



Analisis Dampak Lingkungan pada Proses Produksi Pupuk SP-36 dengan Metode *Life Cycle Assessment (LCA)*

Arini Sayyidah Achmad¹ dan Firra Rosariawari^{1*}

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

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

Diterima: 26-10-2023
Disetujui: 01-11-2023
Diterbitkan: 01-11-2023

Kata Kunci:

Dampak Lingkungan, LCA, Metode TRACI, Pupuk SP-36, Simapro.

ABSTRAK

Salah satu produk dari Industri Pupuk yang sering digunakan dalam bidang pertanian adalah Pupuk Super Phosphat (SP-36). Proses pembuatan pupuk jenis ini yaitu dengan mereaksikan batuan fosfat dengan asam sulfat dan asam fosfat (*mixed acid*). Produksi pupuk dengan jumlah yang cukup besar memungkinkan terdapat hasil samping proses produksi yang berdampak terhadap lingkungan. Metode LCA (*Life Cycle Assessment*) merupakan metode pendekatan yang dapat dilakukan untuk menunjukkan dampak dari suatu siklus hidup produk terhadap lingkungan. Penelitian ini menggunakan *tools software* Simapro 9.0.0 untuk menghitung besaran dampak. Hasil *running LCA* pada proses produksi pupuk SP-36 unit yang memberikan dampak terbesar adalah *reaction unit*. Untuk kategori dampak dominan selama proses produksi adalah dampak *carcinogenics*. Rekomendasi yang dipilih untuk menurunkan dampak lingkungan proses produksi adalah dengan mengaplikasikan sistem Spray Drying Absorption (SDA) dan mengubah perbandingan antara volume fosfat dan asaf sulfat dengan *mixed acid*.

Received: 26-10-2023
Accepted: 01-11-2023
Published: 01-11-2023

Keywords:

Environmental Impact, LCA, Simapro, SP-36 Fertilizer, TRACI Method,

ABSTRACT

One of the products of the Fertilizer Industry that are used in agriculture is Super Phosphat Fertilizer (SP-36). The process of making this type of fertilizer is by reacting phosphate rock with sulfuric acid and phosphoric acid (mixed acid). The production of fertilizers with a large enough amount allows there to be by-products of the production process that have an impact of the environment. The LCA (Life Cycle Assessment) method is an approach method that can be done to show the impact of a product's life cycle on the environment. This study used Simapro 9.0.0 software tools to calculate the magnitude of impact. The results of running LCA in the SP-36 fertilizer production process unit have the biggest impact is reaction units. The dominant impact category during the production process is the impact of carcinogenic. The recommendation chosen to reduce the environmental impact of the production process is to apply a Spray Drying Absorption (SDA) system and change the ratio between the volume of phosphate and asaf sulfate with mixed acid.

1. PENDAHULUAN

Salah satu yang menjadi kebutuhan penting bagi petani adalah Pupuk. Pupuk berfungsi sebagai nutrisi bagi tanaman yang dimana dapat meningkatkan kesuburan, pertumbuhan dan produksi. (Firmansyah dan Syakir,2017).

Salah satu produk pupuk yang banyak dicari adalah pupuk Super Phosphat (SP-36). Pupuk SP-36 merupakan pupuk fosfat buatan yang berbentuk butiran granular. Pupuk ini terbuat dari batuan fosfat dengan mencampurkan asam fosfat dan asam sulfat. Komponen utama pupuk SP-36 yaitu mono kalsium fosfat (Peraturan Menteri Perindustrian,2018).

Keunggulan pupuk SP-36 antara lain yaitu meliputi kemudahan larut dalam air, menyediakan unsur hara fosfor bagi tanaman, merangsang tumbuhnya akar dan sistem akar yang sehat, mendorong dalam terbentuknya bunga dan matangnya buah/biji, meningkatkan persentase pembentukan bunga menjadi buah/biji, dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan hama, penyakit, dan kekeringan (Petrokimia Gresik, 2019).

Peningkatan aktivitas ekonomi adalah salah satu faktor yang menyebabkan pemanasan global. Pertumbuhan industri berikatan dengan meningkatnya emisi dari aktivitas operasi perusahaan. Walaupun beberapa perusahaan mengklaim

bahwa produk yang dimiliki ramah lingkungan, namun secara keseluruhan belum memberikan penjelasan yang memadai tentang upaya perusahaan dalam mengurangi dampak kerusakan lingkungan (Ja'far dan Kartikasari, 2009).

Selain itu, memproduksi pupuk dengan jumlah yang banyak dapat menimbulkan dampak lingkungan baik yang berasal dari proses produksi ataupun proses distribusi. Dampak yang timbul dari proses produksi antara lain yaitu meningkatnya gas rumah kaca dari hasil emisi pembangkit listrik dan meningkatnya konsentrasi debu (*Particulate Matter*) dari proses pengemasan produk (Adiansyah et al., 2019)

Cara yang bisa digunakan untuk menilai dampak proses produksi terhadap lingkungan yaitu dengan menggunakan metode *life cycle analysis* (LCA). LCA adalah metode yang membantu untuk identifikasi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari berbagai tahapan proses produksi, mulai dari pengambilan bahan baku hingga produk tersebut sampai pada konsumen (ISO 14040,2016).

Dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh kegiatan industri akan memberikan dampak yang positif langsung atau tidak langsung terhadap lingkungan hidup. Dapat menggunakan metode *Life Cycle Analysis* (LCA) sebagai dokumen penilaian untuk mengeksplorasi upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak lingkungan sehingga proses produksi dapat lebih ramah lingkungan. Analisis Siklus Hidup (LCA) adalah salah satu metode paling populer untuk menilai dampak lingkungan. Karena Analisis Siklus Hidup (LCA) adalah metode penilaian sederhana dan komprehensif yang diakui secara internasional dan banyak digunakan oleh para aktivis lingkungan hidup (Abdilah & Cahyana, 2018).

Oleh karena itu, dilakukan LCA pada proses produk pupuk SP-36 untuk memahami seberapa besar dampak takan timbul. Metode penilaian siklus hidup ini dapat merekomendasikan program atau kegiatan alternatif yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak lingkungan dari proses produksi pupuk SP-36.

2. METODE

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui tingkat dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh produksi pupuk SP-36 dan merekomendasikan program alternatif yang untuk meminimalkan dampak lingkungan dari proses tersebut. Ada 4 tahapan LCA yaitu tahap *goal and scope* yang bertujuan untuk mengetahui tujuan serta ruang lingkup LCA, tahap *Life Cycle Inventory* (LCI) untuk mengumpulkan data, tahap *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) untuk menilai dampak lingkungan yang ditimbulkan, dan tahap interpretasi yaitu tahap terakhir yang dimana pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan serta rekomendasi dari analisis LCA tersebut.

Tahapan awal dalam penelitian ini yaitu dimulai dengan studi literatur dan pengumpulan data primer juga data sekunder. Data primer merupakan hasil dari wawancara terkait program alternatif yang dapat menjadi solusi sedangkan data sekunder yaitu jumlah bahan baku, bahan bakar, bahan kimia, energi yang digunakan, jumlah produk, serta emisi yang dihasilkan pada tiap unit dalam sekali produksi.

Selanjutnya, menginput data sekunder yang diperoleh pada *software* SimaPro 9.0.0 untuk dilakukan analisa. Tahapan analisa LCA adalah sebagai berikut. Yang pertama yaitu,

melakukan rekapitulasi input dan output untuk setiap unit proses.

Tabel 1. Data Input dan Output Setiap Unit Pada Proses Produksi Pupuk SP-36

No.	Unit Proses	Data Input			Data Output	
		Bahan Baku	Bahan Kimia	Konsumsi Energi	Produk yang dihasilkan	Beban Emisi
1	Ball Mill	Phosphate Rock	-	Listrik	Phosphate Rock	Partikulat
2	Reaction Unit	Phosphate Rock & Proses Water	Mixed Acid (Asam Sulfat & Asam Fosfat)	Listrik	Run Off Pile (ROP)	Uap Air, SiF ₄ , HF, H ₂ SiF ₆ , & CO ₂
3	Gas System Pabrik 200	Proses Waste, Udara Kering & Uap Air	SiF ₄ , HF, H ₂ SiF ₆ , CO ₂ , & SiO ₂	Listrik	Proses Water	Udara Kering, Uap Air, Partikulat, SiF ₄ , HF, H ₂ SiF ₆ , CO ₂ & SiO ₂
4	Granulator	Run Off Pile (ROP), Low Pressure Steam, & Slurry	-	Listrik & Batu Bara	Run Off Pile (ROP)	Partikulat, CO ₂ , & HF
5	Dryer	Run Off Pile (ROP)	-	Listrik	Run Off Pile (ROP)	Partikulat & HF
6	Vibrator Screen	Run Off Pile (ROP)	-	Listrik	Run Off Pile (ROP)	Partikulat & HF
7	Cooler	Run Off Pile (ROP)	-	Listrik	Run Off Pile (ROP)	-

Selanjutnya, menginput nilai satuan data menjadi satuan kg atau ton, membuat mass balance pada proses produksi, dan analisis data dengan Simapro 9.0.0, dan menentukan *hotspot* (titik kritis) dengan dampak terbesar dari serangkaian proses produksi.

Analisis data menggunakan Simapro 9.0.0 memiliki beberapa tahapan yaitu menentukan *goal and scope*, *Inventory data*, *Impact Assesment*, dan interpretasi data. Penentuan *goal and Scope* didasarkan pada tujuan penelitian. Penelitian ini dilakukan secara *gate to gate*, yang dimana menganalisis proses produksi SP-36. Pada tahap *inventory data*, data sekunder dikonversi menjadi data per tahun. Kegiatan

inventarisasi dilakukan dengan menginput bahan baku, bahan bakar, energi, produk, dan emisi yang dikeluarkan.

Hasil dampak lingkungan selanjutnya akan dinilai dengan metode TRACI (*Tool for the Redustion and Assessment of Chemical and other environmental Impact*). Alasan pemilihan metode ini adalah dimana proses produksi pupuk ini berbahan dasar asam fosfat dan asam sulfat sehingga resiko asidifikasi dari bahan baku lebih mudah dianalisis dengan metode TRACI. Prioritas *impact* dalam penelitian ini dipilih berdasarkan besarnya dampak yang timbul. Tahapan akhir LCA yaitu melakukan pembahasan terkait hasil inventarisasi dan *impact* serta melakukan analisis *hotspot* dengan dampak terbesar selama proses produksi pupuk.

Menentukan program alternatif dilakukan dengan berdasarkan nilai besaran dampak hasil analisis LCA, hasil *running* skenario program alternatif yang dibuat, dan membuat grafik presentase penurunan dampak terhadap lingkungan sebelum dan sesudah dilakukan program alternatif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Life Cycle Assessment (LCA)

3.1.1 Menentukan Goal and Scope

Tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan identifikasi besaran dampak lingkungan yang timbul akibat proses produksi pupuk SP-36 dan merekomendasikan alternatif yang dapat digunakan untuk mengurangi dampak. Untuk menentukan *scope* atau ruang lingkup terkait unit yang dianalisis dilakukannya pembatasan sistem dengan tujuan untuk memperjelas lingkup analisis dan memudahkan analisis.

3.1.2 Menentukan Life Cycle Inventory (LCI)

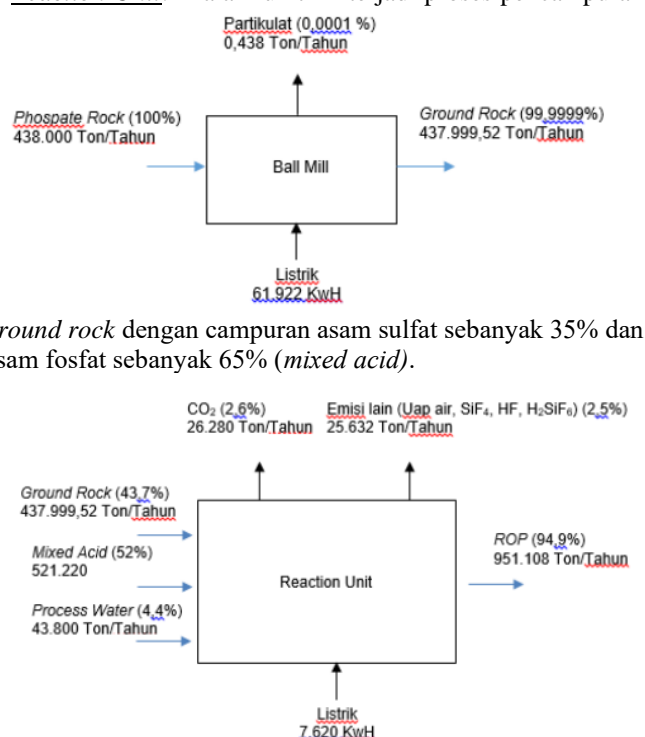
Tahap dua yang dilakukan adalah melakukan inventarisasi input dan output terkait dengan ruang lingkup penelitian. Langkah-langkahnya yaitu memasukkan data inventaris bahan baku, emisi serta menghitung input dan output yang dapat berdampak pada lingkungan. Jenis data yang digunakan pada tahap ini yaitu penggunaan sumber daya, konsumsi energi, dan emisi material lingkungan yang terkait dengan sistem (Yulius Windrianto, 2016).

Life Cycle Inventory dilakukan pada masing-masing unit, berikut adalah hasilnya :

Ball Mill. Sebuah alat penggiling untuk menghaluskan batuan fosfat serta menurunkan kadar airnya. Batuan fosfat yang sudah dihasilkan disebut *ground rock*.

Dikarenakan dalam unit ini hanya terjadi proses pencacahan maka emisi hanya berupa debu/ partikulat.

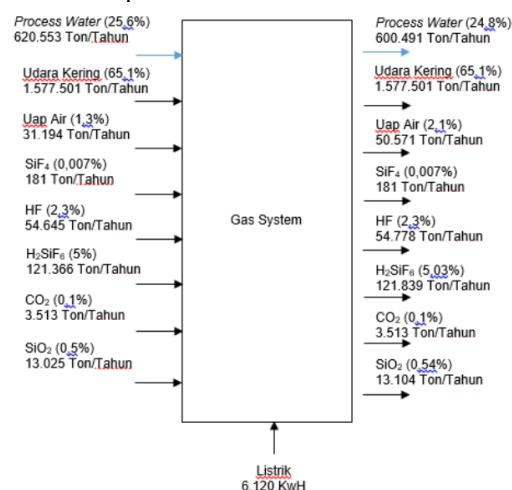
Reaction Unit. Dalam unit ini terjadi proses pencampuran



Gambar 2. Mass Balance Reaction Unit

Hasil dari unit ini berupa produk pupuk setengah jadi disebut juga *Run of Pile* (ROP). Emisi yang dihasilkan oleh *Reaction Unit* akan diolah pada unit *gas system 200*.

Gas System Pabrik 200. Unit ini berfungsi untuk mengolah emisi dari *reaction unit*. Setelah diolah dalam *gas system*, emisi tersebut dilepaskan ke udara bebas.

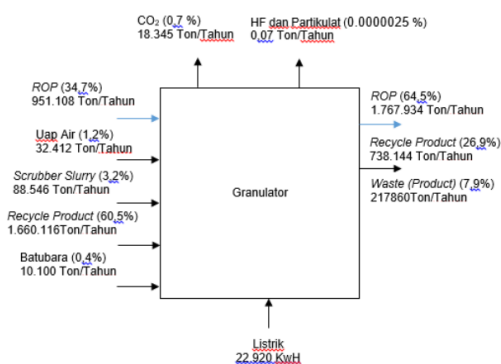


Gambar 3. Mass Balance Gas System

Output dari *gas system* dilepaskan di udara kecuali *process water* yang akan diolah dan digunakan kembali dalam proses produksi

Granulator. Berfungsi membentuk ukuran butiran produk. Dalam unit ini memiliki *burner* dengan bahan bakar berupa batu bara.

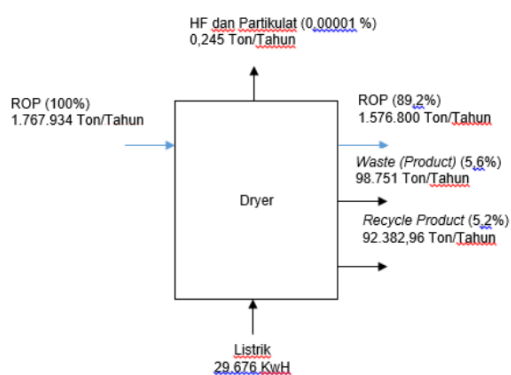
Gambar 1. Mass Balance Ball Mill



Gambar 4. Mass Balance Granulator

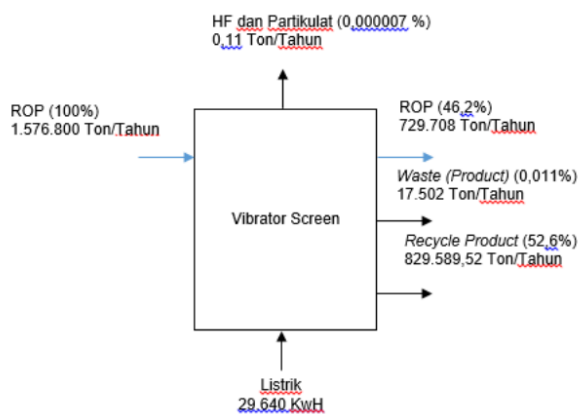
Input yang berupa *Scrubber slurry* merupakan hasil samping *scrubber* yang berupa air dan lumpur dari produk. Dimaa input ini berguna untuk mengairi produk didalam *granulator* agar tidak banyak dibuang ke lingkungan.

Dryer. Memiliki fungsi mengeringkan dan mengurangi kadar air dari produk.



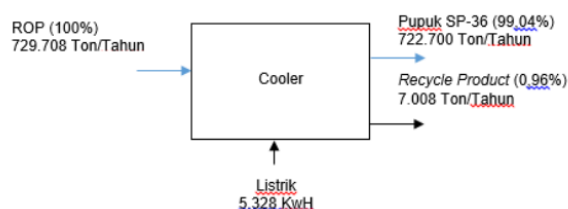
Gambar 5. Mass Balance Dryer

Vibrator Screen. Dalam unit ini dilakukan penyaringan butiran produk, dimana ukuran produk yang sesuai akan lanjut ke tahap selanjutnya. Apabila belum sesuai, akan kembali ke *granulator*.



Gambar 6. Mass Balance Vibrator Screen

Cooler. Di unit ini akan terjadi penurunan suhu produk sebelum dilakukan proses *packaging*.



Gambar 7. Mass Balance Cooler

3.1.3 Menentukan Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Tahap LCIA merupakan tahap yang sulit dikarenakan menggunakan sejumlah besar data yang terwakili dalam hasil analisis inventaris. Karena kesulitan yang dihadapi pada tahap ini, metode yang dikembangkan dapat menyederhanakan dan mengoptimalkan proses LCIA. Metode LCIA adalah alat yang dikembangkan untuk menghubungkan hasil inventarisasi siklus hidup (LCI) dengan dampak lingkungan terkait, dan hasil LCI dapat diklasifikasikan ke dalam kategori dampak yang dilengkapi dengan indeks kategori yang sesuai (Menoufi, 2011).

Pada tahap LCIA, dampak sumber daya terhadap lingkungan dan emisi dari sistem produksi dibagi menjadi beberapa kategori dan diberi bobot atau nilai berdasarkan kepentingannya (Pujadi dan Yola, 2013).

Software Simapro memiliki dua jenis pendekatan untuk menilai dampak yaitu metode *midpoint* dan metode *endpoint* dengan metode LCIA yang berbeda tergantung pada metode penilaian dampak yang dipilih. *Midpoint* lebih spesifik dan menekankan pada perubahan fisikokimia lingkungan. Sedangkan settingnya lebih global dan menekankan pada perubahan biologis. Memilih metode menyesuaikan dengan operasi proses dan produk yang sedang dianalisa (PreConsultant, 2019).

Metode LCIA dengan pendekatan *midpoint* yang digunakan kali ini adalah TRACI 2.1. Menurut Michael dkk (2015), analisis secara *midpoint* dipilih karena hasil impact assessment lebih spesifik dan menunjukkan dampak lingkungan tunggal. *Midpoint* juga mampu memberi pertimbangan ilmiah yang relatif kuat.

Kategori dampak yang dapat dianalisis dengan metode TRACI 2.1 adalah *respiratory effects, ecotoxicity, fossil fuel depletion, ozone depletion, global warming, smog, acidification, eutrophication, carcinogenics, dan non-carcinogenics* (EPA, 2006).

Karakterisasi. Nilai dampak asli yang muncul berdasarkan input dari material, bahan bakar, energi, dan emisi dari masing-masing unit proses. Masing-masing kategori dampak memiliki satuan yang berbeda, oleh karena itu tidak dapat dibandingkan.

Tabel 2. Nilai Karakterisasi Proses Produksi Pupuk SP-36

Impact Category	Unit	Ball Mill	Reaction Unit	Gas System Pabrik 200
Ecotoxicity	CTUe	2.086.783	4.515.352.800	1.280.497.800
Global Warming	kgCO ₂ eq	36.191.207	340.597.420	88.683.881
Fossil Fuel Depletion	MJ surplus	71.873.216	987.659.500	255.517.850
Smog	kgO ₃ eq	6.820.310	31.818.576	7.512.199,30
Respiratory Effect	KgPM _{2.5} eq	18.067,60	757.713,54	122.065,43
Eutrophication	kgNeq	13.506,30	4.152.056,60	353.505,18

Impact Category	Unit	Ball Mill	Reaction Unit	Gas System Pabrik 200
Acidification	kgSO ₂ eq	223.214,73	7.456.673,20	88.987.701
Non-Carcinogenics	CTUh	0,36	308,40	74,39
Carcinogenics	CTUh	0,04	22,49	6,88
Ozone Depletion	kgCFC-11eq	0,46	62,92	14,82

Tabel 3. Nilai Karakterisasi Proses Produksi Pupuk SP-36 (2)

Impact Category	Unit	Granulator	Dryer	Vibrator Screen	Cooler
Ecotoxicity	CTUe	3.699.594,6	354.488,52	682.359,25	57.314,26
Global Warming	kgCO ₂ eq	89.969.994	36.238,72	69.756,36	5.859,13
Fossil Fuel Depletion	MJ surplus	45.240.459	32.384,67	62.337,64	5.236
Smog	kgO ₃ eq	2.716.544	2370,01	4.562,06	383,19
Respiratory Effect	KgPM _{2.5} eq	25.333,51	666,74	1.283,41	107,8
Eutrophication	kgNeq	5.557,3	398,34	766,77	64,4
Acidification	kgSO ₂ eq	355.794,75	246,61	405,73	28,27
Non-Carcinogenics	CTUh	9,03	0,01	0,02	0,00
Carcinogenics	CTUh	0,11	0,00	0,1	0,00
Ozone Depletion	kgCFC-11eq	1,48	0,00	0,00	0,00

Berdasarkan tabel, dampak *eutrophication, ozone depletion, smog, global warming, carcinogenics, non-carcinogenics, respiratory effect, fossil fuel depletion*, dan *ecotoxicity* merupakan dampak terbesar yang berasal dari *reaction unit*. Dampak *acidification* terbesar berasal dari unit *gas system* pabrik 200.

Normalisasi. Hasil dari karakterisasi yang telah disetarakan. Normalisasi dilakukan agar nilai kategori dampak dapat dibandingkan untuk keperluan pengambilan kesimpulan.

Tabel 4. Faktor Normalisasi Metode TRACI 2.1

Impact Category	Normalization Factor
Ecotoxicity	0,0000960
Global Warming	0,0000426
Fossil Fuel Depletion	0,0000179
Smog	0,0004894
Respiratory Effect	0,0136036
Eutrophication	0,0734450
Acidification	0,0064653
Non-Carcinogenics	1.113,798844
Carcinogenics	43.055,09851
Ozone Depletion	249,8330678

Berbeda dengan karakterisasi, besaran dampak pada tahap normalisasi dapat dibandingkan dalam satu unit yang sama. Hal ini dapat dilakukan karena seluruh dampak dianggap setara tanpa satuan.

Tabel 5. Nilai Normalisasi Proses Produksi Pupuk SP-36

Impact Category	Ball Mill	Reaction Unit	Gas System Pabrik 200
Ecotoxicity	200,38	433.576,82	122.956,99
Global Warming	1.539,98	14.492,83	3.773,61
Fossil Fuel Depletion	1.288,03	17.699,65	4.579,08
Smog	3.337,99	15.572,62	3.676,61
Respiratory Effect	245,79	10.307,66	1.660,53
Eutrophication	991,67	304.947,83	25.963,19
Acidification	1.443,15	48.209,55	575.331,21
Non-Carcinogenics	398,66	343.492,22	82.852,12
Carcinogenics	1.569,01	968.395,76	296.114,3
Ozone Depletion	115,18	15.720,72	3.701,94

Tabel 6. Nilai Normalisasi Proses Produksi Pupuk SP-36

Impact Category	Granulator	Dryer	Vibrator Screen	Cooler
Ecotoxicity	355,25	34,04	65,52	5,50
Global Warming	3.828,33	1,54	2,97	0,25
Fossil Fuel Depletion	810,75	0,58	1,12	0,09
Smog	1.329,53	1,16	2,23	0,19
Respiratory Effect	344,63	9,07	17,46	1,47
Eutrophication	408,16	29,26	56,32	4,73
Acidification	2.300,32	1,59	2,62	0,18
Non-Carcinogenics	10.052,72	13,71	26,39	2,22
Carcinogenics	4.566,27	159,11	306,28	25,73
Ozone Depletion	370,75	0,54	1,03	0,09

Dampak terbesar pada *reaction unit, dryer, vibrator screen*, dan *cooler* adalah *carcinogenics*. Dampak terbesar pada *gas system* pabrik 200 adalah *acidification*. Dampak terbesar pada *granulator* adalah *non-carcinogenics*. Dampak terbesar pada unit *ball mill* adalah *smog*.

3.1.4 Interpretasi Data

Analisis unit dengan dampak proses produksi terbesar (*hospot*). Dilihat dari hasil LCIA, dampak terbesar dari proses produksi pupuk SP-36 berasal dari *reaction unit* yang dimana menghasilkan output ROP atau pupuk setengah jadi.

Memastikan kembali unit yang menghasilkan dampak terbesar maka dilakukan penjumlahan seluruh dampak pada masing-masing unit. Nilai dampak yang dijadikan acuan atau dijumlahkan adalah dampak dari nilai normalisasi karena dapat mempermudah untuk menilai dan membandingkan suatu dampak lingkungan dengan dampak lainnya (Aymard dan Genoulaz, 2017).

Tabel 7. Hasil Penjumlahan Seluruh Dampak Pada Masing-Masing Unit

Impact Category	Ball Mill	Reaction Unit	Gas System Pabrik 200
Ecotoxicity	200,38	433.576,82	122.956,99
Global Warming	1.539,98	14.492,83	3.773,61
Fossil Fuel Depletion	1.288,03	17.699,65	4.579,08
Smog	3.337,99	15.572,62	3.676,61
Respiratory Effect	245,79	10.307,66	1.660,53
Eutrophication	991,67	304.947,83	25.963,19
Acidification	1.443,15	48.209,55	575.331,21
Non-Carcinogenics	398,66	343.492,22	82.852,12
Carcinogenics	1.569,01	968.395,76	296.114,3
Ozone Depletion	115,18	15.720,72	3.701,94
Total	11.130,12	2.172.415,65	1.120.609,59

Tabel 8. Hasil Penjumlahan Seluruh Dampak Pada Masing-Masing Unit

Impact Category	Granulator	Dryer	Vibrator Screen	Cooler
Ecotoxicity	355,25	34,04	65,52	5,50
Global Warming	3.828,33	1,54	2,97	0,25
Fossil Fuel Depletion	810,75	0,58	1,12	0,09
Smog	1.329,53	1,16	2,23	0,19
Respiratory Effect	344,63	9,07	17,46	1,47
Eutrophication	408,16	29,26	56,32	4,73
Acidification	2.300,32	1,59	2,62	0,18
Non-Carcinogenics	10.052,72	13,71	26,39	2,22
Carcinogenics	4.566,27	159,11	306,28	25,73
Ozone Depletion	370,75	0,54	1,03	0,09
Total	24.366,69	250,60	481,94	40,44

Dari tabel tersebut terlihat bahwa *reaction unit* memiliki kontribusi dampak terbesar. Berikut penjelasan mengenai dampak tersebut.

Dampak *Carcinogenics*. Berdasarkan hasil Simapro, penyebab terjadinya dampak *carcinogenics* adalah kandungan zat kimia seperti kromium, arsenik, dan nikel dalam air limbah hasil proses produksi pupuk. Kromium dan nikel (zat

karsinogen) karena risiko kanker lebih besar daripada efek toksikologis (Pre,2019).

Dampak *non-carcinogenics* merupakan dampak negatif yang terjaud pada kesehatan manusia akibat masuknya zat beracun melalui pernafasan, pencernaan, atau penetrasi melalui kulit yang tidak berhubungan dengan efek kanker (EC,2013).

Dampak *respiratory effect*. Berdasarkan hasil analisis Simapro, dampak *respiratory effect* disebabkan oleh adanya emisi partikulat <2,5 µm, adanya emisi sulfur dioksida, ammonia, dan lainnya. Akibat yang disebabkan oleh partikulat dapat mengakibatkan kematian dini untuk orang penderita jantung, paru-paru, dan juga penyakit pada pernafasan(EPA,2016).

Dampak *Ecotoxicity*. *Ecotoxicity* merupakan suatu bahan atau zat yang cenderung menimbulkan dampak buruk secara biokimia, fisiologi, maupun terhadap perilaku makhluk hidup. Berdasarkan hasil analisis dari Simapro, penyebab terjadinya dampak *ecotoxicity* adalah kandungan zat kimia seperti zinc, copper, chromium, dan lain-lain yang terdapat dalam produk.

Dampak *Eutrophication* Eutrofikasi merupakan pencemaran air yang disebabkan oleh munculnya nutrient berlebih kedalam ekosistem air sehingga timbul tumbuhan air secara berlebih (Simbolon,2016). Berdasarkan hasil analisis dari Simapro, penyebab utama dampak *eutrophication* berasal dari kandungan fosfat dalam asam fosfat (bahan baku utama produksi pupuk SP-36) yang kemungkinan besar dapat mencemari air.

Dampak *Acidification*. Asidifikasi merupakan meningkatnya konsentrasi ion hidrogen dalam lingkungan lokal. Berdasarkan hasil analisis dari Simapro, penyebab utama dampak *acidification* berasal dari emisi sulfur dioksida, ammonia, hidrogen fluorida dan lain-lain.

Fossil Fuel Depletion. Dampak yang dimana identik dengan pemakaian bahan bakar berbasis fosil terutama minyak bumi dan batu bara. Berdasarkan hasil analisis dari Simapro, penyebab utama dampak *fossil fuel depletion* berasal dari pemakaian batu bara pada proses produksi.

Ozone Depletion. Ozone Depletion Potential merupakan menurunnya potensi banyaknya ozon di lapisan ozon (stratosfir) dimana ditandai dengan ditemukan lubang pada lapisan ozon Daerah Kutub Selatan. Ozon memiliki efek menghalangi radiasi. Sinar ultraviolet yang terpapar ke manusia dapat menyebabkan gangguan kesehatan, contohnya seperti kanker pada kulit, katarak maupun menurunnya sistem kekebalan tubuh (Ashrae,2009). Berdasarkan hasil analisis dari Simapro, penyebab utama dampak *ozone depletion* adalah adanya emisi gas Halon dan CFC.

Global Warming. Pemanasan global adalah suatu fenomena dimana suhu global yang meningkat secara bertahap dari waktu ke waktu akibat efek rumah kaca yang dimana penyebabnya adalah meningkatnya emisi seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitroksida (N₂O) dan klorofluorokarbon. (CFC) yang menyebabkan energi matahari masuk di atmosfer bumi (Riebeek 2010).Berdasarkan hasil analisis dari Simapro, penyebab utama dampak *global warming* adalah adanya emisi CO₂, *methane*, dan CFC hasil dari proses produksi pupuk SP-36.

Smog. Kabut yang membentuk saat musim panas dimana ketika sinar matahari bersatu dengan emisi polutan seperti kendaraan bermotor dan lainnya (Gusnita,2014). Berdasarkan

hasil analisis dari SimaPro, penyebab utama dampak smog adalah adanya emisi nitrogen oksida dan lain-lain yang dilepaskan ke udara.

3.2 Rekomendasi Program Alternatif

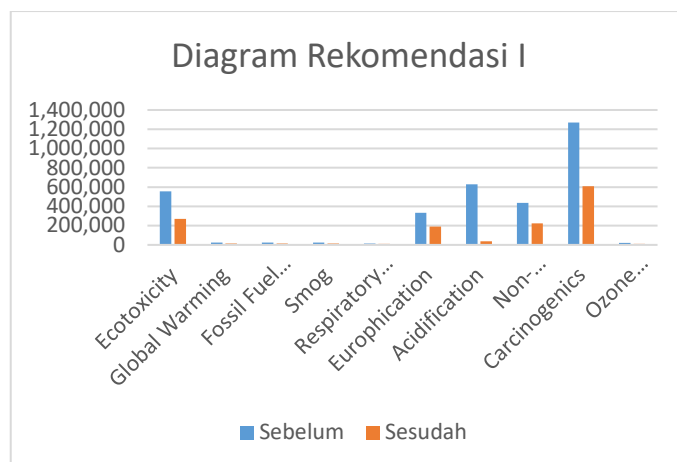
Dari hasil studi literatur dan hasil analisis LCA, rekomendasi program alternatif terdapat 2 yang akan dilakukan yaitu pengaplikasian sistem *Spray Drying Absorption* (SDA) dan merubah presentase perbandingan volume antara asam fosfat dan asam sulfat dalam *mixed acid* (Prasetyadi,2018) serta mereaksikan gas HF dengan kalsium karbonat dan merubah presentase perbandingan volume antara asam fosfat dan asam sulfat dalam *mixed acid* (Habibie dan Samara,2019).

3.2.1 Aplikasi Sistem *Spray Drying Absorption* dan Perubahan Persentase Volume Asam Fosfat dan Asam Sulfat

Dilakukan pengaplikasian sistem *Spray Drying Absorption* (SDA) dan merubah presentase perbandingan volume antara asam fosfat dan asam sulfat dalam *mixed acid*. Tahap selanjutnya, melakukan analisis ulang menggunakan SIMAPRO 9.0.0 dengan mengubah nilai input asam fosfat dan emisi HF sesuai persentase efektivitas. Setelah dilakukan analisis ulang, nilai dampak sebelum dan sesudah dilakukan rekomendasi ini dapat dibandingkan.

Tabel 9. Hasil Banding Dampak Lingkungan Sesudah dilakukan Rekomendasi I

Impact Category	Sebelum	Sesudah	% Penurunan
Ecotoxicity	557.194	269.776	51,58
Global Warming	23.640	15.405	34,83
Fossil Fuel Depletion	24.379	13.479	44,71
Smog	23.920	14.502	39,38
Respiratory Effect	12.587	11.547	8,26
Europhication	332.401	189.868	42,88
Acidification	627.289	38.145	93,92
Non-Carcinogenics	436.838	222.958	48,96
Carcinogenics	1.271.136	608.943	52,09
Ozone Depletion	19.910	10.221	48,66



Gambar 8. Diagram Perbandingan Dampak Lingkungan Sebelum Dan Sesudah dilakukan Rekomendasi I

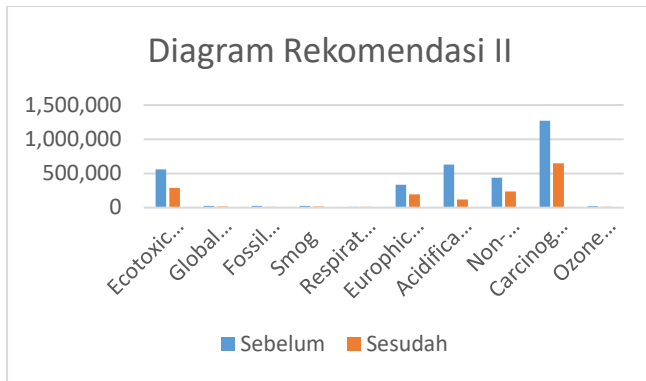
Dapat dilihat dari diagram diatas, dampak lingkungan yang mengalami perubahan terbesar yaitu *acidification*, persentase penurunan sebesar 93,92%, sedangkan dampak yang mengalami penurunan terkecil adalah *respiratory effects*, persentase penurunan sebesar 8,26%.

3.2.2 Mereaksikan gas HF dengan CaCO₃ dan Perubahan Persentase Volume Asam Fosfat dan Asam Sulfat

Setelah mereaksikan gas HF dengan kalsium karbonat dan merubah presentase perbandingan volume antara asam fosfat dan asam sulfat dalam *mixed acid*. Setelah itu, dilakukan analisis ulang dengan menggunakan Simapro dengan mengubah nilai input asam fosfat dan emisi HF sesuai dengan presentase efektivitas. Setelah dilakukan analisis ulang, nilai dampak sebelum dan sesudah dilakukan rekomendasi ini dapat dibandingkan.

Tabel 10. Hasil Banding Dampak Lingkungan Sesudah dilakukan Rekomendasi II

Impact Category	Sebelum	Sesudah	% Penurunan
Ecotoxicity	557.194	286.564	5,86
Global Warming	23.640	15.835	33,01
Fossil Fuel Depletion	24.379	14.049	42,37
Smog	23.920	14.979	37,38
Respiratory Effect	12.587	11.848	5,86
Europhication	332.401	193.381	41,82
Acidification	627.289	118.099	81,17
Non-Carcinogenics	436.838	234.335	46,36
Carcinogenics	1.271.136	649.225	48,92
Ozone Depletion	19.910	10.728	46,12



Gambar 9. Diagram Perbandingan Dampak Lingkungan Sebelum Dan Sesudah dilakukan Rekomendasi II

Dapat dilihat dari diagram diatas, dampak lingkungan yang mengalami perubahan dengan penurunan terbesar adalah *acidification* sebesar 81,17%. sedangkan dampak lingkungan yang mengalami penurunan terkecil yaitu *respiratory effects* sebesar 5,86%.

Hasil dari kedua rekomendasi program alternatif tersebut, terlihat bahwa hasil presentase penurunan dampak setelah dilakukan pengaplikasian sistem *Spray Drying Absorption* (SDA) dan merubah presentase perbandingan volume antara asam fosfat dan asam sulfat dalam *mixed acid* memiliki presentase penurunan lebih tinggi.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil *running LCA* pada proses produksi pupuk SP-36 unit yang memberikan dampak terbesar adalah *reaction unit*. Untuk kategori dampak dominan selama proses produksi adalah dampak *carcinogenics* dengan nilai normalisasi 1.271.136 atau 29,52 CTU_H pada nilai karakterisasi.

Rekomendasi untuk menurunkan dampak lingkungan proses produksi pupuk SP-36 adalah dengan mengaplikasikan sistem *Spray Drying Absorption* (SDA) dan mengubah perbandingan antara volume fosfat dan asaf sulfat dengan *mixed acid*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada salah satu industri pupuk yang telah membantu dalam penyediaan data penelitian ini. Dan juga penulis sampaikan terimakasih kepada semua pihak yang memberikan dukungan dalam proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI ISO 14040:2016. Manajemen Lingkungan-Penilaian Daur Hidup-Prinsip dan Kerangka Kerja. Badan Standardisasi Nasional : Jakarta.

Abdilah, M. A., & Cahyana, A. S. (2018). *Analisis Dampak Lingkungan Pada Industri Pupuk dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assesment (LCA)*. 1–6.

Adiansyah, J. S., Ningrum, N. P., Pratiwi, D., & Hadiyanto, H. (2019). Kajian Daur Hidup (Life Cycle Assessment) dalam Produksi Pupuk Urea: Studi Kasus PT Pupuk Kujang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(3), 522. <https://doi.org/10.14710/jil.17.3.522-527>

Ashrae. (2009). American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers. *Handbook of Fundamental*. Atlanta.

EC.(2013). Commission Recommendation of 9 April 2013 on The Use of Common Methods to Measure and Communicate *The Life Cycle Environmental Performance of Products and Organisations*. OJ L124, 04.05.2013, pp. 1-210.

EPA. (2016). Health and Enviromental Effect of Particulate Matter. *Eurochem Group. 2017. Sustainability Report Eurochem Group 2017*.

Firmansyah,Imam dan Muhammad Syakir. (2017). Pengaruh Kombinasi Dosis Pupuk N,P,dan K terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Terung (*Solanum Melongena L.*). *The Influence of Dose Combination Fertilizer N,P,and K. J. Hort*27(1). 69-78.

Gusnita, Dessy. (2014). Pencemaran Smog (Asap Kabut) Sebagai Dampak Aktivitas Antropogenik. *Peneliti Bidang Komposisi Atmosfer, Pusat Sains Teknologi Atmosfer, Lapan. Berita Dirgantara*, 15(2),84-89.

Habibie, M. Ridho., dan Samara, Faras S. 2019. Pra Rencana Pabrik Pembuatan Kalsium Fluorida dari Presipitasi Kalsium Karbonat Dengan Amonium Fluorida Kapasitas 60.000 Ton/Tahun. Jurusan Teknik Kimia. Universitas Sriwijaya.

Ja'far, M. S., dan L. Kartikasari. (2009). *Carbon Accounting: Implikasi Strategis Perekayasaan Akuntansi Manajemen*. Palembang : Simposium Nasional Akuntansi XII.

Menoufi, K. A. I. (2011). *An overview on Life Cycle Impact Assessment (LCIA) methodologies: A state of the art*. Disertation.

Michael, Z., Hauschild, dan Huijbregts, A.J. 2015.*Introducing Life Cycle Impact Assessment*. Nijmegen : Radboud University.

Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2018 Tentang Standar Industri Hijau Untuk Industri Pupuk Urea, Pupuk SP-36, dan Pupuk Amonium Sulfat.

Petrokimia Gresik. 2019. Proses Produksi Pupuk SP-36. .

Prasetyadi., Wiharja., dan Sri Wahyono. 2018. “Teknologi Penanganan Emisi Gas Dari Insinerator Sampah Kota”. *Jurnal Pusat Teknologi Lingkungan (PTL) BPPT: Tangerang Selatan, Banten*

PreConsultant.(2019). All About SimaPro.

Pre Consultant. (2019). *SimaPro Database Manual Methods Library*. <https://www.presustainability.com/>.

Pujadi & Yola, M. (2013). *Analisis Sustainability Packaging dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA)*. UIN Sultan Syarif Kasim Riau, 1, 1 – 127.

Riebeek, H. (2010). Global Warming. https://earthobservatory.nasa.gov/features/GlobalWarmi_n

SimaPro. (2017). *Updated Impact Assessment Methodology ReCiPe2016*. <https://simapro.com/2017/updated-impact-assessment-methodology-recipe-2016/>.

SimaPro. (2019). *Normalization Factor TRACI Method Canada 2005*. SimaPro 9.0.0.

Simbolon, A.R. (2016). Pencemaran Bahan Organik dan Eutrofikasi di Perairan Cituis, Pesisir Tangerang. *Jurnal ProLife*. Vol. 3. No.2.

Yulius Windrianto, D. R. L. I. B. (2016). Pengukuran Tingkat Eko-Efisiensi Untuk Menciptakan Produksi Batik yang

Efisien dan Ramah Lingkungan (Studi Kasus di UKM Sri Kuncoro Bantul). *Jurnal OPSI*, 9(2), 143 – 14