

Kajian Dampak Proses Produksi Natural Gas Terhadap Lingkungan Pada Sebuah Perusahaan Minyak dan Gas dengan Menggunakan *Life Cycle Assessment (LCA)*

Sintia Pritasari^{a*}, Irawan^a

^aInstitut Teknologi Sepuluh Noverber, Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60111

*Corresponding author: sintia.pritasari@gmail.com

Submitted: 2022-06-23. Revised: 2022-10-22. Accepted: 2023-04-30

ABSTRACT

The process of natural gas production starting from drilling, processing, and distribution has the potential to release harmful substances into the environment. Therefore, it is necessary to analyze and identify the impact of natural gas production using the Life Cycle Assessment (LCA) method. In this study, the environmental impact of natural gas production was identified using a gate-to-gate approach, using LCA and Microsoft Excel methods. The unit of function used is 1 MMSCF (Million Million of Standard Cubic Feet). LCA methods include goal setting and scoping, Life Cycle Inventory (LCI), Life Cycle Impact Assessment (LCIA), and data interpretation. Environmental impacts are categorized using the CML-1A baseline, which includes Global Warming Potential, Acidification Potential, Eutrophication Potential, Photo-chemical Oxidation and Human Toxicity. LCA analysis shows that every 1 MMSCF of natural gas production will contribute to Global Warming Potential 4,067.72 kg CO₂eq, Acidification Potential 2,07459 kg SO₂eq, Eutrophication Potential 0.25365 kg PO₄eq, Photochemical Oxidation 0.09891 kg C₂H₄ eq and Human Toxicity 2.41181 kg 1,4-DB eq. In the natural gas production process, the highest environmental impacts identified are from Gas Turbine Generator (GTG) with Global Warming Potential of 1,986.78 kg CO₂eq, Acidification Potential of 1.01686 kg SO₂eq, Eutrophication Potential 0.11865 kg PO₄ eq, Photochemical Oxidation 0.04813 kg C₂H₄ eq and Human Toxicity 1.13150 kg 1.4-DB eq. GTG converts energy from fuel combustion to generate electricity for production process equipment and office buildings. High electricity consumption will further increase GTG gas fuel consumption which will contribute to increased Global Warming Potential, Acidification Potential, Eutrophication Potential, Photochemical Oxidation and potential human toxicity environmental impacts.

Keywords : *Life cycle assessment (LCA), natural gas, oil and gas company*

PENDAHULUAN

Gas bumi atau natural gas memiliki peran yang sangat penting dalam pembangunan nasional, antara lain sebagai sumber energi, bahan baku untuk industri dan sebagai sumber penerimaan negara dan devisa. Di masa lalu, pemanfaatan gas diarahkan untuk memenuhi kebutuhan ekspor, namun dengan terus meningkatkan kebutuhan energi dan ketersediaan cadangan yang cukup banyak, maka gas bumi menjadi alternatif penggunaan energi saat ini dan dimasa mendatang. Selain itu, emisi gas yang rendah juga menjadi pilihan penggunaan energi fosil dibandingkan batubara (Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, 2021).

Total lifting gas bumi di Indonesia tahun 2021, tercatat pemanfaatan gas bumi Indonesia mencapai 65,47% diserap oleh domestik. Penyerapan domestik meliputi sektor industri yang menyerap sebesar 27,69%, sektor kelistrikan sebesar 11,9%, sektor pupuk sebesar 12,33%, lifting migas sebesar 2,94%, LNG domestik sebesar 8,86%, LPG domestik

sebesar 1,54% dan 0,21% untuk program pemerintah berupa jaringan gas kota (jargas) rumah tangga dan SPBG. Untuk ekspor gas pipa sebesar 12,97% dan LNG ekspor 21,56% dari seluruh total pemanfaatan (Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, Kementerian ESDM, 2022). Sehingga gas bumi memiliki peran yang sangat penting sebagai pemenuhan konsumsi energi nasional

Komponen natural gas sebagian besar terdiri dari metana (CH₄), etana (C₂H₆), propana (C₃H₈), butana (C₄H₁₀) dan sebagian kecil terdiri dari nitrogen (N₂), Oksigen (O₂), karbon dioksida (CO₂), dan hidrogen sulfida (H₂S) (Bakar, 2010). Kegiatan produksi gas dalam suatu rangkaian proses yang kompleks dengan melibatkan berbagai kegiatan industri gas, mulai dari hulu (up-stream), proses utama (core process), sampai dengan hilir (downstream). Kegiatan hulu meliputi kegiatan eksploitasi melalui kegiatan pengeboran (drilling) sumur yang mengandung campuran minyak mentah (crude oil), gas bumi (natural gas), dan air terproduksi (produced water) untuk dipisahkan masing-masing jenis minyak

dan gas pada proses utama (core process). Kegiatan proses utama (core process) meliputi kegiatan pengolahan gas menjadi turunan dari natural gas yang akan di transmisikan oleh kegiatan hilir (down-stream) menjadi LNG, CNG, atau LPG. Kegiatan hilir (downstream) meliputi kegiatan pemasaran (marketing) ke masyarakat dan industri perusahaan lain (Hasiany, et al. 2015).

Dalam rangkaian kegiatan proses produksi natural gas berpotensi menghasilkan dampak yang dapat mencemari lingkungan maupun mengganggu kesehatan manusia. Selain itu proses produksi gas bumi juga membutuhkan energi yang relatif tinggi dan menghasilkan limbah cair, padat maupun gas. Dampak yang dihasilkan dari proses pengolahan gas bumi lebih rendah dibandingkan dengan proses pengolahan minyak bumi (Riva et al., 2006).

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2012), jenis emisi utama yang dihasilkan dari industri minyak dan gas bumi adalah karbon dioksida (CO₂). CO₂ yang dihasilkan dari proses pembakaran dapat mencapai 58%. Sedangkan, gas lain yang dihasilkan seperti NO₂ hanya sebesar 12% dan SO₂ sebesar 7% (Spath dan Mann, 2000). Berdasarkan data Earth System Research Laboratory dalam Lopez (2018), konsentrasi rata-rata CO₂ di atmosfer terus mengalami peningkatan. Pada tahun 2005, industri minyak dan gas bumi menghasilkan emisi CO₂ sebesar 122 Metric Ton (MT) CO₂. Diperkirakan pada tahun 2030, emisi CO₂ yang dihasilkan akan meningkat menjadi 137 MT CO₂ (Kementerian Keuangan RI, 2015). Peningkatan emisi yang dihasilkan bergantung pada banyaknya bahan bakar yang digunakan dan kandungan karbon serta unsur lainnya pada bahan bakar. Dengan kata lain, peningkatan emisi tersebut berbanding lurus dengan semakin meningkatnya jumlah gas alam yang diproduksi (Lattanzio, 2015).

Emisi gas rumah kaca maupun gas pencemar udara berpotensi menimbulkan dampak terhadap lingkungan. Adapun dampak lingkungan yang dapat terjadi adalah pemanasan global dan penurunan kualitas udara. Fenomena pemanasan global ditandai dengan meningkatnya suhu permukaan bumi. Peningkatan suhu tersebut terjadi sebesar $0,74 \pm 0,18^{\circ}\text{C}$ selama 100 tahun terakhir (Utina, 2009). Pemanasan global juga merupakan salah satu indikasi dari terjadinya perubahan iklim (Samiaji, 2011). Apabila perubahan iklim terjadi secara ekstrem, maka proses yang ada di ekosistem hutan dan lainnya akan terganggu (Wahyuni, 2011). Sedangkan penurunan kualitas udara adalah tanda dari terjadinya pencemaran udara yang dapat mengganggu kesehatan manusia (Sandra, 2013).

Berbagai dampak yang menyebabkan perubahan lingkungan akibat proses produksi gas bumi ini harus dikaji dan ditelaah secara komprehensif sebagai upaya pengelolaan dan pemantauan dampak lingkungan, sehingga dampak yang diperkirakan akan timbul dapat dicegah atau diminimalisir. Melihat

potensi dampak yang dihasilkan dari kegiatan produksi gas perlu dilakukan analisa kajian dampak dengan metode Life Cycle Assessment (LCA). LCA merupakan bagian dari konsep Green Product mulai dari keseluruhan daur hidup produk yang meliputi penggunaan energi, bahan baku, emisi dari proses, transportasi, agen, konsumen, dan tahap terakhir yaitu pembuangan (Ottman, 2005).

Pada tahun 1994, Organization for Standardization (ISO) menetapkan LCA sebagai standar instrumen yang dapat digunakan untuk melakukan analisis dampak lingkungan pada semua industri. Penetapan LCA diatur di dalam ISO 14040:2016 (Hermawan dkk, 2013). Standar resmi pelaksanaan kajian LCA di Indonesia adalah SNI ISO 14044:2017. Standar lain yang digunakan adalah Pedoman Penyusunan Laporan Penilaian Daur Hidup (LCA) yang dirilis oleh Sekretariat Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan Dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup (PROPER) di tahun 2021.

LCA merupakan sebuah metode kerja untuk memprediksi dan menganalisis dampak lingkungan yang berkesinambungan dengan siklus hidup produk maupun proses. Penggunaan metode LCA juga dapat digunakan untuk mengetahui sebagian dari siklus hidup (Soimakallio et al., 2011). LCA merupakan metode yang dapat digunakan untuk menganalisis penggunaan sumber daya dan dampak dari produksi gas bumi (Phumpradab et al., 2009). Perbandingan dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi gas bumi yang beragam dapat diketahui dengan menggunakan LCA (Rocco et al., 2018). Tujuan dari metode LCA adalah mengetahui dampak yang dari masing-masing komponen proses produksi sehingga dapat meminimalisir terjadinya kerusakan lingkungan. Pada pelaksanaannya, LCA bisa menggunakan Microsoft excel atau software yang biasa dipakai sebagai perangkat untuk menganalisis penghematan energi dan pengurangan emisi gas rumah kaca, dan lingkungan global yang berfokus pada siklus hidup suatu produk, serta efisiensi penggunaan sumberdaya berupa tanah, air, energi dan sumberdaya alam lainnya. LCA memiliki kelebihan karena sifatnya yang komprehensif sehingga mampu menganalisis dampak lingkungan yang potensial terjadi pada proses-proses yang terkait dalam daur hidup suatu produk.

Perusahaan minyak dan gas yang menjadi studi kasus dalam penelitian ini adalah perusahaan hulu migas yang berlokasi di Provinsi Jawa Timur. Perusahaan memiliki dua fasilitas yaitu fasilitas anjungan lepas pantai (Offshore Processing Facility atau OPF) dan fasilitas pengolahan darat (On-shore Processing Facility). Perusahaan menghasilkan produk yaitu Minyak, Gas dan LPG. Dalam penelitian ini akan dilakukan kajian penilaian daur hidup untuk produksi gas di fasilitas pengolahan darat atau OPF dengan LCA menggunakan Microsoft excel dengan lingkup kajian dampak proses dari Gate to Gate. Kajian dampak yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode

CML-IA baseline. Dampak lingkungan yang dianalisis dalam penelitian ini adalah midpoint dari proses produksi natural gas per 1 MMSCF meliputi Global Warming Potential, Acidification Potential, Eutrophication Potential, Photo-chemical Oxidation dan Human Toxicity.

MATERI DAN METODE

Perusahaan minyak dan gas yang menjadi studi kasus dalam penelitian ini adalah perusahaan hulu migas yang berlokasi di Provinsi Jawa Timur. Perusahaan memiliki kapasitas produksi natural gas sebesar 115 MMSCFD dengan jumlah produksi natural gas (sales gas) pada tahun 2021 mencapai 8.661,72 MMSCF. Produk yang dikaji dalam penelitian ini adalah produk natural gas karena merupakan produk dominan yang diproduksi dan sebagai core business perusahaan. Dalam proses produksi natural gas memerlukan bahan baku, bahan bakar, energi, dan bahan kimia, sehingga menghasilkan output berupa produk gas, emisi, dan limbah. Kegiatan proses produksi gas tersebut berpotensi menghasilkan emisi yang menimbulkan dampak lingkungan yang jika tidak dikelola dengan baik akan menimbulkan pencemaran

lingkungan. Perusahaan telah melaksanakan beberapa program untuk memperbaiki kinerja pengelolaan lingkungan, namun perlu dilakukan analisis agar dapat mengetahui dampak dan titik kritis (hotspot) penyebab dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi natural gas. Oleh karena itu diperlukan kajian dampak lingkungan menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA) terhadap produk natural gas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dampak Global Warming Potential (GWP) yang dihasilkan sebesar 4.067,72 kg CO₂eq dengan dampak terbesar berasal dari unit proses Gas Turbine Generator (GTG) yang berkontribusi menghasilkan dampak GWP sebesar 1.986,78 kgCO₂eq dimana sistem GTG merupakan unit yang mengubah energi panas dari pembakaran bahan bakar gas (fuel gas) dan udara menjadi energi listrik untuk kebutuhan proses produksi dan kantor administrasi. Kebutuhan energi listrik yang tinggi diikuti dengan pembakaran fuel gas yang tinggi menjadi faktor utama tingginya dampak GWP dari sistem tersebut.

Tabel 1. Nilai karakterisasi global warming potential pada proses produksi natural gas

No	Unit Proses	kg CO ₂ eq
1	<i>Inlet Separator</i>	0,000
2	<i>Amine Treating</i>	0,000
3	<i>Thermal Oxidizer & SO₂ Scrubber</i>	1.484,28
4	<i>TEG Dehydration</i>	0,000
5	<i>Dew Point Control Unit</i>	0,000
6	<i>Acid Flare</i>	0,41
7	<i>HP/LP Flare</i>	266,83
8	<i>Gas Turbine Generator</i>	1.986,78
9	<i>Heating Medium System</i>	329,43

Sumber: Perhitungan LCA Menggunakan Microsoft Excel, 2022

Dampak Acidification yang dihasilkan sebesar 2,07459 kg SO₂eq dengan dampak terbesar dari unit proses Gas Turbine Generator (GTG) yang berkontribusi menghasilkan dampak acidification sebesar 1,01686 kg SO₂eq. Dampak acidification dari GTG diperoleh dari

gas SO₂ hasil pembakaran fuel gas yang masih mengandung sedikit gas H₂S sehingga semakin tinggi pembakaran fuel gas maka semakin tinggi juga dampak acidification yang dihasilkan.

Tabel 2. Nilai karakterisasi acidification pada proses produksi natural gas

No	Unit Proses	kg SO ₂ eq
1	<i>Inlet Separator</i>	0,000
2	<i>Amine Treating</i>	0,000
3	<i>Thermal Oxidizer & SO₂ Scrubber</i>	0,26727
4	<i>TEG Dehydration</i>	0,000
5	<i>Dew Point Control Unit</i>	0,000
6	<i>Acid Flare</i>	0,000
7	<i>HP/LP Flare</i>	0,39724
8	<i>Gas Turbine Generator</i>	1,01686
9	<i>Heating Medium System</i>	0,39321

Sumber: Perhitungan LCA Menggunakan Microsoft Excel, 2022

Dampak Eutrophication yang dihasilkan sebesar 0,25365 kg PO₄eq/MMSCF dengan dampak paling tinggi berasal dari unit proses Gas Turbine

Generator yang berkontribusi menghasilkan dampak sebesar 0,11865 kg PO₄eq.

Tabel 3. Nilai Karakterisasi Eutrophication pada Proses Produksi Natural Gas

No	Unit Proses	kg PO ₄ eq
1	<i>Inlet Separator</i>	0,000
2	<i>Amine Treating</i>	0,000
3	<i>Thermal Oxidizer & SO₂ Scrubber</i>	0,00072
4	<i>TEG Dehydration</i>	0,000
5	<i>Dew Point Control Unit</i>	0,000
6	<i>Acid Flare</i>	0,0000002
7	<i>HP/LP Flare</i>	0,10341
8	<i>Gas Turbine Generator</i>	0,11865
9	<i>Heating Medium System</i>	0,03088

Sumber: Perhitungan LCA Menggunakan Microsoft Excel, 2022

Besaran dampak Photochemical Oxidant hasil perhitungan LCA yang berasal dari kegiatan proses produksi natural gas adalah 0,09891 kg C₂H₄ eq. Dampak Photochemical Oxidant dari yang terbesar

adalah dari unit Gas Turbine Generator yang berkontribusi sebesar 0,04813 kg C₂H₄ eq. Unit HP/LP Flare berkontribusi sebesar 0.02227 kg C₂H₄ eq,

Tabel 4. Nilai karakterisasi photochemical oxidation pada proses produksi natural gas

No	Unit Proses	kg C ₂ H ₄ eq
1	<i>Inlet Separator</i>	0,000
2	<i>Amine Treating</i>	0,000
3	<i>Thermal Oxidizer & SO₂ Scrubber</i>	0,01085
4	<i>TEG Dehydration</i>	0,000
5	<i>Dew Point Control Unit</i>	0,000
6	<i>Acid Flare</i>	0,00000004
7	<i>HP/LP Flare</i>	0,02227
8	<i>Gas Turbine Generator</i>	0,04813
9	<i>Heating Medium System</i>	0,01765

Sumber: Perhitungan LCA Menggunakan Microsoft Excel, 2022

Dampak Human Toxicity yang dihasilkan sebesar 2,41181 kg 1,4-DB eq. Hasil perhitungan LCA terhadap kategori dampak Human Toxicity tertinggi berasal pada unit Gas Turbine Generator dengan

kontributor sebesar 1,13150 kg 1,4-DB eq. Sama seperti halnya pada eutrophication, dampak Human Toxicity berbanding lurus dengan jumlah fuel gas yang dibakar.

Tabel 5. Nilai karakterisasi human toxicity pada proses produksi natural gas

No	Unit Proses	kg 1,4-DB eq
1	<i>Inlet Separator</i>	0,000
2	<i>Amine Treating</i>	0,000
3	<i>Thermal Oxidizer & SO₂ Scrubber</i>	0,02138
4	<i>TEG Dehydration</i>	0,000
5	<i>Dew Point Control Unit</i>	0,000
6	<i>Acid Flare</i>	0,000
7	<i>HP/LP Flare</i>	0,95
8	<i>Gas Turbine Generator</i>	1,13150
9	<i>Heating Medium System</i>	0,30555

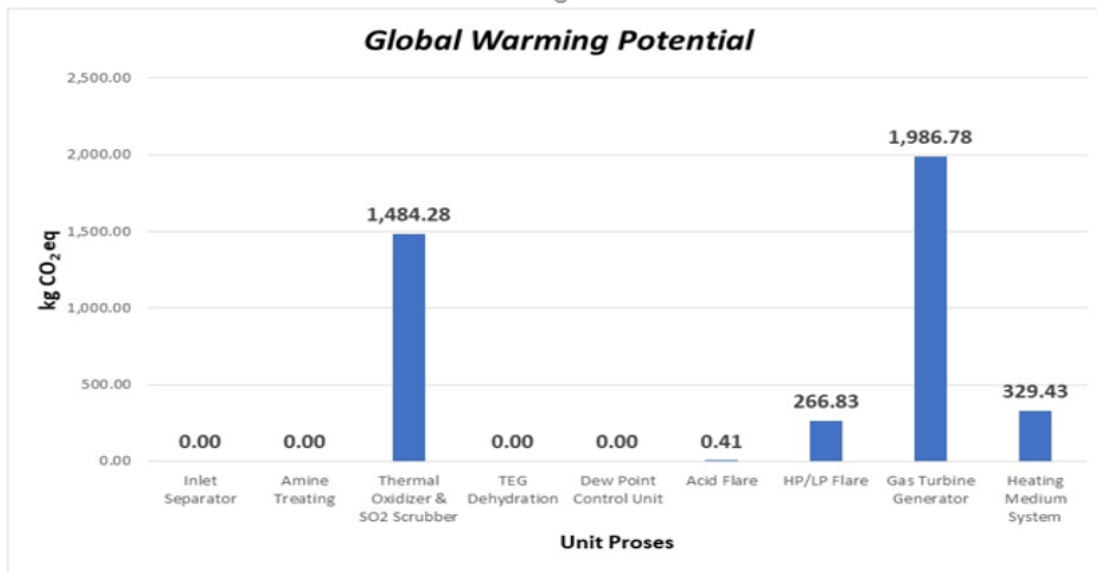
Sumber: Perhitungan LCA Menggunakan Microsoft Excel, 2022

Dampak Global Warming Potential (GWP) yang dihasilkan sebesar 4.067,72 kg CO₂eq dengan hotspot berasal dari unit proses Gas Turbine Generator (GTG) yang berkontribusi menghasilkan dampak GWP sebesar 1.986,78 kgCO₂eq. Kategori dampak Global Warming berasal dari emisi CO₂, CH₄ dan N₂O. Sistem GTG merupakan unit yang mengubah energi panas dari pembakaran bahan bakar gas (fuel gas) dan udara menjadi energi listrik untuk kebutuhan proses produksi dan kantor administrasi. Kebutuhan energi listrik yang tinggi diikuti dengan pembakaran fuel gas yang tinggi menjadi faktor utama tingginya dampak GWP dari sistem tersebut. Unit proses selanjutnya yang menghasilkan

dampak GWP terbesar kedua adalah unit proses Thermal Oxidizer dan SO₂ Scrubber yang memberikan dampak GWP sebesar 1.484,28 kgCO₂eq. Kedua unit tersebut merupakan bagian dari sistem pembakaran gas asam (H₂S) dari unit proses produksi (Amine Treating) dan mengurangi konsentrasi SO₂ pada gas buangan sehingga gas buangan dapat memenuhi baku mutu emisi pencemaran udara. Tingginya gas asam (H₂S) yang diolah pada unit Amine dialirkan ke sistem Thermal Oxidizer untuk dibakar bersama dengan fuel gas dan udara, semakin tinggi gas asam dari natural gas yang diolah akan diikuti dengan pembakaran fuel gas pada sistem ini sehingga menghasilkan dampak GWP yang

semakin tinggi. Sedangkan pada Heating Medium System berkontribusi memberikan dampak GWP sebesar 329,43 kgCO₂eq akibat adanya pembakaran fuel gas

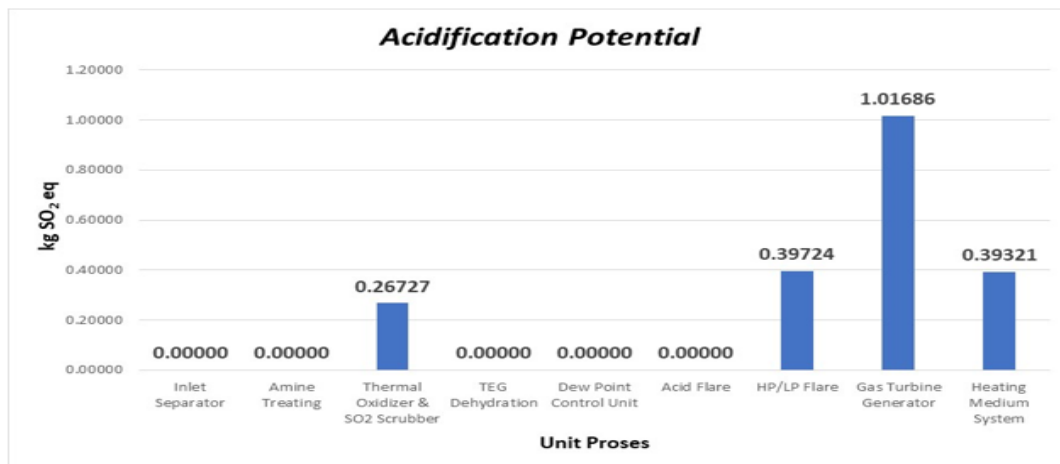
sebagai sumber energi panas untuk memanaskan heating medium sebagai media pemanas yang dibutuhkan untuk sistem regenerasi unit Amine maupun TEG.



Gambar 1. Grafik hasil perhitungan karakteristik dampak global warming potential

Dampak Acidification yang dihasilkan sebesar 2,07459 kg SO₂eq dengan hotspot berasal dari unit proses Gas Turbine Generator yang berkontribusi menghasilkan dampak Acidification sebesar 1,01686 kg SO₂eq. Kemudian diikuti oleh HP/LP Flare yang berkontribusi terhadap dampak sebesar 0,39724 kg SO₂eq, lalu Heating Medium System yang berkontribusi menghasilkan dampak sebesar 0,39321 kg SO₂eq dan unit proses Thermal Oxidizer dan SO₂ Scrubber berkontribusi menghasilkan dampak sebesar 0,26727 kg SO₂eq. Dengan adanya unit SO₂ Scrubber, maka diperoleh dampak acidification yang relatif lebih kecil dibandingkan sistem lainnya meskipun terdapat komponen SO₂ yang dihasilkan dari proses pembakaran

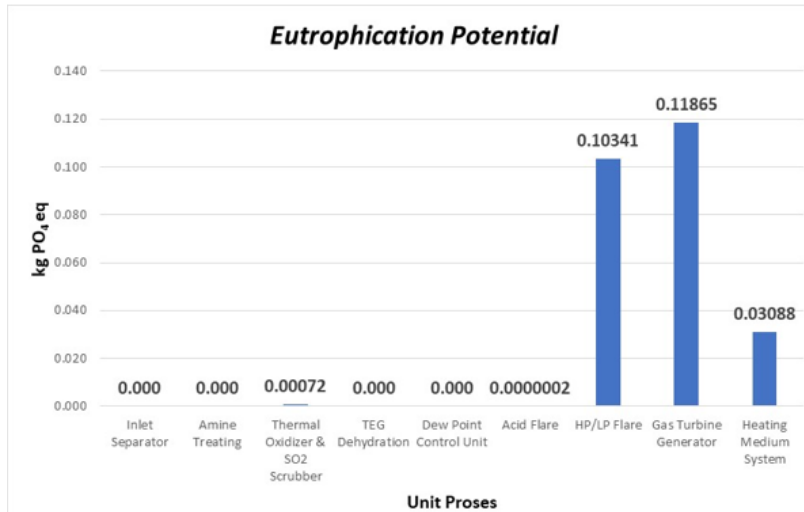
gas asam, fuel gas dan udara pada unit Thermal Oxidizer. Sedangkan dampak acidification dari Gas Turbine Generator maupun Heating Medium System diperoleh dari gas SO₂ hasil pembakaran fuel gas yang masih mengandung sedikit gas H₂S sehingga semakin tinggi pembakaran fuel gas maka semakin tinggi juga dampak acidification yang dihasilkan. Sedangkan pada HP/LP Flare tidak dilakukan pengukuran NO₂ secara langsung sehingga menggunakan data sekunder. Hal tersebut menyebabkan nilai dampak acidification pada HP/LP Flare lebih tinggi dibandingkan Heating Medium System meskipun konsumsi fuel gas nya lebih tinggi dibandingkan gas yang dibakar pada HP/LP Flare.



Gambar 2. Grafik Hasil Perhitungan LCA - Karakteristik Dampak Acidification

Dampak Eutrophication yang dihasilkan sebesar 0,25365 kg PO₄eq/MMSCF dengan hotspot berasal dari unit proses Gas Turbine Generator yang berkontribusi menghasilkan dampak sebesar 0,11865 kg PO₄ eq. Unit proses HP/LP Flare berkontribusi menghasilkan dampak sebesar 0.10341 kg PO₄eq, dan Heating Medium System berkontribusi menghasilkan dampak sebesar 0,03088 kg PO₄eq. Pada perbandingan sistem Gas Turbine Generator, Heating Medium System dan Thermal Oxidizer & SO₂ Scrubber menunjukkan semakin tinggi pembakaran fuel gas pada unit sistem akan berbanding lurus dengan dampak

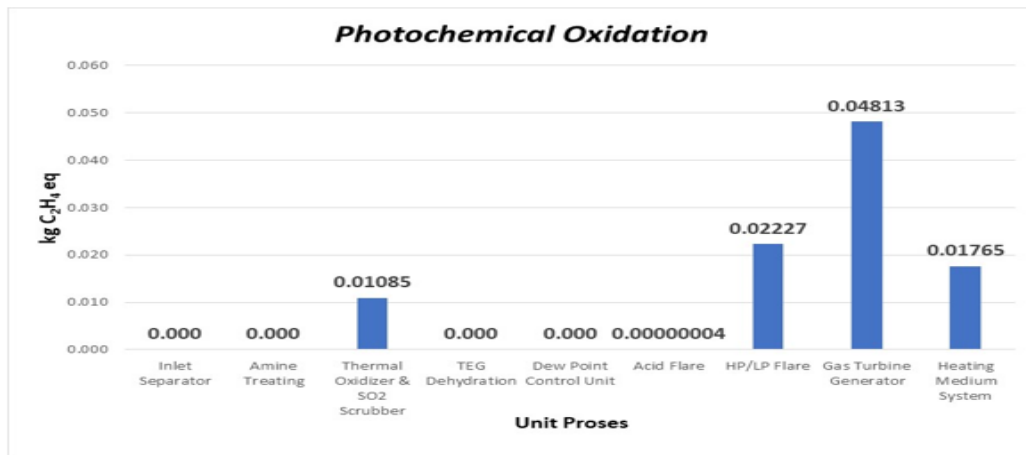
eutrophication akibat adanya kandungan N₂ pada fuel gas yang dibakar menjadi N₂O dan NO₂. Seperti halnya penjelasan pada acidification, dampak emisi pada HP/LP Flare tidak dilakukan pengukuran NO₂ secara langsung sehingga dihitung menggunakan data sekunder yang menyebabkan nilai dampak eutrophication pada HP/LP Flare lebih tinggi dibandingkan Heating Medium System meskipun konsumsi fuel gas nya lebih tinggi dibandingkan gas yang dibakar pada HP/LP Flare.



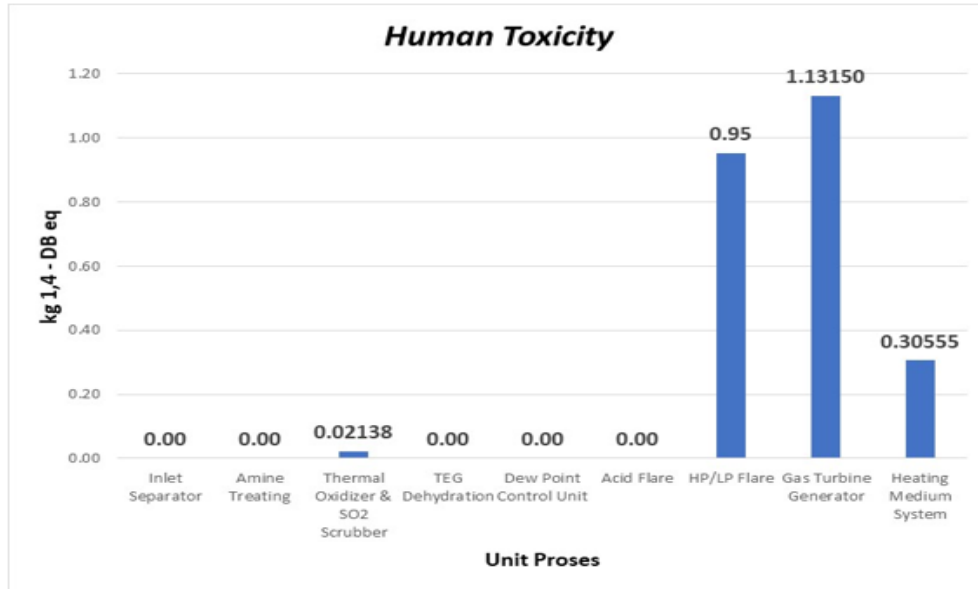
Gambar 3. Grafik Hasil Perhitungan LCA - Karakteristik Dampak Eutrophication Potential

Besaran dampak Photochemical Oxidant hasil perhitungan LCA yang berasal dari kegiatan proses produksi natural gas adalah 0,09891 kg C₂H₄ eq. Urutan dampak Photochemical Oxidant dari yang terbesar hingga terkecil adalah dari unit Gas Turbine Generator yang berkontribusi sebesar 0,04813 kg C₂H₄ eq, HP/LP Flare yang berkontribusi sebesar 0.02227 kg C₂H₄ eq, Heating Medium System yang berkontribusi sebesar 0.01765 kg C₂H₄ eq dan Thermal Oxidizer & SO₂ Scrubber yang

berkontribusi sebesar 0.01085 kg C₂H₄ eq pada setiap MMSCF gas yang diproduksi. Dampak ini juga berbanding lurus dengan jumlah gas yang dibakar pada masing-masing unit dengan kontribusi dari SO₂ dan NO₂. Namun HP/LP Flare menunjukkan hasil yang tinggi dikarenakan tidak dilakukannya pengukuran NO₂ secara langsung sehingga menggunakan data sekunder.



Gambar 4. Grafik Hasil Perhitungan LCA - Karakteristik Dampak Photochemical Oxidant



Gambar 5. Grafik hasil perhitungan karakteristik dampak human toxicity

Dampak Human Toxicity yang dihasilkan pada proses produksi natural gas 2,41181 kg 1,4-DB eq. Hasil perhitungan LCA terhadap kategori dampak Human Toxicity terbesar yaitu berada pada unit Gas Turbine Generator dengan kontributor sebesar 1,13150 kg 1,4-DB eq. Kemudian diikuti dengan sistem HP/LP Flare yang berkontribusi sebesar 0,95 kg 1,4-DB eq, dan Heating Medium yang berkontribusi sebesar 0,30555 kg 1,4-DB eq. Sama seperti halnya pada eutrophication, dampak Human Toxicity berbanding lurus dengan jumlah fuel gas yang dibakar. Hal tersebut dikarenakan fuel gas masih memiliki kandungan N₂ dan H₂S yang ketika dibakar menghasilkan gas SO₂ dan NO₂. Namun HP/LP Flare menunjukkan hasil yang tinggi dikarenakan tidak dilakukannya pengukuran NO₂ secara langsung sehingga menggunakan data sekunder.

KESIMPULAN

Produksi 1 MMSCF menghasilkan dampak Global Warming Potential (GWP) sebesar 4.067,72 kg CO₂eq dengan hotspot berasal dari unit proses Gas Turbine Generator yang berkontribusi menghasilkan dampak GWP sebesar 1.986,78 kgCO₂eq. Sistem Gas Turbine Generator merupakan unit yang mengubah energi panas dari pembakaran bahan bakar gas (fuel gas) dan udara menjadi energi listrik untuk kebutuhan proses produksi dan kantor administrasi. Kebutuhan energi listrik yang tinggi diikuti dengan pembakaran fuel gas yang tinggi menjadi faktor utama tingginya dampak GWP dari sistem tersebut.

Produksi 1 MMSCF Acidification yang dihasilkan sebesar 2,07459 kg SO₂eq dengan hotspot berasal dari unit proses Gas Turbine Generator yang

berkontribusi menghasilkan dampak Acidification sebesar 1,01686 kg SO₂eq. Dampak acidification dari Gas Turbine Generator diperoleh dari gas SO₂ hasil pembakaran fuel gas yang masih mengandung sedikit gas H₂S sehingga semakin tinggi pembakaran fuel gas maka semakin tinggi juga dampak acidification yang dihasilkan.

Produksi 1 MMSCF berkontribusi menghasilkan dampak Eutrophication yang dihasilkan sebesar 0,25365 kg PO₄eq/MMSCF dengan hotspot berasal dari unit proses Gas Turbine Generator yang berkontribusi menghasilkan dampak sebesar 0,11865 kg PO₄eq. Semakin tinggi pembakaran fuel gas pada unit sistem akan berbanding lurus dengan dampak eutrophication akibat adanya kandungan N₂ pada fuel gas yang dibakar menjadi N₂O dan NO₂.

Produksi 1 MMSCF memberikan dampak Photochemical Oxidant yang berasal dari kegiatan proses produksi natural gas adalah 0,09891 kg C₂H₄ eq. Dampak Photochemical Oxidant terbesar berasal dari unit Gas Turbine Generator yang berkontribusi sebesar 0,04813 kg C₂H₄ eq. Dampak ini berbanding lurus dengan jumlah gas yang dibakar pada masing-masing unit dengan kontribusi dari SO₂ dan NO₂.

Dampak Human Toxicity yang dihasilkan pada proses 1 MMSCF sebesar 2,41181 kg 1,4-DB eq. Hasil perhitungan LCA terhadap kategori dampak Human Toxicity terbesar yaitu berada pada unit Gas Turbine Generator dengan kontributor sebesar 1,13150 kg 1,4-DB eq. Sama seperti halnya pada eutrophication, dampak Human Toxicity berbanding lurus dengan jumlah fuel gas yang dibakar. Hal tersebut dikarenakan fuel gas masih memiliki kandungan N₂ dan H₂S yang ketika dibakar menghasilkan gas SO₂ dan NO₂.

DAFTAR PUSTAKA

- Bayer, C., M. Gambel, R. Gentry, & S. Joshi. 2010. AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice. The American Institute of Architects, New York.
- Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2022. Laporan Kinerja 2021.
- Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI. 2021. Pedoman Penyusunan Laporan Penilaian Daur Hidup (LCA). Sekretariat Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan Dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup (PROPER).
- Hasiyany, S., E. Noor, & M. Yani. 2015. Penerapan produksi bersih untuk penanganan air terproduksi di industri minyak dan gas. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 5 (1): 25-32.
- Hermawan, F., F.M. Puti, A. Muhamad, & R. Driejana. 2013. Peran Life Cycle Analysis (LCA) pada Material Konstruksi dalam Upaya Menurunkan Dampak Emisi Karbon Dioksida pada Efek Gas Rumah Kaca. Konferensi Nasional Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret.
- Kautzar, G. Z. 2015. Analisis Dampak Lingkungan Pada Aktivitas Supply Chain Produk Kulit Menggunakan Metode LCA dan ANP. Malang: Universitas Brawijaya.
- Kementerian Keuangan RI. 2015. Opsi Kebijakan Fiskal dalam Mempromosikan Penyerapan dan Penyimpanan Karbon pada Industri Minyak dan Gas di Indonesia. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup RI. 2012. Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca. Jakarta.
- Klopffer, W. & B. Grahl. 2014. Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice. Weinheim (DE): WileyVCH Verlag GmbH.
- Lattanzio, R.K. 2015. Life Cycle Greenhouse Gas Assessment of Coal and Natural Gas in The Power Sector. Congressional Research Service.
- Lopez, J., I.B. Somiari, & V.I. Mnouiothakis. 2018. Hydrogen/formic acid production from natural gas with zero carbon dioxide emissions. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 49: 84-93. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2017.11.003>
- Ottman, J. 2005. Desing-Green. URL: <http://www.green-marketing.com>.
- PermenLH No. 13 Tahun 2009. 2009. Baku Mutu Emisi Usaha dan atau Kegiatan Minyak dan Gas Bumi.
- PermenLH No. 19 Tahun 2010. 2010. Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Minyak dan Gas serta Panas Bumi.
- PermenLHK No. P.93 Tahun 2018. 2018. Pemantauan Kualitas Air Limbah Secara Terus Menerus dan Dalam Jaringan Bagi Usaha dan/atau Kegiatan.
- PermenLHK No. P.80 Tahun 2019. 2019. Perubahan atas PerMenLHK No P.93/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2018.
- PermenLHK No. 1 Tahun 2021. 2021. Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan Dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- PermenLHK No. 6 Tahun 2021. 2021. Tata Cara Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.
- PermenLHK No. 11 Tahun 2021. 2021. Baku Mutu Emisi Mesin dengan Pembakaran Dalam.
- PP No. 22 Tahun 2021. 2021. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Putri, P., H. 2017. Life Cycle Assessment (LCA) Emisi Pada Proses Produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) Jenis Bensin Dengan Pendekatan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP). Tugas Akhir Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS.
- Riva, A., S.D. Angelosante, & C. Trebesch. 2006. Natural gas and the environmental results of life cycle assessment. *Energy*, 31: 138–148. DOI: [10.1016/j.energy.2004.04.057](https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.04.057)
- Rocco, M. V., S. Lange, L. Pigoli, E. Colombo, L.A. Pellegrini. 2018. Assessing the energy intensity of alternative chemical and cryogenic natural gas purification processes in lng production. *Journal of Cleaner Production*. DOI: [10.1016/j.jclepro.2018.10.108](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.108)
- Samiaji, T. 2012. Karakterisasi gas N₂O (Nitrogen Oksida) di atmosfer Indonesia. *Jurnal Lapan*, 13: 147-154.
- Sandra, C. 2013. Pengaruh Penurunan Kualitas Udara terhadap Fungsi Paru dan Keluhan Pernafasan pada Polisi Lalu Lintas. Polwitabes, Surabaya.
- Sari, A.T. 2019. Life Cycle Assessment (LCA) Proses Produksi Gasoline dan ADO/Solar. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional. 2021. Laporan Hasil Analisis Neraca Energi Nasional 2021.
- SNI ISO 14040. 2016. Manajemen Lingkungan - Penilaian Daur Hidup - Prinsip dan Kerangka Kerja. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- SNI ISO 14044. 2017. Manajemen Lingkungan - Penilaian Daur Hidup - Persyaratan dan Panduan. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Soimakallio, S., J. Kiviluoma, & L. Saikku. 2011. The complexity and challenges of determining ghg (greenhouse gas) emissions from grid electricity consumption and conservation in lca (life cycle assessment): a methodological review. *Energy*, 36, 6705–6713. DOI: [10.1016/j.energy.2011.10.028](https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.10.028)
- Spath, P. & M.K. Mann. 2000. Life Cycle Assessment of a Natural Gas Combined-Cycle Power Generation System. National Renewabe Energy Laboratory, Colorado.
- Sulistiyono. 2015. Pemanasan Global (Global Warming) dan Hubungannya dengan Penggunaan Bahan Bakar Fosil. *Swara Partra*. 2 (2). Retrieved from <http://ejurnal.ppsdmrigas.esdm.go.id/sp/index.php/sw-arapatra/article/view/60>
- Undang-Undang Republik Indonesia No 22 Tahun 2001. 2001. Undang Undang Tentang Minyak dan Gas Bumi.
- Utina, R. 2015. Pemanasan global: dampak dan upaya meminimalisasinya. *Jurnal Saintek Universitas Negeri Gorontalo*, 3(3): 1-11.
- Wahyuni, P. & S. Made. 2011. Global warming: ancaman nyata sektor pertanian dan upaya mengatasi kadar CO₂ atmosfer. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 11(1): 31-46.