

KAJIAN DAMPAK EMISI UDARA PADA PRODUKSI MINYAK BUMI DI PERUSAHAAN "A" MENGGUNAKAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)*

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF AIR EMISSIONS ON PETROLEUM PRODUCTION IN COMPANY "A" USING THE *LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)* METHOD

Annur Yudha A.M.¹⁾ dan Abdu Fadli Assomadi^{1*)}

¹⁾Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia

^{*)}E-mail: assomadi@its.ac.id

Abstrak

Emisi terbesar dari proses produksi minyak bumi ini didominasi oleh gas nitrogen oksida (NO_x) yang menyumbang 60% dari total emisi. Dalam penelitian ini dilakukan kajian dampak yang terjadi dari kegiatan produksi minyak bumi dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment (LCA)*. Dalam penelitian ini identifikasi dampak lingkungan dilakukan menggunakan *software* aplikasi SimaPro 9 dan penilaian yang dilakukan berbasis *midpoint*. Dalam penilaian *midpoint* digunakan 1 metode yaitu metode CML-IA *Baseline*. *Life cycle impact assessment (LCIA)* atau penilaian dampak dengan menggunakan penilaian *midpoint* meliputi *global warming, human toxicity, photochemical oxidation, ozone layer depletion, acidification, eutrophication, abiotic depletion, dan abiotic depletion (fossil fuel)*. Emisi yang dianalisis antara lain CO₂, CH₄, NO_x dan SO_x. Dalam penelitian ini lingkup analisis yang digunakan dari sistem proses adalah *cradle to gate*. Hasil dari analisis menghasilkan nilai dampak paling besar berasal dari unit A *power generator*. Kategori dampak paling besar dari metode CML-IA *Baseline* adalah *acidification*. Hasil dari analisis *sensitivity check* menghasilkan nilai dari kedua variasi diatas 10% yaitu 16% dari setiap variasi. Skenario program alternatif yang direkomendasikan adalah teknologi kogenerasi dan *non selective catalytic reduction (NSCR)* dikarenakan dapat menurunkan *acidification* sebesar 69,81 %, *eutrophication* 69,82% dan *human toxicity* 69,40%.

Kata kunci: Dampak lingkungan, LCA, LCIA, Minyak bumi, SimaPro 9.

Abstract

The largest emission from the petroleum production process is dominated by nitrogen oxide (NO_x) gas which accounts for 60% of the total emissions. In this research, an assessment of the impacts that occur from petroleum production activities was carried out using the Life Cycle Assessment (LCA) method. In this study, the identification of environmental impacts was carried out using the SimaPro 9 application software and the midpoint-based assessment. In the midpoint assessment, one method is used, namely the CML-IA Baseline method. Life cycle impact assessment (LCIA) or impact assessment using midpoint assessment includes global warming, human toxicity, photochemical oxidation, ozone layer depletion, acidification, eutrophication, abiotic depletion, and abiotic depletion (fossil fuel). Emissions analyzed include CO₂, CH₄, NO_x and SO_x. In this study, the scope of analysis used from the process system was cradle to gate. The results of the analysis resulted in the greatest impact value coming from unit A power generator. The largest impact category from the CML-IA Baseline method was acidification. The results of the sensitivity check analysis resulted in the value of both variations above 10%, namely 16% of each variation. The recommended alternative program scenario is cogeneration technology and nonselective catalytic reduction (NSCR) because it can reduce acidification by 69.81%, eutrophication 69.82% and human toxicity 69.40%.

Keywords: Environmental impact, LCA, LCIA, Petroleum, SimaPro 9.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan produksi minyak terbesar di dunia. Menurut Statistik BP Energi Dunia 2019, Negara Indonesia memiliki cadangan minyak sebesar 3,2 miliar barel pada tahun 2018. Selama 2018, produksi minyak mentah Indonesia sekitar 772 MBOPD. Target pengangkatan minyak harian pada tahun 2019 adalah 775 MBOPD, sedangkan target produksi gas pada 2019 setara dengan 1.250 MBOEPD (PwC, 2019). Pada tahun 2018 rata-rata produksi minyak mentah perusahaan "A" sebesar 42,3 ribu barel minyak per hari dan gas sebesar 890 juta standar kaki kubik yang menjadikan Perusahaan "A" sebagai salah satu penghasil minyak dan gas terbesar di Indonesia. Perusahaan "A" adalah salah satu perusahaan yang berfokus untuk mengeksplorasi dan memproduksi minyak bumi di Indonesia. Produk utama yang dihasilkan dari Perusahaan "A" adalah minyak dan gas bumi. Dalam proses produksi minyak bumi yang terdapat pada Perusahaan "A" melewati unit proses seperti unit proses separator, *compressor* dan *flare*. Dalam prosesnya unit-unit tersebut memiliki fungsi seperti memisahkan *liquid* dan gas dalam proses produksi migas seperti yang terjadi di unit separator sementara untuk unit *compressor* dan *condensate* memiliki fungsi untuk mengolah gas dan terjadinya kondensasi gas, sementara untuk unit *flare* berfungsi untuk pembakaran gas.

Proses produksi minyak bumi merupakan salah satu penyumbang sumber emisi gas rumah kaca. Karena CO₂ merupakan salah satu GRK yang berperan dalam memicu *global warming* dimana CO₂ dapat menyumbang 9-26% dari total emisi gas rumah kaca (Krebs, 2009). Selain itu proses produksi minyak bumi juga menghasilkan gas hidrokarbon (HC) yang memiliki kandungan gas seperti gas *methane* (CH₄), *ethane* (C₂H₆), *propane* (C₃H₈), *iso butane* (i-C₄H₁₀), *butane* (C₄H₁₀) dan *pentane* (C₅H₁₂). Gas-gas tersebut dapat mengakibatkan kanker bila terakumulasi terlalu banyak didalam darah dan tubuh manusia (Sulistiyono, 2015). Produksi minyak bumi dan gas memiliki banyak dampak terhadap lingkungan seperti pemanasan global namun produksi minyak dan gas masih diperlukan guna menunjang perekonomian negara dan pemenuhan dalam sektor bahan bakar, maka dari itu perlu dilakukan upaya untuk menganalisis dan

mengevaluasi dampak lingkungan dari proses produksi minyak bumi dan salah satunya menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA).

Life Cycle Assessment (LCA) adalah metode untuk mengidentifikasi dan mengukur *input* dan *output* material serta energi secara sistematis untuk mengetahui dampak lingkungan yang diakibatkan dari proses tersebut. *Life Cycle Assessment* juga merupakan sebuah metode untuk mengevaluasi aspek-aspek lingkungan potensial lalu menginterpretasikannya kedalam sebuah alternatif atau program guna mereduksi nilai dampak yang didapatkan.

Dalam penelitian ini menggunakan penilaian dampak dengan metode CML IA *Baseline* dengan kategori dampak *midpoint* sementara *software* yang digunakan adalah Simapro 9. Metode tersebut dipilih agar dapat dilakukan analisis serta evaluasi untuk mengetahui dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi minyak bumi serta nilai dampak yang dihasilkan. Penggunaan metode secara *midpoint* diorientasikan pada permasalahan (*problem-oriented*) (Menoufi, 2011). Dengan demikian diharapkan dapat diketahui nilai dampak dari proses produksi minyak pada tahun 2018 serta melakukan perhitungan nilai beban emisi agar didapatkan program alternatif untuk mereduksi emisi yang dihasilkan dari proses produksi minyak bumi di Perusahaan "A".

2. METODA

Pada penelitian ini menggunakan data sekunder dari Perusahaan "A" tahun 2018 yang mencakup data bahan baku, produk, dan emisi yang dihasilkan dalam proses produksi. Analisis dampak lingkungan dilakukan menggunakan *software* SimaPro 9 dengan tahapan *Life Cycle Assessment* (LCA) meliputi *goal and scope*, *life cycle inventory*, *live cycle impact assessment*, dan interpretasi. Penilaian berbasis *midpoint* menggunakan metode CML-IA *Baseline*.

Penilaian dampak pada *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) untuk penilaian *midpoint* meliputi *Global warming* (GWP100a), *Abiotic depletion (fossil fuels)*, *Acidification*, *Eutrophication*, *Marine aquatic ecotoxicity*, *Human toxicity*, *Abiotic depletion*, *Fresh water aquatic ecotox*, *Photochemical oxidation*,

Terrestrial ecotoxicity, Ozone layer depletion (ODP). Lingkup analisis sistem proses adalah *cradle to gate*. Emisi yang dianalisis antara lain CO₂, CH₄, N₂O, SO_x, dan NO_x. Unit fungsional yang digunakan yaitu per 1000 TOE minyak dan gas bumi.

Analisis *benchmarking* dilakukan untuk mengetahui posisi perusahaan terkait intensitas atau jumlah emisi yang dihasilkan. Dengan mengetahui posisi dari perusahaan dapat diketahui performa perusahaan dalam mereduksi tingkat intensitas emisi. Analisis *mass balance* dilakukan dalam rangka mengidentifikasi emisi yang timbul dari proses produksi minyak bumi. Penentuan program alternatif perbaikan dapat dilaksanakan berdasarkan hasil analisis LCA dan diskusi dengan pihak perusahaan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Life Cycle Assesment

Life Cycle Assesment merupakan analisis untuk penentuan atau penilaian terhadap suatu dampak lingkungan yang dihasilkan dari suatu proses tertentu. Berikut adalah tahapan tahapan untuk menentukan dampak lingkungan terhadap proses produksi minyak bumi.

3.2 Penentuan Goal and Scope

Penentuan dari *goal* merupakan salah satu langkah awal untuk analisis *Life Cycle Assessment (LCA)*. *Goal* atau tujuan dari kajian LCA ini adalah untuk menentukan dampak lingkungan yang muncul akibat dari kegiatan produksi dari sebuah industri. Dari goal tersebut dapat membantu untuk menentukan arah dari penelitian ini. Penentuan *Scope*, pada penelitian ini digunakan lingkup proses yaitu *cradle to gate* karena pada perusahaan masih memiliki sumur aktif yang berada pada *Field* yang ada di perusahaan. Dalam penelitian ini digunakan *software* SimaPro untuk melakukan analisis LCA.

Penelitian ini menggunakan metode CML-IA Baseline karena dampak yang dikaji sesuai dengan penilaian daur hidup dalam Permen LHK No 1 Tahun 2021 tentang program penilaian peringkat kinerja perusahaan dalam pengelolaan lingkungan hidup. Dampak yang dikaji adalah sebagai berikut *Global warming (GWP100a)*, *Abiotic depletion (fossil fuels)*, *Acidification*, *Eutrophication*, *Marine aquatic ecotoxicity*,

Human toxicity, *Abiotic depletion*, *Fresh water aquatic ecotox*, *Photochemical oxidation*, *Terrestrial ecotoxicity*, *Ozone layer depletion (ODP)*. Unit fungsional yang digunakan adalah per 1000 TOE.

3.3 Life Cycle Inventory

Life Cycle Inventory merupakan langkah yang dilakukan dengan cara menginput data hasil analisis *mass balance* produksi yang telah dilakukan berupa data input dan output kedalam SimaPro. Data tersebut berupa bahan baku, energi dan bahan kimia pendukung. Data *output* berupa produk hasil dari setiap unit produksi dan emisi yang dihasilkan dari setiap unit produksi.

3.3.1 Analisis Mass Balance

Analisis *mass balance* dilakukan dengan tujuan untuk memastikan bahwa nilai *input* dan *output* yang diproduksi dalam proses produksi minyak dan gas bumi telah seimbang. Agar sebelum dilakukan *input* ke dalam *software* Simapro dapat sesuai dan hasil lebih representatif. Apabila terjadi ketidakseimbangan antara nilai *input* dan *output* dapat dilakukan asumsi agar hasil dari *input* dan *output* produksi tersebut dapat seimbang.

3.3.2 LCI Per Unit

Life Cycle Inventory per unit adalah tahapan untuk merekapitulasi data *input* serta *output* setiap unit produksi yang sebelumnya telah dilakukan pada tahap analisis *mass balance*. Melalui analisis LCI ini dapat diperkirakan unit yang menjadi penyumbang dampak terbesar terhadap lingkungan.

Dalam analisis LCI yang telah dilakukan dapat diketahui unit proses yang menjadi *hotspot* yaitu pada unit *A power generator* input untuk *A power generator* adalah *fuel* gas sebesar 1285 ton dan output listrik sebesar 882331846 kWh dari *output fuel* gas tersebut dapat mengeluarkan emisi seperti CO₂, NO_x, SO_x dan PM. Nilai emisi dari *fuel* gas tersebut berturut-turut adalah 159.412 ton, 6.440.612 ton, 1714 ton dan 28.881 ton.

3.4 Analisis Benchmarking Intensitas Emisi

Analisis *benchmarking* dilakukan dengan tujuan yaitu membandingkan intensitas dari pencemar udara gas rumah kaca (GRK) dan emisi dari gas konvensional industry sejenis dengan intensitas pencemar udara Perusahaan "A". Menurut data pengukuran dari perusahaan nilai intensitas

pencemar udara gas rumah kaca (GRK) Perusahaan “A” pada tahun 2018 mencapai 0,294 CO_{2eq}/TOE. Analisis *benchmarking* intensitas pencemar udara gas rumah kaca (GRK), SO_x, dan NO_x dilakukan dalam skala nasional dan skala dunia. Berdasarkan analisis *benchmarking* skala nasional, Perusahaan “A” memiliki intensitas emisi gas rumah kaca sebesar 0,294 CO_{2eq}/TOE atau 294 ton CO_{2eq}/1000TOE, sehingga perusahaan berada pada posisi 25% terbawah dibandingkan dengan perusahaan sejenis. Lalu untuk intensitas emisi SO_x memiliki nilai sebesar 0,026124 SO_x/1000 TOE, sehingga perusahaan berada pada posisi 25% teratas dibandingkan dengan perusahaan sejenis. Sedangkan untuk nilai intensitas emisi NO_x yaitu sebesar 1,34 Ton NO_x/1000 TOE, sehingga perusahaan berada pada posisi 25% terbawah dibandingkan dengan perusahaan sejenis lainnya. Berdasarkan analisis *benchmarking* skala dunia, Perusahaan “A” berada pada posisi 50% rata rata dibandingkan dengan perusahaan sejenis lainnya untuk emisi gas rumah kaca. Untuk emisi gas konvensional berupa gas SO_x Perusahaan “A” berada pada posisi 25% teratas sementara untuk gas konvensional berupa gas NO_x Perusahaan “A” berada pada posisi 25% terbawah.

3.5 Life Cycle Impact Assessment

Life Cycle Impact Assessment adalah tahapan yang harus dilakukan setelah *Life Cycle Inventory*. *Life cycle impact assessment* adalah tahap untuk menentukan besarnya dampak lingkungan yang diakibatkan dari nilai *input* dan *output* yang dihasilkan pada setiap proses produksi. Evaluasi terhadap potensi dampak lingkungan yang terjadi dilakukan dengan hasil dari *life cycle inventory* berdasarkan informasi yang digunakan untuk interpretasi terhadap fase-fase berikutnya dalam analisis (Hermawan et al., 2013). Pada tahap LCIA data inventori disesuaikan dengan unit fungsional yang digunakan yaitu per 1000 TOE migas. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah CML-IA *baseline* V3.06 / EU25 karena metode ini telah mencakup aspek-aspek yang digunakan dalam persiapan PROPER untuk perusahaan karena dampak yang dikaji telah mencakup kriteria kategori dampak yang perlu dikaji sesuai dengan penilaian daur hidup dalam Permen LHK No 1 Tahun 2021 tentang Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup. Dalam metode CML-IA *baseline* V3.06 / EU25 terdapat 8 kategori

dampak yaitu *Global warming* (GWP100a), *Abiotic depletion (fossil fuels)*, *Acidification*, *Eutrophication*, *Human toxicity*, *Abiotic depletion*, *Photochemical oxidation*, *Ozone layer depletion* (ODP).

Dalam penentuan *life cycle impact assessment* terdapat beberapa tahapan yaitu karakterisasi, normalisasi, pembobotan dan yang terakhir adalah *single score*. Tujuan dari setiap penilaian dampak ini adalah untuk melakukan identifikasi besarnya dampak lingkungan yang dihasilkan dari sebuah proses produksi terhadap lingkungan. Pada penelitian ini penilaian dampak lingkungan dilakukan hanya 2 tahap yaitu karakterisasi dan normalisasi. Berikut adalah hasil analisis terkait penilaian dampak tahap karakterisasi dan normalisasi dalam proses produksi minyak bumi Perusahaan “A”.

3.5.1 Tahap Karakterisasi

Tahap karakterisasi merupakan sebuah tahapan yang akan menampilkan nilai dampak namun masih cenderung relatif dikarenakan dari tahap karakterisasi ini sendiri langsung dilakukan dengan cara membandingkan hasil dari *life cycle inventory* terhadap setiap kategori yang ada di dalam metode yang digunakan. Berikut adalah hasil perhitungan nilai dampak tahap karakterisasi yang didapatkan dari aplikasi Simapro 9.0.

3.5.1.1 Global Warming (GWP100a)

Global Warming adalah sebuah dampak yang dihasilkan karena terjadinya peningkatan suhu di permukaan bumi, dari peningkatan suhu tersebut mengakibatkan perubahan iklim. *Global Warming* dipicu karena terjadinya peningkatan gas rumah kaca (GRK) di dalam atmosfer. Satuan dari kategori dampak *global warming* adalah kg CO₂. Total dampak yang dihasilkan dari kategori dampak *global warming* dalam proses produksi adalah 256226 kg CO₂ eq/1000 TOE. Unit MPC menjadi unit yang memberikan nilai dampak paling besar yaitu 85596 kg CO₂ eq/1000 TOE.

3.5.1.2 Abiotic Depletion (Fossil Fuels)

Abiotic Depletion (Fossil Fuels) adalah sebuah dampak yang dihasilkan karena terjadinya penipisan sumber daya abiotik tak terbarukan terutama sumber daya fosil mencakup semua kategori bahan bakar fosil termasuk bahan baku pembuatan bahan bakar itu sendiri. Satuan dari kategori dampak *abiotic depletion (fossil fuels)* dinyatakan dalam MJ. Total dampak yang

dihasilkan dari kategori dampak *abiotic depletion (fossil fuels)* adalah 148173830 MJ/1000 TOE. Unit *C Drilling Platform* menjadi unit yang memberikan nilai dampak paling besar yaitu 74458762 MJ/1000 TOE.

3.5.1.3 Acidification

Acidification adalah sebuah proses terjadinya hujan asam dimana gas sulfur dioksida (SO_2) bereaksi atau tercampur dengan air yang berada di atmosfer dari proses tersebut akan mengakibatkan hujan asam. Proses tersebut dipicu dari gas yang dapat menimbulkan *acid deposition* seperti nitrogen oksida (NO_x) dan sulfur oksida (SO_x). Satuan dari kategori dampak *acidification* dinyatakan dalam kg SO_2 eq. Total dampak yang dihasilkan dari kategori *acidification* adalah 1561501 kg SO_2 eq/1000 TOE. Unit *A Power Generator* menjadi unit yang memberikan nilai dampak paling besar yaitu 1560104 kg SO_2 eq/1000 TOE.

3.5.1.4 Eutrophication

Eutrophication adalah salah satu contoh pencemaran air yang disebabkan karena banyaknya kandungan nutrient didalam air sehingga mengakibatkan pertumbuhan alga di ekosistem air. Hal yang dapat mengakibatkan terjadinya eutrofikasi adalah adanya kandungan nitrat, nitrogen oksida (NO_x) dan ammonia didalam ekosistem air. Satuan dari kategori dampak eutrofikasi dinyatakan dalam kg PO_4 eq. Total dampak yang dihasilkan dari kategori eutrofikasi adalah 405627 kg PO_4 eq/1000 TOE. Unit *A power generator* menjadi unit yang memberikan nilai dampak paling besar yaitu 405990 kg PO_4 eq/1000 TOE.

3.5.1.5 Human Toxicity

Human toxicity adalah potensi toksisitas bahan kimia yang dilepaskan ke lingkungan terhadap Kesehatan manusia. Hal ini didasari pada tingkat kandungan kimia dalam suatu senyawa yang jika terakumulasi ke lingkungan maka akan juga berdampak pada Kesehatan manusia. Satuan dari kategori dampak *human toxicity* dinyatakan dalam kg 1,4 -DB eq. Total dampak yang dihasilkan dari kategori *human toxicity* adalah 3744252 kg 1,4 -DB eq/1000 TOE. Unit *A power generator* menjadi unit yang memberikan nilai dampak paling besar yaitu 3748106 kg 1,4 -DB eq.

3.5.1.6 Abiotic Depletion

Abiotic Depletion adalah sebuah dampak yang dihasilkan karena terjadinya penipisan sumber daya abiotik tak terbarukan yang dapat merusak ekosistem jika sumber daya tersebut sudah tidak tersedia kembali dikarenakan ketergantungan dari manusia yang masih menggunakan sumber daya tersebut. Satuan dari kategori dampak *abiotic depletion* dinyatakan dalam kg Sb eq. Total dampak yang dihasilkan dari kategori *abiotic depletion* adalah 0,0252 kg Sb eq/1000 TOE. Unit *B drilling platform* menjadi unit yang memberikan nilai dampak paling besar yaitu 0,066 kg Sb eq/1000 TOE.

3.5.1.7 Photochemical oxidation

Photochemical oxidation adalah adalah polusi udara yang masih berhubungan dengan asbut di udara yang mengandung NO_2 dan O_3 , maka dari kondisi tersebut dapat mengakibatkan gangguan kesehatan pada makhluk hidup. Satuan dari kategori dampak *photochemical oxidation* dinyatakan dalam kg C_2H_4 eq. Total dampak yang dihasilkan dari kategori *photochemical oxidation* adalah 0,1778 kg C_2H_4 eq/1000 TOE. Unit *B Drilling Platform* menjadi unit yang memberikan nilai dampak paling besar yaitu 0,059 kg C_2H_4 eq/1000 TOE.

3.5.1.8 Ozone Layer Depletion (ODP)

Ozone layer depletion merupakan sebuah kondisi dimana terjadinya penipisan pada lapisan ozon yang mengakibatkan radiasi dari sinar UV-B ke permukaan bumi. Dari kondisi tersebut banyak mengakibatkan efek buruk bagi kehidupan serta ekosistem darat dan air. Satuan dari kategori dampak *ozone layer depletion* dinyatakan dalam kg CFC-11 eq. Total dampak yang dihasilkan dari kategori *ozone layer depletion* adalah $5,533 \times 10^{-5}$ kg CFC-11 eq/1000 TOE. Unit *B drilling platform* menjadi unit yang memberikan nilai dampak paling besar yaitu $2,103 \times 10^{-5}$ kg CFC-11 eq/1000 TOE.

3.5.2 Tahap Normalisasi

Tahap Normalisasi adalah suatu tahap yang diperlukan untuk menyamakan keseluruhan satuan dari setiap kategori dampak lingkungan dari metode yang digunakan. Dalam tahap normalisasi, nilai dampak yang masih dalam bentuk nilai karakterisasi akan dikalikan dengan factor normalisasi agar setiap kategori dampak yang terdapat didalam suatu metode memiliki satuan yang sama. Tujuan dari disamakannya

satuan dari setiap nilai dampak agar dapat membandingkan nilai dampak dari setiap kategori dampak yang terdapat dalam metode (*impact assessment*).

Setelah didapatkan nilai dampak yang telah melewati tahap normalisasi pada setiap kategori dampak dan unit proses, maka nilai dampak tersebut dapat dibandingkan dengan nilai dampak lainnya karena satuannya telah disamakan. Tujuan dari perbandingan nilai dampak setelah tahap normalisasi adalah untuk mengetahui kategori dampak terbesar pada proses produksi minyak bumi. Berikut adalah hasil perbandingan nilai besaran dampak dari seluruh unit proses dari yang terbesar ke terkecil.

Tabel 1. Hasil Normalisasi

<i>Impact Category</i>	Total
<i>Global warming (GWP 100a)</i>	$5,1 \times 10^{-08}$
<i>Abiotic depletion (fossil fuels)</i>	$4,71 \times 10^{-06}$
<i>Abiotic depletion</i>	$7,85 \times 10^{-10}$
<i>Eutrophication</i>	$3,08 \times 10^{-05}$
<i>Acidification</i>	$5,54 \times 10^{-05}$
<i>Human toxicity</i>	$4,84 \times 10^{-07}$
<i>Photochemical oxidation</i>	$2,10 \times 10^{-11}$
<i>Ozone layer depletion (ODP)</i>	$6,20 \times 10^{-13}$

Dari tabel 1, dapat diketahui bahwa kategori nilai dampak *Acidification* adalah dampak terbesar yang dihasilkan dari proses produksi minyak bumi yaitu $5,54 \times 10^{-5}$. Setelah diketahui nilai dampak yang terbesar, dapat dilakukan analisis untuk mengetahui unit proses yang paling berkontribusi dalam menghasilkan besaran *Acidification*. Berikut adalah hasil analisis dari unit yang paling berkontribusi di kategori dampak *Acidification*.

3.6 Interpretasi Data

Interpretasi data merupakan tahapan terakhir dari *Life Cycle Assesment*. Interpretasi data merupakan rangkuman dari hasil LCI dan akan dibahas untuk dasar dari kesimpulan, rekomendasi dan atau keputusan sesuai dengan definisi dan lingkup tujuan penelitian (Mojarad *et al.*, 2018). Berbagai macam dampak dari setiap hasil analisis perlu dilakukan kajian lebih lanjut agar dapat dimanfaatkan sesuai dengan proses produksi. Tujuan dilakukannya interpretasi data

adalah untuk menentukan titik *hotspot* dengan kontribusi dampak terbesar dalam proses produksi minyak bumi (ISO, 2016).

3.7 Analisis Hotspot

Hotspot merupakan titik dengan kontribusi dampak terbesar dari proses produksi. Nilai dampak dapat ditentukan melalui (*life cycle impact assessment*) beserta nilai dari input dan output (*life cycle inventory*). Dari hasil LCIA dapat diketahui besaran nilai dampak yang dihasilkan dari proses produksi minyak bumi. Dari analisis tersebut dapat diketahui nilai dampak terbesar berasal dari unit A power generator dengan jumlah besaran dampak $5,54 \times 10^{-5}$. Maka setelah didapatkan nilai besaran dampak terbesar yang ada pada A power generator maka unit ini akan dikaji lebih dalam agar dapat diketahui komponen komponen yang mengakibatkan unit tersebut menjadi *hotspot*.

Tabel 2. Hasil Karakterisasi Unit A Power Generator

Unit Proses	A 1PG
<i>Global warming (GWP 100a) (kg CO₂ eq/1000 TOE)</i>	77.229
<i>Abiotic depletion (fossil fuels) (MJ/1000 TOE)</i>	0
<i>Abiotic depletion kg SB eq/1000 TOE)</i>	0
<i>Eutrophication (kg PO₄ eq/1000 TOE)</i>	405.627
<i>Acidification (kg SO₂ eq/1000 TOE)</i>	1.560.105
<i>Human toxicity (kg 1,4-DB eq/1000 TOE)</i>	3.744.252
<i>Photochemical oxidation (kgC₂H₄ eq/1000 TOE)</i>	0
<i>Ozone layer depletion (kg CFC-11eq/10000 TOE)</i>	0

Tabel 3. Hasil Normalisasi Unit A Power Generator

Unit Proses	A 1PG
<i>Global warming (GWP 100a)</i>	$1,54 \times 10^{-08}$
<i>Abiotic depletion (fossil fuels)</i>	0
<i>Abiotic depletion</i>	0
<i>Eutrophication</i>	$3,07 \times 10^{-05}$
<i>Acidification</i>	$5,54 \times 10^{-05}$

Unit Proses	A 1PG
<i>Human toxicity</i>	$4,83 \times 10^{-07}$
<i>Photochemical oxidation</i>	
<i>Ozone layer depletion</i> (ODP)	0
<i>Fungsional unit</i>	/1000 TOE

Berikut adalah pembahasan dari kategori dampak yang dihasilkan oleh A *power generator* berdasarkan dari nilai dampak yang telah dilakukan tahap normalisasi.

3.7.1 Human Toxicity

Nilai dampak pada unit A *power generator* pada tahap karakterisasi adalah 3744252 kg 1,4-DB eq/1000 TOE, sementara pada tahap normalisasi adalah $4,83 \times 10^{-7}$. Penyebab utama dari dampak *human toxicity* ini adalah penggunaan *fuel gas* yang mengakibatkan terbentuknya gas NO_x yang menjadi komponen penyumbang terbanyak dari dampak *human toxicity* itu sendiri.

3.7.2 Acidification

Nilai dampak pada unit A *power generator* pada tahap karakterisasi adalah 1560104 kg SO₂ eq/1000 TOE sementara pada tahap normalisasi adalah $5,54 \times 10^{-5}$. Penyebab utama dari dampak asidifikasi ini adalah penggunaan *fuel gas* yang mengakibatkan terbentuknya gas NO_x yang menjadi komponen penyumbang terbanyak dari dampak asidifikasi itu sendiri.

3.7.3 Eutrophication

Nilai dampak pada unit A *power generator* pada tahap karakterisasi adalah 405627,2576 kg PO₄-eq/1000 TOE sementara pada tahap normalisasi adalah $3,07 \times 10^{-5}$. Penyebab utama dari dampak eutrofikasi ini adalah penggunaan *fuel gas* yang mengakibatkan terbentuknya gas NO_x yang menjadi komponen penyumbang terbanyak dari dampak eutrofikasi itu sendiri.

3.8 Program Alternatif Perbaikan

Beberapa rekomendasi dari program alternatif yang disarankan berasal dari hasil studi literatur berdasarkan analisis yang telah dilakukan maupun jurnal pendukung. Berdasarkan hasil analisis LCA, berikut adalah beberapa program alternatif yang diajukan dan difokuskan ke unit proses yang menjadi *hotspot* yaitu terletak pada unit A *power generator*. Dampak tersebut muncul dikarenakan oleh kandungan Nitrogen oksida (NO_x) yang tinggi sehingga

mengakibatkan nilai dampak dari *acidification* menjadi tinggi juga. Berikut adalah beberapa alternatif perbaikan yang dapat digunakan untuk mereduksi emisi yang dihasilkan dari *hotspot* tersebut.

3.8.1 Teknologi Kogenerasi

Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi dalam konsumsi energi adalah dengan memanfaatkan teknik kogenerasi, yaitu suatu sistem yang didesain sedemikian rupa sehingga panas buang yang biasanya dilepas ke lingkungan oleh pembangkit konvensional, dapat dimanfaatkan kembali untuk proses-proses tertentu (Akhadi, 2013). Pembangkit listrik kogenerasi atau dikenal sebagai *Combined Cooling Heating and Power Plant* dapat mengakomodasi peningkatan kebutuhan energi dan meminimalisir gas buang ke lingkungan (Sukianto & Astina, 2014). Penerapan teknologi kogenerasi (*cogeneration*) yang menggabungkan unit pembangkit uap dan pembangkit listrik yang berdiri sendiri dalam satu siklus, akan dapat meningkatkan efisiensi menjadi 80% (Boedoyo, 2008).

3.8.2 *Non Selective Catalytic Reduction* (NSCR) *Non-selective catalytic reduction* (NSCR) adalah salah satu teknologi tambahan untuk mengontrol emisi nitrogen oksida (NO_x). Teknologi NSCR memanfaatkan reaksi kimia dengan menggunakan katalis guna mereduksi emisi gas seperti nitrogen oksida (NO_x), karbon monoksida (CO) dan VOC. NSCR dipasang pada setiap exhaust mesin. *Exhaust* mesin dihubungkan dengan *catalyst bed*, lalu emisi nitrogen oksida (NO_x) dari gas buang akan direduksi menjadi gas nitrogen (N₂) melewati *catalyst bed* (USEPA, 2005).

3.8.3 NO_x Scrubber

NO_x *Scrubber* adalah peralatan yang menyerap Nitrogen oksida (NO_x). NO_x *scrubber* Ini digunakan untuk mengolah gas buang dari pabrik industri. Gas buang yang mengandung NO_x dipompa kedalam NO_x *scrubber* lalu di dalam NO_x *scrubber* terjadi proses *ion exchange* untuk menarik molekul NO_x kemudian udara bersih dipompa keluar dari NO_x *scrubber* (Drizgas, 2008).

3.9 Skenario Program Alternatif

Berdasarkan program alternatif yang telah direkomendasikan tersebut, akan dilakukan

running kembali untuk mengetahui tingkat penurunan nilai dampak yang dihasilkan menggunakan *software* Simapro 9.0. Program alternatif teknologi kogenerasi merupakan suatu sistem yang didesain sedemikian rupa sehingga panas buang yang biasanya dilepas ke lingkungan oleh pembangkit konvensional, dapat dimanfaatkan kembali untuk proses-proses tertentu sementara *Non-selective catalytic reduction* (NSCR) adalah salah satu teknologi tambahan untuk mengontrol emisi nitrogen oksida (NO_x). Teknologi NSCR memanfaatkan reaksi kimia dengan menggunakan katalis guna mereduksi emisi gas seperti nitrogen oksida (NO_x), karbon monoksida (CO) dan VOC. NSCR dipasang pada setiap *exhaust* mesin sedangkan NO_x *scrubber* sendiri memiliki tujuan untuk menjadikan emisi gas nitrogen oksida menjadi *liquid* yang nantinya akan disalurkan ke pengolahan air limbah sehingga dapat mengurangi emisi dari gas nitrogen oksida yang dihasilkan dari unit proses. Berikut adalah skenario dari program alternatif tersebut.

3.9.1 Skenario 1: Teknologi Kogenerasi-NSCR
 Dalam skenario 1 ini dilakukan penggabungan antara program alternatif Teknologi Kogenerasi dan NSCR. Untuk mengetahui tingkat efektifitas dari penggunaan skenario ini, maka dilakukan running kembali menggunakan *software* Simapro 9.0 untuk keseluruhan proses produksi minyak bumi. Dengan demikian dapat diketahui persentase penurunan nilai dampak yaitu *Acidification* mengalami penurunan 69,81% dari nilai dampak $5,54 \times 10^{-5}$ menjadi $1,66 \times 10^{-5}$, *Eutrophication* mengalami penurunan 69,82% dari nilai dampak $3,08 \times 10^{-5}$ menjadi $9,23 \times 10^{-6}$, *Human Toxicity* mengalami penurunan 69,40% dari nilai dampak $4,84 \times 10^{-7}$ menjadi $1,45 \times 10^{-7}$.

Tabel 4. Hasil Skenario 1

Kategori Dampak	Sebelum	Sesudah	Penurunan (%)	Fungsional Unit
<i>Acidification</i>	0,114	0,034	69,81	/1000
<i>Eutrophication</i>	0,063	0,019	69,82	TOE
<i>Human Toxicity</i>	$9,98 \times 10^{-4}$	0,0003	69,40	

3.9.2 Skenario 2: Teknologi Kogenerasi-NO_x *Scrubber*

Dalam skenario 2 ini dilakukan penggabungan antara program alternatif NO_x *Scrubber* dan Teknologi Kogenerasi. Untuk mengetahui tingkat efektifitas dari penggunaan skenario ini, maka dilakukan running kembali menggunakan

software Simapro 9.0 untuk keseluruhan proses produksi minyak bumi. Dengan demikian dapat diketahui persentase penurunan nilai dampak yaitu *Acidification* mengalami penurunan 59,70% dari nilai dampak $5,54 \times 10^{-5}$ menjadi $2,22 \times 10^{-5}$, *Eutrophication* mengalami penurunan 59,66% dari nilai dampak $3,08 \times 10^{-5}$ menjadi $1,23 \times 10^{-5}$, *Human Toxicity* mengalami penurunan 59,16% dari nilai dampak $4,84 \times 10^{-7}$ menjadi $1,93 \times 10^{-7}$. Berikut adalah tabel hasil dari running sebelum dan sesudah *scenario* program alternatif.

Tabel 5. Hasil Skenario 2

Kategori Dampak	Sebelum	Sesudah	Penurunan (%)	Fungsional Unit
<i>Acidification</i>	$5,54 \times 10^{-5}$	$1,66 \times 10^{-5}$	69,81	/1000
<i>Eutrophication</i>	$3,08 \times 10^{-5}$	$9,23 \times 10^{-6}$	69,82	TOE
<i>Human Toxicity</i>	$4,84 \times 10^{-7}$	$1,45 \times 10^{-7}$	69,40	

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis *life cycle assessment* (LCA), dari kategori dampak *Global warming* (GWP100a), *Abiotic depletion (fossil fuels)*, *Acidification*, *Eutrophication*, *Marine aquatic ecotoxicity*, *Human toxicity*, *Abiotic depletion*, *Fresh water aquatic ecotox*, *Photochemical oxidation*, *Terrestrial ecotoxicity*, *Ozone layer depletion* (ODP). *Acidification* menjadi total penyumbang dampak terbesar dengan nilai 1561501 kg SO₂ eq/1000 TOE. Skenario program alternatif yang direkomendasikan adalah penggabungan antara program alternatif Teknologi Kogenerasi dan NSCR yang memiliki penurunan nilai dampak pada *Acidification* 69,81% dari nilai dampak $5,54 \times 10^{-5}$ /1000 TOE menjadi $1,66 \times 10^{-5}$ /1000 TOE, *Eutrophication* mengalami penurunan 69,82% dari nilai dampak $3,08 \times 10^{-5}$ /1000 TOE menjadi $9,23 \times 10^{-6}$ /1000 TOE, *Human Toxicity* mengalami penurunan 69,40% dari nilai dampak $4,84 \times 10^{-7}$ /1000 TOE menjadi $1,45 \times 10^{-7}$ /1000 TOE.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi, Mukhlis. 2013. Kogenerasi Panas Nuklir untuk Desalinasi Air Laut. *Jurnal Ilmiah Energi dan Kelistrikan*, 5 (02): 77-90.
- Boedoyo, M. Sidik. 2008. Penerapan Teknologi untuk Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 9 (1): 9-16.

- Drizgas. 2008. NOx Mechanism Project. Principle and mechanism. Vol 1 No. 1.
- Hermawan, H., Puti, F. M., Muhamad, A., Driejana. 2013. Peran Life Cycle Analysis (LCA) Pada Material Kontruksi Dalama Upaya Menurunkan Dampak Emisi Kabon Dioksida Pada Efek Gas Rumah Kaca. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7) hal. 47-52.
- International Standar Organization (ISO). 2016. ISO 14040 Life Cycle Assessment. Principles and Guidelines. Vol 2 No. 1.
- Krebs, CJ. 2009. Ecology: Sixth Edition. Benjamin Cummings. San Fransisco.
- Menoufi, K. A. I. 2011. Life Cycle Analysis and Life Cycle Impact Assessment Methodologies: A state of the art. Universitat de Lleida.
- Mojarad, A. A. S., Atasbhari, V., Tantau, A. 2018. Challenges for sustainable development strategies in oil and gas industries. Proceedings of the 12th International Conference on Business Excellence.
- PwC. 2019. Oil and Gas in Indonesia: Investment and Taxation Guide. Indonesia
- Sukianto, R. dan I Made Astina. 2014. Optimasi Sistem Pembangkit Daya Kogenerasi dengan Metode Algoritma Genetika. Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII.
- Sulistiyono. 2015. Kegiatan Usaha Industri Migas Hubungannya dengan Dampak dan Tanggung Jawab Kelestaarian Lingkungan Hidup. Forum Teknologi. Vol 5 No. 2:23-30.
- United States Environmental Protection Agency. 2005. Review Draft Appendix B Cam Illustrations Revision 1. United States.