

---

---

# EMISI GAS RUMAH KACA PENGGUNAAN LISTRIK PADA KERETA REL LISTRIK JABODETABEK DENGAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT*

## *Green House Gas Emissions Electricity Usage on Jabodetabek Electric Trains with Life Cycle Assessment Method*

Utari Ayuningtyas<sup>1</sup>, Mohamad Yani<sup>2</sup> dan Siti Maimunah<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Prodi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Kampus IPB Baranangsiang, Bogor, Indonesia  
Jl. IPB BS No.1, Tegallega, Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor, Jawa Barat 16129

<sup>2</sup>Departemen Teknologi Industri Pertanian, Kampus IPB Darmaga, Bogor, Indonesia  
Jl. Raya Dramaga, Babakan, Kec. Dramaga, Bogor, Jawa Barat 16680

<sup>3</sup>Balitbang Perhubungan, Kementerian Perhubungan, Jakarta, Indonesia  
Jl. Medan Merdeka Tim. No.5, RW.1, Gambir, Kecamatan Gambir, Kota Jakarta Pusat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10110

e-mail: utariayu.murtaji@gmail.com

Diterima: 31 Juli 2019, Direvisi: 13 Januari 2020, Disetujui: 17 Juli 2020

### Abstrak

Kereta Rel Listrik (KRL) merupakan transportasi massal karena kemampuannya mengangkut muatan dalam jumlah besar. Sistem penggerakannya menggunakan energi listrik. Sumber listrik KRL berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan menggunakan sumber DC 1500 volt yang disuplai melalui gardu-gardu listrik sepanjang lintasan KRL. Selain itu untuk menunjang pengoperasian kereta, listrik juga dibutuhkan stasiun untuk menunjang operasional kegiatan stasiun. Penggunaan energi listrik dapat menghasilkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) seperti CO<sub>2</sub> dan HFC. Untuk mengetahui besaran emisi GRK pada sarana dan prasarana KRL Jabodetabek maka, dilakukan analisis dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) sesuai dengan SNI ISO 14040:2016 dan menggunakan batas sistem *gate to grave*. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi dan menganalisis besaran emisi GRK yang dihasilkan pada tahap penggunaan energi listrik di KRL dan stasiun KRL Jabodetabek, serta mengusulkan alternatif perbaikan dalam upaya pengurangan dampak lingkungan. Dari hasil analisis penelitian, tidak terdapat emisi dalam penggunaan listrik pada operasional KRL dikarenakan sumber listrik berasal dari PLTA. Emisi pada KRL bersumber pada penggunaan freon AC, sedangkan penggunaan listrik pada operasional stasiun yang disalurkan dari pembangkit listrik Jawa Bali teridentifikasi menghasilkan emisi GRK. Sehingga total emisi yang dihasilkan dari penggunaan freon AC KRL dan penggunaan listrik stasiun yaitu sebesar 16.118,3 tonCO<sub>2(eq)</sub>, dan diperoleh emisi untuk *functional unit* sebesar 4,79x10<sup>-5</sup> tonCO<sub>2(eq)</sub>/penumpang. Upaya pengurangan dampak lingkungan dilakukan dengan mengganti lampu neon dengan lampu LED pada setiap stasiun KRL Jabodetabek, terjadi persentase perubahan dampak lingkungan sebesar 73% dan mengganti freon AC dengan menggunakan musicool pada setiap gerbong KRL, terjadi persentase perubahan dampak lingkungan sebesar 70%.

**Kata kunci:** emisi gas rumah kaca, Kereta Rel Listrik, penilaian daur hidup.

### Abstract

*Electric Railway (KRL) is a mass transportation because of its ability to carry large amounts of cargo. The KRL electricity source comes from hydroelectric power plants (PLTA) using a 1500 volt DC source which is supplied through electrical substations along the KRL track. In addition to supporting the operation of trains, electricity is also needed by the station to support the operational activities of the station. The use of electrical energy can produce greenhouse gas (GHG) emissions such as CO<sub>2</sub> and HFC. To find out the amount of GHG emissions in Jabodetabek KRL facilities and infrastructure, using the analysis of Life Cycle Assessment (LCA) methods referring to SNI ISO 14040: 2016 and used the system boundary of gate to grave. The purpose of this research is to identify and analyze the amount of GHG emissions generated at the stage of electricity usage in the KRL and Jabodetabek KRL stations, and propose alternative improvements in efforts to reduce environmental impacts. From the results of the research analysis, the total emissions generated from the use of freon AC KRL and electricity use of the station are 16.118,3 tons CO<sub>2(eq)</sub>, and the emissions obtained for functional units are 4,79 x 10<sup>-5</sup> tons CO<sub>2(eq)</sub>/passenger. Efforts to reduce the environmental impact are carried out by replacing fluorescent lamps with LEDs at each Jabodetabek KRL station with a percentage change in environmental impact of 73% and replacing AC freon by using musicool on each KRL car with a percentage change in environmental impact of 70%.*

**Keywords:** electric train, greenhouse gas emissions, life cycle assessment.

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

DKI Jakarta merupakan pusat bisnis dan pusat pemerintahan yang dikelilingi kawasan pemukiman seperti Bogor, Depok, Tangerang dan Bekasi yang semakin berkembang. Berkembangnya kawasan pemukiman tersebut menyebabkan sirkulasi arus penduduk ke DKI Jakarta meningkat setiap hari. Dengan sirkulasi penduduk yang tinggi, untuk memindahkan penduduk dari kawasan pemukiman bodetabek ke DKI Jakarta senantiasa membutuhkan transportasi. Tingginya kebutuhan transportasi harus ditunjang dengan sarana transportasi yang baik seperti ketersediaan sumberdaya alam yang memadai sebagai bahan bakar moda transportasi tersebut. Keberadaan moda transportasi pada saat ini masih banyak menggunakan sumberdaya alam berupa bahan bakar fosil, yang semakin hari persediaannya semakin menipis serta harganya yang semakin meningkat. Untuk itu diperlukan energi alternatif yang dapat diterapkan pada sarana transportasi tersebut seperti energi listrik (Fauzan dkk., 2015).

Penggunaan energi listrik pada transportasi di DKI Jakarta salah satunya yaitu Kereta Rel Listrik (KRL). KRL merupakan salah satu pilihan tepat dan cepat untuk mobilitas penduduk dan sebagai sarana transportasi massal yang dapat mengangkut penumpang dalam jumlah besar dalam waktu yang bersamaan. Penggunaan energi listrik tersebut dapat menghasilkan emisi yang berupa emisi Gas Rumah Kaca (GRK) seperti CO<sub>2</sub> dan HFC (Aminah, 2018; Fauzan dkk., 2015).

Untuk mengetahui besaran emisi GRK pada sarana dan prasarana KRL Jabodetabek maka, dilakukan analisis daur hidup atau *Life Cycle Assessment* (LCA) penggunaan energi listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi dan menganalisis besaran emisi GRK yang dihasilkan pada tahap penggunaan energi listrik di KRL dan stasiun KRL Jabodetabek, serta mengusulkan alternatif perbaikan dalam upaya pengurangan dampak lingkungan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Kereta Rel Listrik (KRL) Jabodetabek

KRL Jabodetabek sebagai sarana transportasi massal pada umumnya dipilih karena kemampuannya mengangkut muatan dalam jumlah besar. KRL bukan hanya alternatif pilihan transportasi rakyat yang murah, tetapi juga bebas

dari kemacetan. Jumlah penumpang Kereta Rel Listrik (KRL) Jabodetabek dari tahun ketahun terus meningkat seiring dengan bertambahnya armada KRL (BPS, 2016). Sumber listriknya menggunakan sumber DC 1500 volt yang disuplai melalui gardu-gardu listrik sepanjang lintasan KRL (Fauzan dkk., 2015). Gardu-gardu listrik tersebut menyuplai listrik ke listrik aliran atas (LAA) yang merupakan jaringan listrik khusus untuk mengalirkan listrik pada sistem gerak kereta.

KRL Jabodetabek memiliki 6 rute utama yaitu Jakarta Kota-Bogor, Jatinegara-Nambo, Jakarta Kota-Cikarang, Tanah abang-Rangkas Bitung, Duri-Tangerang dan Jakarta Kota-Tanjung Priok. Rute-rute tersebut memiliki jarak tempuh dan jumlah stasiun yang berbeda.

### 2.2. Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)

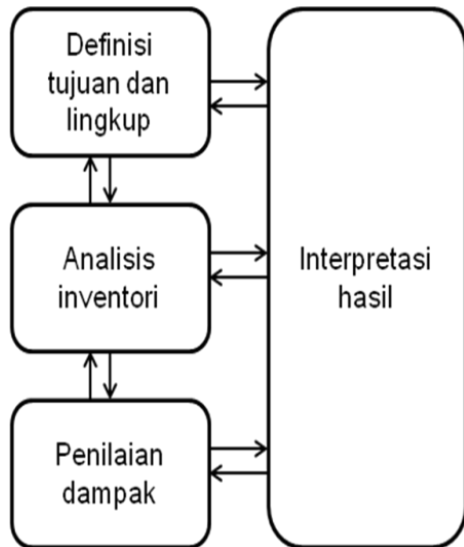
Emisi adalah zat, energi dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar. Emisi dari transportasi dapat menimbulkan dampak terhadap lingkungan (Lina dkk., 2016). Selain mengganggu kesehatan, emisi yang dikeluarkan berupa gas rumah kaca yang dapat menyebabkan pemanasan global. Gas rumah kaca adalah gas-gas yang ada di atmosfer yang menyebabkan efek rumah kaca. Transportasi merupakan sumber penghasil emisi terbesar ketiga dari penggunaan energi. Penggunaan energi di sektor transportasi sebesar 91%. Transportasi darat merupakan komponen terbesar dari penghasil emisi CO<sub>2</sub> dengan nilai sekitar 89% (Fazzry, 2016). Emisi CO<sub>2</sub> dapat menyebabkan emisi GRK. Secara umum, penyumbang emisi GRK pada sektor transportasi sebesar 24,71% (KemenESDM, 2017).

### 2.3. Life Cycle Assessment (LCA)

*Life cycle assessment* (LCA) atau penilaian daur hidup merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis dan mengevaluasi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari pengadaan bahan baku, proses produksi dan pemakaian suatu produk. Metode LCA dilakukan dengan melakukan identifikasi secara kuantitatif dari semua aliran input-output dari sistem terhadap lingkungan dalam setiap tahap daur hidup LCA membutuhkan data input-output secara lengkap (Brata, 2018; Sofiah, 2017).

Metode LCA dilakukan berdasarkan *Principles and Framework* LCA yang ada pada SNI ISO 14040:2006 yang terdiri dari 4 (empat) 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 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).



Gambar 1 Tahapan *Life Cycle Assessment*. Sumber: SNI ISO 14040:2016.

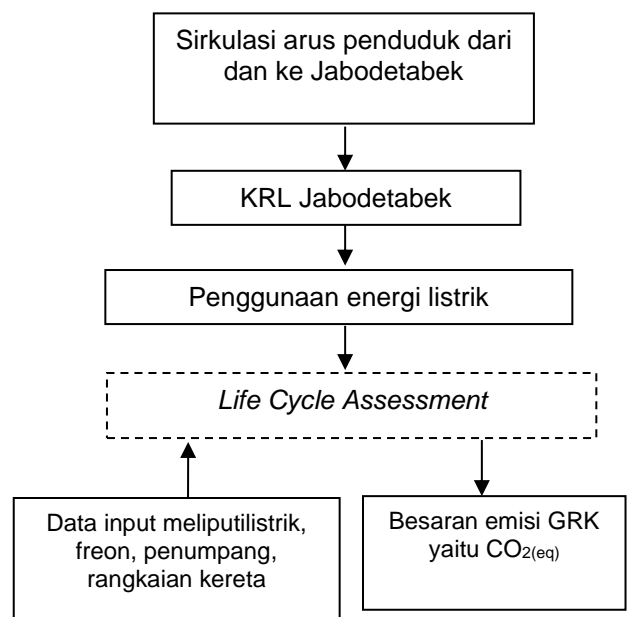
Dalam menerapkan LCA sesuai dengan SNI ISO 14040:2016, terdapat 4 macam sistem batas untuk menetapkan unit proses mana saja yang menjadi bagian dari sistem produk yang dianalisis yaitu (1) *Cradle to grave*: termasuk bahan dan rantai produksi energi dan semua proses dari ekstraksi bahan baku melalui tahap produksi, transportasi dan penggunaan hingga produk akhir dalam siklus hidupnya. (2) *Cradle to gate*: meliputi semua proses dari ekstraksi bahan baku melalui tahap produksi (proses dalam pabrik), digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari suatu produksi sebuah produk. (3) *Gate to grave*: meliputi proses dari penggunaan pasca produksi sampai pada akhir-fase kehidupan 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.

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Kerangka pikir penelitian

Dengan adanya sirkulasi arus penduduk akan meningkatkan kebutuhan transportasi. KRL *commuter line* Jabodetabek merupakan transportasi massal andalan masyarakat Jabodetabek. KRL Jabodetabek menggunakan energi listrik untuk menggerakkan motor penggerak dan untuk mengoperasikan peralatan listrik dalam gerbong kereta. Selain itu, stasiun KRL pun menggunakan energi listrik untuk kegiatan operasional stasiun. Dalam penggunaan energi listrik tersebut akan menghasilkan emisi yang dikeluarkan ke udara. Untuk menganalisis emisi dari penggunaan energi listrik membutuhkan data input meliputi kebutuhan listrik pada gerbong kereta, penggunaan listrik gardu induk, penggunaan listrik stasiun, jumlah rangkaian kereta, jumlah rata-rata gerbong per rangkaian kereta, jumlah freon AC per gerbong kereta, dan jumlah penumpang.

Selanjutnya, data-data tersebut dianalisis melalui tahapan LCA. Tahapan model LCA terdiri atas analisis inventori meliputi kompilasi dan kuantifikasi input dan output (emisi) dari penggunaan energi listrik, penilaian dampak untuk memahami dan mengevaluasi besarnya dan pentingnya dampak lingkungan potensial. Pada tahapan penilaian dampak akan dievaluasi dampak potensial lingkungan yang signifikan. Kemudian tahapan yang terakhir yaitu interpretasi hasil penilaian yang akan diperoleh besaran dampak emisi yang berasal dari penggunaan listrik. Hasilnya berupa besaran emisi CO<sub>2</sub> dan HFC yang kemudian dikonversi menjadi CO<sub>2(eq)</sub>.



Gambar 2 Kerangka pikir penelitian.

### 3.2. Metode pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara penelusuran melalui *desk study* dan pengambilan data dengan menggunakan kuesioner di PT Kereta Comuter Indonesia (KCI) dan PT Kereta Api Indonesia (KAI) Daop 1 Jakarta.

### 3.3. Metode Analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) SNI 14040:2016

#### Penentuan tujuan (*goal*) dan ruang lingkup (*scope*)

Tujuan (*goal*) dari penggunaan metode LCA ini untuk menganalisis daur hidup produk energi listrik pada tahap penggunaan oleh KRL Jabodetabek dan stasiun KRL hingga menghasilkan emisi, diantaranya identifikasi input dan output (emisi), menganalisis potensi dampak lingkungan berupa gas rumah kaca (GRK) serta analisis alternatif perbaikan dalam upaya pengurangan dampak lingkungan. Ruang lingkup (*scope*) yaitu pada kegiatan transportasi yang dikelola oleh PT. KCI. Dengan menggunakan sistem batas *gate to grave*, analisis lebih mendalam dilakukan pada alur proses penggunaan energi listrik pada operasional KRL Jabodetabek beserta penggunaan energi listrik pada operasional stasiun dengan *functional unit* emisi CO<sub>2(eq)</sub>/penumpang.

#### Analisis inventori data

*Life cycle inventory* atau analisis inventori merupakan tahap penilaian siklus hidup yang bertujuan untuk memahami dan mengevaluasi rinci aliran proses pada penggunaan energi listrik di KRL dan stasiun. Tahapan analisis inventori dilakukan dengan menggunakan pendekatan metode LCA berupa analisis aliran neraca energi, neraca massa, dan emisi berdasarkan pada ketentuan SNI ISO 14040:2016 (Brata, 2018). Analisis inventori mencakup pengumpulan data dan prosedur untuk menghitung masukan dan keluaran yang relevan dari sistem produk. Proses analisis inventaris dilakukan secara berulang. Dengan bertambahnya data yang terkumpul, dan lebih dimengertinya sistem yang dikaji, dapat teridentifikasi persyaratan atau keterbatasan data yang membutuhkan perubahan prosedur pengumpulan data agar tujuan dari kajian tetap dapat tercapai (BSN, 2016). Pada penelitian ini data yang digunakan berasal dari data sekunder yang telah diolah.

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

Pada penelitian ini, analisa LCIA penggunaan energi listrik di KRL dan stasiun dilakukan pada potensi emisi yang paling besar yaitu emisi gas

rumah kaca (CO<sub>2(eq)</sub>). Emisi CO<sub>2(eq)</sub> berasal dari emisi CO<sub>2</sub> dan HFC. Metode perhitungan emisi GRK mengacu pada Pedoman Pengadaan dan Penggunaan Energi menggunakan tier 2 melalui persamaan (1) (KLHK, 2012).

#### 1. Penggunaan listrik LAA, KRL dan stasiun Jabodetabek

Emisi dari penggunaan energi listrik pada LAA dan KRL serta stasiun terdiri dari emisi CO<sub>2</sub>.

$$Emisi\ CO_2 = Q_L \times FE \quad (1)$$

dimana:

- Q<sub>L</sub> : Konsumsi listrik pada LAA atau KRL atau stasiun (kWh)  
FE LAA atau KRL : Faktor emisi PLTA (0 kgCO<sub>2</sub>/kWh) (Sugiyono, 2010)  
FE Stasiun : Faktor emisi jaringan PLN Jawa Bali Nusa Tenggara (0,819 tonCO<sub>2</sub>/MWh) (PLN, 2018)

#### 2. Emisi dari penggunaan freon (R-410A) *Air Conditioning* (AC) pada gerbong kereta

Freon adalah gas yang banyak digunakan untuk pendingin. Freon memiliki kandungan yang berbeda tergantung jenisnya dan memiliki nilai *global warming potensial* (GWP). Selama *air conditioning* (AC) digunakan memiliki kebocoran (*refrigerant leakage*) untuk lepas ke udaradengan nilai sebesar 50% dari jumlah *freon* yang digunakan per tahun. Persamaan (2) merupakan rumus perhitungan emisi GRK dari refrigeran yang digunakan (EPA, 2014).

$$Emisi\ HFC = C \times \left(\frac{X}{100}\right) \times T \times FE \quad (2)$$

dimana:

- C : Jumlah refrigeran yang digunakan (kg)  
X : Laju kebocoran (%)  
T : Waktu pemakaian, apabila digunakan setahun penuh maka bernilai 1  
FE : Faktor emisi R-410A (2088 kg) (National Refrigerant, 2016)

Selanjutnya emisi CO<sub>2</sub> dan HFC yang diperoleh dari persamaan (1) dan (2) dikonversi menjadi kg CO<sub>2(eq)</sub> menggunakan persamaan (3).

$$Emisi\ CO_{2(eq)} = Emisi \times FE \quad (3)$$

dimana:

- Emisi : Emisi CO<sub>2</sub> dari penggunaan listrik KRL dan/atau stasiun(ton); Emisi HFC dari penggunaan freon AC
- FE : Faktor emisi penggunaan peralatan listrik, 1 kg CO<sub>2</sub> = 1 kg CO<sub>2(eq)</sub> (Sofiah, 2017)

Faktor emisi (FE) adalah suatu koefisien yang menunjukkan banyaknya emisi per unit aktivitas (Brata, 2018). Faktor emisi CO<sub>2</sub> yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil dari penelitian sebelumnya berdasarkan kondisi di Indonesia. Berikut faktor emisi yang digunakan dalam penelitian ini.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Penentuan tujuan (*goal*) dan ruang lingkup (*scope*)

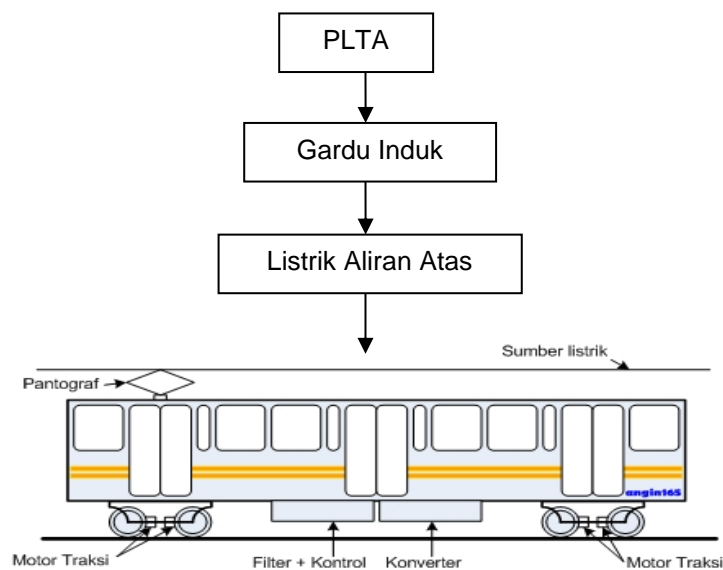
PT Kereta Comuter Indonesia (KCI) merupakan anak perusahaan dari PT Kereta Api Indonesia (KAI) yang mengelola KRL Jabodetabek. Bentuk pengelolaannya yaitu melakukan pengadaan kereta, perawatan kereta, dan pengoperasian kereta. Listrik yang digunakan untuk sistem gerak dan operasional kereta misalnya untuk operasional peralatan listrik dalam gerbong kereta disuplai dari PT PLN. PT KCI telah bekerja sama dengan PT PLN untuk menyalurkan listrik dari PLTA melalui gardu induk ke jaringan listrik aliran

atas. Sedangkan penggunaan listrik di stasiun, PT KCI bekerjasama dengan PT KAI untuk kegiatan operasional stasiun yang dialirkan dari pembangkit listrik Jawa Bali.

Emisi GRK yang dihasilkan dari penggunaan listrik di KRL dan stasiun Jabodetabek berupa emisi CO<sub>2</sub> dan emisi yang dihasilkan dari penggunaan Freon berupa emisi HFC.

##### Analisis Inventori (*life cycle inventory*)

Penggunaan energi listrik pada KRL menggunakan pasokan listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Ubrug di Sukabumi dan Kracak di Leuwiliang-Bogor. Kemudian disalurkan ke gardu induk atau gardu traksi yang di alirkan ke listrik aliran atas (LAA) KRL Jabodetabek. Kemudian dari LAA selanjutnya dialirkan ke kereta dengan melalui *pantograph* ke motor traksi KRL. Listrik yang dialirkan ke motor traksi tersebut berfungsi untuk menggerakkan kereta, dapat dilihat pada gambar 3. LAA pun juga menyuplai listrik dalam kabin gerbong kereta, namun kebutuhan listrik ini tidak sebesar kebutuhan listrik untuk sistem gerak kereta. Untuk sistem gerak membutuhkan energi listrik yang besar, namun sistem gerak KRL tidak secara terus menerus mengambil energi listrik. KRL mengambil energi listrik hanya pada saat akselerasi yaitu saat mulai berjalan dari posisi berhenti kemudian ketika kereta sudah mencapai kecepatan tertentu kebutuhan listrik sistem gerak kereta tersebut perlahan-lahan berkurang (Rifqi dkk., 2013)



Gambar 3 Aliran energi listrik KRL Jabodetabek.

KLHK (2012) mengungkapkan emisi GRK KRL terjadi pada sisi pembangkit listrik, sedangkan emisi GRK pada stasiun terjadi bukan hanya pada sisi pembangkit listrik saja melainkan karena penggunaan alat-alat listrik

seperti lampu penerangan, mesin *ticketing*, AC, mesin *check in/out*, komputer dan lain sebagainya. Penggunaan listrik untuk stasiun KRL mendapatkan suplai listrik dari pembangkit listrik Jawa Bali yang dialirkan ke jaringan PLN.

Tabel 2 Peralatan listrik per gerbong.

No	Jenis peralatan listrik	Jumlah	Daya	Total daya (kw)
1	Lampu neon	24	40 watt	0,96
2	Kipas angin	6	48 watt	0,288
3	Pengeras suara*	1	4080 watt	4,08
4	AC*	2	5040 watt	10,08
5	Kompresor*	4	15 kw	60
6	Ventilasi**	2	10 kw	20
Total				95,408

Catatan: \* asumsi  
\*\* studi literatur

Data inventori KRL Jabodetabek selama 1 tahun meliputi data input dan data output. Data input terdiri dari jenis peralatan listrik beserta kebutuhan penggunaan listrik per gerbong, jumlah rangkaian KRL, penggunaan listrik baik di gardu induk LAA maupun stasiun, jumlah

penumpang serta jumlah freon, dapat dilihat pada tabel 2 dan 3. Sedangkan, data output berasal dari emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari penggunaan listrik pada KRL dan stasiun, serta emisi HFC yang berasal dari penggunaan freon AC (Tabel 4).

Tabel 3 Data KRL Jabodetabek selama 1 tahun.

No	Uraian data	Jumlah	Nilai	Satuan
1	Rangkaian KRL	97	-	Rangkaian
2	Jumlah gerbong (rata-rata)	10	-	Gerbong
3	Penggunaan listrik di Gardu Induk LAA	54	243.547.506	kWh
4	Penggunaan listrik di stasiun	81	12.261.564	kWh
5	Jumlah penumpang	-	336.348.316	orang
6	Jumlah freon per gerbong*	2	6	kg

Sumber: PT. KCI dan PT. KAI daop 1, 2018  
Catatan: \* asumsi

Data freon keseluruhan rute dan rangkaian KRL pada tabel 4 berasal dari data rangkaian KRL, data jumlah gerbong dan data jumlah freon per gerbong yang terdapat pada tabel 3. Sedangkan, jumlah penggunaan listrik per gerbong dijadikan jumlah penggunaan listrik pada keseluruhan rangkaian kereta dengan jam operasional selama 18 jam per hari selama 1

tahun. Freon AC KRL menggunakan R-410A yang memiliki nilai global warming potensial (GWP) sebesar 2088 kgCO<sub>2(eq)</sub>. Sehingga emisi HFC dari Freon R-410A diperoleh dengan menggunakan persamaan (2). Emisi CO<sub>2</sub> dari penggunaan listrik stasiun dengan menggunakan jaringan PLN Jawa Bali diperoleh dengan menggunakan persamaan (1).

Tabel 4 Analisis inventori.

Data Inventori	Satuan	Tahun 2018
Input: Keseluruhan rute dan rangkaian KRL		

Data Inventori	Satuan	Tahun 2018
Kelistrikan		
Listrik LAA	kWh	243.547.506
Listrik rangkaian KRL	kWh	60.802.564,32
Listrik stasiun	kWh	12.261.564
Freon		
R-410A	kg	5.820
Output:		
Beban emisi ke udara		
Emisi CO <sub>2</sub>		
Listrik LAA	ton	0
Listrik rangkaian KRL	ton	0
Listrik stasiun (PLN Jawa Bali)	ton	10.042,22
Emisi HFC		
Freon (R-410A)	ton	6.076,08

### Penilaian dampak lingkungan

Penilaian dampak lingkungan dilakukan dengan menghitung emisi GRK untuk keseluruhan rute utama KRL. Emisi GRK KRL Jabodetabek berasal dari penggunaan freon AC yaitu emisi HFC pada gerbong dan emisi CO<sub>2</sub> dari penggunaan listrik di tiap stasiun. Tabel 5 Menunjukkan bahwa emisi GRK penggunaan listrik dari keseluruhan stasiun di Jabodetabek

lebih besar yaitu dengan nilai 10.042,2 tonCO<sub>2(eq)</sub> dibandingkan dengan emisi GRK penggunaan freon keseluruhan rangkaian KRL yaitu dengan nilai 6.076 ton tonCO<sub>2(eq)</sub>.

Penggunaan listrik LAA, listrik seluruh rangkaian KRL dan listrik dalam kabin KRL tidak memiliki besaran emisi dikarenakan sumber listrik yang berasal dari pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yang tidak memiliki nilai emisi GRK.

Tabel 5 Data perhitungan emisi GRK.

Data Input	Satuan	Jumlah Emisi		Total emisi CO <sub>2(eq)</sub>	% Emisi
		HFC	CO <sub>2</sub>		
Freon (R410A) seluruh unit KRL	Ton	6.076,08		6.076,08	37,7%
Listrik LAA (PLTA)	Ton		0	0	0%
Listrik seluruh rangkaian KRL	Ton		0	0	0%
Listrik stasiun (PLN Jawa bali)	Ton		10.042,22	10.042,22	62,3%
<b>Total Emisi GRK</b>				<b>16.118,3</b>	<b>100%</b>

### Interpretasi hasil

Interpretasi dilakukan untuk mengetahui CO<sub>2(eq)</sub>/penumpang dari KRL Jabodetabek dan dapat mengetahui upaya perbaikan yang harus dilakukan untuk mengurangi dampak lingkungan. Dari hasil analisis inventori dan penilaian dampak, penyebab utama emisi GRK berasal dari penggunaan freon AC pada operasional KRL dan penggunaan listrik pada operasional stasiun

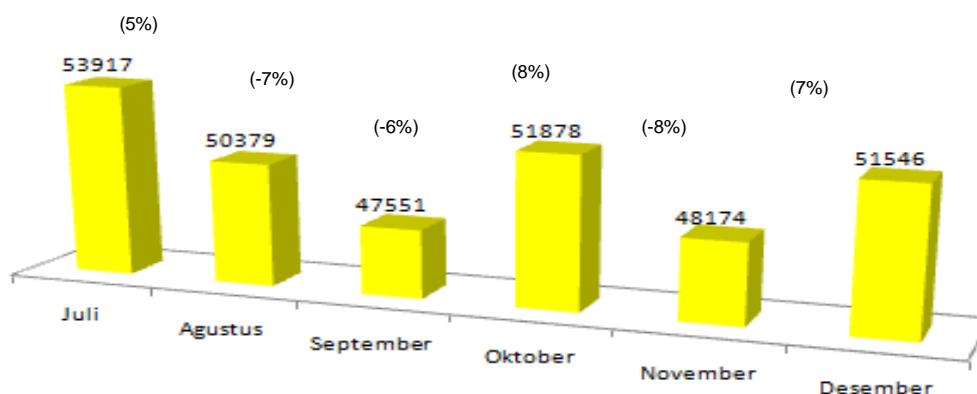
dengan total emisi GRK sebesar 16.118,3 tonCO<sub>2(eq)</sub>. KRL Jabodetabek dengan total jumlah penumpang pada tahun 2018 sebanyak 336.348.316 orang sehingga, untuk mengetahui emisi GRK per penumpang KRL Jabodetabek diperoleh sebesar  $4,79 \times 10^{-5}$  tonCO<sub>2(eq)</sub>/penumpang.

**Upaya perbaikan sebagai upaya penurunan dampak lingkungan**

### Skenario 1: Mengganti lampu neon dengan lampu LED

Emisi terbesar berasal dari penggunaan listrik di stasiun. Stasiun KRL Jabodetabek sebagian besar masih merupakan *existing bulding*, maka jika dibandingkan dengan konsep *green building* untuk *existing bulding* pada kriteria *energy*

*efficiency and conservation* menyebutkan “memperlihatkan adanya penghematan energi 5% atau lebih pada 6 bulan terakhir” (GBCI 2011). Pada gambar 4 sebagai contoh penggunaan listrik pada stasiun Jakarta Kota selama 6 bulan terakhir (Juli – Desember 2018) memiliki data penggunaan listrik yang fluktuatif.



Gambar 4 Penggunaan listrik pada stasiun Jakarta Kota (kWh/bulan).

Jika dikonversi ke persentase (%) terlihat bahwa pada bulan Agustus, September dan November terjadi penurunan atau penghematan penggunaan energi listrik masing-masing penurunannya sebesar 7%, 6% dan 8%. Secara keseluruhan dalam 6 bulan terakhir tidak memperlihatkan adanya penghematan energi listrik secara signifikan. Dari contoh tersebut menyatakan bahwa stasiun KRL belum sesuai dengan konsep *green building*.

Penerapan konsep *green building* dapat dilakukan dengan mengganti lampu neon TL dengan lampu LED. Diasumsikan pada stasiun KRL Jabodetabek menggunakan lampu neon TL. Daya dari penggunaan lampu neon 1 buah lampu TL 36 watt sebesar 80.340 kWh, sedangkan daya dari penggunaan 1 buah lampu LED 18 watt sebesar 21.819,6 kWh. Data tersebut dihitung konsumsinya selama 1 tahun pemakaian (Tabel 6).

Tabel 6 Data perhitungan perubahan dampak dari penggantian lampu LED.

Lampu penerangan Stasiun	Konsumsi listrik selama 1 tahun per 1 buah lampu (kwh)	Emisi yang dihasilkan (ton)	
		CO2	Emisi GRK tonCO2eq
<b>Kondisi real</b>			
Neon TL 36 watt	29.324.091	24.016	24.016,43
<b>skenario</b>			
LED tube 18 watt	7.964,167	6523	6522,65

Emisi GRK yang dihasilkan lebih besar menggunakan lampu neon TL 36 watt dibanding dengan menggunakan lampu LED tube 18 watt. Pemilihan lampu-lampu tersebut dikarenakan lumens yang dihasilkan hampir sama yaitu 2500 lumens untuk lampu neon TL 36 watt dan 2100 lumens untuk lampu LED tube 18 watt.

Perubahan dampak dari penggantian lampu LED untuk 1 buah lampu dihasilkan

persentase perubahan dampak sebesar 73% (Tabel 7).

Tabel 7 Perubahan dampak penggantian lampu LED pada stasiun.

Data	Emisi GRK tonCO <sub>2</sub> eq
realisasi	24.016,43
interpretasi	6522,65



Data	Emisi GRK tonCO <sub>2eq</sub>
perubahan dampak	17.493,78
persentase	73%

**Skenario 2: Mengganti freon R410A musicool (MC-22)**

Freon R410A yang diasumsikan digunakan pada KRL Jabodetabek memiliki nilai GWP sebesar 2,088 kg. Freon R410A termasuk ke dalam kelompok A1 yaitu mengandung bahan yang tidak mudah meledak dan tidak mengandung racun, walaupun memiliki nilai *global warming potensial* (GWP) yang tinggi (*Carrier Corporation, 2015*). Refrigeran tersebut menghasilkan emisi HFC yang menyebabkan terbentuknya gas rumah kaca, namun tidak mempunyai sifat merusak ozon karena tidak mengandung *clor*. Freon R410A yang termasuk dalam golongan R22 sebenarnya sudah cukup baik, namun jika ingin lebih ramah lingkungan jenis refrigeran tersebut dapat diganti dengan musicool. R410A diganti dengan musicool MC-22 yang mengandung bahan dasar hidrokarbon alam. Musicool tidak memiliki efek terhadap logam, pelumas dan elastomer (kecuali elastomer berbahan dasar karet alam).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Anam *et al.* (2017), bahwa penggunaan refrigeran musicool (MC-22) lebih hemat listrik 19.51% dibandingkan dengan refrigeran R-410A dan performa suhu MC-22 lebih dingin 0.5 °C dari performa suhu refrigeran R-410A. Selain itu MC-22 merupakan produk dalam negeri yang dibuat oleh PT Pertamina Persero dan memiliki bahan baku yang banyak. Sedangkan, menurut penelitian yang dilakukan oleh Arijanto dan Kurdi (2007), refrigeran hidrokarbon tidak berpotensi merusak ozon atau OCP (*Ozone Depleting Potensial*) = 0 dan potensi GWP kecil serta dapat diabaikan.

Berat jumlah penggunaan musicool lebih ringan 30%, misalnya freon sintesis konvensional untuk AC split 1 PK rata-rata membutuhkan 1 kg, sedangkan penggunaan musicool cukup dengan 300 gram. Saat ini yang digunakan di 1 unit bus transjakarta selama 1 tahun diasumsikan jumlah freon yang digunakan sebesar 4,5 kg dan 1 gerbong KRL Jabodetabek selama 1 tahun diasumsikan jumlah freon yang digunakan sebesar 6 kg.

Tabel 8 Perbandingan penggunaan freon AC sintesis dengan musicool pada KRL Jabodetabek.

Transportasi	Jumlah armada, gerbong tahun 2018	Freon sintesis (kg)	Freon musicool (kg)	Emisi GRK freon sintesis (tonCO <sub>2eq</sub> )	Emisi GRK freon musicool (tonCO <sub>2eq</sub> )
KRL (R-410A)	970	5,820	1,746	6,076.08	1,822.82

Pada Tabel 8, penggantian freon sintesis dengan musicool mampu menghemat sekitar 30% penggunaan freon. Jika KRL Jabodetabek mengganti penggunaan freon dengan musicool terjadi perubahan dampak pada tabel 9 menunjukkan menurunkan dampak lingkungan sebesar 70%.

Kelebihan menggunakan freon musicool selain ramah lingkungan dan hemat pengisian freon hingga 35% dari refrigeran lainnya yaitu dapat menghemat daya listrik sampai dengan 25%, umur komponen mesin lebih tahan lama dan tidak beracun (Anam dkk., 2016).

Tabel 9 Perubahan dampak dari penggantian freon.

Data	Emisi GRK freon KRL tonCO <sub>2eq</sub>
realisasi	6.076,08

Data	Emisi GRK freon KRL tonCO <sub>2eq</sub>
interpretasi	1822,82
perubahan dampak	4.253,26
persentase	70%

**5. KESIMPULAN**

Penggunaan listrik pada operasional KRL tidak menghasilkan emisi GRK dikarenakan sumber listrik berasal dari PLTA. Besaran emisi GRK yang terdapat pada operasional KRL dan operasional stasiun Jabodetabek berasal dari penggunaan freon AC KRL dan penggunaan listrik stasiun yang meliputi emisi HFC dan CO<sub>2</sub> dengan nilai total sebesar 16.118,3 tonCO<sub>2(eq)</sub>, sehingga diperoleh emisi untuk *functional unit* sebesar 4,79x10<sup>-5</sup>

tonCO<sub>2(eq)</sub>/penumpang. Upaya pengurangan dampak lingkungan dilakukan dengan mengganti lampu neon dengan lampu LED pada setiap stasiun KRL Jabodetabek, terjadi persentase perubahan dampak lingkungan sebesar 73% dan mengganti freon AC dengan menggunakan musicool pada setiap gerbong KRL, terjadi persentase perubahan dampak lingkungan sebesar 70%.

Pada penelitian ini menunjukkan bahwa dengan metode LCA yang mengacu pada SNI 14040:2016 dapat dilakukan analisis penggunaan listrik pada KRL Jabodetabek dengan sistem batas *gate to grave*. Selanjutnya, perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait dengan emisi GRK yang dihasilkan dari kendaraan pribadi dan transportasi massal lainnya seperti bus transjakarta, sehingga dapat dibandingkan dengan emisi dari KRL Jabodetabek pada penelitian ini. Pemerintah dan perusahaan jasa transportasi diharapkan dapat melakukan berbagai upaya perbaikan agar dapat mengurangi emisi GRK dari sektor transportasi, khususnya transportasi massal dan membuat suatu kebijakan terhadap penanggulangan dari emisi yang dihasilkan dari transportasi tersebut.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Kereta Commuter Indonesia (KCI), PT KAI Daop 1 Jakarta dan pihak-pihak yang telah banyak membantu dalam penulisan karya tulis ilmiah ini. Semoga karya tulis ilmiah ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aminah, S. (2018). Transportasi publik dan aksesibilitas masyarakat perkotaan. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Bandar Lampung*. 9(1): 1142-1155.
- Anam, A.N., Raharjo, S., Pribadi R.J. (2016). Perbandingan Penggunaan Refrigeran R-410A dan Musicool-22 Melalui Proses Retrofit pada AC Merk Daikin 2 PK. [Skripsi]. Universitas Muhamadiyah Semarang.  
<http://repository.unimus.ac.id/id/eprint/175>  
Diakses pada tanggal 9 Juli 2019.
- Badan Pusat Statistik. (2016). *Statistik Transportasi DKI Jakarta*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *Manajemen Lingkungan-Penilaian Daur Hidup-Prinsip dan Kerangka Kerja SNI ISO 14040:2016*. Jakarta.
- Brata, A.K. (2018). Analisis penilaian daur hidup produksi bensin dan diesel pada tahap pengolahan di kilang minyak dengan konfigurasi *hydroskimming-hydrocracking complex*. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 8(3):406-413.
- Carrier Corporation. (2015). *New Refrigerants Impact Standards and Codes*. Carrier Engineering Newsletter Volume 3 Issue 2. [www.carrier.com/commercial](http://www.carrier.com/commercial). Diakses pada tanggal 9 Juli 2019.
- Environmental Protection Agency. (2014). *Greenhouse Gas Inventory Guidance*. Direct fugitive emissions from refrigeration, air conditioning, fire suppression, and industrial gases. Washington DC, USA.
- Fauzan, M.R., Martin, Y., Haris, A. (2015). Analisa harmonisa akibat pengaruh penggunaan converter pada kereta rel listrik 1x25 kV Jogjakarta-Solo. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*. 9(3):192-202.
- Fazzry, AN. (2016). Analisis emisi gas rumah kaca (CO<sub>2</sub>) angkutan antar kota dalam propinsi (AKDP) di Jawa Timur. *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri*. Hlm. 16-20. ISSN 2085-4218.
- Green Building Council Indonesia. (2011). *Greenship Existing Building Version 1.0*. Jakarta.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2017). *Kajian Penggunaan Faktor Emisi Lokal (tier 2) dalam Inventarisasi GRK Sektor Energi*. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2012). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional*. Volume ke-1: Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca. Jakarta.
- 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.
- Lina, R.A., Sutrisno, E., Huboyo, H.S. (2016). Kajian emisi gas rumah kaca (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O) akibat aktivitas kendaraan (studi kasus area sukun dan terminal terboyo). *Jurnal Teknik Lingkungan*. 5(4): 1-13.
- National Refrigerants Inc. (2016). *Refrigerants Reference Guide. Sixth Edition*. Washington DC, USA.
- Perusahaan Listrik Negara. (2018). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik*. Jakarta
- Rifqi, M., Sukmadi, T., Yuningtyastuti. (2013). Simulasi konsumsi energi listrik KRL

- terhadap kurva kecepatan-waktu menggunakan algoritma genetik. *Jurnal Transient*. 2(1):97-102. ISSN: 2302-9927.
- Sofiah, I. (2017). *Life cycle assessment produk perikanan di PT Kemilau Bintang Timur Cirebon Jawa Barat* [tesis]. IPB, Bogor.
- Sugiyono, A. (2010). Peran PLTN dalam mendukung komitmen pemerintah untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub>. *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir III*. hlm199-206. ISSN 1979-1208. Jakarta.

