

Metode *Life Cycle Assessment* (LCA) Sebagai Penilaian Terhadap Dampak Lingkungan pada Proses Produksi Pupuk ZA II Petrokimia Gresik

Bagas Chrisma Pratama dan Aussie Amalia*

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

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

Kata Kunci:

Life Cycle Assessment, OpenLCA, Pengeringan, Pendinginan, SimaPro, ZA II.

ABSTRAK

Petrokimia Gresik merupakan salah satu perusahaan pupuk terbesar dan terlengkap di Indonesia menjadi peran utama dalam sektor ketahanan pangan. Produksi pupuk yang menjadi unggulan, yaitu pupuk ZA II. Keberadaan yang menjadi perhatian kuat terletak pada emisi yang dihasilkan dalam proses produksi dimana keberadaan gas dapat memicu terjadinya dampak lingkungan jika tidak dikelola dan dikendalikan dengan baik. Oleh karena itu, melalui metode *Life Cycle Assessment* (LCA) mampu mengidentifikasi dengan menilai potensi dampak lingkungan dalam proses produksi pupuk ZA II PT. Petrokimia Gresik. Pendekatan yang dilakukan dengan cara *Endpoint* yang terbagi atas kesehatan manusia, kualitas ekosistem, dan sumber daya dengan *Recipe* tahun 2016. Sebagai pendukung dengan identifikasi yang dilakukan akan menggunakan perangkat lunak berupa *OpenLCA* tipe 1.11.0 dan *SimaPro* tipe 9.4.0.2. Kajian yang didapat terlihat adanya proses unit yang dihasilkan dengan dampak terbesar terdapat pada sistem unit pengeringan (*drying*) dan pendinginan (*cooling*) karena penyebab bahan kimia yang digunakan dan kandungan emisi yang dikeluarkan berupa amonia (NH₃) dan karbon dioksida (CO₂). Dengan adanya dampak tersebut, perlu dilakukan solusi alternatif dalam mengurangi risiko dampak yang terjadi dalam proses produksi pupuk ZA II.

Keyword:

Life Cycle Assessment, OpenLCA, Drying, Cooling, SimaPro, ZA II.

ABSTRACT

Petrokimia Gresik is one of the largest and most comprehensive fertilizer companies in Indonesia, playing a major role in the food security sector. The superior fertilizer production is ZA II fertilizer. The existence of a strong concern lies in the emissions produced in the production process where the presence of gas can trigger environmental impacts if not properly managed and controlled. Therefore, through method Life Cycle Assessment (LCA) is able to identify and assess potential environmental impacts in PT Petrokimia Gresik's ZA II fertilizer production process. Approach done by Endpoint divided into human health, ecosystem quality, and natural resources Recipe 2016. As a support for the identification carried out, software will be used in the form of OpenLCA type 1.11.0 and SimaPro type 9.4.0.2. The studies obtained show that there is a unit process that is produced with the greatest impact on the drying unit system (drying) and cooling (cooling) due to the causes of the chemicals used and the emission content released in the form of amonia (NH₃) and carbon dioxide (CO₂). With this impact, it is necessary to carry out alternative solutions to reduce the risk of impacts that occur in the ZA II fertilizer production process.

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara pertanian sehingga sektor pertanian dapat memenuhi kebutuhan makanan utama penduduknya. Hilangnya unsur hara dari tanah yang diserap oleh akar adalah salah satu masalah dalam industri pertanian. Akar tanaman membutuhkan unsur hara untuk bertahan hidup, jadi pemupukan sangat penting. (Mahaputra dkk., 2016).

Dengan menggunakan penilaian *Life Cycle Assessment* (LCA), seseorang dapat mengetahui seberapa besar dampak yang dihasilkan. Dengan penurunan keandalan pabrik ZA II, langkah pencegahan atau preventif harus diambil untuk mengendalikan emisi udara yang dihasilkan oleh proses produksi terbaik untuk mengurangi dampak lingkungan yang terjadi dan meningkatkan kinerja perusahaan agar lebih optimal.

Untuk mengukur dampak lingkungan pada proses LCA, *SimaPro 9.4.0.2*, dan *OpenLCA 1.11.0* adalah *software* yang dapat membantu menerapkan keahlian LCA, membantu

dalam pengambilan keputusan, dan meningkatkan *life cycle* ± produk (Bagaswara & Hadi, 2017). Untuk penelitian ini menggunakan pendekatan *endpoint*, yang menggambarkan bagaimana suatu zat tertentu memengaruhi aspek lingkungan. Pendekatan *endpoint* memiliki beberapa metode LCIA, dan resep 2016 adalah salah satunya yang akan saya gunakan dalam penelitian ini. Pilihan metode juga disesuaikan dengan kegiatan yang diamati selama proses produksi.

Scope LCA dalam penelitian ini adalah *gate-to-gate*, atau dari bahan baku dimasukkan hingga produk dibuat. Produksi pupuk ZA II menghasilkan limbah cair basa dan debu, yang menyebabkan pencemaran air dan udara. Kebocoran tangki dan sistem perpipaan adalah salah satu sumber pencemaran air. Polusi air dapat memburukkan lingkungan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil analisis LCA untuk membantu perusahaan memilih solusi untuk mengurangi emisi udara yang dihasilkan oleh proses produksi Pupuk ZA II di PT. Petrokimia Gresik. Penelitian ini diharapkan dapat menawarkan solusi yang dapat mengurangi dampak pencemaran lingkungan dan meningkatkan efisiensi produksi yang lebih ramah lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian mencakup prosedur yang akan dilakukan selama proses analisis. Tujuannya adalah untuk membuat penelitian lebih sistematis dan mudah dipahami melalui deskripsi penelitian. Tujuan penelitian menciptakan kerangka kerja penelitian, yang mencakup penelitian literatur, pengumpulan data, termasuk data primer dan sekunder perusahaan, dan analisis dampak lingkungan dengan metode *Life Cycle Assessment (LCA)* menggunakan *SimaPro* sebagai alternatif.

2.2 Bahan dan Alat

Bahan dan Alat: Selama tahap penyusunan, penelitian ini menggunakan bahan dan alat yang sesuai dengan kegunaannya untuk mencapai hasil penelitian yang optimal.

(1) Data Primer : Bahan yang diperlukan untuk penelitian ini terdiri dari hasil observasi dan analisis beban emisi dari setiap unit proses produksi pupuk ZA II. Selain itu, temuan dari wawancara yang dilakukan dengan karyawan PT. Petrokimia Gresik, perusahaan yang bertanggung jawab atas proses produksi pupuk ZA II.

Adanya Interpretasi Hasil x Analisis *hotspot* x Evaluasi LCA Analisis Program Perbaikan Wawancara dan Studi literatur *Running* dengan *software SimaPro 9.4.0.2* dan *OpenLCA* Kerangka Penelitian *Life Cycle Inventory (LCI)* pengumpulan data kuantitatif yang mengukur *input* dan *output* sistem produk. Bahan baku dan energi yang digunakan digunakan sebagai input data. Selanjutnya, masukkan gas yang dihasilkan. Dalam perhitungan LCA, setiap skenario dimasukkan ke dalam *software*. Metode *ReCiPe 2016* dan pendekatan *Endpoint* digunakan untuk *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)*.

Perhitungan *Life Cycle Assessment (LCA)* tiap skenario sebagai input *software SimaPro* dan *OpenLCA*. Data primer ini akan digunakan dalam data inventori LCA dan sebagai

penentuan program alternatif perbaikan untuk mengurangi nilai dampak lingkungan yang ditimbulkan.

(2) Data Sekunder : Untuk mempermudah pengolahan data diperlukan data *mass balance* yang digunakan untuk membantu inventori data input dan output dalam *software*.

2.3 Variabel Penelitian

1. Variabel Independen (variabel bebas) :
 - a. Pupuk ZA II
2. Variabel Dependen (variabel terikat) :
 - a. Proses produksi pupuk ZA II.
 - b. Dampak lingkungan yang dihasilkan berdasarkan metode yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan kondisi lapangan PT Petrokimia Gresik.
 - c. Skenario alternatif proses produksi pupuk ZA II.

2.4 Analisis

Analisis Dalam melakukan analisis dampak dengan metode LCA digunakan 2 *software* yaitu, *SimaPro 9.4.0.2* dan *OpenLCA 1.11.0*.

Adapun langkah – langkah yang dilakukan sebagai berikut :

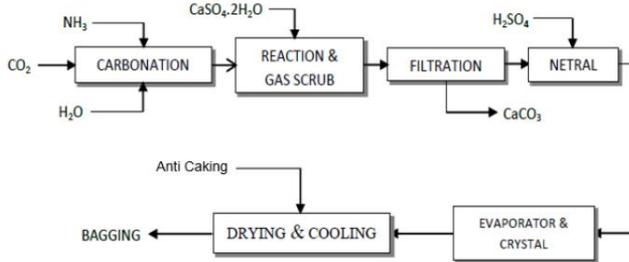
- 1) Metode LCA digunakan untuk menganalisis dampak dari setiap unit proses produksi. Tahap pertama dalam analisis metode LCA adalah menentukan tujuan dan ruang lingkup agar analisis sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai dan mencakup batas sistem yang digunakan.
- 2) Studi LCA ini menggunakan pendekatan *gate-to-gate*, dan mencakup hanya proses produksi pupuk ZA II, yang terdiri dari unit karbonasi, reaksi, filtrasi, netralisasi, evaporasi dan kristalisasi, dan pengering.
- 3) Metode *ReCiPe 2016* menggunakan kategori dampak, pendekatan *endpoint* yang memberikan tiga kategori: kesehatan manusia, ekosistem, dan sumber daya.
- 4) Pada tahap inventaris hayati, data *input* dan *output* dikumpulkan. Perhitungan evaluasi hayati untuk setiap skenario yang suda direncanakan digunakan untuk mengumpulkan data input.
- 5) Dengan menggunakan program *SimaPro 9.4.0.2* dan *OpenLCA 1.11.0* untuk melakukan analisis data input dan output, dampak yang paling besar dari setiap kegiatan akan ditentukan sesuai dengan kategori dampak yang dipilih. Dengan mempertimbangkan besarnya dampak dari hasil analisis LCA, disarankan beberapa solusi untuk mengurangi efek dan meningkatkan efisiensi produksi pupuk ZA II PT Petrokimia Gresik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penentuan *Goal and Scope*

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh proses produksi pupuk ZA II dan untuk menemukan program perbaikan alternatif untuk menurunkan dampak lingkungan dan efisiensi produksi, sedangkan scope dari penelitian ini antara lain :

Analisis LCA pada proses produksi pupuk ZA II dilakukan secara *Gate to gate* yang terdiri dari enam inti proses produksi, yaitu *Carbonation*, *Reaction*, *Filtration*, *Neutralization*, *Evaporation & Crystallization*, dan *Drying & Cooling*, serta ada unit pengendalian emisi berupa *Gas Scrubbing* dan *Dryer, Cooler Scrubber*.



Gambar 1. Flow Diagram Pupuk ZA II

Sumber : PT Petrokimia Gresik

Metode *Recipe* 2016 digunakan untuk menganalisis dampak penelitian ini. Dalam pendekatan *endpoint*, analisis kerusakan yang mungkin terjadi juga dilakukan, yang dibagi dalam tiga kategori utama: kesehatan manusia, kualitas lingkungan, dan sumber daya.

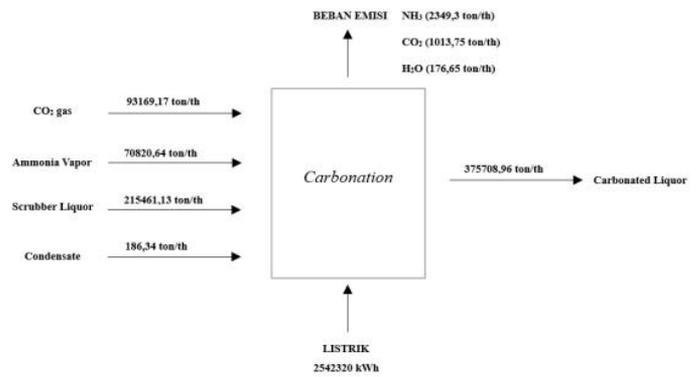
3.2 Penentuan Life Cycle Inventory (LCI)

Dalam proses ini, data dikumpulkan untuk mengukur input dan output sistem produksi. Input data harus mencakup bahan baku, bahan kimia, dan bahan bakar yang digunakan, dan output data harus mencakup produk dan emisi yang dihasilkan dari proses produksi pupuk ZA II. Data ini harus representatif dan memenuhi standar LCA. (EPA, 2016). Analisis kesetimbangan massa khusus untuk setiap unit proses diperlukan untuk mengetahui jumlah dan jenis bahan yang dimasukkan sebagai input dan dikeluarkan sebagai output. Ini dilakukan dengan menggunakan kesetimbangan massa atau keseimbangan massa untuk setiap unit proses produksi pupuk ZA II.

Berikut merupakan penentuan *Life Cycle Inventory* menggunakan kesetimbangan massa atau *mass balance* untuk setiap unit proses produksi pupuk ZA II.

1. Unit Carbonation

Dalam proses produksi pupuk ZA II, unit karbonasi berfungsi sebagai unit reaksi pertama. Unit ini mereaksikan bahan baku, termasuk NH_3 , CO_2 , dan H_2O , yang direaksikan pada menara karbonasi, menghasilkan liquor karbonat dan emisi NH_3 , CO_2 , dan uap air atau H_2O . Perimbangan massa dapat dilihat pada Gambar 2.

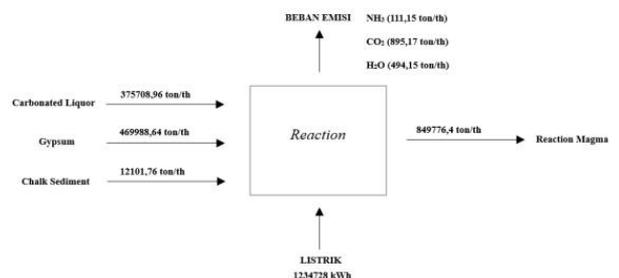


Gambar 2. Mass Balance Carbonation Unit

- CO_2 gas**
 - CO_2 (99,8%) = 92982,83 ton/th
 - H_2O (0,2%) = 186,34 ton/th
- Amonia Vapour**
 - H_2O (liquid) (0,5%) = 354,10 ton/th
 - NH_3 (99,5%) = 70466,54 ton/th
- Scrubber Liquor**
 - H_2O (liquid) (95,71%) = 206226,41 ton/th
 - NH_3 (1,87%) = 4023,36 ton/th
 - CO_2 (2,42%) = 5211,36 ton/th
- Condensate**
 - H_2O (100%) = 186,34 ton/th
- Carbonated Liquor**
 - H_2O (55,05%) = 206814,96 ton/th
 - NH_3 (19,13%) = 71874 ton/th
 - CO_2 (25,82%) = 97020 ton/th

2. Unit Reaction

Reaktor ini adalah unit yang berfungsi untuk mereaksikan *gypsum* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan uap karbon dioksida ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$). Reaksi kimia yang terjadi di dalam unit ini adalah sebagai berikut: $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$ Gambar 3 menunjukkan keseimbangan massa reaktor sebagai berikut.



Gambar 3. Mass Balance Reaction

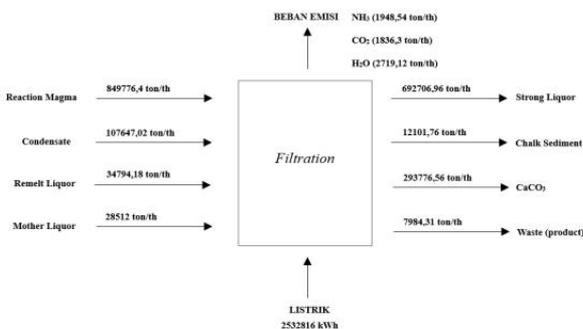
Unit Berikut merupakan komponen dalam setiap bahan pada reaction unit :

- Carbonated liquor**
 - H_2O (liquid) (55,05%) = 206814,96 ton/th
 - NH_3 (19,13%) = 71874 ton/th
 - CO_2 (25,82%) = 97020 ton/th
- Gypsum**
 - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (72,08 %) = 38746,32 ton/th

- (ii) *Inert solids* (2,93%) = 13764,96 ton/th
- (iii) *H₂O (liquid)* (25%) = 117477,36 ton/th
- c. *Chalk sediment*
 - (i) *CaSO₄.2H₂O* (2,03%) = 245,52 ton/th
 - (ii) *CaCO₃* (9,82%) = 1188 ton/th
 - (iii) *(NH₄)₂SO₄* (32,98%) = 3991,68 ton/th
 - (iv) *H₂O (liquid)* (53,47%) = 6470,64 ton/th
 - (v) *NH₃* (0,85%) = 102,96 ton/th
 - (vi) *CO₂* (0,85%) = 102,96 ton/th
- d. *Reaction magma*
 - (i) *CaSO₄.2H₂O* (1,20%) = 10197,32 ton/th
 - (ii) *Inert solids* (1,60%) = 13596,42 ton/th
 - (iii) *CaCO₃* (22,60%) = 192049,47 ton/th
 - (iv) *(NH₄)₂SO₄* (30,10%) = 255782,70 ton/th
 - (v) *H₂O (liquid)* (42,70%) = 362854,52 ton/th
 - (vi) *NH₃* (0,80%) = 6798,21 ton/th
 - (vii) *CO₂* (1%) = 8497,76 ton/th

3. Unit Filtration

Unit filtrasi berfungsi untuk membedakan hasil reaksi dari unit sebelumnya, yaitu reaksi magma yang berupa campuran, dari padatnya yang terdiri dari kapur *CaCO₃* dan filtrat ZA (liquor song). Ada dua tingkat proses filtrasi. Filtrasi primer menghasilkan liquor yang kuat (*(NH₄)₂SO₄*) dan *cake CaCO₃*, dan filtrasi sekunder menghasilkan liquor yang lemah dan *cake CaCO₃* dengan menggunakan filter *vacuum drum*. Selain itu, pada unit filtrasi juga menghasilkan limbah (*waste*) dan emisi berupa *NH₃*, *CO₂* dan uap air atau *H₂O*. Adapun *mass balance* dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut.



Gambar 4. Mass Balance Filtration

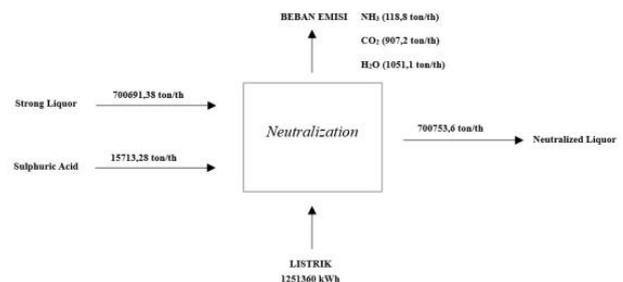
Unit Berikut merupakan komponen dalam setiap bahan pada *filtration unit* :

- a. *Reaction magma*
 - (i) *CaSO₄.2H₂O* (1,20%) = 10197,32 ton/th
 - (ii) *Inert solids* (1,60%) = 13596,42 ton/th
 - (iii) *CaCO₃* (22,60%) = 192049,47 ton/th
 - (iv) *(NH₄)₂SO₄* (30,10%) = 255782,70 ton/th
 - (v) *H₂O (liquid)* (42,70%) = 362854,52 ton/th
 - (vi) *NH₃* (0,80%) = 6798,21 ton/th
 - (vii) *CO₂* (1%) = 8497,76 ton/th
- b. *Condensate*
 - (i) *H₂O (liquid)* (100%) = 107647,02 ton/th
- c. *Remelt Liquor*
 - (i) *CaSO₄.2H₂O* (0,75%) = 261,36 ton/th
 - (ii) *(NH₄)₂SO₄* (22,74%) = 7912,08 ton/th

- (iii) *H₂O (liquid)* (76,51%) = 26620,74 ton/th
- d. *Mother Liquor*
 - (i) *(NH₄)₂SO₄* (46,94%) = 13384,80 ton/th
 - (ii) *H₂O (liquid)* (53,06%) = 15127,20 ton/th
- e. *Strong Liquor*
 - (i) *CaCO₃* (0,02%) = 134,64 ton/th
 - (ii) *(NH₄)₂SO₄* (38,82%) = 255047,76 ton/th
 - (iii) *H₂O (liquid)* (61,41%) = 425383,20 ton/th
 - (iv) *NH₃* (0,77%) = 5306,40 ton/th
 - (v) *CO₂* (0,99%) = 6834,96 ton/th
- f. *Chalk sediment*
 - (i) *CaCO₃* (2,03%) = 245,52 ton/th
 - (ii) *CaSO₄.2H₂O* (9,82%) = 1188 ton/th
 - (iii) *(NH₄)₂SO₄* (32,98%) = 3991,68 ton/th
 - (iv) *H₂O (liquid)* (53,47%) = 6470,64 ton/th
 - (v) *NH₃* (0,85%) = 102,96 ton/th
 - (vi) *CO₂* (0,85%) = 102,96 ton
- g. *Kapur*
 - (i) *CaSO₄.2H₂O* (3,54%) = 10406,88 ton/th
 - (ii) *Inert solids* (4,69%) = 13764,96 ton/th
 - (iii) *CaCO₃* (64,97%) = 190872 ton/th
 - (iv) *(NH₄)₂SO₄* (1,72%) = 50552,96 ton/th
 - (v) *H₂O (liquid)* (25%) = 73442,16 ton/th
 - (vi) *NH₃* (0,04%) = 102,96 ton/th
 - (vii) *CO₂* (0,05%) = 134,64 ton/th

4. Unit Neutralization

Unit netralisasi berfungsi untuk menetralkan kelebihan *NH₃* yang ada, yang membutuhkan asam sulfat untuk meningkatkan kepekatan larutan ammonium sulfat (ZA). Reaksi pada unit ini menghasilkan liquor yang dineutralkan dan emisi yang terdiri dari *NH₃*, *CO₂*, dan uap air, atau *H₂O*. Reaksi netralisasinya digambarkan pada persamaan berikut. $2NH_3 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4 + H_2O + CO_2$ $2NH_4HCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4 + H_2O + CO_2$ Adapun *mass balance* dapat dilihat pada Gambar 5 sebagai berikut.



Gambar 5. Mass Balance Neutralization

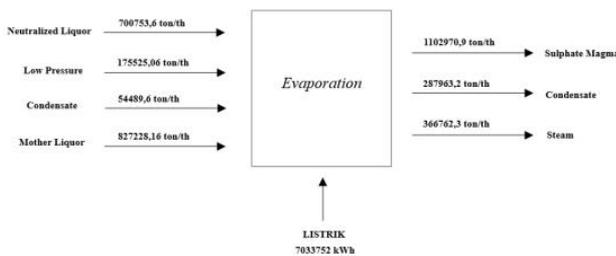
Unit Berikut merupakan komponen dalam setiap bahan pada *neutralization unit* :

- a. *Strong liquor*
 - (i) *CaCO₃* (0,02%) = 134,64 ton/th
 - (ii) *(NH₄)₂SO₄* (36,40%) = 255047,76 ton/th
 - (iii) *H₂O (liquid)* (61,85%) = 433367,62 ton/th
 - (iv) *NH₃* (0,76%) = 5306,40 ton/th
 - (v) *CO₂* (0,98%) = 6834,96 ton/th
- b. *Sulphuric acid*

- (i) H₂O (1,46%) = 229,68 ton/th
 - (ii) H₂SO₄ (98,54%) = 15483,60 ton/th
- c. *Neutralized Liquor*
- (i) CaSO₄.2H₂O (0,04%) = 245,52 ton/th
 - (ii) (NH₄)₂SO₄ (39,35%) = 275742,72 ton/th
 - (iii) H₂O (*liquid*) (60,62%) = 424765,44 ton/th

5. Unit *Evaporation*

Unit evaporasi menggunakan tiga evaporator untuk memekatkan cairan mother liquor dan liquor yang dineutralkan atau (NH₄)₂SO₄. Unit ini membutuhkan kondensat dan steam selama prosesnya. Reaksinya menghasilkan larutan ZA pekat (juga dikenal sebagai *sulphate magma*), kondensat, dan *steam*. Dalam hal keseimbangan massa dapat dilihat pada Gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6. Mass Balance Evaporation

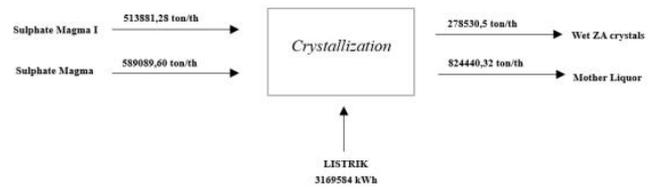
Unit Berikut merupakan komponen dalam setiap bahan pada evaporation unit :

- a. *Neutralized liquor*
 - (i) CaSO₄.2H₂O (0,04%) = 245,52 ton/th
 - (ii) (NH₄)₂SO₄ (39,35%) = 275742,72 ton/th
 - (iii) H₂O (*liquid*) (60,62%) = 424765,44 ton/th
- b. *Mother liquor*
 - (i) H₂O (*liquid*) (53,20%) = 440090,64 ton/th
 - (ii) (NH₄)₂SO₄ (46,80%) = 387137,52 ton/th
- c. *Sulphate magma*
 - (i) CaSO₄.2H₂O (25%) = 275742,72 ton/th
 - (ii) (NH₄)₂SO₄ (35,10%) = 387137,52 ton/th
 - (iii) H₂O (*liquid*) (39,90%) = 440090,64 ton/th

- d. Komponen *condensate dan steam* adalah H₂O (*liquid*) saja dengan jumlah yang sama, yaitu 100%
 - (i) *Condensate dan steam* pada input H₂O = 54489,60 ton/th (*condensate*) H₂O = 175225,06 ton/th (*steam*)
 - (ii) *Condensate dan steam* pada output H₂O = 287963,28 ton/th (*condensate*) H₂O = 366762,34 ton/th (*steam*)

6. Unit *Crystallization*

Dengan menggunakan *centrifuge*, unit kristalisasi memisahkan kristal ZA dari larutannya. Kemudian, kristal ZA dikirim ke *dryer cooler*, sedangkan larutannya dikirim ke tangki penyimpanan liquor untuk dikembalikan ke evaporator. Adapun *mass balance* dapat dilihat pada Gambar 7 sebagai berikut.



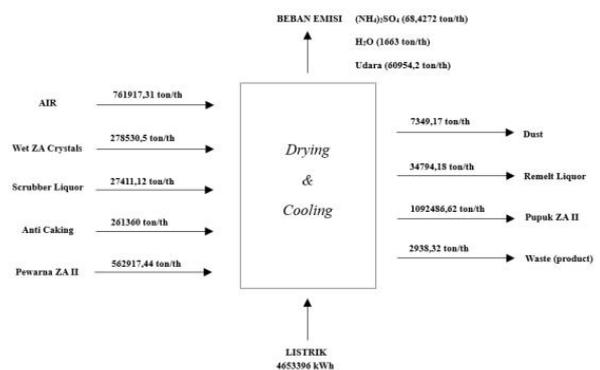
Gambar 7. Mass Balance Crystallization

Unit Berikut merupakan komponen dalam setiap bahan pada crystallization unit :

- a. *Sulphate magma*
 - (i) (NH₄)₂SO₄ (s) (25%) = 275742,72 ton/th
 - (ii) (NH₄)₂SO₄ (l) (35,10%) = 387137,52 ton/th
 - (iii) H₂O (*liquid*) (39,90%) = 440090,64 ton/th
- b. *Wet ZA crystals*
 - (i) H₂O (*liquid*) (1%) = 2787,84 ton/th
 - (ii) (NH₄)₂SO₄ (s) (99%) = 275742,72 ton/th
- c. *Mother liquor*
 - (i) (NH₄)₂SO₄ (l) (46,96%) = 387137,52 ton/th
 - (ii) H₂O (*liquid*) (53,04%) = 437302,80 ton/th

7. Unit *Drying & Cooling*

Pada tahap kering, kristal ZA basah dari centrifuge dikeringkan dengan menguapkan sisa H₂O yang masih menempel. Untuk mencegah kristal yang masih mengandung H₂O menggumpal, kristal ZA sebelumnya ditambahkan dengan pewarna dan *anti-caking agent*. Pada tahap pendingin, udara yang dihasilkan oleh penggerak angin air mendinginkan kristal.. Hasil dari reaksi pada unit ini adalah produk ZA II, *remelt liquor*, debu, limbah (*waste*), dan emisi partikulat (NH₄)₂SO₄, udara, dan uap air. Adapun *mass balance* dapat dilihat pada Gambar 8 sebagai berikut.



Gambar 8. Mass Balance Drying & Cooling

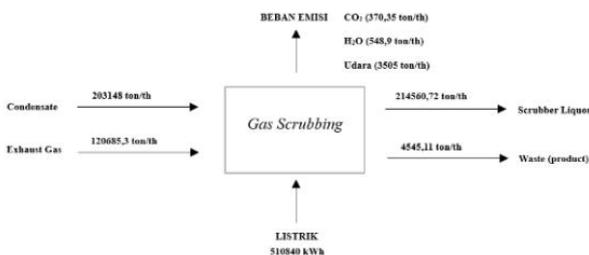
Unit Berikut merupakan komponen dalam setiap bahan pada *drying & cooling* unit :

- a. *Wet ZA crystals*
 - (i) (NH₄)₂SO₄ (s) (99%) = 275742,72 ton/th
 - (ii) H₂O (*liquid*) (1%) = 2787,84 ton/th
- b. *Scrubber liquor*
 - (i) (NH₄)₂SO₄ (s) (2,92%) = 799,92 ton/th
 - (ii) H₂O (*liquid*) (97,08%) = 26611,20 ton/th
- c. AIR dari *Furnace Combustion Air Fan*
 - (i) (NH₄)₂SO₄ (s) (0,07%) = 102,96 ton/th
 - (ii) H₂O (*liquid*) (4,56%) = 7148,66 ton/th

- (iii) AIR (95,37%) = 149476,56 ton/th
- d. AIR dari *Furnace Dilution Air Fan*
 - (i) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (s) (0,12%) = 720,72 ton/th
 - (ii) H_2O (*liquid*) (2,15%) = 12870,14 ton/th
 - (iii) AIR (97,73%) = 584248,50 ton/th 51
- e. AIR dari *Cooler Air Feed Fan*
 - (i) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (3,13%) = 229,68 ton/th
 - (ii) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (s) (96,77%) = 7112,16 ton/th
 - (iii) H_2O (*liquid*) (0,11%) = 7,92 ton/th
- f. Pupuk ZA II
 - (i) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (s) (99,85%) = 267806,88 ton/th
 - (ii) H_2O (*vapour*) (0,15%) = 402,30 ton/th
- g. Partikulat atau debu
 - (i) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (3,13%) = 229,68 ton/th
 - (ii) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (s) (96,77%) = 7112,16 ton/th
 - (iii) H_2O (*liquid*) (0,11%) = 7,92 ton/th
- h. *Remelt liquor*
 - (i) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0,75%) = 823,68 ton/th
 - (ii) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (l) (22,74%) = 20018,80 ton/th
 - (iii) H_2O (*liquid*) (76,51%) = 733725,06 ton/th

8. Unit Gas Scrubbing

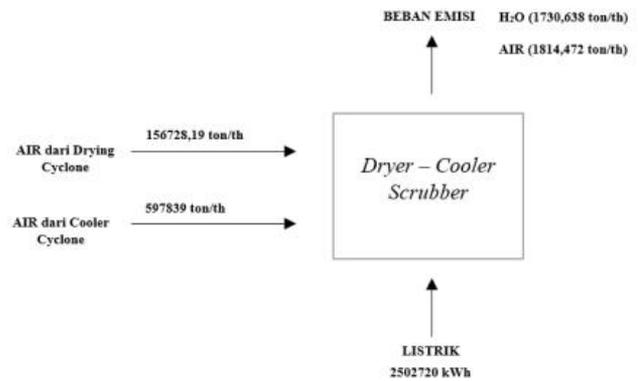
Gas scrubber digunakan untuk mengumpulkan gas yang keluar dari berbagai bagian mesin dan kemudian digunakan kembali di bagian lain. Gas yang akan diolah berasal dari *tower* karbonasi, *vacuum pump*, bagian netralisasi, reaktor, dan bagian filtrasi. Gas yang lolos dimasukkan melalui bagian bawah reaktor, sedangkan proses kondensat, larutan yang akan menangkap gas, masuk melalui bagian atas, dan *scrubber liquor*, larutan yang telah menangkap gas, dilewatkan di dalamnya. Hal ini karena terjadi reaksi eksotermis ada pada *scrubber tower* yang dapat dilihat pada persamaan berikut. $2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ Hasil dari reaksi pada unit ini adalah *scrubber liquor*, limbah (*waste*), dan emisi CO_2 , udara, dan uap air (H_2O). Adapun *mass balance* dapat dilihat pada Gambar 9 sebagai berikut.



Gambar 9 Mass Balance Gas Scrubbing

9. Unit *Dryer ±Cooler Scrubber*

Pada unit ini, proses kondensat akan menghaluskan sisa-sisa debu menjadi larutan encer, dan kemudian akan dikirim ke *tank remelt* untuk dilarutkan. Unit filtrasi akan menerima larutan. Beban udara dan uap air (H_2O) yang dilepaskan ke atmosfer sebagai hasil dari reaksi di unit ini. Adapun *mass balance* dapat dilihat pada Gambar 10 sebagai berikut.



Gambar 10 .Mas Balance Dryer ±Cooler Scrubber

3.3 Penentuan *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)*

Penilaian dampak lingkungan LCIA adalah tahap ketiga yang bertujuan untuk mengkategorikan dan menilai dampak lingkungan yang dihasilkan, menggunakan hasil dari *Life Cycle Inventory* dan menyediakan informasi tambahan untuk interpretasi pada fase terakhir (ISO 14040. 2006).

1) LCIA dengan *software SimaPro 9.4.0.2*

a. Tahap Karakterisasi

Pada tahap karakteristik proses produksi pupuk ZA II, kehilangan fosil menghasilkan dampak terbesar. Pada tahap ini, dampak lingkungan akan dikategorikan menjadi 17 dampak, tetapi hanya 7 dampak teratas yang paling signifikan. Dampak-dampak ini termasuk kehilangan fosil, kehilangan logam, perubahan iklim yang berdampak pada kesehatan manusia, pembentukan zat partikel, keracunan manusia, perubahan iklim ekosistem, dan penggunaan lahan pertanian.

b. Tahap Normalisasi

Pada tahap normalisasi, sumber daya adalah sumber daya karena gas alam adalah sumber energi listrik, yang menghasilkan angka pada dampak sumber daya yang tinggi. Nilai indikator dari tahap karakterisasi digunakan untuk perhitungan tahap normalisasi, dan pada tahap karakterisasi nilai dampak pengurangan sumber daya lebih besar daripada nilai dampak lainnya. *Drying* dan *Cooling* adalah unit yang memiliki pengaruh terbesar.

c. Tahap Pembobotan dan *Single Score*

Output pembobotan untuk *software SimaPro 9.4.0.2* menggunakan unit satuan Pt (*Point*). Dampak sumber daya terbesar adalah 400 Pt, diikuti oleh dampak pada kesehatan manusia sebesar 385 Pt, dan terakhir oleh *ecosystems* sebesar 29 Pt. Satu Pt adalah representasi dari satu seribu beban lingkungan tahunan rata-rata penduduk di Eropa atau di luar negeri. (Aniza *et al.*, 2017).

2) LCIA dengan *software OpenLCA 1.11.0*

a. *Fossil Depletion*

Pemakaian pupuk urea berbasis nitrogen (amonium sulfat), emisi amonia, pemakaian gypsum, dan adanya substance (oksigen dan mineral) adalah komponen material dan energi yang berkontribusi terhadap pengurangan sumber daya fosil.

b. Metal Depletion

Pemakaian pupuk urea berbasis nitrogen, atau amonium sulfat, tertinggi, dan adanya substance yaitu oksigen dan mineral adalah komponen material dan energi yang berpengaruh terhadap penurunan jumlah logam. Tingginya efek ini disebabkan oleh mesin produksi yang mengkonsumsi banyak listrik untuk menggerakkan seluruh unit proses produksi Pupuk ZA II, yang menggunakan batu bara sebagai sumber energi fosil. Selain itu, tingginya dampak juga disebabkan oleh kendaraan pengangkut yang menggunakan bahan bakar solar, yang berasal dari minyak bumi (fosil).

3.4 Interpretasi Hasil Analisis LCA

ISO 14040 (2006) menyatakan bahwa interpretasi adalah proses membandingkan dua material berdasarkan analisis inventori dan dampak lingkungan yang diperoleh. Untuk mengetahui titik hotspot atau titik yang paling berdampak pada proses produksi pupuk ZA II di PT Petrokimia Gresik, analisis lebih lanjut harus dilakukan. Berikut adalah analisis dari setiap dampak yang ditimbulkan pada proses produksi pupuk ZA II.

Berdasarkan tahap normalisasi dengan metode *Recipe* 2016 titik *hotspot* pada unit *drying & cooling* adalah *resources* yang terdiri dari *fossil depletion* dan *metal depletion*. Dampak yang dianalisa pada penelitian ini yaitu *resources*, *human health*, dan *ecosystem quality*. Berikut adalah analisis dampak pada unit *drying & cooling* dengan metode *Recipe* 2016.

1. Resources

Efektifitas terhadap penurunan sumber daya alam didefinisikan sebagai efek yang berdampak pada kerusakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Penurunan sumber daya alam termasuk dalam 69 kategori dampak lingkungan, termasuk kehilangan sumber daya fosil dan metal. Dalam unit *drying & cooling*, gas alam adalah sumber listrik utama yang menyebabkan angka sumber daya tinggi. Nilai dampak sumber daya pada pupuk ZA II adalah 443091,14.

2. Human Health

Change of climate, formation of particulate matter, dan human toxicity adalah contoh dampak lingkungan yang termasuk dalam kategori dampak lingkungan pada kesehatan manusia. Sebagai hasil dari penggunaan *software SimaPro 9.4.0.2* dan *OpenLCA 1.11.0* pada unit pengeringan dan penyejuk udara, pembuangan emisi gas yang dapat menyebabkan penyakit paru-paru, termasuk emisi karbon monoksida yang dihasilkan dari penggunaan listrik. Nilai dampak pupuk ZA II adalah 479997,36 dalam kategori dampak kesehatan manusia.

3. Ecosystem Quality

Dampak terhadap kualitas ekosistem adalah dampak yang dapat memengaruhi kualitas kehidupan ekosistem di lingkungan yang berada di sekitar proses produksi. Berdasarkan hasil *running* menggunakan kedua *software* kategori dampak lingkungan, nilai dampak lingkungan

untuk pupuk ZA II adalah 31304,4. Kategori dampak lingkungan kualitas termasuk perubahan iklim, transformasi alam tanah, radiasi ion, penurunan ozon, penggunaan lahan pertanian, polusi lingkungan tanah darat, polusi lingkungan air, dan polusi lingkungan laut.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis *Life Cycle Assessment* (LCA), dampak sumber daya dalam kategori dampak pengurangan sumber daya memiliki dampak terbesar pada proses produksi pupuk ZA II secara keseluruhan. Kandungan amonia dan senyawa lainnya dalam bahan kimia *anti caking* menyebabkan efek ini. Selain itu, emisi karbon dioksida yang dihasilkan selama proses produksi adalah penyebab dari efek tersebut. Namun, unit pencucian dan pemanasan adalah unit proses yang menghasilkan nilai dampak tertinggi. Selanjutnya, berdasarkan hasil analisis LCA yang dilakukan pada proses produksi pupuk ZA II menggunakan *software SimaPro 9.4.0.2* dengan input listrik sama dengan 0 kWh, nilai dampak yang menurun antara lain: *Resources* menjadi 1323144 dengan % penurunan 0,8%, kategori dampak *Fossil Depletion* menjadi 294728520 dengan % penurunan 0,9%, dan kategori dampak *Metal Depletion* menjadi 29571473 dengan % penurunan 0,1%. Dengan menggunakan *OpenLCA 1.11.0*, nilai dampak untuk berbagai kategori dihasilkan, termasuk kekurangan sumber daya menjadi 423943023,8 dengan penurunan 0,685%, kekurangan sumber daya menjadi 416725214,37 dengan penurunan 0,684%, dan kekurangan besi menjadi 10050583,27 dengan penurunan 0,704%. Hasilnya menunjukkan bahwa analisis LCA yang dilakukan menggunakan kedua program dengan input listrik sama dengan dampak 0 kilowatt-jam sebenarnya menurun. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa energi listrik memiliki pengaruh yang kecil terhadap dampak lingkungan yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Acero, A. P., Rodriguez, C., & Ciroth, A. (2017). LCIA methods: Impact assessment methods in *Life Cycle Assessment* and their impact categories. Version 1.5.6. *Green Delta*, 23, 1 – 23.
- Astuti, A. D. (2019) 'Analisis Potensi Dampak Lingkungan Dari Budidaya Tebu Menggunakan Pendekatan *Life Cycle Assessment* (Lca)', *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan dan IPTEK*, 15(1), 51–64.
- Bagaswara, M. E. A., & hadi, Y. (2017). Analisis dan Rekayasa Proses Produksi Untuk Mengendalikan Environmental Impact Menggunakan Metode LCA. *Jurnal METRIS*, 18(2), 95 – 104.
- Hermawan, F., Puti F.M., Muhammad A., R. & Driejana. (2013). *Peran Life Cycle Analysis (LCA) pada Material Konstruksi dalam Upaya Menurunkan Dampak Emisi Karbon Dioksida pada Efek Gas Rumah Kaca*. Konferensi Nasional Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret.
- Karunia, D. (2019). *Pengaruh Aktivitas Manusia Terhadap Perubahan Kualitas Udara*. Universitas Trisakti.

- Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2012). Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional.
- Nugraha, Y. M. (2010). *Kajian Penggunaan Pupuk Organik dan Jenis Pupuk N Terhadap Kadar N Tanah, Serapan N, dan Hasil Tanaman Sawi (Brassiajuncea L.) pada Tanah Litosol Gemolong*. Universitas Sebelas Maret.
- Okora, B. (2008). *Hubungan Antara Kualitas Fisik Udara Dalam Ruang (Suhu dan Kelembaban Relatif) dengan Kejadian Sick Building Syndrome (SBS) pada Pegawai Kantor Pusat Perusahaan Jasa Konstruksi X di Jakarta Timur*. Universitas Indonesia.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. P.15.2019. Baku Mutu Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Termal. Jakarta.
- Petrokimia Gresik. (2018). *Petrokimia Gresik Sustainability Report*.