Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 3 Tahun 2020, page A4.1-A4.7. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 22 Agustus 2020
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

Life Cycle Assessment (LCA) Emisi Gas dan Partikulat pada Proses Produksi Pelumas di PT. XYZ

Nina Kurnia Ningrum [1], Dika Rahayu Widiana [2], Ahmad Erlan Afiuddin [3]
[1,2,3]Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

Email : dikawidiana@ppns.ac.id

Diterima (Juli, 2020), direvisi (Agustus, 2020), diterbitkan (September, 2020)

Abstrak

Kapasitas produksi pelumas PT. XYZ mencapai 29500 ton/tahun dengan bahan baku berupa pelumas bekas. Penggunaan bahan baku dan sumber daya menghasilkan emisi udara yang berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, sehingga diperlukan suatu aksi untuk menurunkan dampak lingkungan tersebut. Tujuan penelitian ini adalah merekomendasikan mitigasi emisi udara yang sesuai dengan dampak lingkungan tertinggi yang dihasilkan oleh proses produksi pelumas. Metode yang digunakan adalah *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan menggunakan *software* SimaPro 9.0. Batasan sistem yang diambil adalah *gate to gate* pada proses produksi *base oil* regeneratif (*refinery*) yang terdiri dari unit *preflash*, unit *Thermal De Asphalting* (TDA), dan unit *Hydrofinishing* (HDF) serta proses *Lube Oil Blending Plant* (LOBP) yang terdiri dari unit *mixing* dan unit *filling*. Langkah-langkah penelitian mengacu pada ISO 14040 tahun 2006 yang terdiri dari: (1) *goal and scope definition*, (2) *Life Cycle Inventory* (LCI), (3) *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), dan (4) *interpretation*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses produksi pelumas berdampak besar terhadap *global warming* 100a dengan nilai 230,743 Pt. Unit proses yang paling besar kontribusinya terhadap dampak *global warming* 100a adalah *Thermal De Asphalting* dengan nilai 115,938 Pt. Mitigasi emisi yang diusulkan adalah *Waste Heat Recovery Power Generation* (WHRPG), *Carbon Capture Storage* (CCS), dan pemanfaatan *oil sludge* sebagai bahan bakar.
Kata Kunci: global warming, *life cycle assessment*, mitigasi emisi, pelumas, simapro 9.0.

Abstract

PT XYZ produces 29500 tons/year of lubricants using used oil as raw material. The using of raw materials and resources produce air emissions that have negative impact to the environment, therefore need an action to reduce these impacts. The purpose of this research is to recommend air emission mitigation in accordance with the highest environmental impact generated by the lubricant production process based on the Life Cycle Assessment (LCA) method using SimaPro 9.0 software. The scope of system in this research are the gate to gate in regenerative base oil production process (refinery) which consists of preflash, Thermal De Asphalting (TDA), *Hydrofinishing* (HDF) *units and Lube Oil Blending Plant (LOBP) process which consists of mixing and filling units. The research steps refer to ISO 14040 in 2006 which consists of: (1) goal and scope definition, (2) Life Cycle Inventory (LCI), (3) Life Cycle Impact Assessment (LCIA), and (4) interpretation. The results showed that the lubricant production process had a major impact on global warming of 100a with a value of 230,743 Pt. The process unit that has the greatest contribution to the impact of global warming 100a is Thermal De Asphalting with a value of 115,938 Pt. The proposed emission mitigation are Waste Heat Recovery Power Generation (WHRPG), Carbon Capture Storage (CCS), and the use of oil sludge as fuel.*
***Keyword: emission mitigation; global warming; life cycle assessmen; lube oil; simapro* 9.0.**

1. PENDAHULUAN

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur
(SENTIKUIN) VOLUME 3 Tahun 2020, page A4.1-A4.7. Fakultas Teknik Universitas
Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 22 Agustus 2020
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

Sektor industri mampu memberikan kontribusi yang besar terhadap roda perekonomian nasional melalui pemanfaatan sumber daya alam (SDA) yang diolah menjadi suatu produk. Ketersediaan SDA dan daya dukung lingkungan yang terbatas menuntut industri untuk melakukan kegiatan produksi yang memperhatikan dampak terhadap kualitas lingkungan hidup dan ekosistem secara berkelanjutan. *Life Cycle Assessment* (LCA) merupakan salah satu metodologi yang dapat digunakan sebagai *sustainability matrics*. Metode LCA ini dapat mengevaluasi bahan mentah dan konsumsi energi sehingga dapat diperoleh data pengeluaran emisi dan dampak lingkungan dari suatu proses[1]. Penerapan LCA juga didukung oleh adanya penambahan kriteria baru berupa penilaian daur hidup dalam Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan (PROPER)[2].

Jonsson (2016) melakukan penelitian mengenai LCA pada industri daur ulang oli bekas. Dampak yang dibandingkan adalah *global warming, acidification,* dan *human toxicity* berdasarkan metode EDIP97. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *global warming* merupakan dampak terbesar yang ditimbulkan oleh industri tersebut. Sumber utama dampak *global warming* ditimbulkan oleh proses pembakaran bahan bakar[3].

Berdasarkan penelitian tersebut, diperkirakan bahwa proses produksi pelumas berpotensi menghasilkan emisi CO_2 yang menimbulkan dampak *global warming* sehingga diperlukan aksi mitigasi emisi. Selain mampu mereduksi emisi, aksi mitigasi juga dapat diusulkan sebagai *green technology*.

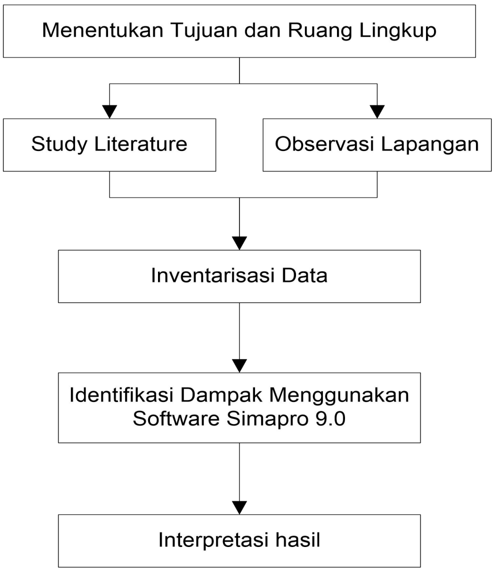
2. MATERI DAN METODE

PT. XYZ merupakan perusahan pengolah pelumas bekas menjadi pelumas baru. Kapasitas produksi PT. XYZ mencapai 29500 ton setiap tahunnya[4]. Tahap-tahap produksi minyak pelumas adalah sebagai berikut: (1) *Preflash*: bertujuan untuk mengurangi kadar air pada pelumas bekas hingga 0,1% melalui proses distilasi, produk yang dihasilkan berupa *dehydrated oil*. (2) *Thermal De Asphalting* (TDA): bertujuan untuk memisahkan fraksi produk berdasarkan titik didih melalui proses distilasi vakum, produk yang dihasilkan berupa *intermediate oil*. (3) *Hydrofinishing* (HDF): bertujuan untuk memperbaiki warna dan menghilangkan kandungan pengotor melalui reaktor demetalisasi, produk yang dihasilkan berupa *base oil*. (4) *Mixing*: bertujuan untuk menghasilkan spesifikasi produk melalui pencampuran *base oil* dan *additive*, produk yang dihasilkan berupa *lube oil*. (5) *Filling*: merupakan proses pengisian *lube oil* kedalam kemasan menjadi produk siap jual.

Life Cycle Assessment (LCA) bertujuan untuk mengkaji dampak daur hidup suatu produk atau proses terhadap lingkungan. Dampak serta aliran massa maupun energi dalam kajian LCA dikuantifikasi secara detail dengan batasan-batasan yang sudah ditetapkan[1]. Berdasarkan standar ISO 14044, ada empat pilihan batas sistem yang digunakan dalam LCA, batas sistem yang digunakan meliputi: (1) *Cradle to grave*: termasuk proses ekstraksi bahan baku, tahap produksi, transportasi, dan penggunaan produk hingga akhir siklus hidupnya. (2) *Cradle to gate*: meliputi semua proses dari ekstraksi bahan baku hingga tahap produksi, digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari suatu produk. (3) *Gate to grave*: meliputi proses penggunaan produk pasca produksi sampai pada akhir siklus hidupnya, digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari produk tersebut setelah meninggalkan pabrik. (4) *Gate to gate*: meliputi proses dari tahap produksi saja, digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari langkah produksi atau proses[5].

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 3 Tahun 2020, page A4.1-A4.7. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 22 Agustus 2020
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

Langkah–langkah studi *Life Cycle Assessment* mengacu pada ISO 14040 tahun 2006, dibagi menjadi empat tahap yaitu: (1) *goal and scope definition*, yaitu penentuan ruang lingkup dan tujuan penelitian. (2) *life cycle inventory*, yaitu pengumpulan data yang meliputi *input* dan *output* proses produksi. (3) *life cycle impact assessment,* yaitu pengolahan data *inventory* sehingga menghasilkan nilai dampak masing-masing produk atau proses. (4) *interpretation*, yaitu penarikan kesimpulan serta penentuan langkah perbaikan[5]. Langkah-langkah penelitian ini dijabarkan dalam Gambar 2.1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan diagram alir yang dijabarkan dalam Gambar 2.2, penelitian dimulai dengan menentukan tujuan dan ruang lingkup agar penelitian terlaksana dengan jelas dan terarah. Tahap berikutnya adalah mengumpulkan data sekunder melalui studi literatur dan observasi lapangan. Data yang diambil meliputi jumlah bahan baku yang diolah, konsumsi energi, konsumsi bahan bakar, produk yang dihasilkan, serta emisi gas dan partikulat dari setiap unit proses. Data yang didapatkan akan diolah menggunakan metode EDIP 2003 dalam *software* SimaPro 9.0 untuk menganalisis dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh proses produksi pelumas. Metode ini dipilih karena fokus terhadap dampak lingkungan pada kegiatan *industrial product*[2]. Tahap terakhir adalah menarik kesimpulan dan memberikan rekomendasi mitigasi sesuai dengan dampak tertinggi yang dihasilkan oleh proses produksi pelumas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Goal and Scope Definition

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis dampak lingkungan yang dihasilkan oleh emisi gas dan partikulat pada proses produksi pelumas, kemudian merekomendasikan aksi mitigasi sesuai dengan dampak lingkungan tertinggi yang dihasilkan. Batasan sistem yang diambil adalah *gate to gate* pada proses produksi *base oil* regeneratif (*refinery*) yang terdiri dari unit *preflash*, *Thermal De Asphalting* (TDA), dan *Hydrofinishing* (HDF) serta proses *Lube Oil Blending Plant* (LOBP) yang terdiri dari unit *mixing* dan *filling*. Dampak lingkungan yang dianalisis merupakan dampak yang relevan dengan emisi gas dan partikulat, yaitu *Global Warming* 100a, *Ozone*

Formation (Vegetation), Ozone Formation (Human), Acidification, dan *Human Toxicity (Air).*

***Life Cycle Inventory* (LCI)**

Inventarisasi data dalam tahapan LCA meliputi keseluruhan material yang digunakan dan dihasilkan pada proses produksi. LCI proses produksi pelumas dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. *Life Cycle Inventory* Proses Produksi Pelumas

Produksi Pelumas	Unit/bulan	Unit Proses				
		Preflash	**TDA**	**HDF**	***Mixing***	***Filling***
Bahan Baku						
Feed	(ton)	2453,830	2089,310	1520,710	1030,040	1111,602
Additive	(ton)	-	-	-	81,561	-
Energi Listrik	(kWh)	12924	142488	158990,400	4415,550	8342,670
Bahan Bakar						
Gas Oil	(ton)	46,971	80,120	69,709	-	-
Natural Gas	(m^3)	18438,144	31450,541	27363,615	-	-
Material Penunjang						
Cooling Water	(m^3)	44640	270000	3600	-	-
NaOH	(ton)	20,425	-	-	-	-
Hidrogen	(m^3)	-	-	150480	-	-
Catalyst R-101	(ton)	-	-	0,086	-	-
Catalyst R-102	(ton)	-	-	0,029	-	-
Steam	(m^3)	7885	1339	1165	-	-
Produk	(ton)	2089,310	1520,710	1030,040	1111,602	1109,788
Emisi Udara						
CO_2	(Kg)	113388,407	899064,203	522223,050	3364,649	6357,115
CO	(Kg)	-	11,564	8,784	-	-
NH_3	(Kg)	-	0,405	0,123	-	-
Cl_2	(Kg)	-	0,578	0,176	-	-
HCl	(Kg)	-	10,234	3,110	-	-
HF	(Kg)	-	0,578	0,176	-	-
NO_2	(Kg)	-	64,758	21,609	-	-
Particulate	(Kg)	-	13,299	4,743	-	-
SO_2	(Kg)	-	15,033	4,568	-	-
H_2S	(Kg)	-	1,214	0,369	-	-
Hg	(Kg)	-	0,046	0,014	-	-
As	(Kg)	-	0,017	0,005	-	-
Sb	(Kg)	-	0,116	0,035	-	-
Cd	(Kg)	-	0,006	0,002	-	-
Zn	(Kg)	-	0,006	0,002	-	-
Pb	(Kg)	-	0,145	0,044	-	-
CH_4	(Kg)	10721,511	-	-	-	-
C_2H_6	(Kg)	39,804	-	-	-	-
C_3H_8	(Kg)	111,000	-	-	-	-
C_4H_{10}	(Kg)	215,681	-	-	-	-

***Life Cycle Impact Assessment* (LCIA)**

a. *Characterization*

Characterization merupakan tahap penilaian relatif substansi yang berkontribusi pada kategori dampak berdasarkan faktor karakterisasinya[6]. Analisis tahap ini menunjukkan bahwa proses produksi pelumas menghasilkan dampak *Global Warming* 100a sebanyak $1,79 \times 10^6$ kg CO_2 eq, dampak *ozone*

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 3 Tahun 2020, page A4.1-A4.7. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 22 Agustus 2020
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

formation (vegetation) sebanyak 4,11x10^6 m^2.ppm.h, dampak *ozone formation (human)* sebanyak 3,31x10^2 person.ppm.h, dampak *acidification* sebanyak 2,07x10^3 m^2, dan dampak *human toxicity (air)* sebanyak 5,75x10^7 person.

b. *Normalization*

Normalization merupakan penyetaraan nilai masing-masing *impact category* yang dipilih menggunakan *normalization factor*, dengan kata lain *normalization* merupakan perbandingan dampak[6]. Hasil *normalization* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. *Normalization* Proses Produksi Pelumas

Impact Category	Total	Unit Proses				
		Preflash	TDA	HDF	*Mixing*	*Filling*
Global Warming 100a	230,743	49,181	115,938	64,37	0,434	0,82
Ozone Formation (Vegetation)	69,115	69,096	0,011	0,008	0	0
Ozone Formation (Human)	116,678	116,646	0,018	0,014	0	0
Acidification	5,25	0	3,994	1,256	0	0
Human Toxicity (air)	0,121	0	0,091	0,031	0	0

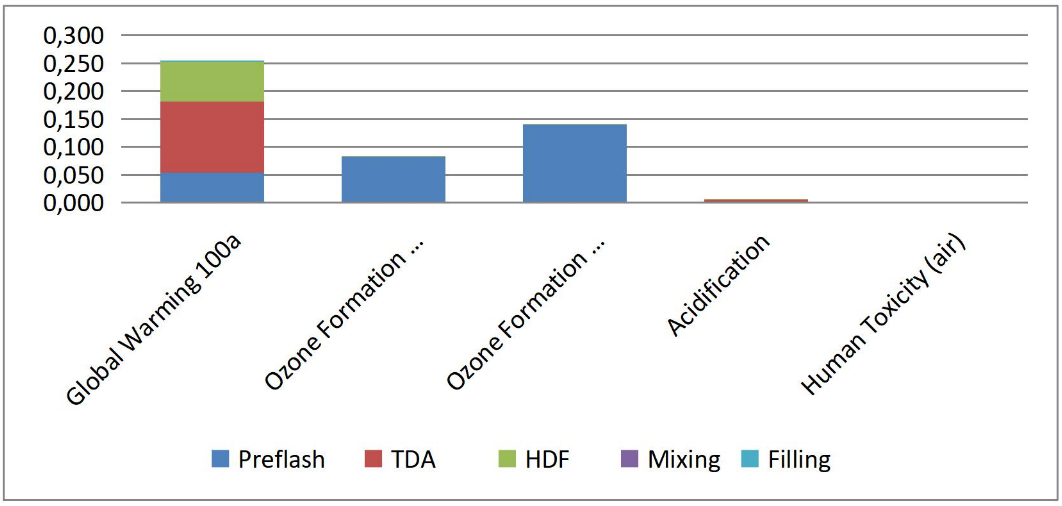
c. *Weighting* dan *single score*

Weighting merupakan proses pemberian bobot terhadap kategori dampak yang berbeda berdasarkan kepentingan penelitian sedangkan s*ingle score* merupakan hasil dari *weighting score* yang didasarkan oleh proses kegiatan[6]. Hasil analisis tahap *weighting and single score* disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. *Weighting* dan *Single Score* Proses Produksi Pelumas

Impact Category	Total (pt)	Unit Proses				
		Preflash (Pt)	TDA (Pt)	HDF (Pt)	*Mixing* (Pt)	*Filling* (Pt)
Global Warming 100a	230,743	49,181	115,938	64,37	0,434	0,82
Ozone Formation (Vegetation)	69,115	69,096	0,011	0,008	0	0
Ozone Formation (Human)	116,678	116,646	0,018	0,014	0	0
Acidification	5,25	0	3,994	1,256	0	0
Human Toxicity (air)	0,121	0	0,091	0,031	0	0

Tabel 3.3 menyatakan bahwa dampsk tertinggi ysng dihasilkan oleh proses produksi pelumas secara berurutan adalah *global warming* 100a, *ozone formation (human), ozone formation (vegetation), acidification,* dan *human toxicity (air)*. Unit proses dengan kontribusi terbesari terhadap dampak *global warming* 100a secara berurutan adalah TDA, HDF, *preflash*, *filling*, dan *mixing*. Perbandingan dampak dan unit proses dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 2. ***Weighting*** **dan** ***Single Score*** **Proses Produksi Pelumas**

Interpretation

Berdasarkan hasil *life cycle impact assessment*, penentuan aksi mitigasi difokuskan pada reduksi gas CO_2 penyebab *global warming* unit proses TDA. Alternatif pertama yang direkomendasikan adalah *Waste Heat Recovery Power Generation* (WHRPG). Prinsip kerja WHRPG adalah menggunakan panas gas buang pada tungku pembakaran untuk memanaskan air dan mengubah air tersebut menjadi uap yang sangat panas yang digunakan untuk menggerakan turbin dan menghasilkan tenaga listrik dari kumparan medan magnet generator. WHRPG berpotensi mereduksi emisi CO_2 melalui pengurangan konsumsi energi listrik. Secara berkelanjutan, efisiensi energi melalui WHRPG juga memberikan keuntungan berupa pengurangan biaya produksi[7]. Chan (2016) menyatakan bahwa WHRPG pada *refinery* mampu mereduksi CO_2 hingga 17000 ton pertahun[8].

Alternatif kedua yang direkomendasikan adalah *Carbon Capture Storage* (CCS). CCS merupakan teknologi mitigasi perubahan iklim yang berpotensi mengurangi emisi CO_2 skala besar dari hasil pembakaran bahan bakar fosil. CCS umumnya terdiri dari 3 tahapan, yaitu penangkapan CO_2 (*capture*) dari gas buang, penyaluran CO_2 (*transportion*) dan penyimpanan CO_2 (*storage*)[9]. CO_2 hasil penangkapan dapat dimanfaatkan dalam bentuk lain agar memiliki nilai jual, diantaranya adalah untuk pembuatan minuman karbonasi, *Enhanced Oil Recovery* (CO_2-EOR), teknik aforestasi/reboisasi, pengelolaan lahan, dan lain–lain[10]. CCS mampu mereduksi CO_2 dari kegiatan proses hingga 95% melalui proporsi yang tepat[9].

Alternatif ketiga yang direkomendasikan adalah pemanfaatan *oil sludge* sebagai bahan bakar campuran. *Oil sludge* utamanya dihasilkan oleh endapan *feed* pada tangki penyimpanan. Pemanfaatan *oil sludge* sebagai bahan bakar dilakukan melalui proses pirolisis. Silalahi (2015) menyatakan bahwa proses pirolisis *oil sludge* menghasilkan 31,4% minyak paraffin, 31% minyak bakar, 8,8% karbon aktif, 14,5% air, dan 14,3% gas[11]. Hasil pirolisis dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar proses sehingga berpotensi mereduksi emisi CO_2 melalui penggunaan bahan bakar.

4. KESIMPULAN

Proses produksi pelumas berdampak besar terhadap *global warming* 100a dengan nilai 230,743 Pt. Unit proses yang paling besar kontribusinya terhadap dampak *global warming* 100a adalah *Thermal De Asphalting* dengan nilai 115,938 Pt. Mitigasi emisi

yang diusulkan meliputi *Waste Heat Recovery Power Generation* (WHRPG), *Carbon Capture Storage* (CCS), dan pemanfaatan *oil sludge* sebagai bahan bakar.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2020). *Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup 2019: PROPER 4.0 as SIMPEL as it is*. Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran & Kerusakan Lingkungan. Jakarta.

[2] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2018). *Revisi PerMen LH No 3 Tahun 2014 Tentang Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan Dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Kementerian LHK. Jakarta.

[3] Jonsson, Johan. (2016). *Thesis: Recycling of Industrial Lubricant Oil A Screening LCA of Rocco Oil Cleaning System*. Environmental Engineering of Mid Sweden University. Sundsvall.

[4] PT. XYZ. (2019). *Production Annual Report 2019*. Pasuruan.

[5] International Standards Organization. (2006). *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework ISO 14040*. ISO Press.

[6] GaBi. (2011). *Handbook for Life Cycle Assessment (LCA) Using the GaBi Software*. PE International. Leinfelden-Echterdingen Germany.

[7] Yansuri, D., S. (2016). *Tugas Akhir: Perencanaan Sistem Waste Heat Recovery Power Generation (WHRPG) Pabrik Semen*. Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Palembang. Palembang.

[8] Chan, W., Walter, A., Sugiyama, M., and Borges, G. (2016). *Assessment Of CO_2 Emission Mitigation for A Brazilian Oil Refinery*. Brazilian Journal of Chemical Engineering. Vol. 33, No. 04, pp. 835 - 850.

[9] Global CCS Institute. (2011). *Accelerating The Uptake Of CCS: Industrial Use Of Captured Carbon Dioxide.* Parsons Brinckerhoff.

[10] Hepburn, C., Adlen, E., Beddington, J., Carter, E., Fuss, S., Dowell, N., Minx, J., Smith, P., and Williams, C. (2019). *The technological and economic prospects for CO_2 utilization and removal*. Nature Journal. Vol. 575. Pp. 87-97.

[11] Silalahi, Mawar (2015). *Laporan Penelitian: Pengolahan Limbah Lumpur Minyak (Oil Sludge) Menjadi Bahan Bakar Gas Alternatif*. Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Arsitektur Lansekap dan Teknologi Lingkungan Universitas Trisakti. Jakarta.