

ANALISIS PENILAIAN DAUR HIDUP PRODUKSI BENSIN DAN DIESEL PADA TAHAP PENGOLAHAN DI KILANG MINYAK DENGAN KONFIGURASI HYDROSKIMMING – HYDROCRACKING COMPLEX

Life Cycle assessment of gasoline and gasoil on production process in Hydroskimming complex – Hydrocracking complex refinery field

Antarif Kusuma Brata^a, Andes Ismayana^b, Moh. Yani^b

^aMahasiswa S2 Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor –antarif.kusuma@gmail.com

^bDosen Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

Abstract. Indonesia as one of the developing countries has a high dependence on petroleum fuels derived from petroleum refinery as the main energy source. The use of oil in Indonesia is dominated to meet the needs of transportation vehicles. Fuel oil as a source of energy goes into the spotlight in the world lately because of the impact of environmental degradation that arise from the utilization. The industrial activity of fuel oil production in refineries is inseparable from the environmental impacts. The oil process at the refinery is the second highest emission contributor after the use of fuel oil itself during its product life cycle. In this research LCA analysis is conducted for the production of gasoline and gasoil vehicle fuels during processing at the refinery with hydroskimming – hydrocracking complex configuration to compare the environmental impact of each type of fuel. From the result of LCA analysis, it is known that producing 1 kilo liter of gasoline needed more energy and produce higher emission compared to the gasoil fuel type production in hydroskimming – hydrocracking complex refinery. The gasoline fuel produced in the platformer unit is the product that has the highest emission contribution in its production process with greenhouse gas emissions of 1 Ton CO_{2eq} and the acid gas emissions of 0.001 Ton SO_{2eq} per 1 kilo liter of the product.

Keywords: Vehicle fuel, refineries, LCA, emission

(Diterima: 01-12-2017; Disetujui: 30-01-2018)

1. Pendahuluan

Indonesia sebagai salah satu negara berkembang memiliki ketergantungan yang tinggi terhadap bahan bakar minyak yang berasal dari olahan minyak bumi sebagai sumber energi utama. Sebagian besar (35%) sumber energi yang digunakan di Indonesia berasal dari bahan bakar minyak (BBM) (Dewan Energi Nasional, 2014). Mayoritas penggunaan bahan bakar minyak di Indonesia dihabiskan untuk memenuhi kebutuhan transportasi kendaraan. Kebutuhan bahan bakar minyak kendaraan di Indonesia semakin meningkat tiap tahunnya seiring dengan peningkatan angka penjualan kendaraan pribadi dalam proses pembangunan yang terjadi (Kaneko dan Kawanishi, 2016).

Bahan bakar minyak sebagai sumber energi menjadi sorotan di dunia beberapa waktu belakangan ini karena dampak penurunan kualitas lingkungan yang muncul akibat dari pemanfaatannya. Kebanyakan analisa pengaruh lingkungan dari penggunaan bahan bakar minyak hanya dilakukan pada tahap konsumsi bahan bakar saja (*end of pipe*), padahal seperti halnya produk lainnya, suatu produk juga dapat menghasilkan dampak yang signifikan di tahap produksi/pengolahannya. Kegiatan industri produksi bahan bakar minyak di kilang tidak terlepas dari dampak yang muncul terhadap lingkungan. Cai *et al.* (2012) menyebutkan, proses pengolahan minyak di kilang merupakan penyumbang

emisi tertinggi kedua setelah penggunaan bahan bakar minyak itu sendiri selama daur hidup produknya. Terdapat dua jenis produk turunan fraksi minyak bumi yang memiliki fungsi sebagai bahan bakar minyak kendaraan, yaitu bahan bakar minyak bensin (*gasoline*) dan bahan bakar minyak diesel (*gasoil*).

Vaillancourt (2014) menyebutkan, terdapat beberapa jenis / tingkatan kilang berdasarkan konfigurasi unit prosesnya, dimulai dari yang paling sederhana hingga yang memiliki tingkat kompleksitas tinggi. Jenis konfigurasi kilang yang paling sederhana adalah *topping refineries*. Jenis kilang ini biasanya hanya terdiri dari unit *crude distillation* saja. Pada konfigurasi kilang seperti ini, proses produksi hanya berdasarkan pemisahan fraksi minyak sederhana saja. Produk yang dihasilkan memiliki nilai yang rendah. Jenis kilang yang kedua adalah *hydroskimming refineries*. Pada kilang jenis ini terdapat unit *hydrotreating*, *blending* dan *reforming unit*. Jenis kilang ini dapat menghasilkan produk bensin / *gasoline* dengan nilai oktan lebih tinggi, namun belum dapat memproses residu fraksi bawah minyak bumi lebih lanjut. Jenis kilang ketiga adalah *conversion / cracking refineries*. Jenis kilang ini terdiri dari unit *Hydrocracking* atau *catalytic cracking* unit. Pada jenis kilang ini telah terjadi proses konversi melalui perengkahan senyawa minyak oleh hidrogen atau katalis menjadi produk yang lebih bernilai tinggi. Meskipun begitu, jenis kilang ini tidak dapat memproses lebih lanjut jenis

minyak fraksi berat dan *short residue*. Jenis kilang yang terakhir adalah *deep conversion / cooking refineries*. Jenis kilang yang terakhir ini merupakan kilang yang memiliki *delayed cooking unit*. Jenis kilang ini merupakan jenis kilang yang banyak dipakai pada kilang – kilang modern di beberapa negara belakangan ini. Pada jenis kilang ini residu dan minyak fraksi berat yang tidak dapat diolah oleh ketiga jenis kilang sebelumnya dapat diolah lebih lanjut untuk menjadi produk dengan nilai produk lebih tinggi. Semakin tinggi tingkat kompleksitas kilang, maka akan semakin efisien proses untuk dapat menghasilkan produk bahan bakar dan olahan minyak bumi bernilai tinggi.

Analisis daur hidup produk / *Life Cycle Assessment* (LCA) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengevaluasi dampak suatu produk terhadap lingkungan, konsep dasar LCA didasarkan pada pemikiran bahwa suatu sistem industri tidak dapat terlepas dengan lingkungan tempat industri itu berada (Megasari *et al.* 2008). LCA memberikan perkiraan secara kuantitatif aliran materi dan energi yang terkait dengan realisasi produk (Russo dan Mugnozza 2005). Terdapat dua standar baru terkait LCA yaitu ISO 14040 dan ISO 14044. Kedua standar ini menggantikan empat standar yang telah ada sebelumnya yaitu ISO 14040:1997, ISO 14041:1999, ISO 14042:2000 dan ISO 14043:2000 (Finkbeiner *et al.* 2006). Metode LCA dilakukan dengan melakukan identifikasi secara kuantitatif dari semua aliran input-output dari sistem terhadap lingkungan dalam setiap tahap daur hidup (*life cycle*). Metode LCA dilakukan berdasarkan *Principles and Framework LCA* yang ada pada ISO 14040:2006 yang terdiri dari 4 tahap, yaitu definisi tujuan dan ruang lingkup (*goal and scope definition*), menginventarisasi input dan output (*life cycle inventory analysis*), perkiraan dampak lingkungan dari semua input dan output (*life cycle impact assessment*), dan interpretasi hasil (*life cycle interpretation*). Hasil analisis LCA dapat digunakan sebagai dasar data kuantitatif (Benchmark) suatu produk untuk nantinya dapat digunakan sebagai pembandingan dengan produk lain, pengembangan produk, perencanaan strategi, pembuatan kebijakan publik, peningkatan nilai jual produk, dan lain – lain (Klopffer dan Grahl, 2014).

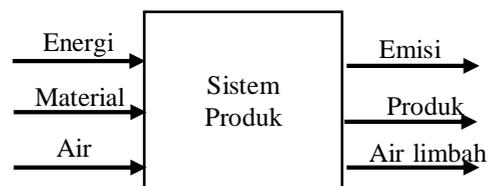
Pada penelitian ini dilakukan analisis daur hidup / LCA produksi bahan bakar minyak kendaraan jenis *gasoline* (bensin) dan *gasoil* (diesel) selama proses pengolahan di salah satu kilang terbesar yang ada di Indonesia dengan konfigurasi kilang terdiri dari *hydroskimming complex* dan *hydrocracking complex*, sehingga dapat diketahui besaran dan perbandingan potensi dampak lingkungan dari masing – masing jenis bahan bakar yang dihasilkan. Berbeda dengan beberapa penelitian serupa yang telah dilakukan, pada penelitian ini analisis inventori dan dampak tidak hanya dilakukan dengan menganggap proses di kilang hanya berupa satu blok lini proses saja, namun dilakukan analisis pada tiap tahap unit proses produksi yang ada di dalam di kilang. Sehingga, dari hasil analisis aliran material, energi yang dibutuhkan, dan emisi pada masing – masing unit proses dapat diperoleh secara detail unit proses mana yang memiliki dampak terbesar untuk

menghasilkan jenis produk bahan bakar kendaraan bensin (*gasoline*) dan diesel (*gasoil*).

2. Metode

Penelitian dilaksanakan pada Maret hingga Mei 2017 salah satu kilang minyak di Indonesia yang berjenis *conversion / cracking refineries* dengan konfigurasi unit pengolahan *Hydroskimming complex – Hydrocracking complex*. Bahan penelitian berupa data aliran material, bahan bakar (energi), dan emisi dari seluruh tahapan proses selama tahun 2016 yang diperoleh dari arsip perusahaan dan hasil observasi lapangan. Alat yang digunakan berupa alat tulis dan program analisis Microsoft Excel 2013.

Prosedur penelitian dilakukan melalui dua tahap utama, yaitu analisis inventori proses (*Life cycle inventory / LCI*) dan analisis dampak (*Life Cycle Impact Assessment / LCIA*). Kedua metode mengacu pada standar ISO 14040 dan 14044 mengenai *Life Cycle Assessment*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besaran energi, material bahan, dan emisi serta besaran dampak gas rumah kaca dan gas asidifikasi yang dihasilkan dalam proses produksi tiap 1 kiloliter bahan bakar minyak kendaraan (*Functional Unit*) di kilang, baik jenis bahan bakar bensin (*Gasoline*) maupun jenis bahan bakar diesel (*Gasoil*).



Gambar 1. Neraca Energi, Bahan dan Massa dalam unit proses pengolahan minyak (Klopffer dan Grahl 2014).

Life cycle inventory / analisis inventori merupakan tahap penilaian siklus hidup yang bertujuan untuk memahami dan mengevaluasi rinci aliran proses yang terdapat di kilang. Selain itu diketahui juga aliran energi, material, air, produk, dan emisi yang terdapat pada pengolahan bahan bakar minyak di kilang. Tahapan analisis inventori dilakukan dengan menggunakan pendekatan metode LCA berupa analisis aliran neraca energi, neraca massa, dan emisi berdasarkan pada ketentuan ISO 14040 yang dikeluarkan pada tahun 2006 (ISO, 2006). Gambaran analisis inventori dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan hasil analisa inventori dapat diperoleh besaran kebutuhan energi, bahan baku, dan emisi yang dihasilkan untuk memproduksi tiap *functional unit* yang ditentukan. *Functional unit* dalam penelitian ini berupa 1 kL produk *gasoline* / bensin dan 1 kL produk *gasoil* / diesel.

Life cycle impact assessment (LCIA) / analisa dampak merupakan tahap penilaian siklus hidup yang bertujuan untuk memahami dan mengevaluasi besarnya dan pentingnya dampak lingkungan potensial untuk sistem produk. Pada penelitian ini, analisa LCIA di kilang dilakukan pada dua jenis potensi emisi yang paling besar, yaitu emisi gas rumah kaca ($\text{CO}_2\text{-eq}$) dan asidifikasi

(SO_{2-eq}). Metode perhitungan tingkat emisi mengacu pada metode Penghitungan Tingkat Emisi *American Petroleum Institute* (API, 2009). Contoh metode yang digunakan dalam perhitungan ditunjukkan pada persamaan di bawah ini:

Persamaan 1.

$$\text{Emisi} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{Tahun}} \right) = \text{konsumsi energi} \left(\frac{\text{TJ}}{\text{Tahun}} \right) \times \text{faktor emisi} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{TJ}} \right)$$

Persamaan 2.

$$\text{Konsumsi energi (TJ)} = \text{konsumsi energi (Ton)} \times \text{Nilai kalor} \left(\frac{\text{TJ}}{\text{Ton}} \right)$$

Perhitungan gas rumah kaca didasarkan pada konversi kandungan tiap emisi gas pembentuk gas rumah kaca ke dalam satuan CO_{2-eq} gas rumah kaca yang ditetapkan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2012). Nilai faktor ekuivalensi tiap emisi gas rumah kaca dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Potensi pemanasan global oleh GRK (IPCC 2012)

Gas Rumah Kaca	Potensi Pemanasan Global (CO _{2-eq})
Karbon dioksida (CO ₂)	1
Metana (CH ₄)	25
Dinitrogen oksida (N ₂ O)	298

Tabel 2. Potensi asidifikasi (Madanhire dan Mbohwa 2016)

Gas Asidifikasi	Potensi Asidifikasi (SO _{2-eq})
Sulfur oksida (SO _x)	1
Nitro oksida (NO _x)	25

Perhitungan gas asidifikasi didasarkan pada konversi kandungan tiap emisi gas pembentuk gas asidifikasi ke dalam satuan SO_{2-eq} gas asidifikasi (Madanhire dan Mbohwa 2016). Nilai faktor ekuivalensi tiap emisi gas asidifikasi dapat dilihat pada Tabel 2.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Inventori Proses (Life cycle inventory /LCI)

Berdasarkan hasil analisis inventori diketahui aliran proses produksi secara rinci untuk dapat mengolah bahan baku minyak bumi mentah (*crude oil*) untuk dapat menjadi produk bahan bakar kendaraan jenis bensin (*Gasoline*) dan diesel (*Gasoil*). Proses pengolahan di kilang lokasi penelitian terdiri dari *Primary Processing* dan *Secondary Processing*. *Primary Processing* adalah proses yang dilakukan pada awal pengolahan minyak mentah (*Crude oil*) menjadi produk yang dengan menggunakan prinsip pemisahan secara fisis. Unit pengolah primer ini terdiri dari *Crude Distillation Unit* (CDU) dan *High Vacuum Unit* (HVU). *Secondary Processing* adalah proses pengolahan dengan proses reaksi

kimia bahan – bahan yang tidak dapat terolah pada *Primary Processing*, sehingga dapat diperoleh produk – produk dengan nilai yang lebih tinggi, proses tersebut terdapat di unit pengolahan *Hydrocracking Unit* (HCU), *Naphta Hydrotreating* (NHT) dan *Platformer*. Secara konfigurasi kilang, terdapat dua jenis unit pengolahan utama yang ada, yaitu *hydroskimming complex* dan *hydrocracking complex*. *Hydroskimming complex* terdiri dari *Crude Distillation Unit* (CDU), *Naphta Hydrotreating* NHT dan *Platformer*. *Hydrocracking complex* pada kilang terdiri dari *High Vacuum Unit* (HVU), dan *Hydrocracking Unit* (HCU). Kapasitas produksi kilang lokasi penelitian adalah 260 ribu barel per hari. Produk utama yang dihasilkan dari proses di kilang adalah bahan bakar minyak kendaraan jenis *gasoline*/bensin dan *gasoil*/diesel. Selain kedua jenis produk tersebut terdapat produk lain yang dihasilkan seperti: kerosene/avtur, LPG, dan sisa residu. Gambaran tahap unit proses, aliran material dan produk bahan bakar minyak kendaraan (*Gasoline* dan *Gasoil*) di kilang lokasi penelitian yang diperoleh dari hasil analisis inventori dapat dilihat pada Gambar 2.

Beberapa penelitian lain telah dilakukan untuk menganalisis penilaian siklus produk bahan bakar kendaraan di kilang, namun analisis inventori hanya dilakukan dengan membuat kilang sebagai satu blok proses saja tanpa membedah proses di tiap unit proses yang ada di kilang. Pada penelitian ini tahapan analisis inventori dilakukan pada setiap unit proses yang terdapat pada kilang.

Hasil analisis inventori menunjukkan, untuk dapat menghasilkan tiap kiloliter bahan bakar *gasoline* pada kilang dengan konfigurasi *hydroskimming – hydrocracker complex* membutuhkan lebih banyak energi dibandingkan untuk menghasilkan bahan bakar jenis *gasoil*. Begitu pula dengan emisi yang dihasilkan untuk dapat menghasilkan tiap kiloliter bahan bakar *gasoline* lebih tinggi dibandingkan dengan *gasoil*. Dilihat dari alur proses produksi kedua produk bahan bakar, dapat diketahui bahwa untuk memproduksi bahan bakar kendaraan jenis *gasoline* membutuhkan proses yang lebih panjang dan rumit. Hal ini dapat menunjukkan mengapa proses produksi bahan bakar kendaraan jenis *gasoline* membutuhkan energi yang lebih banyak dan juga menghasilkan emisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan produksi bahan bakar kendaraan jenis *gasoil*. Hasil analisis inventori pada proses produksi tiap kiloliter produk bahan bakar *gasoline* dan *gasoil* dapat dilihat pada Tabel 3.

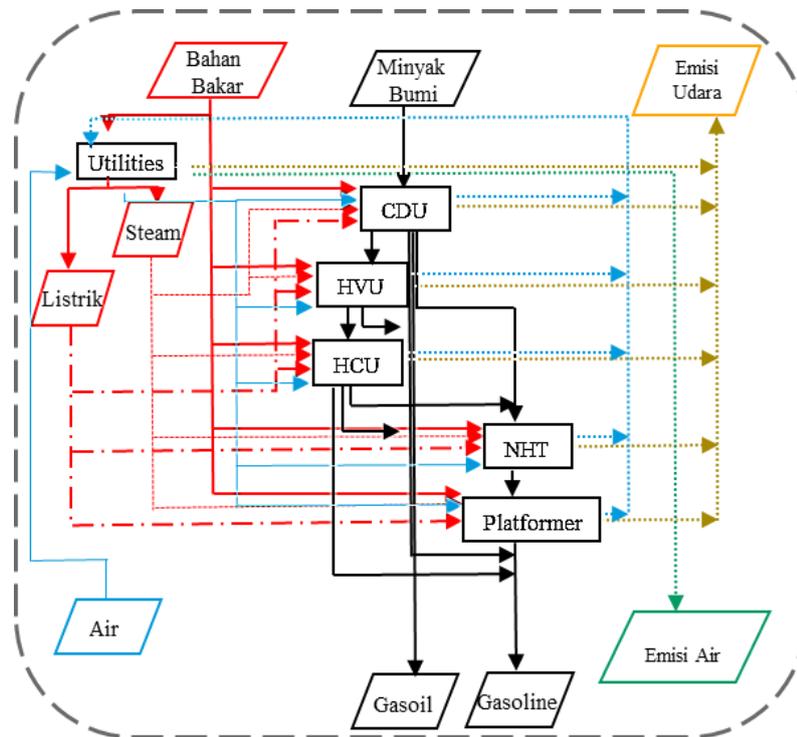
Furuholt (1995) dalam penelitiannya di kilang minyak di Inggris menemukan hasil bahwa untuk menghasilkan tiap kiloliter produk *gasoline* membutuhkan energi yang lebih besar serta menghasilkan emisi yang lebih banyak dibanding produksi bahan bakar jenis *gasoil* dengan jumlah yang sama. Hal ini sesuai dengan tahapan proses yang dilalui untuk produksi bahan bakar jenis *gasoline* yang lebih panjang dibandingkan dengan bahan bakar jenis *gasoil*. Besaran energi yang dibutuhkan dan emisi yang dihasilkan pada proses produksi bahan bakar minyak di kilang sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya seperti:

konfigurasi desain kilang itu sendiri, penerapan kema-
juan teknologi, beserta jenis bahan baku minyak men-
tah yang diproses (Eriksson dan Ahlgren, 2013).

3.2. Analisis Dampak (Life Cycle Impact Assessment)

Hasil analisis dampak daur hidup produk di kilang
menunjukkan bahwa gas rumah kaca merupakan jenis
emisi tertinggi yang dihasilkan dari proses kegiatan
pengolahan minyak bumi di kilang. Emisi gas rumah
kaca terdiri dari beberapa jenis gas pembentuk seperti
karbondioksida itu sendiri (CO₂), Metana (CH₄), Di-
nitro-oksida (N₂O) dan beberapa gas hidrokarbon

lainnya yang dinyatakan dalam satuan ekuivalensi CO₂-
eq (Lashof dan Ahuja, 1990). Dari hasil analisa
diketahui pada semester pertama produksi tahun 2016
dihasilkan total 978,063.50 Ton CO₂-eq. Pada paruh
periode produksi semester kedua dihasilkan total emisi
gas rumah kaca sebesar 987,320.16 Ton CO₂-eq. Selama
tahun 2016 pengolahan di kilang dihasilkan total men-
capai 1.9 juta Ton CO₂-eq. Selama ini pemanfaatan ba-
han bakar minyak baik di bidang transportasi maupun
industri diketahui sebagai salah satu penyumbang emisi
karbon tertinggi secara global dengan kontribusi men-
capai sekitar 65% (Edenhofer *et al.*, 2014). Selain gas
rumah kaca, terdapat emisi gas asidifikasi yang
dihasilkan dari proses pengolahan minyak di kilang.



Gambar 2. Aliran material, energi, dan emisi pada tiap unit proses di kilang dengan konfigurasi hydroskimming – hydrocracking complex.

Tabel 3. Hasil analisis inventori proses produksi di kilang untuk tiap kiloliter produk

Item	Satuan	Jenis Produk (1 KL)	
		Gasoline	Gasoil
Minyak Mentah	kL	6.53E+00	2.30E+00
Air	m ³	2.30E+02	8.08E+01
Energi			
Bahan Bakar	MJ	1.55E+04	5.44E+03
Emisi Udara			
SO _x	g	3.69E+02	1.30E+02
NO _x	g	7.85E+02	2.76E+02
PM	g	9.97E+01	3.50E+01
CO ₂	g	9.56E+05	3.36E+05
CH ₄	g	2.25E+01	7.92E+00
N ₂ O	g	3.31E+00	1.16E+00
Emisi Air			
BOD	g	1.21E-02	1.21E-02
COD	g	6.47E-02	2.28E-02
Oil dan Lipid	g	5.07E-03	1.78E-03
Sulfida	g	2.95E-05	1.04E-05
Amonia	g	4.19E-03	1.47E-03
Phenol	g	1.74E-04	6.11E-05

Tabel 4. Hasil analisis dampak LCA BBM di kilang tahun 2016

Bulan	Kategori Dampak	Gas Rumah Kaca	Asidifikasi
	Satuan	Ton CO ₂ -eq	Ton SO ₂ -eq
Semester I			
Januari		152,059.94	124.13
Februari		148,767.47	137.44
Maret		171,685.30	162.67
April		170,041.27	162.82
Mei		168,614.00	143.86
Juni		166,895.52	152.39
Sub total		978,063.50	883.31
Semester II			
Juli		166,059.55	148.27
Agustus		168,214.87	167.83
September		169,721.05	149.72
Oktober		173,978.67	166.03
November		171,284.72	158.2
Desember		138,061.30	119
Sub total		987,320.16	909.05
Total satu tahun		1,965,383.66	1,792.36

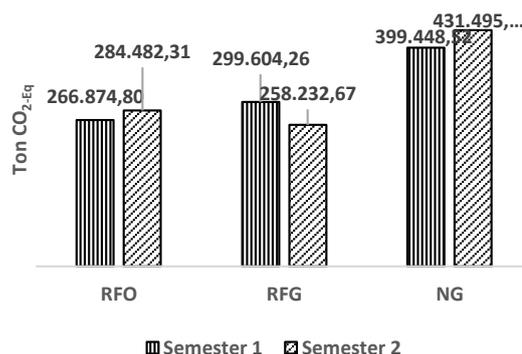
Gas asidifikasi terdiri dari gas-gas seperti sulfur oksida (SO_x) dan nitro-oksida (NO_x) yang memiliki potensi reaksi dengan air, oksigen dan ozon di atmosfer sehingga menyebabkan terbentuknya hujan asam. Hujan asam menyebabkan terjadinya kerusakan tanah dan tanaman secara langsung maupun tidak dengan reaksi oksidasi di dalam tanah. Asidifikasi dinyatakan dalam satuan ekuivalensi SO_{2-eq} (Madanhire dan Mbohwa 2016). Gas asidifikasi yang terbentuk pada paruh semester pertama periode produksi mencapai 883.31 Ton SO_{2-eq} dan pada paruh periode semester kedua mencapai 909.05 Ton SO_{2-eq}. Total selama setahun dihasilkan 1,792.36 Ton SO_{2-eq} dari proses pengolahan bahan bakar minyak kendaraan di kilang. Besaran emisi gas rumah kaca dan asidifikasi selama tahun 2016 dapat dilihat pada Tabel 4.

Jumlah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari penggunaan masing-masing jenis bahan bakar sumber energi kilang selama dua semester periode produksi pada tahun 2016 dapat dilihat pada Gambar 3. Bahan bakar sumber energi kilang yang memiliki rasio penggunaan paling besar selama proses produksi adalah *natural gas*, dengan total dalam setahun 345,882.51 Ton, atau berkisar pada 48.24% dari total jumlah bahan bakar yang digunakan. Bahan bakar sumber energi kilang kedua yang paling banyak digunakan pada periode waktu produksi tahun 2016 adalah *fuel gas refinery* dengan total penggunaan selama setahun mencapai 203,853.68 Ton, atau berkisar pada 28.43% dari jumlah total bahan bakar yang digunakan. Jenis bahan bakar ketiga yang digunakan adalah *refinery oil fuel* dengan total penggunaan dalam setahun sebesar 167,232.72 Ton, atau hanya berkisar 23.32% dari total penggunaan bahan bakar di kilang.

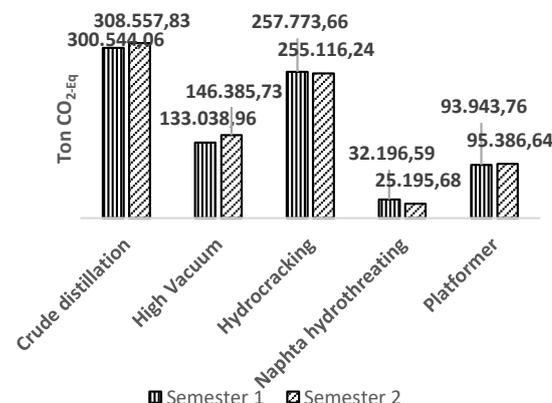
Hal yang unik dapat dilihat bila membandingkan antara rasio penggunaan bahan bakar dengan jumlah emisi yang dihasilkan pada Gambar 3. dengan hasil analisis rasio penggunaan jenis bahan bakar sumber energi kilang, meski dalam kuantitas jumlah penggunaan bahan bakar jenis *refinery fuel oil* (RFO) lebih sedikit dibanding dengan penggunaan bahan bakar jenis *refinery fuel gas* (RFG) sebagai sumber energi di kilang, namun emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh penggunaan *refinery fuel oil* (RFO) cenderung lebih tinggi dibanding emisi yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar *refinery fuel gas* (RFG). Hal ini disebabkan karena bahan bakar jenis *refinery fuel oil* (RFO) jauh lebih banyak menghasilkan emisi N₂O dibanding bahan bakar sumber energi kilang dengan jenis *refinery fuel gas* (RFG) dan *natural gas* (NG), sehingga dampak emisi gas rumah kaca yang dihasilkan menjadi lebih besar meskipun kuantitas jumlah bahan bakar yang digunakan sebagai sumber energi kilang lebih sedikit.

Berbeda dengan beberapa penelitian serupa yang telah dilakukan sebelumnya yang hanya menggambarkan analisis dampak pengolahan minyak di kilang secara utuh satu blok tanpa ada detail penggunaan energi, emisi dari tiap-tiap unit pengolahan, pada penelitian ini dilakukan *breakdown* analisis dampak pada tiap tahapan proses unit produksi. Dari hasil analisis potensi emisi gas rumah kaca pada tiap unit

produksi yang ditunjukkan pada Gambar 4. didapatkan bahwa unit *crude distillation* merupakan penyumbang emisi tertinggi dibandingkan dengan unit lain dengan rata – rata potensi rumah kaca berkisar pada 304 ribu Ton CO_{2-eq} tiap semesternya. Berdasarkan hasil analisis inventori dapat diketahui bahwa besar emisi gas rumah kaca yang dihasilkan pada unit pengolahan *crude distillation* berbanding lurus dengan kapasitas produksi dan juga konsumsi energi baik dari bahan bakar maupun listrik dan uap dari unit *utilities*. Unit proses yang ikut menyumbang emisi gas rumah kaca tertinggi kedua adalah unit proses *hydrocracking*.



Gambar 3. Emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari penggunaan jenis bahan bakar sebagai sumber energi.



Gambar 4. Emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari tiap unit proses pengolahan di kilang

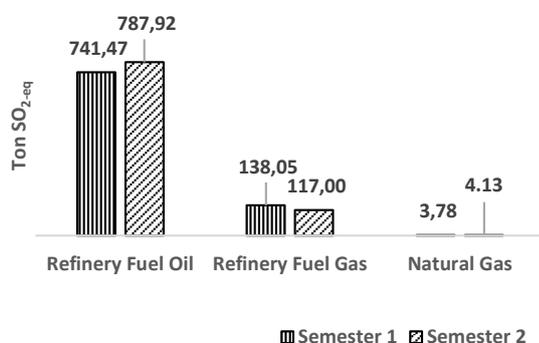
Dari hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 5. diketahui bahwa secara total untuk menghasilkan 1 kiloliter bahan bakar *gasoline* (bensin) menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih tinggi dibanding untuk memproduksi jenis bahan bakar *gasoil* (diesel) pada jumlah yang sama. Bahan bakar *gasoline* di kilang didapatkan dari lini aliran di unit *Crude distillation* (CDU), unit *Platforming* dan unit *Hydrocracker* (HCU). Emisi gas rumah kaca tertinggi didapatkan dari tiap kiloliter bahan bakar *gasoline* yang dihasilkan di unit platformer dengan emisi gas rumah kaca sekitar 1.067 Ton CO_{2-eq}. Produk *gasoline* yang dihasilkan dari unit pengolahan platforming merupakan *gasoline* dengan spesifikasi nilai oktan / *Research octane number* (RON) tinggi dengan kisaran angka oktan 96 – 98. Ber-

dasarkan hasil analisis tersebut diketahui, dengan konfigurasi kilang yang ada di kilang Balikpapan, produksi bahan bakar *gasoline* dengan nilai oktan tinggi menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih tinggi juga mengingat panjang dan lebih kompleksnya proses produksinya.

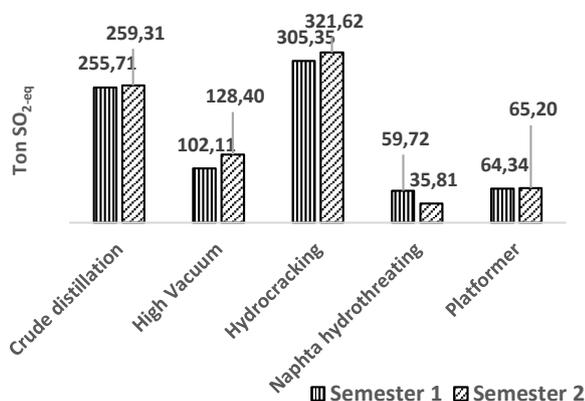
Tabel 5. Potensi gas rumah kaca dari tiap 1 kL produk bahan bakar minyak kendaraan pada masing – masing unit proses

Unit	Ton CO ₂ -eq / kL Produk	
	<i>Gasoline</i>	<i>Gasoil</i>
<i>Crude Distillation</i>	0.083	0.165
<i>High Vacuum</i>	-	0.18
<i>Hydrocracker</i>	0.631	0.631
<i>Platformer</i>	1.067	-
Total	1.781	0.976

Bahan bakar jenis *gasoil* diproduksi pada kilang ini dari lini aliran di unit *Crude Distillation*, unit *High Vacuum*, dan unit *Hydrocracking*. Emisi gas rumah kaca yang dihasilkan tertinggi terdapat pada produk *gasoil* yang dihasilkan dari unit *hydrocracking* dengan potensi gas rumah kaca sebesar 0.631 Ton CO₂-eq tiap 1 kiloliter produk yang dihasilkan. Produk *gasoil* yang dihasilkan di unit *hydrocracker* merupakan hasil perengkahan suhu, katalis, dan hidrogen dari umpan *Heavy vacuum gas oil* yang dihasilkan dari *High Vacuum unit* (HVU).



Gambar 5. Emisi asidifikasi yang dihasilkan dari penggunaan jenis bahan bakar sebagai sumber energi.



Gambar 6. Emisi gas asidifikasi yang dihasilkan dari tiap unit proses pengolahan di kilang

Dengan menggunakan analisis yang sama seperti analisa gas rumah kaca diatas, diperoleh gambaran sumber emisi asidifikasi di dalam kilang. Pada Gambar 5. dapat dilihat bahwa berdasarkan penggunaan jenis bahan bakar sebagai sumber energi, gas asidifikasi dihasilkan paling banyak dari penggunaan bahan bakar jenis *Refinery fuel oil* (RFO). *Refinery fuel oil* (RFO) memiliki kandungan impurities seperti sulfur yang lebih tinggi dibandingkan dengan dua jenis bahan bakar sumber energi di kilang lainnya yang berwujud gas. Sehingga, dalam pemanfaatannya dihasilkan emisi gas asidifikasi yang terdiri dari gas – gas SO_x dan NO_x lebih tinggi (Demirbas, 2010).

Hasil analisis sumber emisi gas asidifikasi pada tiap unit menunjukkan bahwa unit *crude distillation* merupakan unit yang memiliki sumbangan emisi gas asidifikasi tertinggi. Unit *crude distillation* menghasilkan total 255.71 Ton SO₂-eq potensi asidifikasi pada paruh masa produksi semester pertama, dan 259.31 Ton SO₂-eq pada paruh masa produksi semester kedua. Hal ini tidak terlepas dari besarnya kapasitas produksi unit tersebut dan juga penggunaan bahan bakar *refinery fuel oil* (RFO) pada unit tersebut. Unit lain yang menghasilkan potensi asidifikasi tertinggi berikutnya adalah unit *Hydrocracker*. Dari hasil analisis inventori dari masing-masing unit diketahui emisi gas asidifikasi cenderung muncul dari unit – unit proses yang menggunakan bahan bakar *refinery fuel oil* (RFO) sebagai salah satu sumber energinya. Unit – unit proses yang tidak menggunakan bahan bakar jenis *refinery fuel oil* (RFO) sebagai sumber energinya seperti unit *High Vacuum Unit* (HVU) dan *platformer* memiliki kecenderungan potensi gas asidifikasi yang cukup rendah. Besaran emisi gas asidifikasi yang dihasilkan masing – masing unit proses di kilang selama tahun 2016 dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 6. Potensi gas asidifikasi dari tiap 1 kL produk bahan bakar minyak kendaraan pada masing – masing unit proses

Unit	Ton SO ₂ -eq / kL Produk	
	<i>Gasoline</i>	<i>Gasoil</i>
<i>Crude Distillation</i>	0.0000815	0.0001629
<i>High Vacuum</i>	-	0.0001846
<i>Hydrocracker</i>	0.000751	0.000751
<i>Platformer</i>	0.00112	-
Total	0.0019525	0.0010985

Hasil analisis potensi emisi gas asidifikasi yang dihasilkan untuk tiap 1 kiloliter bahan bakar minyak kendaraan baik *gasoline* maupun *gasoil* dapat dilihat pada Tabel 6. Diketahui bahwa secara total untuk menghasilkan 1 kiloliter bahan bakar *gasoline* (bensin) menghasilkan potensi emisi gas asidifikasi yang lebih tinggi dibanding untuk produksi jenis bahan bakar *gasoil* (diesel) pada jumlah volume yang sama. Potensi emisi gas asidifikasi tertinggi berasal dari produk bahan bakar *gasoline* yang dihasilkan di unit *platformer* dengan total potensi gas asidifikasi mencapai 1.12 kg SO₂-eq per 1 kiloliter produk bahan bakar yang

dihasilkan. Untuk produk bahan bakar jenis *gasoil*, potensi emisi gas asidifikasi dihasilkan dari proses di unit *hydrocracking* dengan besaran potensi 0.41 kg SO_{2-eq} per 1 kiloliter produk yang dihasilkan.

3.3. Manfaat Hasil Penelitian

Penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa metode analisis daur hidup produk / *life cycle assessment* (LCA) dapat digunakan sebagai *tools* / alat pengukur besar dampak dan kebutuhan energi material pada proses pengolahan minyak bumi di kilang minyak bumi. Dari hasil analisis daur hidup produk / *life cycle assessment* (LCA) yang dilakukan, diperoleh gambaran secara kuantitatif mengenai besaran energi yang dibutuhkan, aliran material, dan juga besaran emisi yang dihasilkan selama proses produksi untuk tiap satuan *functional unit* kedua jenis bahan bakar kendaraan, yaitu bensin (*gasoline*) dan diesel (*gasoil*) pada kilang dengan konfigurasi *hydroskimming – hydrocracking complex*.

Dari hasil analisis inventori (LCI) dan analisis dampak (LCIA) diketahui bahwa pada kilang dengan konfigurasi *hydroskimming – hydrocracking complex*, untuk dapat menghasilkan 1 kiloliter jenis bahan bakar bensin (*gasoline*) membutuhkan energi dan memiliki potensi emisi dampak terhadap alam berupa gas rumah kaca dan gas asidifikasi yang lebih besar dibanding untuk menghasilkan jenis bahan bakar solar (*gasoil*) pada jumlah yang sama. Selain itu, dari hasil analisis diketahui juga bahwa unit *platformer* pada merupakan unit yang menyumbang potensi dampak lingkungan terbesar pada tiap kiloliter produk bahan bakar (*gasoline*) yang dihasilkan.

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai *database* perbandingan dampak produksi bahan bakar kendaraan, baik antar produk bahan bakar itu sendiri maupun dampak yang dihasilkan dari desain konfigurasi kilang yang ada itu sendiri. Bila nantinya dilakukan peningkatan desain kilang atau efisiensi unit kilang dalam proses produksi bahan bakar kendaraan, maka dengan analisis daur hidup produk / *life cycle assessment* (LCA) dan *database* yang telah ada, dapat dilakukan perbandingan efisiensi dan besaran dampak yang muncul dari proses produksi bahan bakar tersebut.

4. Kesimpulan

Dari hasil analisa LCA yang dilakukan, diketahui untuk memproduksi 1 kiloliter bahan bakar jenis bensin (*gasoline*) membutuhkan lebih banyak energi dan menghasilkan potensi dampak emisi yang lebih tinggi dibandingkan produksi bahan bakar kendaraan jenis diesel (*gasoil*) pada kilang dengan konfigurasi *hydroskimming complex – hydrocracking complex*. Dari hasil analisa dampak, diketahui bahwa emisi gas rumah kaca merupakan emisi tertinggi yang dihasilkan dari proses pengolahan bahan bakar di kilang dengan jumlah total 1.9 juta ton CO_{2-eq} dalam setahun. Bahan bakar jenis *gasoline* yang diproduksi di unit *platformer*

pada *hydroskimming complex* merupakan produk yang memiliki sumbangan emisi tertinggi dalam proses produksinya dengan emisi gas rumah kaca sebesar 1 Ton CO_{2-eq} dan emisi gas asidifikasi sebesar 0.001 Ton SO_{2-eq} dari setiap 1 kiloliter produk yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- [1] [API] American Petroleum Institute, 2009. Compendium of Greenhouse Gas Emissions Methodologies for the Oil and Natural Gas Industry. URS Corporation 9400 Amberglen Boulevard Austin, Texas 78729.
- [2] [EPA] Environmental Protection Agency, 2006. Global Greenhouse Gas Emissions. Climate Change Indicators in the United States: Global Greenhouse Gas Emissions, pp 1-6. [terhubung berkala]. <https://www.ep.gov/climate-indicators.pdf> [2 September 2017].
- [3] [IPCC] Intergovernmental Panel of Climate Change, 2012. Climate Change 2007, the physical science basis. IPCC: 4-5. [terhubung berkala]. <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wgl/ar4-wg1-errata.pdf> [2 September 2017].
- [4] [ISO] International Standard Organization, 2006. ISO 14040 Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. Switzerland: ISO.
- [5] Cai H., Han J., Wang, M., Elgowainy A., 2012. Regional Differences in Life-Cycle Greenhouse Gas and Criteria Air Pollutant Emissions of Light-Duty Vehicles in the United States. Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory, Argonne.
- [6] Demirbas, A., 2010. Green Energy and Technology: Methane Gas Hydrate. Springer Science dan Business Media.
- [7] Dewan Energi Nasional, 2014. Outlook Energi Indonesia 2014. Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral. Jakarta.
- [8] Edenhofer O., Madrugá R.P., Sokona, Y., Minx, J.C., Farhani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., Stechow, C.V., dan Zwickel, T., 2014. Fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, New York.
- [9] Eriksson M, Ahlgren S., 2013. LCAs of Petrol and Diesel: A Literature Review. SLU, Swedish University of Agricultural Science, Uppsala.
- [10] Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan R.B.H., Christiansen K., Kluppel H.J., 2006. The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044. Int J LCA. 11(2): 80-86.
- [11] Furuholt, E., 1995. Life Cycle Assessment of gasoline and Diesel. Journal of Resources, Conservation and Recycling: 251 – 263.
- [12] Kaneko, S., Kawanishi, M., 2016. Climate Change Policies and Challenges in Indonesia. Springer Japan, Tokyo.
- [13] Klopffer W., Grahl, B., 2014. Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice. Wiley VCH Verlag GmbH dan Co. KGaA, Boschstr. 12, 69469 Weinheim, Germany.
- [14] Lashof, D.A., Ahuja, D.R., 1990. Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming. Letters to Nature 344: 529 – 531.
- [15] Madanhire, I., Mbohwa, C., 2016. Mitigating Environmental Impact of Petroleum Lubricants. Springer International Publishing, AG Switzerland.
- [16] Megasar, K., Deni, S., Maria, CP., 2008. Penakaran Daur Hidup Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Batubara Kapasitas 50 MWATT. Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN. pp.479-488.

- [17] Russo, G., Mugnozza, G.S., 2005. LCA Methodology Applied to Various Typology of Greenhouses. PROGESA Department, University of Bari. Italy: 837-844.
- [18] Vaillancourt, K., 2014. Oil Refineries. Energy Technology Systems Analysis Programme. Eney Technology Network. [terhubung berkala]. [https://www.iea-etsap.org/ETechDS/PDF/P04_Oil%20Ref_KV_Ar2014_GSO K.pdf](https://www.iea-etsap.org/ETechDS/PDF/P04_Oil%20Ref_KV_Ar2014_GSO_K.pdf) [6 November 2017].