

Analisis Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca pada Tahap Konstruksi Studi Kasus : Konstruksi Jalan Cisumdawu

Agung Mulyana

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132
E-mail: agunggpe@yahoo.com

Reini D. Wirahadikusumah

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132
E-mail: wirahadi@si.itb.ac.id

Abstrak

Pertumbuhan sektor konstruksi akan mampu menarik pertumbuhan sektor pendukung serta mendorong pertumbuhan sektor pembangunan yang lain, namun sektor konstruksi turut berkontribusi dalam konsumsi energi serta menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK), salah satu kegiatan konstruksi yang diperkirakan mengkonsumsi energi dan menghasilkan emisi gas rumah kaca cukup besar adalah konstruksi jalan. Dalam hal ini dilaksanakan suatu analisis konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca pada pekerjaan konstruksi jalan Cisumdawu dengan perkerasan kaku pada STA 10+700 hingga STA 11+500 meliputi pekerjaan subgrade (galian dan timbunan), pekerjaan lapisan subbase, serta pekerjaan perkerasan kaku dengan menggunakan pendekatan life cycle assessment. Dari hasil analisis diperoleh pekerjaan perkerasan kaku berkontribusi 78.78%, sedangkan pekerjaan subbase berkontribusi 17.04% dan pekerjaan subgrade berkontribusi 4.18%. Sementara itu secara keseluruhan material berkontribusi sebesar 92.80%, kegiatan transportasi berkontribusi 1.97% dan kegiatan konstruksi berkontribusi 5.23% dari total besaran dampak lingkungan yang dihasilkan dari konstruksi jalan tersebut.

Kata-kata Kunci: Energi, emisi, gas rumah kaca, konstruksi, jalan, life cycle assessment.

Abstract

The growth of the construction sector will be able to attract growth in the supporting sectors and encourage the growth of other development sectors, but the construction sector also contributes to energy consumption and produces greenhouse gas (GHG) emissions, one of the construction activities that are estimated to consume energy and produce greenhouse gas emissions is a road construction. In which case an analysis of energy consumption and greenhouse gas emissions at Cisumdawu road construction with rigid pavements at STA 10 + 700 to STA 11 + 500 includes subgrade (excavation and piling) using life cycle assessment approach. From the analysis results obtained rigid pavement contributed 78.78%, while subbase work contributed 17.04% and subgrade contributed 4.18%. Meanwhile, overall materials contributed 92.80%, while transportation activities contributed 1.97% and Construction activities contributed 5.23% of the total environmental impacts resulting from the road construction.

Keywords: Energy consumption, emissions, construction, road, assessment, contractor.

1. Pendahuluan

Kekhawatiran masyarakat dunia mengenai isu perubahan iklim dewasa ini tumbuh begitu cepat dalam beberapa dekade terakhir, ditandai dengan beberapa konferensi dunia yang dilatarbelakangi oleh semakin menurunnya kualitas lingkungan diawali dengan *Stockholm Conference* pada tahun 1972, dilanjutkan dengan *earth summit* di kota Rio de Janeiro, Brazil, selanjutnya pertemuan antar negara mengenai pembahasan isu lingkungan dilangsungkan dalam pertemuan anggota setiap tahunnya yang dikenal dengan nama *Conference of Parties (COP)*.

Sementara itu kepedulian mengenai isu lingkungan hidup di Indonesia dibuktikan melalui UU No.23 tahun 1997 pengelolaan lingkungan hidup di mana salah satu tujuannya mewujudkan pembangunan berkelanjutan yang berwawasan lingkungan hidup), tidak hanya itu Indonesia juga meratifikasi *Kyoto Protocol* melalui UU

No.17 Tahun 2004, selanjutnya pada COP yang berlangsung Copenhagen, Denmark tahun 2009 Indonesia berkomitmen untuk menurunkan emisi sebesar 26% pada tahun 2020 (Ministry of Environment Republic of Indonesia, 2010).

Kebijakan serta komitmen yang telah dibuat dalam menurunkan emisi perlu didukung oleh semua sektor salah satunya adalah sektor konstruksi, sektor konstruksi turut berkontribusi dalam konsumsi energi serta emisi gas rumah kaca (GRK), berdasarkan laporan *US Environmental Protection Agency (US-EPA)* pada tahun 2009 sektor konstruksi menyumbang 1.7% dari total GRK di Amerika Serikat atau 6% dari total seluruh sektor (terdiri dari 14 sektor di mana mewakili 84% emisi total GRK di Amerika Serikat) di mana sumber emisi utama pada sektor konstruksi berasal dari pembakaran bahan bakar fosil dan pemakaian listrik. Salah satu pekerjaan yang diindikasikan memiliki kontribusi dalam konsumsi energi dan menyumbang

Tabel 1. Panjang jalan berdasarkan tingkat kewenangan

| Tahun | Panjang Jalan Menurut Tingkat Kewenangan (km) | | | | | | | | |
|------------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Jalan Negara | 34,628 | 34,628 | 34,628 | 34,628 | 38,570 | 38,570 | 38,570 | 38,570 | 38,570 |
| Jalan Provinsi | 40,125 | 40,125 | 40,125 | 40,125 | 48,020 | 53,291 | 53,642 | 53,642 | 53,642 |
| Jalan Kabupaten / Kota | 316,255 | 331,816 | 346,782 | 363,006 | 389,747 | 395,453 | 400,186 | 409,757 | 415,788 |
| Total | 391,008 | 406,569 | 421,535 | 437,759 | 476,337 | 487,314 | 492,398 | 501,969 | 508,000 |

Sumber : Badan Pusat Statistik, 2015

emisi GRK adalah pekerjaan jalan, pada laporan yang sama (US-EPA, 2009) dijelaskan bahwa pekerjaan jalan dan jembatan berkontribusi sebesar 13.4% dari total emisi pada sektor konstruksi.

Besarnya pertumbuhan jalan setiap tahunnya seperti ditunjukkan pada Tabel 1 di atas menjadi alasan bahwa analisis mengenai konsumsi energi serta besaran emisi GRK yang dikeluarkan dari setiap proses konstruksi jalan menjadi penting guna mendukung upaya pemerintah dalam mengurangi tingkat emisi terutama pada sektor konstruksi.

2. Studi Literatur

2.1 Konsumsi energi dan emisi pada sektor konstruksi

Sektor konstruksi memiliki peranan yang sangat besar dalam pertumbuhan ekonomi, peran strategis sektor konstruksi juga dapat dilihat dari keterkaitan ke belakang dengan sektor-sektor pendukungnya serta keterkaitan ke depan dengan sektor yang memanfaatkan produk sektor konstruksi. Artinya, pertumbuhan sektor konstruksi akan mampu menarik gerbong pertumbuhan sektor pendukung serta mendorong pertumbuhan sektor pembangunan yang lain, namun sektor konstruksi turut berkontribusi dalam konsumsi energi serta emisi gas rumah kaca (GRK). Namun saat ini sulit mendapatkan data spesifik yang menunjukkan besaran konsumsi energi dari sektor konstruksi, berdasarkan data dari Pusdatim ESDM 2010, konsumsi energi final di Indonesia didominasi oleh sektor Industri dan transportasi sedangkan sektor PKP (Pertanian, Konstruksi, Pertambangan) relatif kecil jika dibandingkan dengan sektor lainnya, adapun jumlah permintaan pada sektor PKP merupakan yang terendah di antara sektor-sektor lainnya, dalam 5 tahun terakhir pangsa permintaan energi pada sektor ini berkisar antara 3,9%-5,5% adapun jenis energi yang digunakan adalah jenis bahan bakar minyak (BBM) yang digunakan untuk penggerak peralatan dengan jenis BBM yang dikonsumsi sektor PKP didominasi oleh minyak solar atau minyak diesel (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2010).

Sama halnya dengan konsumsi energi, emisi yang dihasilkan oleh sektor konstruksi di Indonesia tidak secara spesifik disebutkan dengan jelas, namun dari data Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia (2010), *Indonesian Second National Communication Under the United Nations Framework Convention on Climate Change* (ISNC UNFCCC) disebutkan bahwa besaran emisi yang dihasilkan oleh industri manufaktur

dan konstruksi terdiri dari 63,032.48 Gg CO₂ (4.66% dari total emisi nasional), 7.39 Gg CH₄ (0.065% dari total emisi nasional), 1.1 Gg N₂O (1.2% dari total emisi nasional) yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dari sektor energi, data lain berdasarkan laporan *US Environmental Protection Agency* pada tahun 2009 sektor konstruksi menyumbang 1.7% dari total GRK di Amerika Serikat atau 6% dari total seluruh sektor (terdiri dari 14 sektor di mana mewakili 84% emisi total GRK di Amerika Serikat) di mana sumber emisi utama di sector konstruksi berasal dari pembakaran bahan bakar fosil dan pemakaian listrik (US-EPA, 2009).

2.2 Konstruksi perkerasan kaku

Perkerasan kaku atau perkerasan beton semen adalah suatu konstruksi (perkerasan) dengan bahan baku agregat dan menggunakan semen sebagai bahan ikatnya (Aly, 2004), saat ini jenis perkerasan kaku banyak digunakan, beberapa keuntungan dalam penggunaan jenis perkerasan ini adalah sebagai berikut :

- Life cycle cost* lebih murah dari pada perkerasan aspal.
- Tidak terlalu peka terhadap kelalaian pemeliharaan.
- Tidak terlalu peka terhadap kelalaian pemanfaatan (*over loading*).
- Semen adalah material produksi dalam negeri sehingga tidak tergantung dari import.
- Keseluruhan tebal perkerasan jauh lebih kecil dari pada perkerasan aspal sehingga dari segi lingkungan/*environment* lebih menguntungkan

Pada perkerasan kaku sebagai konstruksi utama pada perkerasan jalan adalah berupa perkerasan lapis beton, sedangkan lapisan fondasi bawah (berupa *cement treated subbase* maupun *granular subbase*) berfungsi sebagai konstruksi pendukung. Adapun komponen utama pada perkerasan kaku adalah sebagai berikut :

- Tanah dasar (*subgrade*), adalah bagian dari permukaan badan jalan yang dipersiapkan untuk menerima konstruksi di atasnya yaitu konstruksi perkerasan, tanah dasar ini berfungsi sebagai penerima beban lalu lintas yang telah disalurkan/disebarkan oleh konstruksi perkerasan. Persyaratan yang harus dipenuhi dalam penyiapan tanah dasar (*subgrade*) adalah lebar, kerataan, kemiringan melintang keseragaman daya dukung, serta kepadatan.

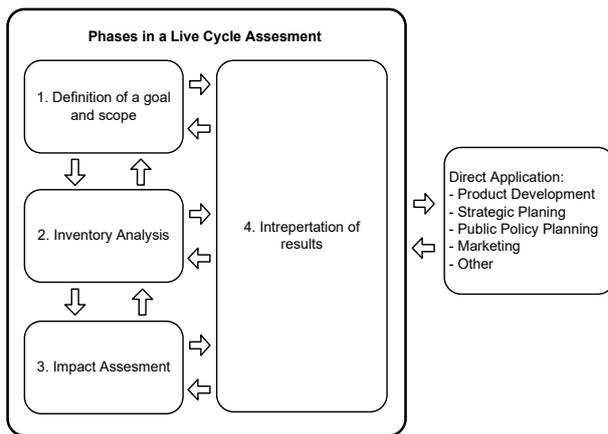
- b. Lapis fondasi (*subbase*). Lapis fondasi ini terletak di antara tanah dasar dan pelat beton. Sebagai bahan *subbase* dapat digunakan *unbound granular* (sirtu) atau *bound granular* (CTSB, Cement Treated *Sub-Base*). Pada umumnya fungsi lapisan ini tidak terlalu struktural, maksudnya keberadaan dari lapisan ini tidak untuk menyumbangkan nilai struktur perkerasan beton semen. Fungsi utama dari lapisan ini adalah sebagai lantai kerja yang rata dan uniform. Apabila *subbase* tidak rata, maka pelat beton juga tidak rata.
- c. Lapis perkerasan beton, merupakan lapisan perkerasan jalan yang berfungsi untuk menerima beban.

2.3 Life cycle assessment

Life Cycle Assessment (LCA) adalah alat untuk evaluasi sistematis aspek dampak lingkungan dari suatu produk atau sistem pelayanan melalui semua tahap siklus hidupnya (*cradle to grave*). LCA menelusuri tahapan dan proses yang terlibat selama siklus hidup dari produk utama meliputi: ekstraksi bahan baku, manufaktur, penggunaan produk, daur ulang dan pembuangan akhir, identifikasi dan kuantifikasi dampak lingkungan pada setiap tahapnya.

Tujuan dari LCA adalah untuk membandingkan berbagai macam dampak lingkungan yang diakibatkan dari suatu produk dan jasa dalam rangka memilih produk ataupun proses yang memiliki dampak lingkungan yang paling minimum.

Berdasarkan ISO 14040 LCA dilaksanakan dalam empat tahapan seperti dijelaskan pada **Gambar 1** berikut.



Gambar 1. Tahapan pada LCA (ISO 14040:2006)

2.3.1 Definition of a goal and scope

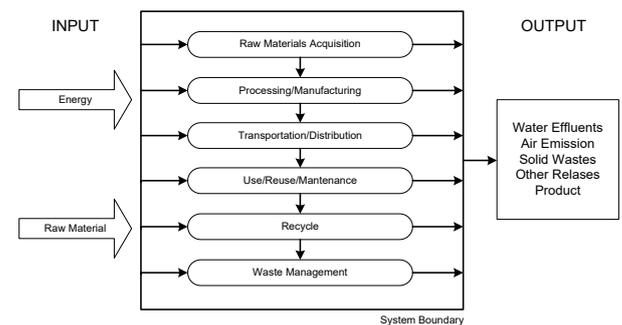
Hal yang pertama dilakukan dalam LCA adalah menentukan tujuan serta ruang lingkup dan batasan dari studi yang dilakukan secara jelas dan konsisten, dalam fase ini produk atau layanan yang akan ditinjau didefinisikan. terpenting lainnya dalam menentukan tujuan serta ruang lingkup adalah unit fungsional, batasan sistem, asumsi dan keterbatasan, metode alokasi yang digunakan untuk partisi beban lingkungan dari suatu proses ketika beberapa produk atau fungsi berbagi proses yang sama, pemilihan kategori dampak.

2.3.2 Inventory analysis

Suatu set data serta perhitungan aliran material dan energi yang mengkuantifikasikan input serta output dari daur hidup suatu produk. Hasil akhir adalah jumlah energi yang dikonsumsi dan polutan yang dihasilkan di seluruh sistem per unit fungsional yang tetap berhubungan dengan lingkup studi. Data dapat diklasifikasikan meliputi :

- a. Input energi, input bahan baku, input tambahan, masukan fisik lainnya,
- b. Produk, co-produk dan limbah,
- c. Rilis ke udara, air dan tanah, dan
- d. Aspek lingkungan lainnya.

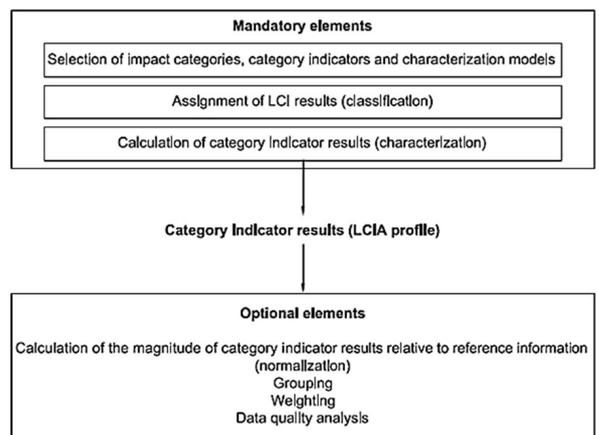
Adapun gambaran selengkapnya proses *inventory analysis* ditunjukkan pada **Gambar 2** berikut.



Gambar 2. Life cycle inventory system of a generic product (ISO 14042:2000)

2.3.3 Impact assesment

Pada tahapan ini, dilakukan evaluasi terhadap dampak potensi terhadap lingkungan dengan menggunakan hasil dari *life cycle inventory* dan menyediakan informasi untuk menginterpretasikan pada fase terakhir (Hermawan, 2013), kerangka umum fase LCIA terdiri dari beberapa element wajib yang mengkonversi hasil dari *life cycle inventory* menjadi indikator hasil, selain unsur wajib terdapat unsur-unsur pilihan yaitu normalisasi, pengelompokan atau pembobotan dari hasil indikator dan teknik analisis data.



Gambar 3. Elemen pada fase LCIA (ISO 14042:2000)

- a. Pemilihan kategori dampak, indikator kategori dan model karakterisasi.
- b. Penetapan hasil LCI untuk kategori dampak yang dipilih atau (klasifikasi).

Pada tahap klasifikasi, konsumsi sumber daya atau emisi diklasifikasikan ke kategori dampak berdasarkan dampak lingkungan yang potensial.

- c. Perhitungan hasil indikator kategori (karakterisasi).

Pada tahap karakterisasi, masing-masing data dari LCI yang digunakan untuk kategori dampak dikalikan dengan faktor karakterisasi (representasi kualitatif dari kategori dampak) dan output ditampilkan sebagai indikator numerik (indikator kategori), Nilai numerik yang menggambarkan dampak lingkungan potensial dari emisi seperti potensi pemanasan global (GWP), sering digunakan untuk faktor karakterisasi. Pada ISO 14040 seperti ditunjukkan **Gambar 3** di atas, mendefinisikan bahwa klasifikasi dan karakterisasi adalah elemen wajib, normalisasi pengelompokan dan bobot adalah elemen pilihan. Adapun faktor karakterisasi yang digunakan untuk menilai potensi dampak lingkungan adalah *global warming potential* (GWP), GWP adalah ukuran relatif jumlah panas yang terjebak gas rumah kaca, yang merupakan nilai perbandingan jumlah panas yang dijemak suatu gas dalam satuan massa tertentu terhadap gas CO₂ dengan massa yang sama.

2.3.4 Interpretation of result

Adalah teknik sistematis untuk mengidentifikasi, mengukur, memeriksa, dan mengevaluasi informasi dari hasil *life cycle inventory* (LCI) dan/ atau penilaian dampak siklus hidup (LCIA) dalam kaitannya dengan tujuan dan ruang lingkup yang ditetapkan untuk mencapai kesimpulan dan rekomendasi. Hasil dari analisis LCI dan penilaian dampak dirangkum selama fase interpretasi.

Proses LCA dibagi menjadi empat jenis ruang lingkup :

- a. *Cradle to grave*, ruang lingkup pada bagian ini dimulai dari *raw material* sampai pada pengoperasian produk.
- b. *Cradle to gate*, ruang lingkup pada analisis daur hidup dimulai dari *raw material* sampai ke *gate* sebelum proses operasi.
- c. *Gate to gate* merupakan ruang lingkup pada analisis daur hidup yang terpendek karena hanya meninjau kegiatan yang terdekat.
- d. *Cradle to cradle* merupakan bagian dari analisis daur hidup yang menunjukkan ruang lingkup dari *raw material* sampai pada daur ulang material.

2.4 Metode estimasi

Dalam hal ini akan dibahas mengenai proses estimasi pada kegiatan konstruksi di mana konstruksi sendiri menurut IPCC *Guideline* 2006 berada dalam sektor pengadaan dan penggunaan energi. Jenis GRK yang

dikeluarkan oleh sektor energi adalah CO₂, CH₄ dan N₂O. Berdasarkan IPCC *Guideline* 2006, sumber emisi GRK dari sektor energi diklasifikasikan ke dalam tiga kategori utama, yaitu :

- a. Emisi hasil pembakaran bahan bakar.

Adalah oksidasi bahan bakar secara sengaja dalam suatu alat dengan tujuan menyediakan panas atau kerja mekanik kepada suatu proses. Penggunaan bahan bakar di industri yang bukan untuk keperluan energi namun sebagai bahan baku proses (misal penggunaan gas bumi pada proses produksi pupuk atau pada proses produksi besi baja) atau sebagai produk (misal penggunaan hidrokarbon sebagai pelarut) tidak termasuk dalam kategori aktivitas energi.

- b. Emisi *fugitive* pada kegiatan produksi dan penyediaan bahan bakar.

Adalah emisi GRK yang secara tidak sengaja terlepas pada kegiatan produksi dan penyediaan energi, misalnya operasi *flaring* dan *venting* di lapangan migas, kebocoran-kebocoran gas yang terjadi pada sambungan-sambungan atau kerangka-kerangka (*valves*) pada pipa salur gas bumi dan gas CH₄ yang terlepas dari lapisan batubara pada kegiatan penambangan batubara.

- c. Emisi dari pengangkutan dan injeksi CO₂ pada kegiatan penyimpanan CO₂ diformasi geologi. Namun kegiatan ini belum dilakukan di Indonesia.

Dalam kegiatan estimasi GRK ketelitian perhitungan emisi GRK dikelompokkan dalam tiga tingkat ketelitian yang dikenal dengan istilah "Tier" di mana tingkat ketelitian perhitungan terkait dengan data dan metoda perhitungan yang digunakan sebagaimana dijelaskan berikut ini :

Tier 1 : Estimasi berdasarkan data aktivitas dan faktor emisi baku IPCC.

Tier 2 : Estimasi berdasarkan data aktivitas yang lebih akurat dan faktor emisi baku IPCC atau faktor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik (*country specific/plant specific*).

Tier 3 : Estimasi berdasarkan metoda spesifik suatu negara dengan data aktivitas yang lebih akurat (pengukuran langsung) dan faktor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik (*country specific/plant specific*).

Penentuan tier dalam estimasi GRK sangat ditentukan oleh ketersediaan data dan tingkat kemajuan suatu negara atau pabrik dalam hal menyusun suatu metodologi atau menentukan faktor emisi yang spesifik dan berlaku bagi negara/pabrik tersebut. Indonesia dan negara *non annex 1* (negara berkembang), sumber emisi sektor/kegiatan kunci pada estimasi GRK menggunakan tier 1 yaitu berdasarkan data aktivitas dan faktor emisi baku IPCC

Pendekatan tier 1 dan tier 2 merupakan metodologi perhitungan yang paling sederhana, yaitu berdasarkan

data aktivitas dan faktor emisi, seperti **Persamaan 1** berikut ini:

Persamaan umum tier 1 dan tier 2 :

$$\text{Emisi GRK} = \text{Data Aktivitas} \times \text{Faktor Emisi} \quad (1)$$

Data aktivitas adalah banyaknya aktivitas manusia yang terkait dengan emisi GRK, contoh data aktivitas sektor energi; volume BBM atau berat batu bara yang dikonsumsi, banyaknya minyak yang diproduksi di lapangan migas (terkait emisi *fugitive*), Faktor emisi (FE) adalah suatu koefisien yang menunjukkan banyaknya emisi per unit aktivitas yang dapat berupa volume yang diproduksi dan volume yang dikonsumsi, untuk tier 1 digunakan faktor emisi baku (IPCC GL, 2006) seperti ditunjukkan pada **Tabel 2**.

1. Pembakaran bahan bakar pada sumber tidak bergerak (stasioner)

Emisi GRK yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar pada sumber tidak bergerak meliputi CO₂, CH₄, N₂O. Besarnya emisi GRK yang dikeluarkan berbanding lurus dengan besarnya energi yang dibakar, persamaan umum yang digunakan untuk menghitung emisi GRK dari pembakaran bahan bakar seperti

ditunjukkan pada **Persamaan 2**, adapun metodologi perhitungan untuk sumber tidak bergerak di tunjukan pada **Tabel 3** berikut.

Emisi hasil pembakaran bahan bakar :

$$\text{Emisi GRK} \left(\frac{\text{kg}}{\text{thn}} \right) = \text{Konsumsi Energi} \left(\frac{\text{TJ}}{\text{thn}} \right) \times \text{Faktor Emisi} \left(\frac{\text{kg}}{\text{TJ}} \right) \quad (2)$$

Dari **Persamaan 2** di atas banyaknya bahan bakar direpresentasikan sebagai data aktivitas sedangkan jenis bahan bakar direpresentasikan oleh faktor emisi. Faktor emisi menurut *default* IPCC dinyatakan dalam satuan emisi per unit energi yang dikonsumsi (kg GRK/TJ). Di sisi lain data konsumsi energi yang tersedia umumnya dalam satuan fisik (ton batubara, kilo liter minyak diesel dll). Oleh karena itu sebelum digunakan pada **Persamaan 2**, data konsumsi energi harus dikonversi terlebih dahulu ke dalam satuan energi TJ (Terra Joule) dengan **Persamaan 3** berikut.

Konversi dari satuan fisik ke Terra Joule :

$$\text{Konsumsi Energi (TJ)} = \text{Konsumsi Energi (Sat. fisik)} \times \text{Nilai Kalor} \left(\frac{\text{TJ}}{\text{Sat. Fisik}} \right) \quad (3)$$

Terdapat berbagai jenis bahan bakar yang digunakan di Indonesia, berikut nilai kalor dari masing-masing bahan bakar diperlihatkan pada **Tabel 4** berikut.

Tabel 2. Faktor emisi GRK peralatan tak bergerak dan bergerak

| Jenis Bahan Bakar | FE Default IPCC 2006 Sumber Tak Bergerak, Ton/GJ | | | FE Default IPCC 2006 Sumber Bergerak, Ton/GJ | | |
|------------------------------|--|-----------------|------------------|--|-----------------|------------------|
| | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
| Gas Bumi /BBG | 56100 | 1 | 0.1 | 56100 | 92 | 3 |
| Premium (tanpa katalis) | - | - | - | 69300 | 33 | 3.2 |
| Diesel (IDO/ADO) | 74100 | 3 | 0.6 | 74100 | 3.9 | 3.9 |
| Industrial/Residual Fuel Oil | 77400 | 3 | 0.6 | - | - | - |
| Marine Fuel Oil (MFO) | - | - | - | 77400 | 7 ± 50% | 2 |
| Batubara (sub-bituminous)* | 96100 | 10 | 1.5 | - | - | - |

Sumber : Kementerian Lingkungan Hidup, 2012

Tabel 3. Metodologi perhitungan berdasarkan tier pada sumber tidak bergerak (stasioner)

| Tier | Data Aktivitas | Faktor Emisi |
|--------|---|---|
| Tier 1 | Konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar | Faktor emisi berdasarkan jenis bahan bakar (2006IPCCGL) |
| Tier 2 | Konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar | Faktor emisi Indonesia berdasarkan jenis bahan bakar |
| Tier 3 | Konsumsi bahan bakar berdasarkan teknologi pembakaran | Faktor emisi teknologi tertentu berdasarkan jenis bahan bakar |

Sumber : Kementerian Lingkungan Hidup, 2012

Tabel 4. Nilai kalor bahan bakar Indonesia

| Bahan bakar | Nilai kalor | Penggunaan |
|---------------------|--|--|
| Premium* | 33x10 ⁻⁶ TJ/liter | Kendaraan bermotor |
| Solar (HSD,ADO) | 36x10 ⁻⁶ TJ/liter | Kendaraan bermotor, pembangkit listrik |
| Minyak Diesel (IDO) | 38x10 ⁻⁶ TJ/liter | Boiler industri, pembangkit listrik |
| MFO | 40x10 ⁻⁶ TJ/liter atau 4.04x10 ⁻² TJ/Ton | Pembangkit listrik |
| Gas bumi | 1.055x10 ⁻⁶ TJ/SCF, 38.5x10 ⁻⁶ TJ/Nm3 | Industri, rumah tangga, restoran |
| LPG | 47.3x10 ⁻⁶ TJ/kg | Rumah tangga, restoran |
| Batubara | 18.9X10 ⁻³ TJ/ton | Pembangkit listrik, industri |

Catatan: *) termasuk pertamax dan pertamax plus
HSD : High Speed Diesel

ADO : Automotive Diesel Oil
IDO : Industrial Diesel Oil

Sumber : Kementerian Lingkungan Hidup, 2012

2. Pembakaran bahan bakar pada sumber bergerak

Emisi GRK dari pembakaran bahan bakar pada sumber bergerak adalah emisi GRK dari kegiatan transportasi, meliputi transportasi darat (kereta api, dll), transportasi melalui air (sungai atau laut) dan transportasi melalui udara (pesawat terbang). GRK yang diemisikan oleh pembakaran bahan bakar di sektor transportasi adalah CO₂, CH₄ dan N₂O. Adapun metodologi perhitungan emisi pada sumber bergerak ditunjukkan pada **Tabel 5** dan **Tabel 6**.

3. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan studi kasus konstruksi jalan bebas hambatan Cisumdawu, dengan panjang jalan yang diamati 800 m (delapan ratus meter) pada STA 10+700 s.d STA 11+500 dan jenis perkerasan kaku. Untuk memenuhi tujuan dari penelitian ini maka dilakukan suatu kajian literatur, baik berupa referensi penelitian terkait gas rumah kaca, estimasi energi & emisi, serta pendekatan *life cycle assessment* (LCA) yang digunakan dalam penilaian dampak lingkungan, baik dalam bentuk jurnal maupun penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya. Adapun

data yang diperlukan terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer berupa data dari hasil tinjauan lapangan untuk memperoleh informasi mengenai alur proses kegiatan, peralatan yang digunakan, volume pekerjaan, serta jumlah konsumsi bahan bakar yang digunakan oleh masing-masing peralatan konstruksi di lapangan. Sementara itu data sekunder yang dimaksud meliputi literatur terkait dalam proses analisis konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca meliputi faktor emisi, serta besaran *embodied* energi dan emisi gas rumah kaca yang terdapat pada material yang digunakan.

Secara prinsip konstruksi jalan dapat dibagi pada tiga tahap, yang terdiri dari *construction stage*, *operation and maintenance stage*, *demolition stage* (Birgisdóttir, 2005). Berdasarkan tujuan pada penelitian ini maka kegiatan yang akan diamati terbatas pada tahap konstruksi (*construction stage*). Adapun tahapan yang diamati berada pada level operasi kegiatan perkerasan jalan pada STA 10+700 s.d STA 11+500 proyek jalan bebas hambatan Cisumdawu dengan perkerasan kaku meliputi pekerjaan lapisan *subgrade* (galian, timbunan & pemadatan tanah dasar), lapisan *subbase*, serta pekerjaan perkerasan kaku seperti di tunjukan pada **Gambar 4** dan **Gambar 5** berikut.

Tabel 5. Metodologi perhitungan emisi CO₂ berdasarkan tier pada sumber bergerak dari transportasi jalan raya

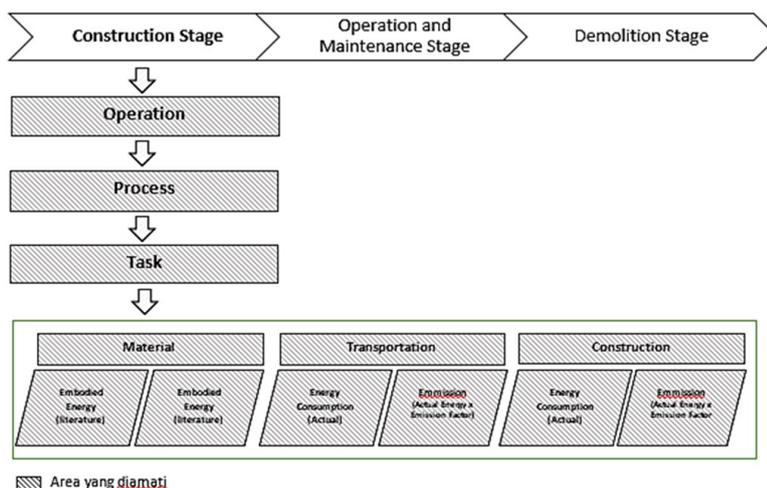
| Tier | Data Aktivitas | Faktor Emisi |
|--------|--|--|
| Tier 1 | Konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar | Kandungan karbon berdasarkan jenis bahan bakar |
| Tier 2 | Konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar | Kandungan karbon berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan di Indonesia |

Sumber : Kementerian Lingkungan Hidup, 2012

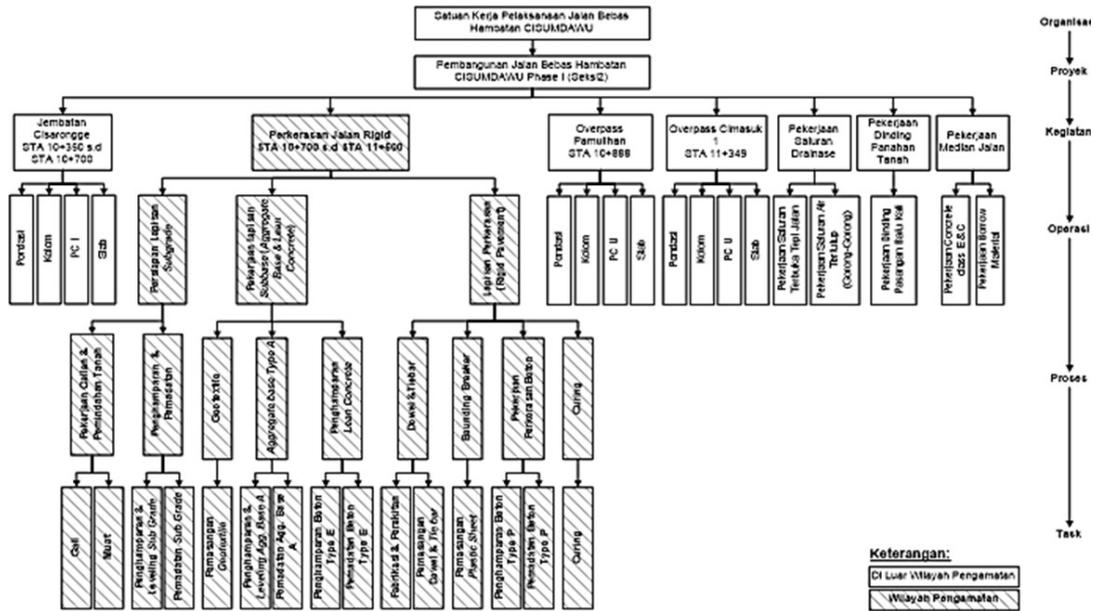
Tabel 6. Metodologi perhitungan emisi CH₄ dan N₂O berdasarkan tier pada sumber bergerak dari transportasi jalan raya

| Tier | Data Aktivitas | Faktor Emisi |
|--------|--|--|
| Tier 1 | Konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar | Faktor emisi berdasarkan jenis bahan bakar |
| Tier 2 | Konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar, sub-kategori kendaraan | Faktor emisi berdasarkan jenis bahan bakar, sub-kategori kendaraan |
| Tier 3 | Jarak yang ditempuh | Faktor emisi berdasarkan sub-kategori kendaraan |

Sumber : Kementerian Lingkungan Hidup, 2012



Gambar 4. Ruang lingkup dan metode pengambilan data

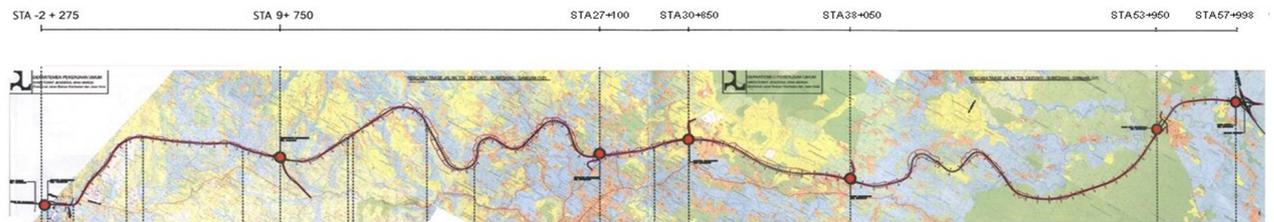


Gambar 5. Work Breakdown Structure

Dalam proses analisis, data yang telah diperoleh selanjutnya akan dianalisis dengan cara mengkonversi input penggunaan konsumsi bahan bakar menjadi nilai besaran energi (joule) dengan menggunakan angka kandungan energi (*calorific value*). Sementara itu perhitungan besaran emisi yang dihasilkan dari setiap proses kegiatan didapatkan dari nilai energi yang dikonversi dengan faktor emisi untuk setiap jenis bahan bakar yang digunakan. Selanjutnya besaran emisi yang telah diperoleh dilakukan penilaian dampak dengan menggunakan besaran faktor yang diperoleh dari *global warming potential* dengan kategori dampak yang dipilih. Adapun pengambilan data dilakukan dengan metode literatur dan aktual. Pendekatan literatur dilakukan untuk konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca yang disebabkan oleh material. Sementara untuk kegiatan konsumsi energi dari kegiatan transportasi dan konstruksi dihitung berdasarkan kegiatan aktual di proyek jalan tol cisumdawu.

4. Studi Kasus

Proyek ini merupakan proyek konstruksi jalan bebas hambatan yang menjadi program Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, yang dilaksanakan oleh Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Bebas Hambatan Cisumdawu. Selanjutnya jalan bebas hambatan Cisumdawu ini akan menghubungkan dua wilayah di provinsi Jawa Barat dimulai dari Cileunyi Kabupaten Bandung hingga Dawuan Kabupaten Majalengka. Proyek ini merupakan proyek strategis di mana jalan ini akan menghubungkan tiga pusat pertumbuhan ekonomi, Jakarta, Bandung dan Cirebon. Jalan ini didesain untuk lalu lintas harian di atas 20 ribu kendaraan dan dapat menghemat waktu tempuh lima hingga enam jam (jalan non tol) menjadi satu jam (tol). Proyek ini juga direncanakan sebagai akses menuju Bandar udara Internasional Jawa Barat Kertajati atau biasa disebut BIJB Kertajati, dengan panjang jalan 60.273 km, pembangunan jalan ini dibagi atas enam seksi seperti ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



| No. | Informasi | Seksi I Cileunyi - Rancakalong | Seksi II Rancakalong - Sumedang | Seksi III Sumedang - Cimalaka | Seksi IV Cimalaka - Legok | Seksi IV Legok - Ujung Jaya | Seksi V Ujung Jaya - Dawuan | Total |
|-----|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------|
| 1 | Panjang (Km) | 12,025 | 17,350 | 3,750 | 7,200 | 15,900 | 4,048 | 60,273 |
| 2 | Estimasi kebutuhan lahan (Ha) | 193,92 | 320,13 | 100,2 | 83,6 | 216,1 | 22,00 | 935,95 |
| 3 | Masa konstruksi | 2 Tahun | 3 Tahun | 1 Tahun | 2 Tahun | 2 Tahun | 1 Tahun | - |

Gambar 6. Skema proyek jalan bebas hambatan Cisumdawu

Kondisi *existing* lahan-lahan yang akan digunakan untuk proyek ini di antaranya lahan permukiman warga, ladang, kebun, sawah dan kawasan hutan yang berlokasi di kota Sumedang. Pelaksanaan pekerjaan konstruksi yang sedang berjalan pada saat penelitian ini berlangsung meliputi pekerjaan Seksi 2 Phase 1 Rancakalong-Sumedang yang dilaksanakan oleh kontraktor pelaksana pada STA 10+350 sampai dengan STA 11+500, adapun detail potongan jalan seperti ditunjukkan pada Gambar 7 berikut.

Dari keseluruhan kegiatan pada pekerjaan jalan bebas hambatan Cisumdawu, pada penelitian ini kegiatan yang akan dikaji terbatas pada pekerjaan perkerasan jalan STA 10+700 sampai dengan STA 11+500 dengan panjang jalan 800m, selain karena pertimbangan pelaksanaan pekerjaan yang sedang berlangsung terbatas pada wilayah tersebut, penentuan lokasi penelitian pada titik ini dirasa cukup untuk mewakili secara keseluruhan jika ditinjau dari kondisi geografis pembangunan jalan bebas hambatan Cisumdawu secara keseluruhan. pada pekerjaan ini terdapat tiga proses utama yang terdiri dari operasi pekerjaan lapisan *subgrade*, pekerjaan lapisan *subbase*, dan lapisan perkerasan kaku. Adapun uraian sumberdaya yang digunakan pada pekerjaan tersebut seperti ditunjukkan pada Tabel 7 dan Tabel 8 berikut.

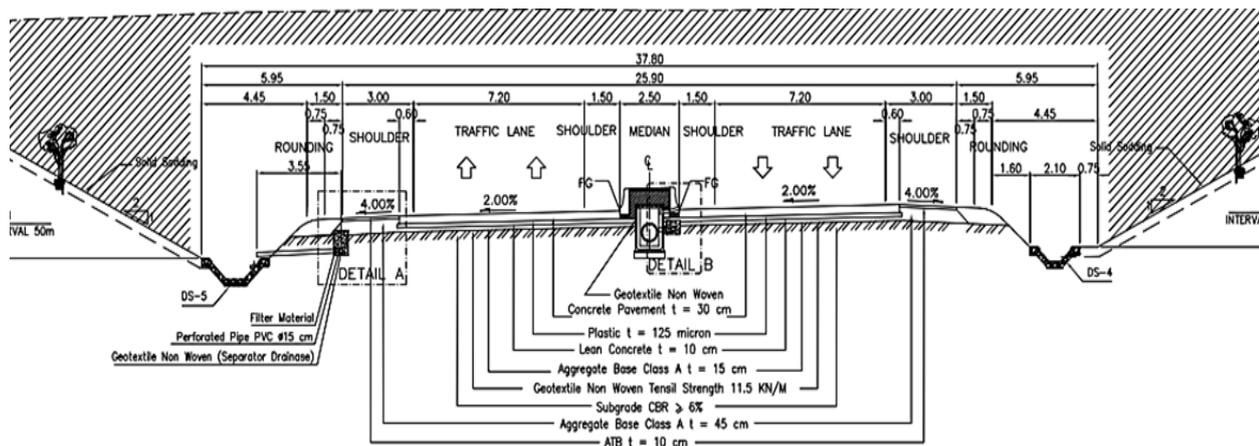
5. Estimasi Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca

Untuk memperoleh konsumsi energi dan dan emisi gas rumah kaca dari setiap kegiatan, maka akan dilakukan proses estimasi secara kuantitatif dengan menggunakan dasar perhitungan yang ada dan berlaku di Indonesia. Proses ini merupakan bagian dalam *life cycle inventory*, hasil dari estimasi tersebut selanjutnya dilakukan penilaian terhadap dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses pekerjaan jalan yang ditinjau (*life cycle impact assessment*). Pada tahap ini dilakukan proses karakterisasi (penyetaraan) dengan menggunakan faktor *global warming potential*. Untuk memperoleh estimasi konsumsi energi dari material konstruksi maka estimasi dilakukan dengan cara mengkalikan kuantitas material dengan *embodied energy* per-satuan unit, besarnya nilai *embodied*

energy diperoleh melalui pendekatan literatur ataupun penelitian terdahulu terkait material yang digunakan. Adapun besaran *embodied energy* yang digunakan pada analisis ini adalah *Plastic sheet* 125 micron (HDPE) 103 MJ/kg, baja tulangan 8.9 MJ/kg, *energy* semen mencapai 7.8 MJ/kg, *Coarse Aggregate* 0.1 MJ/kg, *Fine Aggregate* 0.1 Mj/kg (Baird, dkk., 1997).

Sementara itu untuk proses estimasi konsumsi energi pada tahap transportasi dan konstruksi, secara garis besar dilakukan dengan cara menghitung besaran konsumsi bahan bakar yang digunakan oleh setiap peralatan yang digunakan dalam satuan liter, dalam hal ini konsumsi bahan bakar diperoleh melalui total jam kerja alat selama melakukan pekerjaan dengan volume tertentu seperti ditunjukkan pada Tabel 9 dengan konsumsi bahan bakar per jam untuk setiap alat yang ditinjau, dikarenakan data konsumsi bahan bakar yang sulit didapatkan maka dengan ini konsumsi bahan bakar menggunakan suatu pendekatan literatur yakni diperoleh dari *specification & application handbook* ataupun literatur lainnya yang relevan untuk setiap peralatan yang digunakan. Estimasi konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca dilakukan untuk setiap proses kegiatan yang menyumbang besarnya konsumsi energi dan emisi yang meliputi material, transportasi, dan konstruksi.

Dari hasil estimasi yang telah dilakukan pada setiap operasi pekerjaan pembangunan jalan bebas hambatan Cisumdawu pada STA 10+700 Hingga STA 11+500, yang meliputi pekerjaan *subgrade*, pekerjaan *subbase*, pekerjaan perkerasan kaku (*rigid pavement*) didapatkan bahwa pekerjaan perkerasan kaku (*rigid pavement*) berkontribusi dominan sebesar 78.78% dari total emisi yang dihasilkan pada kegiatan pembangunan jalan tersebut, sementara pekerjaan *subgrade* berkontribusi sebesar 4.18% dan pekerjaan *subbase* berkontribusi sebesar 17.04%. Dari keseluruhan konsumsi energi dan emisi serta besaran dampak lingkungan yang dihasilkan, material berkontribusi sangat signifikan yakni sebesar 92.83%, jika dibandingkan dengan kegiatan transportasi yang berkontribusi sebesar 1.94% dan konstruksi yang berkontribusi sebesar 5.23%, seperti ditunjukkan pada Tabel 9 dan Tabel 10 berikut.



Gambar 7. Potongan trase jalan STA 10+700 sampai STA 11+500

Tabel 7. Volume dan spesifikasi material pada pekerjaan badan jalan STA 10+700 hingga STA 11+500

| Operasi | Pekerjaan | Volume Pekerjaan | Spesifikasi Material | Sumber Material |
|--|---------------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Subgrade | Galian | 845 m ³ | - | |
| | Timbunan | 406.6 m ³ | - | |
| Subbase | Geotextile | 15040 m ² | Non Woven Tensil Strength 11.5 KN/m | Jakarta (186 km) |
| | Aggregate base | 2256 m ³ | Type A(Tebal:15cm) | Lagadar, Bandung (51 km) |
| | Lean Concrete | 1504 m ³ | Type E (non-Structural) | Focon Indobeton, Sumedang (4.5 km) |
| | Plastic Sheet | 15040 m ² | Tebal 125 micron | Bandung (31km) |
| Pekerjaan Perkerasan Kaku (rigid pavement) | Dowel dan Tiebar | 76946,03 kg | Tie bar D13, Dowel D32 | Jakarta (186 km) |
| | Penghamparan beton tipe P | 4464 m ³ | Tebal 30 cm Tipe P (Fc'45) | Focon Indobeton, Sumedang (4.5 km) |
| | Curing | - | Air | Ciptasari, Sumedang (4.2 km) |

Tabel 8. Jenis dan spesifikasi peralatan pada pekerjaan badan jalan STA 10+700 hingga STA 11+500

| Operasi | Pekerjaan | Driver proses | Spesifikasi Alat | Jenis Bahan Bakar | |
|--|-----------------------------|------------------------------------|---|-------------------|-------|
| Subgrade | Gali & Muat | Excavator | Komatsu PC200 LC-8 | Solar | |
| | Pengangkutan Material | Dumptruck (Cap 25m ³) | Hino Kapasitas 25m ³ | Solar | |
| | Penghamparan & Pematatan | | Bull Dozer | Komatsu D68ESS-12 | Solar |
| | | | Vibratory Roller | SAKAI, SV 515D | Solar |
| | Tansport Agg. Base tipe A | Dump Truck | Hino Kpasitas 25m ³ | Solar | |
| Subbase | Grading & Leveling | Motor Grader | Komatsu GD661A-1 | Solar | |
| | Pematatan | Vibratory Roller | SAKAI, SV 515D | Solar | |
| | Transport beton tipe E (LC) | Dump Truck (Cap. 5m ³) | Toyota Dyna 300 SWB | Solar | |
| | Pengecoran beton tipe E | Concrete Vibrator | Honda GX160T2 | Bensin | |
| | Penghamparan Plastic sheet | - | - | - | |
| Pekerjaan Perkerasan Kaku (rigid pavement) | Fabrikasi Dowel dan tie bar | Genset 50 KVA | Hargen | Solar | |
| | Transport beton tipe P | Dump Truck (Cap. 5m ³) | Toyota Dyna 300 SWB | Solar | |
| | Penghamparan beton tipe P | Slipform Paver | Wirtgen SP500 | Solar | |
| Kegiatan di Batchingplant | Curing | Water Tank Truck | Toyota Dyna 300 SWB | Solar | |
| | Produksi Beton | Batchingplant + Genset | Concrete Mixer SICOMA, (Energy Supply by Genset Ex Caterpillar) | Solar | |
| | | | Wheel Loader | Komatsu WA 380-3 | Solar |

Tabel 9. Konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca pada pekerjaan jalan bebas hambatan Cisumdawu STA 10+700 hingga STA 11+500

| No. | Operasi | Proses | Volume | Konsumsi Energi (TJ) | Jumlah Emisi (kg) | | | Global Warming Potential (kgCO ₂ eq) | Kontribusi Proses (%) |
|--|--|----------------------------|-----------|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|---|-----------------------|
| | | | | | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | | |
| 1 | Pekerjaan Sub Grade | Gali dan Muat | 845.00 | 0.608 | 45,069.636 | 2.112 | 1.420 | 45,554.215 | 2.31% |
| | | Penghamparan dan Pematatan | 406.60 | 0,34375 | 36,713.379 | 1.493 | 0,2243056 | 36,844.849 | 1.87% |
| | | | | | | | | Jumlah 1 | 4.18% |
| 2 | Pekerjaan Sub Base | Pemasangan Geotextile | 15,040.00 | 0,100694444 | 10,762.466 | 0,303472222 | 0.090 | 10,799.526 | 0.55% |
| | | Pekerjaan Aggregate Base | 2,256.00 | 1.116 | 82,681.995 | 3.468 | 1.113 | 83,099.965 | 4.21% |
| | | Pekerjaan Lean Concrete | 1,504.00 | 2.569 | 240,864.759 | 3.616 | 3.736 | 242,098.795 | 12.28% |
| | | | | | | | | Jumlah 2 | 17.04% |
| 3 | Pekerjaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) | Pemasangan Plastic Sheet | 1,955.20 | 0,140277778 | 14,933.275 | 0,420138889 | 0,0840278 | 14,983.605 | 0.76% |
| | | Pekerjaan Dowel & Tiebar | 76,946.03 | 0,504861111 | 53,854.215 | 2.190 | 0,3284722 | 54,046.879 | 2.74% |
| | | Penghamparan Beton tipe P | 4,464.00 | 15.378 | 1,476,589.225 | 18.474 | 22.474 | 1,483,944.096 | 75.26% |
| | | Curing | 392.00 | 0.004 | 281.534 | 0.015 | 0.015 | 286.439 | 0.01% |
| | | | | | | | | Jumlah 3 | 78.78% |
| Total Konsumsi Energi & Emisi GRK Pada Pekerjaan Jalan STA 10+700 s.d 11+700 (800 meter) | | | | 21.244 | 1,961,750.483 | 32.411 | 29.765 | 1,971,658.369 | 100.00% |
| Total Konsumsi Energi & Emisi GRK Pada Pekerjaan Jalan per Satu Kilometer | | | | 26.555 | 2,452,188.104 | 40.513 | 37.207 | 2,464,572.961 | |

Tabel 10. Kontribusi kegiatan pada pekerjaan jalan bebas hambatan Cisumdawu STA 10+700 hingga STA 11+500 terhadap konsumsi energi dan emisi GRK

| Driver Proses | Estimasi Kebutuhan energi (TJ) | Jumlah Emisi (kg) | | | Global Warming Potential (kgCO ₂ eq) | Kontribusi Proses (%) |
|---------------|--------------------------------|-------------------|-----------------|------------------|---|-----------------------|
| | | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | | |
| Material | 19.342 | 1,820,840.594 | 26.242 | 26.925 | 1,829,738.295 | 92.80% |
| Transportasi | 0.515 | 38,166.208 | 2.009 | 2.009 | 38,831.104 | 1.97% |
| Konstruksi | 1.387 | 102,743.681 | 4.160 | 0.832 | 103,088.970 | 5.23% |
| Total | 21.244 | 1,961,750.483 | 32.411 | 29.765 | 1,971,658.369 | 100.00% |

Tabel 10 di atas menunjukkan bahwa material berkontribusi sebesar 92.80% dari total emisi gas rumah kaca pada proyek ini, bila ditelaah lebih jauh maka salah satu material yang paling dominan menyumbang emisi tersebut adalah material beton *type E* untuk pekerjaan *lean concrete* dan beton *type P* untuk pekerjaan *rigid pavement*. Material penyusun beton yang menyumbang emisi terbesar adalah semen, nilai *embodied energy* semen mencapai 7.8 MJ/kg, *Coarse Aggregate* 0.1 MJ/kg, *Fine Aggregate* 0.1 Mj/kg (Baird, dkk., 1997), produksi semen merupakan salah satu sub sektor industri yang berperan penting dalam pembangunan di Indonesia yang merupakan kontributor utama dari sub sektor industri mineral (Damayanti, 2013). Besarnya konsumsi energi dan emisi pada semen diakibatkan pada proses konsumsi bahan bakar fosil dan kalsinasi batu kapur dalam campuran mentah (*raw mix*) (Hendriks, et al., 2003). Namun demikian beberapa perusahaan semen nasional telah menetapkan kebijakan dalam upaya menurunkan emisi gas rumah kaca pada

proses produksinya yaitu dengan cara meningkatkan produksi *blended cement*, penggantian bahan perusak ozon, pemanfaatan biomass menjadi bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil, Implementasi teknologi berbasis ramah lingkungan, dan implementasi *clean development mechanism*.

6. Diskusi Mengenai Upaya dalam Mengurangi Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca

Meskipun kontribusi terbesar disumbangkan dari kegiatan hulu (produksi material) jika dibandingkan dengan kegiatan konstruksi yang dilakukan oleh kontraktor pelaksana, namun demikian kontraktor masih memiliki peran dalam upaya tersebut di atas. Berikut merupakan rangkuman dari upaya yang dapat dilakukan oleh kontraktor perencana untuk mengurangi konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca sebagai berikut.

Tabel 11. Matrik upaya perbaikan pengurangan konsumsi energi dan emisi GRK

| No. | Driver Proses | | Upaya Perbaikan Pada Pekerjaan Jalan Bebas Hambatan Cisumdawu | |
|----------|--------------------------|---------------|---|---|
| | | | Kondisi Ideal | Kondisi Aktual |
| 1 | Material | 92.80% | | |
| | <i>a. Subgrade</i> | 0.00% | Pemanfaatan material sisa galian (bila memenuhi spesifikasi) | Pemanfaatan material tanah sisa galian (tidak mendatangkan material tanah dari luar lokasi) |
| | <i>b. Subbase</i> | 15.03% | Menjaga material dari kerusakan | Material disimpan dengan baik dan didatangkan ketika akan digunakan (meminimalisir penyimpanan di lapangan) |
| | <i>c. Rigid Pavement</i> | 77.77% | Meminimalisir material yang terbuang dan ketidaksesuaian hasil pekerjaan. | Pelaksanaan pekerjaan dilaksanakan dengan baik, perhitungan volume pemesanan material dan koordinasi dengan pihak pemasok dilakukan dengan baik. |
| 2 | Transportasi | 1.97% | | |
| | <i>a. Subgrade</i> | 1.25% | <i>Disposal area</i> tidak jauh dari lokasi galian | Lokasi pembuangan material berada dekat dengan lokasi galian. (± 1 km) |
| | <i>b. Subbase</i> | 0.55% | Memperoleh material/alat dari lokasi terdekat | Peralatan diambil dari lokasi yang cukup jauh dari lokasi pekerjaan (ketersediaan alat) |
| | <i>c. Rigid Pavement</i> | 0.17% | | Pemilihan lokasi pengambilan material (<i>subbase</i>) tidak sepenuhnya diperoleh dari sumber terdekat dengan proyek (penentuan lokasi perolehan material berdasarkan mutu, biaya, waktu) |
| | | | Pemilihan jenis angkutan material | Pemilihan jenis angkutan material disesuaikan dengan kondisi lokasi pekerjaan (material beton) |
| 3 | Konstruksi | 5.23% | | |
| | <i>a. Subgrade</i> | 2.93% | Operator berpengalaman dan memahami medan | Operator cukup berpengalaman dalam pekerjaan yang sama |
| | <i>b. Subbase</i> | 1.46% | Pemeriksaan/pengecekan kondisi alat berat | Pemeriksaan dan pengecekan dilakukan rutin sebelum pekerjaan dimulai |
| | <i>c. Rigid Pavement</i> | 0.84% | Metode pekerjaan yang tepat dengan kondisi medan | Metode pekerjaan direncanakan dengan baik, (pentahapan pekerjaan dan pemilihan alat yang digunakan) |

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa upaya perbaikan pengurangan konsumsi energi dan emisi dapat dilakukan dengan cara menerapkan praktik konstruksi yang efektif dan efisien yang di antaranya memanfaatkan sumberdaya yang ada baik berupa material dan alat dengan sebaik-baiknya, serta menyesuaikan metode pekerjaan dengan kondisi lingkungan sekitar proyek. Selain itu hendaknya pelaksanaan pekerjaan dapat mengedepankan nilai-nilai kepedulian terhadap lingkungan terutama dalam kaitan konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca dapat dihadirkan oleh setiap unsur yang terlibat pada pekerjaan tersebut, hal ini akan terimplementasikan

dengan baik jika pengguna jasa (*owner*) mampu untuk menghantarkan nilai-nilai tersebut ke penyedia jasa (kontraktor pelaksana) dan rantai pasoknya.

7. Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilaksanakan pada penelitian ini maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Estimasi konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari kegiatan pada pekerjaan jalan bebas hambatan Cisumdawu STA 10+700 hingga STA 11+500 (800 meter) adalah sebagai berikut,

pekerjaan perkerasan kaku berkontribusi 78.78% terhadap besaran dampak lingkungan yang dihasilkan, sedangkan pekerjaan subbase berkontribusi 17.04% dan pekerjaan subgrade berkontribusi 4.18%.

2. Dari keseluruhan kegiatan, material berkontribusi sebesar 92.80% dari total besaran dampak lingkungan yang dihasilkan, sementara itu kegiatan transportasi berkontribusi 1.97% dan kegiatan Konstruksi berkontribusi 5.23%.
3. Material berkontribusi besar dalam menyumbang emisi gas rumah kaca, kegiatan tersebut merupakan suatu kegiatan hulu (sektor Industri) dan berada diluar sektor konstruksi sehingga dalam upaya mengurangi konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca salah satu kegiatan yang potensial untuk ditangani adalah proses kegiatan produksi material.
4. Salah satu upaya untuk mengurangi konsumsi energi dan emisi pada kegiatan konstruksi adalah dengan cara melaksanakan praktek pekerjaan yang efektif dan efisien.
5. Sebagai upaya perbaikan dalam mengurangi konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca pada setiap proses pekerjaan jalan hendaknya mengedepankan nilai-nilai kepedulian terhadap lingkungan terutama dalam konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca dapat dihadirkan oleh setiap unsur yang terlibat pada pekerjaan tersebut, hal ini akan terimplementasikan dengan baik jika pengguna jasa (*owner*) mampu untuk mendeliver nilai-nilai tersebut ke penyedia jasa (kontraktor pelaksana) dan rantai pasoknya.

Daftar Pustaka

- Aly, M.A., 2004, *Teknologi Perkerasan Jalan Beton Semen*, Yayasan Pengembangan Teknologi dan Manajemen, Jakarta.
- Baird, dkk., 1997, *The energy embodied in building materials-updated New Zealand coefficients and their significance*, IPENZ Conference.
- Badan Pusat Statistik, 2015, *Panjang Jalan Menurut Tingkat Kewenangan, 1987-2015 (Km)*, <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/808>. Di akses 22 Januari 2015.
- Birgisdóttir, H., 2005, *Life cycle assessment model for road construction and use of residues from waste incineration*, Technical University of Denmark.
- Damayanti, Seny., 2013, *Inventarisasi Emisi Co2 Dari Proses Kalsinasi Pada Industri Semen Di Indonesia Berdasarkan Ippc Guidelines 2006*, Program Studi Teknik Lingkungan, ITB.
- Hendriks, C.A., Worrell, E., de Jager, D., Blok, K., & Riemer, P., 2003, *Emission Reduction of Greenhouse Gases from the Cement Industry*. Greenhouse gas control technologies conference paper – cement, Ecofys Energy and Environment, Utrecht, the Netherlands, and Berkeley National Laboratory, Berkeley, California.
- Hermawan, 2013, *Peran life cycle analysis (LCA) pada material konstruksi dalam upaya menurunkan dampak emisi karbon dioksida pada efek gas rumah kaca*, Manajemen Rekayasa Konstruksi, ITB.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2006, *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2: Energy*. IPCC.
- ISO 14040: 2006, *Environmental management, Life cycle management, Principles and framework*.
- ISO 14042:2000, *Environmental management, Life cycle assessment, Life cycle impact assessment*.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2010, *Indonesia Energy Outlook 2010*, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2010, *Indonesia Second National Communication Under The United Nations Framework Convention on Climate Change (ISNC UNFCCC)*, Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup, 2012, *Pedoman penyelenggaraan inventarisasi GRK nasional Buku II-volume I*, Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Komatsu, 2009, *Specifications & Application Handbook Edition 30*, Komatsu, Japan.
- Ministry of Environment Republic of Indonesia, 2010, *Indonesia Second National Communication Under The United Nations Framework*, Ministry of Environment Republic of Indonesia, Jakarta.
- Undang-Undang Republik Indonesia No. 23 Tahun 1997, *Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup*, Jakarta.
- Undang-Undang Republik Indonesia No. 17 Tahun 2004, *Tentang Pengesahan Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, Jakarta.
- US Environmental Protection Agency [US-EPA], 2009, *Potential for Reducing Greenhouse Gas Emissions in the construction sector*, Washington, DC