance* didalamnya yaitu oksigen dan mineral.

2. Metal Depletion

Elemen material dan energi yang berpengaruh terhadap *metal depletion* adalah pemakaian pupuk urea berbasis *nitrogen* (*amonium sulfat*) tertinggi dan adanya *substance* didalamnya yaitu oksigen dan mineral. Adapun penyebab tingginya dampak ini karena adanya konsumsi daya listrik dalam skala besar pada mesin produksi untuk menggerakkan seluruh unit proses produksi Pupuk ZA II, dimana energi listrik tersebut bersumber dari fosil yaitu batu bara. Hubungan antara *impact category fossil depletion* dengan *input* dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Hubungan Antara *Impact Category Fossil Depletion* Dengan *Input*
Sumber gambar: Dokumen Pribadi Penulis

Selain itu, konsumsi solar saat menggunakan kendaraan pengangkut (*dump truck*) juga berdampak signifikan. Jika kendaraan menggunakan bahan bakar solar. Bahan bakar juga terbuat dari minyak bumi (fosil).

3.3. Skenario Perbaikan 1 (Pengurangan *Dosis Anti Caking*)

Anti-caking agent adalah bahan tambahan yang digunakan sebagai bedak atau bedak untuk mencegah terjadinya penggumpalan dengan tujuan mempertahankan bentuk dan tentunya meningkatkan umur simpan (Aprialdi et al., 2023). Penggumpalan secara alami terjadi akibat aktivitas bakteri pengurai yang banyak terdapat di udara (Purbaya et al., 2011). Pada kajian *life cycle assessment* yang telah dilakukan, didapatkan dampak tertinggi terdapat pada kategori *resource*, dimana kategori dampak tersebut terdiri dari *fossil depletion* dan *metal depletion*. Setelah dikaji lebih lanjut, diketahui bahwa dampak tersebut sangat dipengaruhi oleh adanya proses *drying and cooling* dalam proses produksi pupuk ZA II PT Petrokimia Gresik. Berdasarkan hasil running digunakan *software* SimaPro 9.4.0.2 dan Open LCA 1.11.0, dalam proses tersebut terdapat *substance* atau inventori berupa *anti caking*. Bahan pendukung tersebut diduga sangat mempengaruhi adanya dampak yang ditimbulkan. Skenario perbaikan ini dilakukan dengan penurunan dosis *anti caking* yang awalnya sebesar 0,5% menjadi 0,4%. Grafik perubahan nilai dampak menggunakan skenario perbaikan 1 dapat dilihat pada gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Grafik Perubahan Nilai Dampak menggunakan Skenario Perbaikan 1
Sumber gambar: Dokumen Pribadi Penulis

Pada grafik gambar 8 diatas dapat diketahui bahwa pada skenario 1 memiliki nilai dampak sebelum dan sesudah yang berbeda. Untuk mengetahui presentase penurunan dari skenario 1, dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2 Presentase Penurunan Skenario 1

Impact Category	Unit	Sebelum	Sesudah	% Penurunan
Resource		1334296,7	1309393,1	1,9%
Fossil depletion	\$	297438959,7	291980887,2	1,9%
Metal depletion	\$	29594547,06	28948792,76	2,2%

Dari hasil running menggunakan *software* SimaPro 9.4.0.2 dan Open LCA 1.11.0 yang telah dilakukan setelah penambahan skenario perbaikan, didapatkan hasil bahwa program perbaikan tersebut memiliki efisiensi sebesar 1,9% pada dampak *fossil depletion* dan 2,2% untuk dampak *metal depletion*. Selain itu juga diketahui hasil untuk dampak endpoint pada kategori dampak *resource* juga mengalami penurunan dan memiliki persentase efisiensi penurunan sebesar 1,9%.

3.4. Skenario Perbaikan 2 (Penggunaan Transformator)

Trafo, atau lebih sering trafo, adalah komponen listrik yang mengubah dan mentransmisikan arus listrik dari satu atau lebih sirkuit ke sirkuit lain dengan kopling magnet tanpa mengubah sistem frekuensi dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Transformer banyak digunakan dalam industri tenaga listrik dan elektronik. Menggunakan *transformator* dalam sistem daya memungkinkan memilih *voltase* ekonomis yang sesuai dengan kebutuhan (Harahap et al., 2019) Trafo dapat berguna untuk mengubah nilai tegangan atau arus dari satu nilai ke nilai lainnya bila diperlukan (Supriyadi, n.d.), sehingga penggunaan listrik tidak terlalu besar. Grafik perubahan nilai dampak menggunakan skenario perbaikan 2 dapat dilihat pada gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9. Grafik Perubahan Nilai Dampak menggunakan Skenario Perbaikan 2
 Sumber gambar: Dokumen Pribadi Penulis

Pada grafik gambar 9 diatas dapat diketahui bahwa pada skenario perbaikan 2 memiliki nilai dampak yang berbeda dan untuk mengetahui presentase penurunan dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3 Presentase Penurunan Skenario Perbaikan 2

Impact Category	Unit	Sebelum	Sesudah	% Penurunan
Resource		1334296,7	1323144	0,8%
Fossil depletion	\$	297438959,7	294728517,4	0,9%
Metal depletion	\$	29594547,06	29571472,84	0,1%

Dari hasil running menggunakan *software* SimaPro 9.4.0.2 dan Open LCA 1.11.0 yang telah dilakukan setelah penambahan skenario perbaikan berupa penggunaan *transformator*, didapatkan hasil bahwa program perbaikan tersebut memiliki persentase penurunan sebesar 0,9% pada dampak *fossil depletion* dan 0,1% untuk dampak metal depletion. Selain itu juga diketahui hasil untuk dampak endpoint pada kategori dampak *resource* juga mengalami penurunan dari sebelumnya 1334296,7 menjadi 1323144 dan memiliki persentase efisiensi penurunan sebesar 0,8%.

3.5. Skenario Perbaikan 3 (Pengurangan *dosis anti caking* – Penggunaan *Transformator*)

Adapun program pengurangan *dosis anti caking* merupakan program yang ditujukan untuk meminimalisir *emisi amonia* yang dihasilkan pada proses produksi.

Sedangkan, program penggunaan *transformator* atau *trafo* ditunjukkan untuk efisiensi penggunaan listrik yang berlebih. Berikut ini merupakan grafik perbandingan sebelum dan sesudah dilakukannya skenario perbaikan. Grafik perubahan nilai dampak menggunakan skenario 3 dapat dilihat pada gambar 10 dibawah ini.



Gambar 10. Grafik Perubahan Nilai Dampak menggunakan Skenario Perbaikan 3
Sumber gambar: Dokumen Pribadi Penulis

Pada grafik gambar 10 diatas dapat diketahui bahwa nilai dampak sebelum dan sesudah mengalami perbedaan. Untuk mengetahui presentase penurunan dari skenario perbaikan 3 dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3 Presentase Penurunan Skenario 3.

Impact Category	Unit	Sebelum	Sesudah	% Penurunan
Resource		1334296,7	1293262,7	3,17%
Fossil depletion	\$	297438959,7	288179500	3,21%
Metal depletion	\$	29594547,06	28796647	2,77%

Penggabungan antara penurunan *dosis anti caking* dan penambahan *transformator* menggunakan *software* SimaPro 9.4.0.2 dan Open LCA 1.11.0, didapatkan hasil yang cukup tinggi presentasi penurunannya jika dibandingkan dengan skenario 1 maupun skenario 2. Pada kategori dampak *fossil depletion* menghasilkan presentase penurunan sebesar 3,21% dan Metal depletion sebesar 2,77%. Sedangkan untuk dampak *endpoint* pada kategori *resource* menghasilkan 3,1%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian, analisis pelaksanaan rencana, dan hasil analisis dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis *Life Cycle Assessment* (LCA), dampak terbesar dari keseluruhan proses produksi pupuk ZA II adalah dampak *resources* dengan kategori dampak *fossil depletion*, Unit proses yang menghasilkan nilai kinerja tertinggi adalah unit pengeringan dan pendinginan.
2. Dari ketiga alternatif skenario perbaikan yang paling direkomendasikan ialah skenario 3 yaitu penggabungan antara program alternatif pengurangan *dosis anti – caking*

dengan program penambahan transformator, didapatkan hasil yang cukup tinggi presentasi penurunannya jika dibandingkan dengan skenario 1 maupun skenario 2. Pada kategori dampak *fossil depletion* menghasilkan presentase penurunan sebesar 3,21% dan Metal depletion sebesar 2,77%. Sedangkan untuk dampak endpoint pada kategori Resource menghasilkan 3,1%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Setelah penulisan jurnal ini, penulis mendapat banyak bantuan berupa sumbangan dan saran dari berbagai kalangan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu pembuatan jurnal ini. Mengingat jurnal ini masih memiliki beberapa kekurangan dan saran serta kritik yang membangun diharapkan dari semua pihak, penulis berharap jurnal tentang *life cycle assessment* (LCA) proses produksi pupuk ZA II dengan *metode recipe* 2016 ini dapat bermanfaat bagi pembaca dapat menambah pengetahuan.

5. REFERENCES

- Acero, 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
- Aniza, E. A. (2017). *Analisis Dampak Lingkungan Penggunaan Material Pada Produksi Batik Cap Menggunakan Simapro (Studi Kasus : UKM Batik Putra Laweyan , Surakarta)*. http://eprints.ums.ac.id/55542/1/NASKAH_PUBLIKASI.pdf
- Aprialdi, M. A., Ramadhan, M. F., Tias, R. G. A. N., & Nurlaela, R. S. (2023). Studi Literatur : Analisis Penggunaan Anti kempal (Anticacking Agent) Terhadap Karakteristik Produk Pangan Bertekstur Serbuk. *Karimah Tauhid*, 2(2), 394–406.
- 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>.
- Devia, D., Lestari, P., & Sembiring, E. (2017). *Life Cycle Assessment (Lca) Produk Semen Portland Komposit (Studi Kasus : PT X) Life Cycle Assessment Of Portland Cement Composite (Case Study : PT X)*. 23, 1–10.
- Fauziah, R., Prihatin, J., & Suratno. (2018). Pengaruh Pemberian Pupuk ZA pada Tanaman Murbei terhadap Kokon Ulat Sutera Alam. *Bioeksperimen*, 4(1), 37–41. <https://doi.org/10.23917/bioeksperimen.v4i1.2802>
- Harahap, P., Adam, M., & Prabowo, A. (2019). Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload dan Jatuh Tegangan Pada Trafo B1 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etap 12.6.0. (*Rekayasa Elektrikal Dan Energi*) : *Jurnal Teknik Elektro*, 1(2), 62–69. <https://doi.org/https://doi.org/10.30596/rele.v1i2.3002>
- Mahaputra, A. H., GstAgGdeEka Martiningsih, & Cokorda Javandira. (2016). Pengaruh Pemberian Pupuk Za Terhadap pertumbuhan Dan Hasil tanaman Sawi(Brassica juncea L.). *AGRIMETA: Jurnal Pertanian Berbasis Keseimbangan Ekosistem*, 6(11), 1–5.
- Petrokimia Gresik. (2019). *Pupuk*.
- Purbaya, M., Indah Sari, T., Ayu Saputri, C., & Tama Fajriaty, M. (2011). Pengaruh Beberapa Jenis Bahan Penggumpal Lateks Dan Hubungannya Dengan Susut Bobot, Kadar Karet Kering Dan Plastisitas. *Prosiding Seminar Nasional AVoER Ke-3*, 351–357.
- Savci, S. (2012). An Agricultural Pollutant: Chemical Fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development*, 73–80. <https://doi.org/10.7763/ijesd.2012.v3.191>
- Supriyadi, A. (n.d.). Hubungan Pada Transformator Tiga Fasa. *Forum Teknologi*, 7(1), 45–52.

Wahyudi, J. (n.d.). *Penerapan Life Cycle Assessment untuk Menakar Emisi Gas Rumah Kaca yang Dihasilkan dari Aktivitas Produksi Tahu.*