

Prediksi Jumlah Emisi CO₂ dari Kegiatan Transportasi Khusus Kereta Api dan Upaya Teknologi Tersedia Pengurang Emisi

M.S. Wibisono

Ahli Biologi/Ekologi umum, Penyusun AMDAL, Mantan Peneliti Madya bidang Lingkungan
Alamat : Jl. Pondok V/Blok S20, Pesanggrahan Mas, Petungkang Selatan, Jakarta Selatan 12270
Mobile.: 0815 13866623; E-mail: soepanto@yahoo.com
Teregistrasi I Tanggal 18 Agustus 2011; Diterima setelah perbaikan tanggal 5 Desember 2011
Disetujui terbit tanggal: 30 Desember 2011

S A R I

Transportasi sangat dibutuhkan dalam menunjang pertumbuhan ekonomi nasional. Kereta api merupakan salah satu sarana transportasi pilihan publik yang menggunakan bahan bakar minyak Diesel. Hasil pembakaran dalam ruang mesin akan menghasilkan emisi gas antara lain CO₂ yang akhir akhir ini dikaitkan dengan salah satu penyebab pemanasan global. Menurut Baku Emisi Kendaraan Bermotor versi Peraturan Menteri Lingkungan Jepang yang diamandemen tahun 1996 menyebutkan pembakaran untuk setiap satu liter minyak diesel akan menghasilkan CO₂ sebanyak 2,7 kg. Data emisi CO₂ dari kereta api diesel di Indonesia sangat terbatas, sehingga dalam paper ini dibahas estimasi kasar jumlah CO₂ yang di emisikan kereta api di Indonesia sebagai angkutan umum maupun angkutan batu bara. Metode JETRO (2010) digunakan dalam perhitungan jumlah emisi. Disamping itu secara singkat disajikan pula ulasan tentang dampak lingkungan yang mungkin timbul. Adapun tujuan dari paper ini adalah sebagai bahan masukan yang dapat ditindaklanjuti dalam rangka merealisasikan program pemerintah untuk mengurangi CO₂ di atmosfer.

Kata kunci: Kereta api diesel, prediksi emisi CO₂, dampak lingkungan, upaya teknologi pengurangan emisi.

ABSTRACT

Diesel train is one of public choice in transportation facility to support the growth of national economy efficiently. The combustion of diesel fuel will dispose several materials which are emitted to the atmosphere where the CO₂, one of the gas emissions from locomotive muffler will be the cause of global warming phenomenon if not well managed. According to the Amendment Regulation of Japanese Minister of Environment No. 32/1996 on Motor Vehicle Exhaust Emission Standard, it was pointed out the combustion of each liter of diesel fuel will give the CO₂ as much as 2,7 kg. Rough estimates and prediction on CO₂ emitted by the passenger train or as a coal transport in Indonesia are presented in this paper. A method from JETRO (2010) is used to estimate the CO₂ emission. The environmental impacts that may occur will also be overviewed shortly. Since emission data from the train in Indonesia is very limited so the objective of this paper is hopefully to be an input for next research to realize the government program in order to reduce CO₂ at the atmosphere

Keyword: Diesel train, CO₂ prediction from the train emission, Environmental impacts, Technological Efforts to reduce emissions

I. PENDAHULUAN

Masyarakat Indonesia mulai mengenal kereta api diesel diperkirakan sekitar tahun 1953 yang saat itu hadir di tengah tengah era kereta api uap. Sejak

saat itu kereta api uap mulai tergeser sedikit demi sedikit dan tergantikan oleh kereta diesel yang lebih cepat, dan efisien. Bahan bakar yang digunakanpun mulai berganti dari kayu dan batubara ke bahan

bakar minyak diesel yang merupakan salah satu produk kilang minyak bumi. Sebagai alat transportasi massal maka jumlah penumpang lebih banyak bisa terangkut. Oleh sebab itu jenis transportasi ini dari tahun ke tahun masih tetap dibutuhkan publik dalam menunjang pertumbuhan ekonomi lokal maupun nasional. Dari segi pengguna jasa angkutan kereta api diperkirakan terbanyak berasal dari pegawai/karyawan menengah kebawah, pedagang/pebisnis, pelajar/mahasiswa sisanya berasal dari berbagai profesi lain. Hal ini tampak pada Kereta Ekonomi, Kereta Bisnis, dan Kereta Komuter. Begitu penting peranannya transportasi kereta api, sehingga pemerintah RI merasa perlu mengembangkan infrastruktur perkeretaapian yang dimulai tahun 2011 – 2014 melalui tiga skema yakni:

- Kereta api khusus untuk melayani penumpang dengan izin khusus yang dipermudah setelah mendapatkan ISO 2001 seperti misalnya Kereta Bandara
- Kereta Kawasan misal untuk melayani penumpang di kawasan perkebunan kelapa sawit.
- Kereta api hasil kerjasama Pemerintah – Swasta (*Public - Private Partnership*)

Rencana tersebut disampaikan oleh WaMenHub dalam Seminar Nasional Perkeretaapian, Pengembangan Infrastruktur Kereta api untuk mendukung pertumbuhan ekonomi nasional, di hotel Sangrila, Jakarta, pada tanggal 17 Maret 2011 (KOMPAS, 2011)

Dengan adanya kebijakan tersebut berarti jenis layanan kereta api menjadi bertambah, yang berimplikasi kebutuhan bahan bakar minyak diesel juga meningkat dan pada gilirannya emisi yang dibuang ke atmosfer dikhawatirkan juga akan bertambah. Data emisi lokomotif diesel yang beroperasi di Indonesia dirasa sangat terbatas. Sementara itu program pemerintah dalam rangka penurunan emisi CO₂ semakin penting untuk dilakukan.

Tujuan dari penulisan paper ini adalah sebagai masukan/pertimbangan untuk dapat ditindaklanjuti setelah mendapatkan gambaran kasar (prediksi) jumlah emisi CO₂ dari lokomotif diesel di Indonesia dalam rangka mengurangi sumbangan jumlah emisi nasional khusus kereta api agar kualitas udara kita menjadi lebih baik dan pada gilirannya pemanasan global bisa dikendalikan.

II. MENGENAL SEKILAS LOKOMOTIF DIESEL

Kereta api Diesel ditinjau dari segi jenis mesin secara umum dapat digolongkan menjadi dua jenis utama yakni:

1. Kereta api Diesel hidrolik

Kereta ini menggunakan mesin diesel sebagai penggerak utama dengan memanfaatkan transmisi hidrolik dari mesin ke roda penggerak melalui minyak transmisi. Biaya perawatan kereta jenis ini cukup besar disamping ada resiko timbul problem yang besar pula, dan hanya terdapat di wilayah tertentu sehingga jarang digunakan secara luas di Indonesia.

2. Kereta api Diesel Elektrik

Mesin diesel dipakai untuk menghidupkan generator listrik, setelah listrik dihasilkan untuk menggerakkan motor listrik lebih besar yang langsung menggerakkan roda. Kereta api jenis ini banyak dipakai di Indonesia.

Berdasarkan fungsinya, lokomotif diesel terbagi menjadi dua golongan yakni:

1. Lokomotif diesel untuk rangkaian kereta penumpang/barang
2. Lokomotif diesel untuk rangkaian kereta batu-bara.

Lokomotif diesel untuk kereta penumpang

Lokomotif yang sudah dibeli dari negara produsen yang umumnya dari Amerika, dan Kanada sebelum di operasikan diberikan nomor kode berdasarkan jumlah gandar, spesifikasi mesin dan nomor urut sebagai berikut:

1. Kode BB artinya lokomotif bergandar 2.2 jadi terdapat 4 as roda atau memiliki 8 roda penggerak.
2. Kode CC artinya lokomotif bergandar 3.3 jadi terdapat 6 as roda atau memiliki 12 roda penggerak.

Lokomotif diesel yang berkode BB hanya ada lima kelas yakni : BB 200, BB 201, BB 202, BB 203 dan BB 204.

Sedangkan lokomotif diesel berkode CC mempunyai enam kelas yakni CC 200, CC 201, CC 202, CC 203 , CC 204 dan CC 205.



Gambar 1
Lokomotif Diesel BB 200 03 sedang langsir
di Stasiun Purwosari, Solo. Gunung
Merapi tampak di kejauhan
(Sumber: Wikipedia)



Gambar 2
Lokomotif Diesel BB 202 03 tampak
cabin masinis lebih sempit
(Sumber: Wikipedia)

Spesifikasi BB 200 adalah sebagai berikut:

- Produsen : General Electric merupakan lokomotif diesel elektrik tipe pertama, digunakan sejak 1957.
- Daya mesin : 950 PK
- Berat kosong : 70 ton
- Kecep max : 110 km/jam
- Kapasitas bahan bakar : 1547 liter

Lokomotif BB 200 ini terdapat antara lain di Depo Tanjung Karang (BB 200-07; BB 200-14) dan Depo Semarang Poncol (BB 200-21; BB 200-29).

Spesifikasi BB 201 adalah sebagai berikut:

- Produsen : General Motor, merupakan lokomotif diesel elektrik tipe ke dua, digunakan sejak 1964
- Daya mesin : 1425 PK
- Berat kosong : 74 ton
- Kecep max : 120 km/jam
- Kapasitas bahan bakar: (?)

Sampai akhir tahun 2007 lokomotif jenis ini tinggal dua buah yang masih dioperasikan yakni BB 201 03 dan BB 201 10 di Depo Purwokerto.

Spesifikasi BB 202 adalah sebagai berikut:

- Produsen : General Motor, merupakan lokomotif diesel elektrik tipe ke tiga, digunakan sejak tahun 1970 an dan tidak punya hidung.
- Daya Mesin : 1100 PK
- Berat kosong : 62 ton
- Kecep max : 100 km/jam.



Gambar 3
Lokomotif Diesel BB 203 berhidung pendek
(Sumber: Wikipedia)

Lokomotif ini terdapat di Depo Kertapati sebagai Loko Kereta Penumpang dan kereta barang.

Spesifikasi BB 203 adalah sebagai berikut:

- Produsen : General Electric, merupakan lokomotif diesel elektrik tipe ke empat digunakan sejak tahun 1978 serta memiliki hidung pendek.
- Daya Mesin : 1500 PK
- Berat kosong : 76 ton
- Kecep max : 90 km/jam
- Kapasitas bahan bakar : 3028 liter

Lokomotif ini terdapat di Depo Kertapati, Palembang sebanyak lima buah. Yang kesemuanya pernah beroperasi di Jawa. Sejak 1989 sisa di Jawa di rehabilitasi menjadi CC 201 di Balai Yasa. Untuk mengetahui lokomotif yang mengalami rehabilitasi maka kode yang baru diberi tambahan R, misal CC 201 73 R.

Berikut adalah jumlah lokomotif yang mengalami rehab dari BB 203 menjadi CC 201:

- Periode 1989 – 1990 : 18 lokomotif
- Periode 1993 : 2 lokomotif
- Periode 1998 – 1999 : 3 lokomotif
- Periode 2004 : 4 lokomotif.

Spesifikasi BB 204 adalah sebagai berikut:

- Produsen : SLM, merupakan satu-satunya buatan Eropah, dioperasikan khusus pada rel bergigi dan digunakan sejak tahun 1981
- Daya Mesin : 1230 PK
- Berat kosong : 52,6 ton
- Kecep max : 60 km/jam
- Kapasitas bahan bakar: (?)

Lokomotif jenis ini terdapat di DivRe (Divisi Regional) II Sumatra Barat yang relnya bergigi.

Spesifikasi CC 200 adalah sebagai berikut:

- Produsen : General Electric, merupakan lokomotif diesel pertama di gunakan di Indonesia pada tahun 1953. Jumlah yang pernah dibeli Indonesia sebanyak 27 unit.
- Daya Mesin : 1750 PK
- Berat kosong : 96 ton
- Kecep max : 100 km/jam
- Kapasitas bahan bakar: 1.900 liter

Lokomotif yang tersisa tinggal satu buah yakni CC 200 15 dan berada di Depo Cirebon.

Spesifikasi CC 201 adalah sebagai berikut:

- Produsen : General Electric
- Daya Mesin : 1950 PK
- Berat kosong : 78 ton
- Kecep max : 120 km/jam
- Kapasitas bahan bakar: 3028 liter

Lokomotif jenis ini mempunyai empat generasi yakni:

1. CC 201 generasi I didatangkan tahun 1977 sebanyak 38 unit.
2. CC 201 generasi II didatangkan tahun 1983-1984, sebanyak 34 unit.
3. CC 201 generasi III didatangkan tahun 1991-1992 sebanyak 21 unit.

4. CC 201 dari Rehabilitasi BB 203 sebanyak 27 unit.

Dua unit lokomotif jenis ini tidak digunakan lagi karena mengalami kerusakan sangat parah akibat tabrakan.

Spesifikasi CC 203 adalah sebagai berikut:

- Produsen : General Electric didatangkan ke Indonesia tahun 1995 dengan jumlah 37 unit di Jawa dan 4 unit di Sumatra Selatan. Ujung Lokomotif berbentuk pendek dan agak lancip sehingga bersifat aerodinamik
- Daya Mesin : 2150 PK karena adanya dua tingkat turbocharger
- Berat kosong : 78 ton
- Kecep max : 120 km/jam
- Kapasitas bhn bakar: (?)



Gambar 4
Lokomotif Diesel CC 200 03
Tipe ini juga tidak punya hidung
(Sumber: Wikipedia)



Gambar 5
Lokomotif Diesel CC 2003 22 yang sudah aerodinamik
(Sumber: Wikipedia)

Spesifikasi CC 204 adalah sebagai berikut:

- Produsen : dirakit di Indonesia hasil kerja sama antara General Electric dengan PT INKA. Untuk generasi 1 bentuknya mirip CC 201 sedangkan generasi 2 bentuknya mirip CC 203. Loko ini dilengkapi dengan perangkat komputer dengan program khusus untuk mitigasi perbaikan sistim mesin sebelum kerusakan terjadi selama 45 menit.
- Daya Mesin : 1.950 PK
- Berat kosong : 78 ton
- Kecep max : 120 km/jam
- Kapasitas bahan bakar: (?)

Lokomotif CC 204 generasi 1 yakni yang bernomor urut 01 s/d 07 merupakan hasil rehab dari lokomotif CC 201 pada tahun 2003 dan 2005. Lokomotif tersebut di alokasikan di depo Manggarai, Yogyakarta, dan Sidotopo (Surabaya). Khusus hasil rehab jenis ini tidak menggunakan huruf (R) dibelakang nomor urut.

Generasi 2 diberi nomor urut mulai 08 dan seterusnya contohnya CC 204 08.

Lokomotif diesel untuk kereta batubara

Spesifikasi CC 202 adalah sebagai berikut:

- Produsen : General Motor, Kanada. Didatangkan ke Indonesia dengan jumlah 39 unit. Sejak April 2011 bertambah menjadi 48 unit.

- Daya Mesin : 2250 PK
- Berat kosong : 108 ton (terberat di Indonesia)
- Kecep max : 80 km/jam
- Kapasitas bahan bakar: (?)

Lokomotif jenis ini terdapat di Depo Tanjungkarang berfungsi sebagai lokomotif rangkaian gerbong angkutan batubara.

Spesifikasi CC 205 adalah sebagai berikut:

- Produsen : General Motor, Kanada. Sedang dalam proses pengiriman dan akan tiba di Prov Lampung (DivRe III) diperkirakan akhir September 2011.
- Daya Mesin : 2300 PK
- Berat kosong : 108 ton
- Kecep max : 80 km/jam
- Kapasitas bahan bakar: 3800 liter

Lokomotif diesel ini diperuntukkan sebagai lokomotif kereta angkutan batu bara.

III. PREDIKSI EMISI CO₂

Untuk memprediksi emisi CO₂ dari lokomotif diesel yang sedang beroperasi terdapat beberapa faktor yang ikut mempengaruhi antara lain spesifikasi mesin, kecepatan, jarak tempuh, jumlah lintasan (*track*), penggunaan jenis bahan bakar yang ramah lingkungan atau tidak, kapasitas muat dari gerbong, jumlah jalur layanan kereta api (*trayek/rute*), banyaknya *round trip* per hari, dsb. Tabel 1., menggambarkan banyaknya jalur layanan di Pulau Jawa serta frekuensi kereta yang lewat dalam satu tahun

Tabel 1
Jumlah jalur layanan kereta api dan prediksi frekuensi kereta yang lewat di Jawa dalam setahun

No.	Jalur layanan	Jumlah layanan	Frekuensi/hari	Frekuensi/tahun	Keterangan
1.	Eksekutif Argo	8	16	5840	Argo Wilis, Argo Jati, Argo Bromo Anggrek, Argo Murio
2.	Eksekutif/Satwa	8	16	5840	Turangga, Taksaka, Sembrani, Gajayana, Kamandanu, Bima
3.	Bisnis	18	36	13140	Cirebon Ekspres, Fajar Utama Sng, Gumarang, Lodaya, Purwojaya.
4.	Ekonomi	32	64	23360	Pasundan, Banten Ekspres, Matarmaja, Tegal arum.
5.	Komuter Unggulan	9	18	6570	Prambanan Ekspres, Joglosemar, Pandanwangi
6.	Komuter Ekonomi	11	22	8830	KA Arek Surokerto, Bandung-Cicalengka
7.	Komuter Jabodetabek	9	18	6570	Tangerang ekspres, Bekasi Ekspres, Depok Ekspres,
8.	Kereta batubara	1	2	730	Cilegon Bekasi
	JUMLAH		192	70880	

Tabel 2
Baku Mutu Bahan Bakar Mesin Diesel menurut Peraturan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi No. 14499K/14/DJM/2008 tanggal 21 Agustus, 2008

No.	Karakteristika	Unit	Batas				ASTM Test/metoda lain
			Diesel 1		Diesel 2		
			Min	max	min	max	
1.	Densitas pd 15°C	Kg/m ³	-	900	-	920	D 1298/4052
2.	Kinematic Viscosity pd 40°C	mm ² /sec	2,5	11	-	24	D 445
3.	Titik nyala PMcc	°C	60	-	60	-	D 93
4.	Titik tuang	°C	-	18	-	21	D 97
5.	Micro carbon residue	% m/m	-	0,5	-	3	D 4530
6.	Ash content	% m/m	-	0,02	-	0,05	D 482
7.	Ekstrak Sedimen	% m/m	-	0,02	-	-	D 473
8.	Water content	% v/v	-	0,25	-	0,3	D 95
9.	Cetane number	-	35	-	-	-	D 613
10.	Sulfur content	% m/m	-	1,5	-	2	D 1552/2622
11.	Vanadium	mg/kg	-	100	-	100	AAS
12.	Aluminium+ Silikon	mg/kg	-	25	-	26	D 5184/AAS
13.	Warna		6	-	6	-	D 1500

dengan asumsi jumlah frekuensi per hari = 2x atau pp yang berarti banyaknya *round trip* = 1x.

Dari tabel tersebut diatas tampak bahwa angka frekuensi tertinggi dicapai oleh kereta klas Ekonomi sebanyak 64 kereta per hari. Sedangkan frekuensi dari 8 jenis jalur layanan mencapai 192 kereta/hari yang hilir mudik atau sebanyak 70.880 kereta/tahun. Tabel tersebut juga tidak memasukkan kereta wisata, kereta penolong dan kereta kerja mengingat jenis kereta ini tidak setiap hari beroperasi.

Selanjutnya spesifikasi bahan bakar mesin diesel setidaknya mengikuti baku mutu minyak diesel yang ditentukan oleh Direktur Jendral Migas No. 14499K/14/DJM/2008 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

CO₂ merupakan salah satu gas yang diemisikan saat pembakaran di ruang bakar (*combustion chamber*) yang belum pernah disebut sebagai pencemar udara dalam Baku Mutu Kualitas Udara Nasional kita selama ± 30 tahun terakhir sampai dengan tahun 1990 an dan baru muncul setelah isu pemanasan global.

Mengingat banyaknya faktor yang mempengaruhi dalam perhitungan emisi CO₂ dari lokomotif mesin diesel tersebut diatas, maka dalam paper ini dilakukan dengan menggunakan asumsi. Selain itu mengingat terbatasnya data CO₂ yang di emisikan oleh kegiatan transportasi khusus kereta api diesel, maka kami menggunakan ketentuan Baku Emisi Kendaraan Bermotor menurut Peraturan Menteri Lingkungan Jepang yang diamandemen tahun 1996 untuk perhitungan, dimana setiap satu liter minyak diesel yang dibakar menghasilkan emisi CO₂ sebanyak 2,7 kg. Perhitungan selanjutnya menggunakan metode JETRO (2010) yang disajikan secara sederhana.

Contoh 1

Lokomotif diesel tipe CC 201 atau tipe CC 203 untuk layanan Jakarta-Surabaya yang berjarak 674 km, maka bila kondisi dibuat sebagai berikut:

- Jumlah lokomotif satu unit
- Frekuensi sebanyak 2x/hari berarti *round trip* hanya 1x/sehari
- Jumlah gerbong = 12 dengan kapasitas muat 60 orang tiap gerbong.

- Secara umum konsumsi bahan bakar minyak diesel (C₁₂H₂₃) untuk satu lokomotif pada kecepatan 40 km/jam rata-rata menghabiskan 4 liter/km (JETRO, 2010).

Jadi prediksi jumlah emisi CO₂ dapat dihitung sebagai berikut:

- Konsumsi bahan bakar diesel/hari 674 km x 4 liter/km x 2 = 5.392 liter
- Jumlah emisi CO₂ per hari 5.392 liter x 2,7 kg/liter = 14.558,4 kg.
- Perkiraan jumlah emisi CO₂ per tahun 365x 14.558,4 kg = 5.313.816 kg atau 5.314 ton.
- Selanjutnya bisa dihitung bila jumlah *round trip* = 2x per hari, maka perhitungan tersebut diatas menjadi 2x lebih tinggi.

Contoh 2

Lokomotif diesel tipe BB 200 yang melayani rangkaian kereta penumpang Joglosemar (Jogya – Solo – Semarang) menempuh jarak sekitar ± 160 km pp, asumsi kecepatan 40 km/jam dengan 10 gerbong @ 60 orang penumpang, maka dengan menggunakan metode perhitungan seperti tersebut diatas dapat diperoleh perkiraan jumlah emisi CO₂ per hari sebesar ± 3.456 kg. Dengan demikian prediksi jumlah emisi CO₂ dalam setahun diperkirakan sekitar 1.261 ton.

Bisa dibayangkan besarnya jumlah emisi CO₂ dari 8 jalur layanan di Jawa yang meliputi frekuensi sebanyak 70.880 kereta per tahun. Belum lagi untuk Divre I (Sumatra Utara), Divre II (Sumatra Barat) dan Divre III (Sumatra Selatan). Apalagi setiap tahun selama 2 minggu terus menerus terutama dalam rangka hari raya Iedul Fitri ada tambahan rangkaian kereta penumpang untuk melayani arus mudik dan arus balik dengan jumlah penumpang sering melebihi kapasitas normal. Walaupun angkanya diakui

kurang memberikan ketelitian yang tinggi, namun setidaknya prediksi kasar bisa diketahui. Dalam hal ini faktor jumlah penumpang, emisi saat mesin dalam kondisi idle (saat kereta berhenti di stasiun sebelum tiba di stasiun tujuan), emisi saat kecepatan maksimum dicapai, dsb tidak dipertimbangkan. Perhitungan ini berbeda dengan sementara kalangan yang menghitung sumbangan CO₂ per penumpang untuk satu jalur layanan, sehingga hasilnya menjadi jauh lebih kecil serta memberikan kesimpulan yang terlalu dini sebagai sarana transportasi yang paling ramah lingkungan. Pada hemat kami, bila kereta tersebut mengangkut berapapun jumlah penumpang, konsekuensi CO₂ tetap akan dihasilkan sebagai emisi dari satu unit lokomotif saat beroperasi. Jadi perhitungan sebaiknya bukan berdasar carbon footprint.

Contoh 3

Dalam suatu rencana pembangunan untuk meningkatkan produksi batubara guna memenuhi kebutuhan energy listrik maka dirasa perlu untuk menambah rangkaian kereta api batu bara di Divre III dari Tanjung Enim sampai pelabuhan Srengsem yang berjarak 425 km. Kami (Wibisono, 2010) pernah mengusulkan dalam kajian lingkungan dari rencana pembangunan tersebut seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Kondisi yang kita inginkan adalah sebagai berikut:

- Pasca proyek, jumlah gerbong per trip meningkat dari 40 menjadi 58.
- Pasca Proyek, jumlah roundtrip per hari diusulkan untuk dikurangi dari 8 trip menjadi 7 trip/hari (semula pihak investor menganggap existing 11 roundtrip/hari dan Pasca Proyek menghendaki 23 roundtrip/hari. Hal ini kami anggap tidak memungkinkan, mengingat rel yang sama juga digunakan untuk kereta penumpang dan barang).

Table 3
Usulan perbandingan antara Existing dan Pasca Proyek dengan tambahan Kereta Api

Kondisi	Existing dan Estimasi pasca Proyek				
	Jarak	Jumlah round trip	Jumlah lokomotif	Jumlah gerbong	Kapasitas gerbong
Existing	400 Km	8/hari	2 loko/trip	40/trip	50 ton
Pasca Proyek	425 Km	7/hari	2 loko/trip	58/trip	50 ton

Tabel 4
Perbandingan Emisi CO₂ antara Existing vs kereta baru

Kondisi	Existing	Pasca Penyelesaian Proyek	
		Transportasi batubara dengan volume yang sama	Transportasi batubara selama operasi/tahun
Konsumsi bahan bakar per hari	400x4x2x16=51,200 liter	425x4x2x16=54,400 liter	425x4x2x14=47,600 liter
Transportasi vol. per hari	40x8x50= 16,000 ton	40x8x50=16,000 ton	58x7x50=20,300 ton
Emisi CO ₂ per hari	51,200x2,7kg=138,240kg	54,400x2,7 kg= 146,880 kg	47,600x2.7kg=128,520kg
Emisi CO ₂ per tahun	± 50,458 ton	± 53,611 ton	± 46,910 ton

- Pasca Proyek, jumlah lokomotif yang digunakan tetap sama (2 loko).
- Rata-rata konsumsi bahan bakar pada kecepatan 40 km/jam, diperkirakan sebesar 4 liter/km (JETRO, 2010).
- Pasca Proyek, jarak angkutan batubara menjadi sedikit lebih jauh yakni dari 400 km menjadi 425 km.

Dengan kondisi seperti tersebut diatas maka prediksi emisi CO₂ menjadi seperti pada Tabel 4.

Dari Tabel 4 tersebut di atas tampak bahwa dengan mengurangi jumlah *round trip* dari 8 menjadi 7, maka konsumsi bahan bakar per hari menjadi paling kecil dibanding existing maupun transportasi batubara pasca proyek pada jarak yang lebih jauh dengan volume angkut yang sama. Ternyata terdapat penghematan bahan bakar sebanyak 6.800 liter per hari. Hal ini penting dari segi penghematan penggunaan energi untuk cadangan energi nasional. Sebaliknya pada pasca proyek jumlah batubara yang bisa terangkut malah lebih banyak yakni terdapat peningkatan dari 16.000 ton/hari menjadi 20.300 ton/hari. Selain itu juga terdapat selisih jumlah emisi CO₂ per tahun yang cukup kecil dan signifikan yakni mencapai 6.701 ton per tahun (dari 53.611 ton menjadi 46.910 ton/tahun). Meskipun demikian bila dibanding dengan existing tetap merupakan suatu tambahan emisi bila kereta existing masih tetap dioperasikan. Hal ini merupakan resiko lingkungan yang tidak bisa dihindari dalam setiap pembangunan. Bisa dibayangkan bila pembangunan dilakukan untuk membuat *double track* atau terdapat dua kereta sejenis yang hilir mudik secara serentak dari arah yang berlawanan maka jumlah emisi per tahun meningkat 2X lipat.

Menurut ulasan dimuka, lokomotif bertipe CC 202 merupakan lokomotif untuk angkutan batubara berdaya 2250 PK dengan kemampuan kecepatan 80 km/jam. Tentu konsumsi bahan bakar akan meningkat lagi, bila kecepatan meningkat menjadi 80 km/jam jelas akan mempengaruhi jumlah emisi CO₂ ke atmosfer.

IV. DAMPAK LINGKUNGAN

Sebagaimana pada setiap proses pembakaran bahan bakar fosil maka pada pembakaran minyak diesel juga akan memberikan jenis jenis emisi yang umum dikenal yakni: hidrokarbon, CO, NO_x, SO_x, PM10, PM2,5, Debu (TSP), Pb dan tingkat bising. Ditinjau dari Tabel 2 tersebut diatas maka yang perlu mendapat perhatian adalah kandungan sulfur (2,0 % m/m) dalam bahan bakar. Semua parameter kualitas udara telah diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 41/1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Sedangkan tingkat bising diatur dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 48/MENLH/1996 seperti tersaji pada Tabel 5. Belakangan isu CO₂ muncul yang sampai saat ini belum dimasukkan kedalam aturan baku mutu dan perlu penelitian lebih lanjut.

Ditinjau dari segi rantai karbon, minyak diesel (C12) mempunyai rantai karbon lebih panjang dibanding bensin (C6) Berdasarkan hal tersebut maka hasil pembakaran minyak diesel diperkirakan akan memberikan CO₂ lebih banyak. Ir. Bustani Mustafa M.Sc., APU, seorang pakar otomotif Lemigas dalam suatu Konferensi Teknologi Minyak dan Gas Bumi/ Diskusi Ilmiah ke XI yang diselenggarakan tanggal 14-15 September 2011 menyatakan bahwa spesifikasi

produk mesin dari suatu Negara perlu disesuaikan dengan spesifikasi jenis BBM yang dihasilkan dari Negara tersebut. Hal ini berarti lokomotif diesel buatan Amerika/Canada sebaiknya menggunakan minyak diesel sesuai spesifikasi minyak diesel Amerika/Canada agar tercapai hasil unjuk kerja mesin maksimal, efisien dengan emisi yang paling kecil. Permasalahan utama adalah produk kilang di Indonesia masih belum mampu meningkatkan kualitas BBM sesuai dengan spesifikasi Amerika/Canada. Akumulasi CO₂ (bersama gas gas lain pembentuk efek rumah kaca) di atmosfer diakui dunia telah memberikan dampak yang luar biasa signifikan. Efek rumah kaca yang tidak berkesudahan berimplikasi timbulnya pemanasan global dan berlanjut pada situasi perubahan iklim. Dampak yang bisa dilihat adalah musim kemarau yang berkepanjangan sebagai akibat dari gelombang panas seperti pada El Nino. Musim kemarau yang berkepanjangan juga memberikan dampak berupa kekeringan lahan dan kematian tanaman pertanian (pangan), serta kesulitan sebagian warga untuk mendapatkan sumber air bersih. Selain itu kebakaran hutan skala luas terjadi dimana-mana (Indonesia, Australia, Canada, Amerika dan Eropa). Sebaliknya akibat dari gelombang La Nina terjadi curah hujan yang tinggi disertai angin kencang/puting beliung. Banjir disegala penjuru dunia, kegagalan panen, dan tanah longsor yang meminta kerugian material dan korban jiwa. Angka kesakitan (prevalensi) setiap pasca banjir di pedesaan meningkat dengan tajam yang bisa dilihat pada indikator seperti misalnya: penyakit kulit, ISPA dan penyakit pencernaan (diarhe,

typhus, disentri). Sedangkan SOx bisa mengiritasi selaput lendir mata dan hidung. Sementara itu NOx dan SOx yang terakumulasi di atmosfer memberikan dampak hujan asam yang umumnya ber pH < 5,5 dan berpotensi merusak bangunan (jembatan, candi, gedung, bodi mobil), asidifikasi danau/empang/sungai dan lahan serta timbul gangguan kulit. Di wilayah DKI Jakarta sendiri menurut hasil pantauan BMG (wawancara pribadi, 1999) telah terjadi hujan asam sejak 1982. Tingkat pH pada air hujan pada tahun 1997 - 1999 berkisar antara 4,4 – 5. Partikel SOx dan NOx menurut pendapat para ahli menyebutkan 90 % akan terbawa angin sampai jarak yang diperkirakan sekitar 100- 2.000 km. Sedangkan bagian 10 % dari partikel tersebut bisa merupakan jatuhnya kering lokal yang berjarak ± 10 km dari sumber emisi. Selanjutnya dari penelusuran pustaka menyebutkan bahwa partikel SOx sebesar 83,25 µgr/m³ bisa mengganggu kehidupan flora darat walaupun tidak sampai mematikan tanaman, tetapi menyebabkan terbukanya stomata beberapa tanaman pertanian seperti misalnya padi (*Oryza sativa*), jagung (*Zea mays*), kedelai (*Glycine max*) tomat (*Solanum leucopersicum*), dan pisang (*Musa paradisiaca*). Terbukanya stomata yang berkepanjangan bisa berakibat evapotranspirasi yang berujung tanaman menjadi layu. Bila proses kontaminasi berlangsung lama dan kontinyu, maka partikel SOx bisa melukai/merusak lembar daun sehingga daun banyak mengalami khlorosis. Dengan rusaknya daun maka akan mengganggu proses fotosintesa. Tingkat kepekaan setiap jenis tanaman terhadap sulfur (SOx) tidaklah sama, bahkan pada jenis yang samapun dapat berbeda tergantung pada beberapa faktor antara lain:

- Stadia tumbuh
- Habitat tumbuh
- Musim.

Dari penelusuran pustaka menyebutkan bahwa beberapa jenis tanaman yang sensitif terhadap sulfur antara lain:

- Jambu bol (*Eugenia malaccensis*)
- Jambu air (*Eugenia aquaea*)
- Pepaya (*Carica papaya*)
- Bambu (*Bambusa sp*)
- Jahe (*Zingiber sp*)
- Ubi jalar (*Ipomaea batates*)

Tabel 5
Baku mutu udara (PP No. 41/1999) dan tingkat bising
(KepMen LH No. 48/MENLH/1996)

No.	Parameters	Standard	Metode/Alat
1.	Hidrocarbon (HC)	160 µg/m ³	Flame Ionization
2.	Carbon monoxida (CO)	30,000 µg/m ³	NDIR
3.	Nitrogen oxida (NO ₂)	400 µg/m ³	Saltzman
4.	Sulfur dioxida (SO ₂)	900 µg/m ³	Pararosanilin
5.	Particulate matter 10 µ (PM ₁₀)	150 µg/m ³	Gravimetrik
6.	Particulate matter 2.5 µ (PM _{2.5})	65 µg/m ³	Gravimetrik
7.	TSP (Dust)	230µg/m ³	Gravimetrik
8.	Timbal (Pb)	2µg/m ³	
9.	Tingkat Bising	55 dB (A)	Sound Level meter

Kontaminasi sulfur (SO_x) terhadap tanaman yang peka tersebut dapat terjadi penurunan populasi dan pada gilirannya akan mengakibatkan penurunan produktivitas pertanian.

Sedangkan kandungan partikulat dan debu (TSP) yang melebihi Baku Mutu bisa menyebabkan iritasi pada tenggorok bahkan bisa menyebabkan pemicu bagi penderita asma dan merupakan penyebab Pneumoconiosis pada jaringan paru. Timbal (Pb) merupakan logam berat di lingkungan udara yang kandungannya tidak boleh melebihi 2 µgr/m³. Debu timbal bisa masuk kedalam tubuh manusia melalui inhalasi maupun makanan/minuman yang tercemar debu timbal. Dampak timbal terhadap manusia dapat merusak ginjal, dan toksik terhadap darah.

Akhirnya tingkat bising yang melebihi Baku Mutu bagi masyarakat yang tinggal di sekitar lokasi jalur kereta minimal merupakan gangguan kenyamanan walaupun untuk waktu sesaat. Nilai maksimum yang diizinkan adalah 55 dB. Sedangkan untuk transportasi menurut PerMenKes No. 718/1987 tidak boleh melebihi 60 – 70 dB. Sebaliknya yang dirasakan oleh karyawan kereta api diesel (masinis) yang selalu dekat dengan sumber bising mesin diduga memberi tingkat bising melebihi 70 dB secara terus menerus akan menimbulkan dampak terhadap rasa kenyamanan dan pendengaran. Occupational Safety and Health Administration (OSHA) telah menetapkan standar yang dipercaya menggambarkan hubungan antara ketulian dengan paparan pada pekerja terhadap bising yang keras. Bila tingkat bising yang keras berlangsung lama dan tidak dikelola secara baik, maka masinis bisa merupakan target pertama yang terkena dampak bising. Mengingat kereta api bisa dianggap sebagai sumber pencemar yang bergerak, maka pengukuran tingkat bising bisa dilakukan dengan 2 (dua) cara yakni secara langsung dan secara tidak langsung. Pengukuran secara langsung dilakukan pada sumber bising, sedangkan secara tidak langsung dilakukan pada jarak tertentu dari sumber bising selain menggunakan alat ukur (sound level meter) juga menggunakan rumus WEBER (1984) sebagai berikut:

$$L_p = L_w - \{ (20 \log r - 8) + 10 \log (1 + 0.0015 r) \}$$

Di mana:

L_p = Tingkat bising di suatu tempat pada jarak (r) dari sumber bising

L_w = Tingkat bising dari sumber bising.

r = Jarak dari titik ukur ke sumber bising.

V. UPAYA TEKNOLOGI MENGURANGI EMISI

Setelah kita ketahui prediksi jumlah emisi CO₂ per tahun dari lokomotif diesel, dan mengingat keinginan Pemerintah agar kadar CO₂ di atmosfer bisa diturunkan sebanyak 26% (pidato Presiden RI di Pitsburg, USA, 2009) maka beberapa hal yang layak dipertimbangkan antara lain :

- Laporan dari IEA (2010) menunjukkan bahwa untuk tahun 2009 sumbangan Indonesia terhadap peningkatan CO₂ yang diemisikan di tingkat dunia hanya memberi proporsi kecil yakni sebesar 1,369% atau sebesar 414,941 juta ton. Meskipun demikian bangsa Indonesia sudah merasakan dampak timbulnya pemanasan global maupun perubahan iklim.
- Berdasarkan estimasi dari Soemiarso (2011) untuk tahun 2008 di bidang transportasi sumbangan emisi CO₂ diperkirakan sebesar 90 juta ton atau sekitar 25,64% dari jumlah emisi sektor energi. Walaupun data emisi CO₂ dari kegiatan kereta api diesel sangat terbatas, namun dari beberapa contoh perhitungan kasar menunjukkan potensi yang dapat menambah gejala pemanasan global sehingga jumlah emisi perlu mendapat perhatian agar kualitas udara bisa dikelola lebih baik,
- Keberadaan teknologi terkini juga tersedia untuk tujuan mengurangi jumlah emisi.
- Berdasarkan pemikiran tersebut diatas penulis merasa yakin bahwa penurunan emisi ditinjau dari sisi transportasi masih bisa dilakukan. Hal ini berarti bahwa kegiatan transportasi termasuk kereta api diesel masih bisa diturunkan lagi emisinya melalui beberapa upaya menggunakan pilihan teknologi terkini yang tersedia.

Adapun pilihan teknologi dalam rangka upaya untuk mengurangi emisi dari lokomotif diesel adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan Bio Diesel

Bio-Diesel telah diakui dunia, merupakan bahan bakar otomotif yang ramah lingkungan dan lebih efisien. Selain itu mampu menurunkan tingkat bising serta emisi secara signifikan. Bio-Diesel telah banyak digunakan di negara misalnya Brazil, Canada, USA, India dan Australia. Bio-Diesel murni 100 % (B 100) yang berasal dari minyak sawit (*Elaeis guineensis*) atau minyak jarak (*Jathropha curcas*) diwajibkan memenuhi

Standar SNI 04-7182-2006. Selain dua jenis tanaman tersebut menurut penelusuran pustaka menyebutkan masih ada ± 30 jenis tanaman lain yang bisa diproses menjadi Bio diesel seperti misalnya minyak biji kapuk (*Ceiba petandra*), minyak biji bunga matahari (*Helianthus annuum*), minyak kelapa (*Cocos nucifera*), minyak kedelai (*Glycine max*) dan minyak kacang tanah (*Arachis hypogea*). Pemanfaatan Bio-Diesel sangat dimungkinkan untuk lokomotif diesel mengingat selain konsumsi bahan bakar bisa dihemat sekaligus bisa menurunkan emisi. Permasalahannya adalah berapa persen Bio-diesel (B 100) yang paling ideal bisa dicampurkan tapi tetap mengacu pada Spesifikasi minyak diesel menurut ketentuan dari Direktorat Jendral Migas tahun 2008 (Tabel 2),

2. Pemasangan perangkat emisi.

Pada kendaraan berbahan bakar bensin kita mengenal sebuah alat yang dinamakan catalytic converter yang dipasang pada muffler untuk mengurangi emisi. Converter biasanya mempunyai masa pakai yang terbatas untuk selanjutnya diganti dengan yang baru. Bahan yang di gunakan dalam converter bisa terbuat dari beberapa pilihan jenis antara lain zeolit. Penggunaan converter untuk lokomotif diesel sangat mungkin untuk dipertimbangkan mengingat tingginya kadar sulfur dari bahan bakar (2,0 % m/m) juga emisi yang dihasilkan. Hal ini membutuhkan penelitian lebih lanjut yang menyangkut tentang jenis bahan converter yang paling ideal untuk lokomotif, kapasitas saring dan bentuk converter yang mudah dipasang dan mudah diganti.

Suatu alat perangkat emisi karbon (CO₂ capture) berbentuk adsorben khusus juga telah diproduksi oleh perusahaan Carbon Capture Inc.. di Tampa, Florida.

3. Pemasangan gelang lempeng IONON 21 X yang di ikatkan pada bagian-bagian tertentu misal air duct maupun pada pangkal muffler. Didalam gelang tersebut berisi lempeng logam tembaga (Cu) dan Aluminium (Al) yang tersusun bergantian dan terbungkus oleh kertas timah. Bila ada aliran didalam suatu pipa, maka gelang IONON 21 X bertindak sebagai elektromagnet polarizer dari elektrostatis yang dihasilkan terhadap partikel sehingga dapat menempel

pada dinding dalam dari sebuah pipa Produk tersebut telah dibuat di Jepang dan dipatenkan No. 1172559 serta dipatenkan di Amerika No. 4188296.

4. Penghijauan (Re-greening)

Yang dimaksud dengan penghijauan disini adalah penanaman pohon yang memiliki daun yang rimbun atau berdaun lebar untuk memberi kesempatan maksimal melakukan proses fotosintesa sehingga gas CO₂ di sekitarnya menurun secara alami. Jadi pohon tersebut selain berfungsi sebagai tanaman peneduh juga berfungsi sebagai pengurang emisi. Tentunya pohon-pohon tersebut tidak ditanam pada areal R.O.W (Right of Way) sepanjang rel, tapi di sekitar stasiun kereta api atau di halaman depan stasiun.

Beberapa contoh jenis diantaranya: Ketapang (*Terminalia catappa*), Waru (*Hibiscus tiliaceus*), Beringin (*Ficus benjamina*), Pisang Kipas (*Ravenala madagascariensis*), Mata Dewa (*Elaeocarpus ganitrus*) dan Trembesi. Khususnya pada tanaman jenis *E. ganitrus* selain menyerap CO₂ menurut hasil penelitian ITB pada tahun 2007 menyatakan juga mampu menyerap polutan udara seperti misalnya SO_x, NO_x, dan CO secara signifikan.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Ulasan ini menyajikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Kereta api diesel merupakan alat transportasi massal yang dibutuhkan publik dan cukup sibuk untuk meningkatkan roda ekonomi di tingkat lokal maupun di tingkat nasional sehingga perlu diteliti berapa jumlah emisi yang dibuang ke atmosfer.
2. Untuk menghitung jumlah emisi CO₂ dari lokomotif diesel tergantung dari beberapa faktor antara lain frekuensi per hari atau jumlah round trip per hari, tipe mesin, jarak tempuh, kecepatan dsb.
3. Penanaman pohon yang berdaun lebar dan atau berdaun rimbun di sekitar lokasi stasiun kereta api perlu dilakukan untuk mengurangi emisi melalui proses fotosintesa alami.

b. Adapun saran yang bisa kami tawarkan adalah sebagai berikut:

1. Informasi dari paper ini agar dapat ditindak lanjuti untuk dilakukan penelitian yang lebih mendalam. Bila dipandang perlu bisa dilakukan kerjasama penelitian antar instansi terkait.
2. Perlu dipikirkan untuk memprediksi jumlah emisi CO₂ yang berasal dari sumber transportasi lain misalnya, kapal laut yang menggunakan minyak bakar jenis M.F.O (Marine Fuel Oil) atau M.D.O (Marine Diesel Oil), serta kendaraan alat berat yang biasa digunakan oleh industri pertambangan batubara menggunakan minyak HSD non subsidi.

KEPUSTAKAAN

1. **Amendment Regulation** No. 32/1996 MOE Japan concerning on Motor Vehicle Exhaust Emission Standard.
2. Anonim : Lokomotif Diesel. <http://www.id.wikipedia.org>.
3. **International Energy Agency (IEA)** (2010), US Energy information administration. <http://www.iea.doc.gov>.
4. **KOMPAS** (2011). Pemerintah siapkan tiga skema pengembangan infrastruktur perkerataapian nasional. Terbit tgl. 18 Maret 2011.
5. **Sumiarso, L.**, (2011). Inisiatif energi bersih. *More energies, less carbons*. Paper dipresentasikan pada Seminar Ilmiah di Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, Jakarta.
6. **Wibisono, M.S.** (2010). Preliminary environmental study on railway development plan for coal transport in South Sumatra and Lampung provinces including special port development plan. Report for PT. Sehati to the Korean Investor as an input for AMDAL proposal in Chapter 6. September 30, 2010.(un-published).