

ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN DARI PRODUKSI PUPUK UREA 1A DENGAN MEMPERTIMBANGKAN TOTAL BIAYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE LIFE CYCLE ASSESMENT DAN LIFE CYCLE COST

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF UREA 1A FERTILIZER PRODUCTION CONSIDERING TOTAL COSTS USING LIFE CYCLE ASSESMENT AND LIFE CYCLE COST METHODS

Muhammad Naufal Nurliyan¹, Drs. Judi Alhilman, MSIE.², Aji Pamoso, S.Si., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

¹naufalnurliyan@student.telkomuniversity.ac.id, ²alhilman@telkomuniversity.ac.id, ³humamsiddiq@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Produk pupuk Urea 1A merupakan salah satu produk yang dibuat oleh PT Pupuk Kujang khususnya pada pabrik 1A. Bahan baku utama yang digunakan pada proses produksi pupuk Urea 1A adalah karbondioksida dan ammonia. Proses pembuatan pupuk Urea 1A diperlukan penggunaan energy dan bahan baku kimia yang sangat banyak sehingga berpotensi akan mengakibatkan dampak lingkungan yang besar juga. Maka dari itu Life Cycle Assessment digunakan dengan tujuan untuk menganalisis dampak lingkungan apa saja yang dihasilkan dari proses produksi pupuk Urea 1A. Selain itu, digunakan metode Life Cycle Cost untuk menjadi parameter apakah dampak lingkungan yang dihasilkan sudah melebihi batas wajar atau tidak dengan melihat perbandingan biaya internal dan eksternalnya. Berdasarkan pengolahan data metode Life Cycle Assessment menggunakan software Simapro 7, Marine aquatic ecotoxicity, Acidification, dan Global warming dengan nilai berturut-turut sebesar 497304,45 kg 1,4-DB eq, 40,99840 kg Sb eq, dan 2294,1976 kg CO₂ eq. Komponen yang paling banyak menghasilkan dampak lingkungan adalah penggunaan energy steam dan gas alam. Hasil metode Life Cycle Cost menunjukkan bahwa total biaya eksternal adalah Rp 5.544.467,73 (57%) lebih besar dari total biaya internal yaitu Rp 4.106.217,95 (43%). Maka dari itu terbukti bahwa dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi produk pupuk Urea 1A sudah lebih dari batas wajar jika dilihat dari parameter biaya yang dihasilkan. Hasil dari analisis sensitivitas membuktikan bahwa pengurangan emisi dan energy adalah alternative terbaik untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi pupuk Urea 1A.

Kata kunci : Life Cycle Assesment, Life Cycle Cost, Analisis Sensitivitas, Biaya Internal, Biaya Eksternal.

Abstract

Urea fertilizer product 1A is one of the products made by PT Pupuk Kujang specifically at factory 1A. The main raw materials used in the production process of Urea 1A fertilizer are carbon dioxide and ammonia. The process of making Urea 1A fertilizer requires a very large use of energy and chemical raw materials so that it has the potential to cause a large environmental impact as well. Therefore Life Cycle Assessment is used with the aim of analyzing what environmental impacts resulting from the production process of Urea 1A fertilizer. In addition, the Life Cycle Cost method is used to be a parameter whether the environmental impact produced exceeds the reasonable limit or not by looking at the comparison of internal and external costs. Based on data processing the Life Cycle Assessment method using Simapro 7 software, Marine aquatic ecotoxicity, Acidification, and Global warming with values of 497304.45 kg 1.4-DB eq, 40.99840 kg Sb eq, and 2294.19776 kg CO₂ eq. The component that produces the most environmental impacts is the use of energy steam and natural gas. The results of the Life Cycle Cost method show that the total external cost is Rp5,544,467.73 (57%) greater than the total internal cost of Rp4,106,217.95 (43%). Therefore it is evident that the environmental impact resulting from the production process of Urea 1A fertilizer products is more than the reasonable limit if selected from the cost parameters produced. The results of the sensitivity analysis prove that the reduction of emissions and energy is the best alternative to reduce the environmental impact resulting from the production process of Urea 1A fertilizer.

Keywords: Life Cycle Assesment, Life Cycle Cost, Sensitivity Analysis, Internal Cost, External Cost.

1. Pendahuluan

Perusahaan merupakan keseluruhan perbuatan yang dilakukan secara terus menerus, bertindak ke luar untuk mendapatkan penghasilan dengan cara memperdagangkan, menyerahkan barang, atau pengadaan perjanjian perdagangan. Pada perusahaan terdapat sistem, yaitu kumpulan dari aktivitas-aktivitas dalam perusahaan yang saling berketerkaitan dan bekerja sama untuk mencapai tujuan yang sama. Perusahaan memiliki macam-macam objek yang dihasilkan, contohnya adalah perusahaan manufaktur, perusahaan makanan, perusahaan garment, dan perusahaan lainnya yang mengubah bahan baku menjadi produk jadi dengan melibatkan proses-proses didalamnya. Seiring berjalannya waktu, semakin banyak industry besar yang bermunculan di Indonesia. Semakin banyaknya industry yang bermunculan, semakin banyak juga dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksinya. Dampak

lingkungan yang saat ini sedang dirasakan salah satunya adalah perubahan iklim. Menurut [1] perubahan iklim adalah perubahan pola cuaca yang berlangsung lama. Perubahan iklim disebabkan oleh adanya peningkatan konsentrasi CO₂ (karbondioksida) yang mengakibatkan peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi. Perubahan iklim berawal dari adanya pemanasan global. Pemanasan global merupakan keadaan dimana suhu bumi mengalami kenaikan dibandingkan sebelumnya. Penyebab dari pemanasan global meningkatnya emisi gas karbon dioksida dan gas rumah kaca dari aktivitas manusia. Sebenarnya karbondioksida dan gas rumah kaca memang dihasilkan dari bumi, namun adanya berbagai aktivitas manusia, khususnya sejak era pra-industri emisi gas rumah kaca ke atmosfer mengalami peningkatan yang sangat tinggi sehingga meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Hal ini menyebabkan timbulnya masalah pemanasan global dan perubahan iklim. Menurut [1] emisi GRK pada tahun 2017 dari masing-masing sektor adalah sebagai berikut :

Tabel 1 Emisi GRK Yang Dihasilkan Dari Masing-masing Sektor Pada Tahun 2017

Sektor	Emisi GRK	Unit
Energi	558890	GgCO ₂ e
Proses Industri dan Penggunaan Produk	55395	GgCO ₂ e
Pertanian	121686	GgCO ₂ e
Kehutanan dan Kebakaran Gambut	294611	GgCO ₂ e
Limbah	120191	GgCO ₂ e

Data diatas menunjukkan bahwa hasil emisi GRK terbesar dihasilkan dari penggunaan energy. Proses industry dan penggunaan produk menduduki posisi terakhir dengan jumlah emisi 55.395 Gg CO₂e. Walau begitu, industry menghasilkan cukup banyak emisi GRK pada tahun 2017. Selain perubahan iklim dan pemanasan global, pencemaran air juga menjadi dampak lingkungan yang cukup serius dihadapi di Indonesia. Pencemaran air merupakan pencemaran badan air (seperti lautan, laut, danau, sungai, air tanah dan lainnya) yang rata-rata disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti membuang sampah sembarangan, dan aktivitas indutri. Perubahan dalam sifat fisik, kimia atau biologis air akan memiliki dampak buruk yang merugikan bagi organisme hidup dalam air.

PT Pupuk Kujang merupakan industry kimia yang memproduksi Amonia dan Urea. Kegiatan yang dijalankan perusahaan PT Pupuk Kujang antara lain adalah mengolah bahan-bahan mentah tertentu menjadi bahan pokok dalam pembuatan pupuk, menyelenggarakan kegiatan distribusi dan perdagangan, melaksanakan studi penelitian, dan menjalankan kegiatan-kegiatan usaha dalam bidang angkutan, ekspedisi, dan pergudangan. Produksi pupuk pada PT Pupuk Kujang dibagi menjadi dua area, yaitu Pabrik Kujang 1A dan Pabrik Kujang 1B. Pabrik Kujang 1B dibangun untuk menanggulangi masalah biaya pemeliharaan yang semakin tinggi dan downtime yang semakin meningkat seiring berkembangnya usia pabrik yang semakin tua. Energy yang digunakan untuk pembuatan produk Urea 1A pada PT Pupuk Kujang sangat besar, dan bahan baku yang digunakan juga adalah bahan kimia yang mungkin pada proses produksinya dapat berpotensi mencemari lingkungan.

Maka dari itu, metode Life Cycle Assesment digunakan untuk mengetahui dampak lingkungan apa saja yang dihasilkan dari produksi pupuk Urea. Komponen dari . Hasil dari metode Life Cycle Assessment akan menunjukkan dampak lingkungan apa saja yang dihasilkan dari proses produksi pupuk Urea 1A, dan komponen apa yang paling berpengaruh pada dampak lingkungan tersebut. Life Cycle Cost digunakan untuk menjadi parameter apakah dampak lingkungan yang dihasilkan sudah lebih dari batas wajar atau tidak. Biaya Life Cycle Cost dibagi menjadi dua, yaitu biaya internal dan biaya eksternal. Biaya internal yang didapatkan merupakan biaya pegawai, operasional, dan maintenance dari produksi tersebut. Biaya eksternal merupakan biaya yang dihasilkan dari limbah produksi, seperti biaya yang terjadi akibat dampak lingkungan yang dihasilkan.

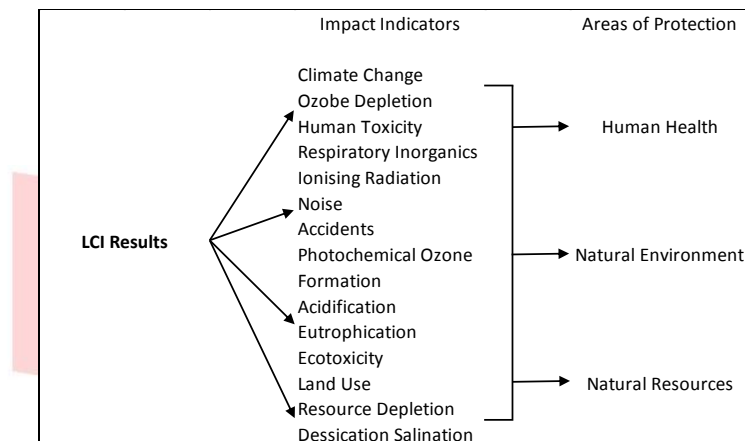
2. Landasan Teori

2.1 Life Cycle Inventory

Life Cycle Inventory (LCI) adalah proses kuantifikasi energi dan bahan baku yang dibutuhkan, emisi atmosfer, emisi yang dicemari melalui air, limbah padat, dan pelepasan lainnya untuk seluruh siklus hidup suatu produk, proses, atau aktivitas. Inventroy Analysis menghasilkan daftar yang berisi jumlah polutan yang dilepaskan ke lingkungan (setelah perawatan atau kontrol) dan jumlah energi dan bahan yang dikonsumsi. Dalam fase Life Cycle Inventory, semua data yang relevan dikumpulkan dan diolah untuk mendapatkan hasil dari perhitungan. Data yang didapatkan akan membantu organisasi dalam membandingkan produk atau proses dan mempertimbangkan faktor lingkungan dalam pemilihan bahan. Selain itu, Inventory Analysis dapat digunakan dalam pembuatan kebijakan, dengan membantu pemerintah mengembangkan peraturan tentang penggunaan sumber daya dan emisi lingkungan[2].

2.2 Life Cycle Impact Assessment

Gambar 1 *Life Cycle Impact Categories*

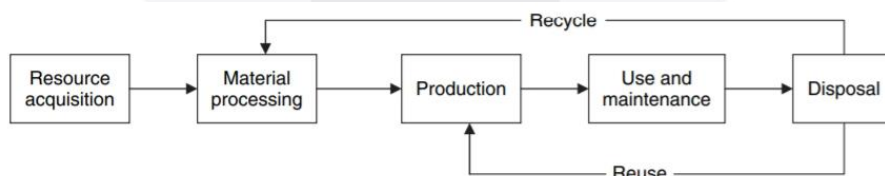


Life Cycle Impact Assessment (LCIA) adalah evaluasi potensi dampak kesehatan manusia dan lingkungan dari sumber daya lingkungan yang diidentifikasi selama proses produksi berlangsung. Aspek Penilaian yang dilihat adalah dampak ekologis dan kesehatan manusia, ataupun dampak pemakaian bahan baku yang dapat mengakibatkan penipisan sumber daya. LCIA berupaya membangun hubungan antara produk atau proses dan potensi dampak lingkungannya. LCIA tidak selalu berupaya untuk mengukur dampak aktual dan spesifik apa pun yang terkait dengan produk, proses, atau aktivitas. LCIA berupaya membangun hubungan antara sistem dan dampak potensial. LCIA menyediakan prosedur sistematis untuk mengklasifikasikan dan mengkarakterisasi jenis-jenis efek lingkungan ini[2].

2.3 Life Cycle Assessment

Life Cycle Assessment (LCA) adalah pandangan holistik dari interaksi lingkungan yang mencakup berbagai kegiatan, dari ekstraksi bahan baku dari Bumi dan produksi, distribusi energi, dan pembuangan akhir suatu proses produksi. LCA memungkinkan estimasi dampak lingkungan kumulatif yang dihasilkan dari semua tahap dalam siklus hidup produk, sering kali mencakup dampak yang melampaui batas analisis tradisional. LCA dapat membantu pengambil keputusan memilih produk atau proses yang menghasilkan dampak paling kecil terhadap lingkungan. Informasi ini dapat digunakan dengan faktor-faktor lain, seperti data biaya dan kinerja, dalam proses pemilihan[2].

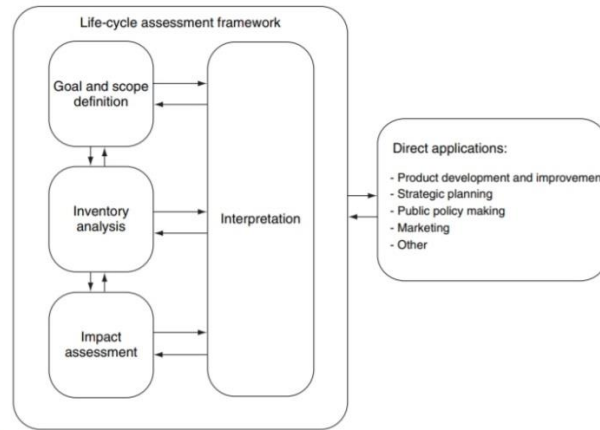
Gambar 2 *Life Cycle Assessment Scope*



Secara khusus, LCA adalah teknik untuk menilai aspek lingkungan dan dampak potensial yang terkait dengan produk, proses, atau layanan, dengan:

- Memilih unit fungsional dengan tepat,
- Mendefinisikan dengan jelas tujuan dan ruang lingkup penelitian;
- Menyusun inventaris input energi dan material yang relevan;
- Mengevaluasi potensi dampak lingkungan yang terkait dengan input dan pelepasan yang diidentifikasi;
- Menginterpretasikan hasil untuk membantu pembuat keputusan membuat keputusan yang lebih tepat.

Gambar 3 Life Cycle Assessment Framework

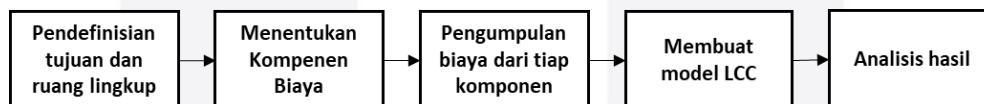


Kemampuan untuk menganalisis sensitivitas dalam dampak lingkungan dari Life Cycle Assesment dapat membantu para stakeholder dan manajer perusahaan sepenuhnya mengkarakterisasi trade-off lingkungan yang dihasilkan dari produksi.

2.4 Life Cycle Cost

Life Cycle Cost (LCC) merupakan perhitungan dari semua biaya yang signifikan dan relevan selama masa pakai aset yang dikeluarkan untuk mencapai tingkat kinerja yang ditentukan, termasuk keandalan, keamanan, dan ketersediaan selama masa periode aset tersebut digunakan. Oleh karena itu, untuk struktur yang diberikan, LCC terdiri dari jumlah present value (PV) dari semua biaya yang diharapkan dari konstruksi hingga akhir masa hidup komponen, termasuk biaya konstruksi, biaya inspeksi dan pemeliharaan, biaya perbaikan atau penggantian dan biaya pembuangan. Biaya dapat dibagi menjadi empat kategori utama, berdasarkan pada apakah itu direncanakan atau tidak direncanakan, dan apakah itu ditunjang perusahaan atau penggunaannya. Biaya yang direncanakan dihasilkan dari konstruksi, pemeliharaan, dan retrofit. Biaya yang tidak direncanakan terkait dengan kerusakan dari kejadian luar biasa seperti bahaya alam[3]. Tujuan dari LCC menurut [4] adalah untuk memilih alternatif pendekaran yang paling hemat biaya dari serangkaian alternatif biaya kepemilikan, yang paling singkat dicapai oleh perusahaan. Terdapat perbedaan dengan LCC biasanya jika metode tersebut dikombinasikan dengan metode *Life Cycle Assesment*, menurut [5] LCC pada penelitian ini dibagi menjadi 5 tahapan, yaitu

Gambar 4 Tahapan Life Cycle Cost



LCC dibagi menjadi dua bagian, yaitu biaya internal dan biaya eksternal. Berikut merupakan pengelompokan masing-masing komponen biaya terhadap biaya internal dan biaya eksternal

Tabel 2 Klasifikasi Komponen Life Cycle Cost

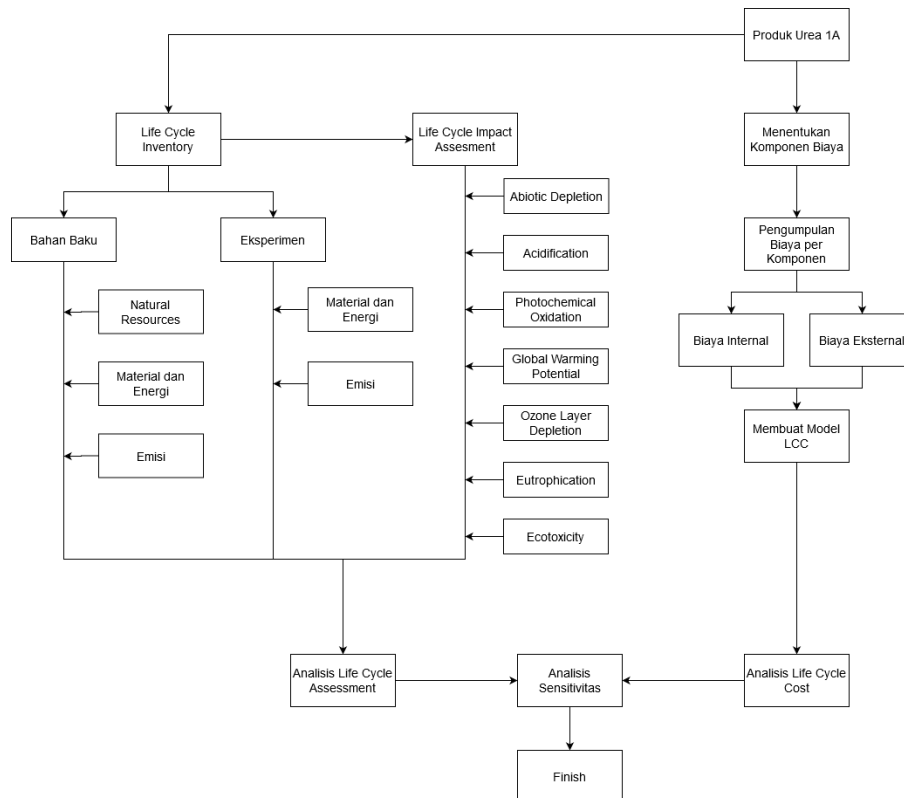
Biaya LCC	Komponen LCC	Subkomponen LCC
Internal	Bahan Baku	Biaya Bahan Baku
	Produksi	Biaya Listrik
		Biaya Pegawai
		Biaya Perawatan
External	Dampak Lingkungan	Eutrophication
		Acidification
		Photochemical Oxidation
		Ozone Layer Depletion
		Global Warming
		Toxicity

Biaya Internal didapatkan dari hasil observasi langsung pada perusahaan PT Pupuk Kujang, sedangkan biaya eksternal merupakan biaya dari nilai dampak lingkungan yang dihasilkan dari produksi Urea 1A. Biaya per unit dari dampak lingkungan didapatkan dari literature terpercaya[5].

3. Metode Penyelesaian Masalah

Berikut merupakan metode penyelesaian masalah untuk penelitian ini

Gambar 5 Metode Penyelesaian Masalah



Berdasarkan model konseptual di atas, penelitian dimulai dari menganalisis produk pupuk Urea 1A. Produk tersebut diuraikan berdasarkan Life cycle Inventory, Life Cycle Impact Assesment, dan biaya dari masing-masing komponen untuk memproduksi pupuk Urea 1A. Setelah didapatkan Life Cycle Inventory dan Life Cycle Impact Assesment, dilanjutkan kepada Life Cycle Assesment. Jika komponen biaya telah ditentukan, selanjutnya adalah menentukan biaya inventaris dari produk. Biaya-biaya tersebut dibagi menjadi dua, yaitu biaya eksternal dan biaya internal. Langkah selanjutnya setelah seluruh biaya sudah ditentukan adalah membentuk model Life Cycle Cost. Setelah itu analisis Life Cycle Cost dilakukan untuk menjadi parameter apakah hasil dampak lingkungan yang dihasilkan dari metode Life Cycle Assesment masih dalam batas wajar atau tidak, dan analisis sensitivitas dilakukan untuk membuktikan bahwa dengan pengurangan bahan baku atau energy yang paling berpengaruh pada dampak lingkungan akan mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan.

4. Pembahasan

4.1 Life Cycle Assessment

Tabel 3 Life Cycle Assessment 1 ton Pupuk Urea 1A

Impact category	Unit	Total	Urea	CO2	Ammonia	Steam	Tenaga Listrik
Abiotic depletion	kg Sb eq	40.9840	0.0E+00	2.6E+01	1.0E+01	4.7E+00	6.6E-01
Acidification	kg SO2 eq	6.0829	6.7E-03	3.3E+00	1.3E+00	1.4E+00	1.2E-01
Eutrophication	kg PO4--- eq	0.3916	1.5E-03	2.1E-01	8.3E-02	8.1E-02	1.6E-02
Global warming (GWP100)	kg CO2 eq	2294.1976	0.0E+00	1.2E+03	4.6E+02	5.8E+02	8.4E+01
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0.0002	0.0E+00	1.2E-04	4.8E-05	7.2E-05	2.7E-06
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	669.0585	4.2E-04	3.6E+02	1.4E+02	1.5E+02	1.1E+01
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	96.0059	0.0E+00	6.0E+01	2.4E+01	1.1E+01	6.0E-01
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	497304.4500	0.0E+00	2.9E+05	1.1E+05	8.7E+04	6.1E+03
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	10.1778	0.0E+00	5.0E+00	2.0E+00	3.2E+00	3.9E-02
Photochemical oxidation	kg C2H4	0.3808	0.0E+00	2.2E-01	8.5E-02	7.5E-02	4.8E-03

Hasil dari LCA didapatkan dengan menggunakan metode CML 2 Baseline 2000, metode CML digunakan pada penelitian sebelumnya menurut [6] dan merupakan metode yang umum digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari produksi. Dampak lingkungan yang dihasilkan dari hasil pengolahan data dengan menggunakan metode CML baseline antara lain adalah abiotic depletion, acidification, eutrophication, global warming, ozone layer depletion, human toxicity, fresh water aquatic ecotoxicity, marine aquatic ecotoxicity, terrestrial ecotoxicity, dan photochemical oxidation.

Berdasarkan hasil perhitungan LCA pada PT Pupuk Kujang khususnya produk Urea 1A, dampak lingkungan terbesar adalah marine aquatic toxicity yang dihasilkan dari proses dengan nilai dampak lingkungan tertinggi yaitu pada proses pembuatan karbondioksida dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 58,2%, diikuti dengan proses pembuatan ammonia dengan presentasi hasil dampak lingkungannya sebesar 23,1%, penggunaan energy steam dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 17,6%, dan penggunaan energy listrik dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 1,23%. Dampak lingkungan kedua terbesar adalah abiotic depletion yang dihasilkan dari proses dengan nilai dampak lingkungan tertinggi yaitu pada proses pembuatan karbondioksida dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 62,2%, diikuti dengan proses pembuatan ammonia dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 24,7%, penggunaan energy steam dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 11,5%, dan penggunaan energy listrik dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 1,61%. Dampak lingkungan ketiga terbesar adalah global warming yang dihasilkan dari proses dengan nilai dampak lingkungan tertinggi yaitu pada proses pembuatan karbondioksida dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 50,8%, diikuti dengan proses pembuatan ammonia dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 20,1%, penggunaan energy steam dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 25,5%, dan penggunaan energy listrik dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 3,64%. Dampak lingkungan keempat terbesar adalah fresh water aquatic ecotoxicity yang dihasilkan dari proses dengan nilai dampak lingkungan tertinggi yaitu pada proses pembuatan karbondioksida dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 62,9%, diikuti dengan proses pembuatan ammonia dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 24,94%, penggunaan energy steam dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 11,54%, dan penggunaan energy listrik dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 0,62%. Dampak lingkungan kelima terbesar adalah terrestrial ecotoxicity yang dihasilkan dari proses dengan nilai dampak lingkungan tertinggi yaitu pada proses pembuatan karbondioksida dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 49,18%, diikuti dengan proses pembuatan ammonia dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 19,49%, penggunaan energy steam dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 30,95%, dan penggunaan energy listrik dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 0,38%. Dampak lingkungan keenam terbesar adalah acidification yang dihasilkan dari proses dengan nilai dampak lingkungan tertinggi yaitu pada proses pembuatan karbondioksida dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 53,72%, diikuti dengan proses pembuatan ammonia dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 21,30%, penggunaan energy steam dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 22,99%, dan penggunaan energy listrik dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 1,89%. Dampak lingkungan ketujuh terbesar adalah human toxicity yang dihasilkan dari proses dengan nilai dampak lingkungan tertinggi yaitu pada proses pembuatan karbondioksida dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 53,92%, diikuti dengan proses pembuatan ammonia dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 21,38%, penggunaan energy steam dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 23,11%, dan penggunaan energy listrik dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 1,59%. Dampak lingkungan kedelapan terbesar adalah photochemical oxidation yang dihasilkan dari proses dengan nilai dampak lingkungan tertinggi yaitu pada proses pembuatan karbondioksida dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 56,6%, diikuti dengan proses pembuatan ammonia dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 22,44%, penggunaan energy steam dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 19,70%, dan penggunaan energy listrik dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 1,27%. Dampak lingkungan kesembilan terbesar adalah eutrophication yang dihasilkan dari proses dengan nilai dampak lingkungan tertinggi yaitu pada proses pembuatan karbondioksida dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 53,48%, diikuti dengan proses pembuatan ammonia dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 21,20%, penggunaan energy steam dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 20,79%, dan penggunaan energy listrik dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 4,19%. Yang terakhir, adalah dampak lingkungan terkecil adalah ozone layer depletion yang dihasilkan dari proses dengan nilai dampak lingkungan tertinggi yaitu pada proses pembuatan karbondioksida dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 49,80%, diikuti dengan proses pembuatan ammonia dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 19,74%, penggunaan energy steam dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 29,33%, dan penggunaan energy listrik dengan presentase hasil dampak lingkungannya sebesar 1,12%.

Tabel 4 *Life Cycle Assessment* 1 ton Karbondioksida

Impact category	Unit	Total	Air Demin	DEA	Pottasium Carbonate	Gas Alam	Steam	Penggunaan Listrik
Abiotic depletion	kg Sb eq	16.67147	4.7E-06	4.4E-04	7.8E-03	1.2E+01	4.5E+00	7.8E-02
Acidification	kg SO ₂ eq	2.13600	5.1E-06	1.4E-04	3.9E-03	7.7E-01	1.3E+00	1.4E-02
Eutrophication	kg PO ₄ --- eq	0.13685	1.8E-07	3.8E-05	3.0E-04	5.6E-02	7.9E-02	1.9E-03
Global warming (GWP100)	kg CO ₂ eq	761.20836	6.5E-04	3.8E-02	1.1E+00	1.9E+02	5.6E+02	9.9E+00
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0.00008	8.4E-10	3.1E-09	7.6E-08	1.0E-05	6.9E-05	3.2E-07
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	235.82152	2.2E-04	4.3E-01	5.2E-01	8.4E+01	1.5E+02	1.3E+00
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	39.47487	4.4E-05	2.4E-03	8.9E-02	2.9E+01	1.1E+01	7.0E-02
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	189052.71000	1.3E-01	7.0E+00	1.7E+02	1.0E+05	8.4E+04	7.2E+02
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	3.27170	1.4E-05	2.5E-04	4.7E-03	2.2E-01	3.0E+00	4.6E-03
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄	0.14088	2.1E-07	8.4E-06	2.0E-04	6.8E-02	7.2E-02	5.7E-04

Jika dilihat lebih rinci terhadap dampak lingkungan yang dihasilkan pada proses pembuatan bahan baku karbondioksida, komponen yang paling berdampak pada lingkungan saat proses pembuatan karbondioksida didominasi oleh pemakaian energy steam dan bahan baku gas alam. Gas alam mendominasi pada dampak lingkungan *abiotic depletion*, *fresh water aquatic ecotoxicity*, dan *marine aquatic ecotoxicity*. Pemakaian energy steam mendominasi pada dampak lingkungan *acidification*, *eutrophication*, *global warming*, *ozone layer depletion*, *human toxicity*, *terrestrial ecotoxicity*, dan *photochemical oxidation*. Maka dari itu, perusahaan perlu melakukan tindakan untuk mengurangi pemakaian dari bahan baku gas alam, dan energy steam, namun pengurangan kedua komponen tersebut akan mengakibatkan berkurangnya produk yang dihasilkan dari produksi pupuk Urea 1A, maka dari itu keputusan terbaik yang bisa dijalankan oleh perusahaan untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan adalah pengurangan emisi yang keluar dari hasil proses produksi pupuk Urea 1A, walaupun pengurangan tersebut dapat dibilang tidak signifikan.

4.2 Life Cycle Cost

Tabel 5 *Life Cycle Cost* 1 ton Produk Pupuk Urea 1A

Kategori Biaya		Produksi Bahan Baku		Produksi Urea	Biaya Total	Percentage
		Ammonia	Karbondioksida			
Internal Cost (Rupiah)	Biaya Bahan Baku	IDR 1,082,430.20	IDR 2,730,411.00	IDR 0.00	IDR 3,812,841.10	43%
	Biaya Listrik	IDR 8,653.81	IDR 21,829.08	IDR 120,626.17	IDR 151,109.05	
	Biaya Pegawai	IDR 0.00	IDR 0.00	IDR 141,950.03	IDR 141,950.03	
	Biaya Maintenance	IDR 0.00	IDR 0.00	IDR 317.77	IDR 317.77	
Eksternal Costs (Rupiah)	Biaya Dampak Lingkungan	IDR 1,136,158.66	IDR 2,815,926.82	IDR 1,592,382.25	IDR 5,544,467.73	57%
Total Biaya (Rupiah)		IDR 2,227,242.67	IDR 5,568,166.90	IDR 1,855,276.22	IDR 9,650,685.68	100%

Dari hasil perhitungan LCC didapatkan bahwa biaya eksternal lebih besar daripada biaya internal. Hasil total dari biaya eksternal adalah Rp 5.544.467,73 (57%), dan total dari biaya internal adalah Rp 4.106.217,95 (43%) untuk produksi 1 ton produk pupuk Urea 1A. Biaya eksternal merupakan biaya yang diperlukan oleh perusahaan untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi Pupuk Urea 1A. Biaya eksternal dari masing-masing komponen bahan baku adalah Rp 1.136.158,66 pada proses pembuatan bahan baku ammonia, Rp 2.815.926,82 pada proses pembuatan bahan baku karbondioksida, dan Rp 1.592.382,25 pada proses pembuatan produk pupuk Urea 1A. Jika dilihat dari hasil perhitungan LCC, dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi Urea 1A diatas batas wajar karena biaya yang dihasilkan dari biaya eksternal memiliki presentase yang lebih mendominasi dari biaya internal. Perusahaan perlu melakukan pengurangan dari dampak lingkungan tersebut dengan mengurangi pemakaian energy, emisi, ataupun bahan baku yang digunakan. Pengurangan tersebut dapat dilakukan dengan berbagai saran seperti berikut :

1. Mengurangi pemakaian energy, dengan menggunakan peralatan industry yang lebih hemat energy.
2. Melakukan penyuluhan emisi yang dihasilkan dari proses produksi Pupuk Urea 1A. Emisi yang dihasilkan bisa diolah lalu digunakan kembali pada proses produksi selanjutnya. Tidak semua emisi yang dapat diolah kembali, namun jika dilihat dari data pembuangan terdapat emisi ammonia yang bisa diolah dan digunakan lagi pada proses produksi Pupuk Urea 1A khususnya pada pabrik Urea.

4.3 Analisis Sensitivitas

Tabel 6 Hasil Analisis Sensitivitas

Impact Category	Normal	Pengurangan Emisi	Pengurangan Energy	Pengurangan Emisi dan Energy
Abiotic depletion	40.983959	40.983959	39.459389	39.459389
Acidification	6.0828873	6.0822227	5.6405063	5.6398416
Eutrophication	0.39160155	0.39145616	0.36463527	0.36448987
Global warming (GWP100)	2294.1976	2294.1976	2104.8122	2104.8122
Ozone layer depletion (ODP)	0.00024475	0.00024475	0.000222431	0.000222431
Human toxicity	669.05851	669.05847	620.38629	620.38625
Fresh water aquatic ecotox.	96.00591	96.00591	92.538647	92.538647
Marine aquatic ecotoxicity	497304.45	497304.45	469803.45	469803.45
Terrestrial ecotoxicity	10.177768	10.177768	9.208697	9.208697
Photochemical oxidation	0.38078773	0.38078773	0.35722157	0.35722157

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, Analisis sensitivitas dibagi menjadi 3 skenario, scenario pertama adalah pengurangan jumlah energy yang digunakan, scenario kedua adalah pengurangan emisi yang dihasilkan, dan scenario ketiga adalah pengurangan energy dan emisi. Energy dikurangi sebanyak 10% yaitu dari pemakaian normal, dan emisi dikurangi sebanyak 10% dari pembuangan normalnya. Masing-masing energy yaitu steam dan listrik dikurangi sebanyak 14554,2 ton dan 265180.5 kWh pada proses produksi Urea 1A. Emisi dari proses produksi Urea 1A yaitu ammonia dikurangi sebanyak 7 kg. Berdasarkan hasil analisis sensitivitas, membuktikan bahwa pengurangan emisi dan energy dapat mengurangi dampak lingkungan juga yang dihasilkan dari proses produksi pupuk Urea 1A.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan software Simapro 7 dan Microsoft Excel, didapatkan tiga output untuk menjawab rumusan masalah yang telah dipaparkan sebelumnya.

1. Output pertama adalah hasil dampak lingkungan yang disebabkan oleh proses produksi 1 ton pupuk Urea 1A, dampak lingkungan terbesar yang harus dikurangi dan diperhatikan adalah *Marine aquatic ecotoxicity*, *Acidification*, dan *Global warming* dengan nilai berturut-turut sebesar 497304,45 kg 1,4-DB eq, 40,99840 kg Sb eq, dan 2294,1976 kg CO₂ eq. Dampak lingkungan tersebut dihasilkan paling besar dari pembuatan bahan baku karbondioksida, dan jika dilihat pada proses produksi bahan baku tersebut, komponen yang paling banyak menghasilkan dampak lingkungan adalah penggunaan energy steam dan gas alam.
2. Output kedua adalah hasil perhitungan LCC, didapatkan bahwa total biaya eksternal adalah Rp 5.544.467,73 (57%) lebih besar dari total biaya internal yaitu Rp 4.106.217,95 (43%). Maka dari itu terbukti bahwa dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi produk pupuk Urea 1A sudah lebih dari batas wajar jika dilihat dari parameter biaya yang dihasilkan. Biaya eksternal dapat dikurangi dengan mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan, dengan pengurangan energy, dan penyuluhan emisi yang dihasilkan dari proses produksi pupuk Urea 1A.
3. Output ketiga adalah analisis sensitivitas. Hasil dari analisis sensitivitas membuktikan bahwa pengurangan emisi dan energy adalah alternative terbaik untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi pupuk Urea 1A.

Daftar Pustaka

- [1] BPS, "Lingkungan hidup indonesia 2019," 2019.
- [2] B. D. Fath, *Encyclopedia of Ecology*. 2018.
- [3] R. De Risi, F. De Paola, J. Turpie, and T. Kroeger, "Life Cycle Cost and Return on Investment as complementary decision variables for urban flood risk management in developing countries," *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 28, pp. 88–106, 2018.
- [4] J. Alhilman, R. R. Saedudin, F. T. D. Atmaji, and A. G. Suryabrata, "LCC application for estimating total maintenance crew and optimal age of BTS component," *2015 3rd Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICoICT 2015*, pp. 543–547, 2015.
- [5] A. Özkan *et al.*, "Life cycle assessment and life cycle cost analysis of magnesite spinel brick production," *Sustain.*, vol. 8, no. 7, pp. 1–13, 2016.
- [6] J. S. Adiansyah, N. P. Ningrum, D. Pratiwi, and H. Hadiyanto, "Kajian Daur Hidup (Life Cycle Assessment) dalam Produksi Pupuk Urea: Studi Kasus PT Pupuk Kujang," *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 17, no. 3, p. 522, 2019.