

Estimasi Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca pada Pekerjaan Pengaspalan Jalan

Reini D. Wirahadikusumah

Kelompok Keahlian Manajemen dan Rekayasa Konstruksi, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No. 10 Bandung 40132, Email:wirahadi@si.itb.ac.id

Hengki Putra Sahana

Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No. 10 Bandung 40132, Email:hengkyputra@yahoo.com

Abstrak

Sektor konstruksi adalah salah satu kontributor utama pembangunan ekonomi nasional. Namun di lain pihak, proses konstruksi serta penggunaan fasilitas infrastruktur dan bangunan adalah juga penyumbang emisi gas CO₂ dan mengkonsumsi energi yang cukup besar. Inventarisasi dampak lingkungan akibat berbagai aktivitas konstruksi diperlukan agar upaya-upaya perbaikan dapat dilakukan lebih efektif. Salah satu aktivitas konstruksi yang diduga mengkonsumsi energi cukup besar adalah pekerjaan pengaspalan jalan, khususnya yang menggunakan campuran aspal panas. Dengan mengumpulkan data mengenai konsumsi bahan bakar yang digunakan pada berbagai tahap pekerjaan pengaspalan jalan pada dua studi kasus, dilakukan perhitungan estimasi konsumsi energi dan emisi GRK, yang mengacu pada prosedur IPCC. Kajian dibatasi pada aktivitas yang terkait langsung pada sektor jasa konstruksi, yaitu i). Tahap produksi campuran aspal panas, ii). Tahap transportasi material dan iii). Tahap pelaksanaan pekerjaan pengaspalan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa proses pengeringan agregat adalah proses yang paling dominan yaitu mengkonsumsi energi sekitar 68%, dan emisinya sekitar 70-75% dari keseluruhan tahapan. Estimasi ini lebih lanjut dapat dilakukan untuk berbagai skenario metoda pekerjaan pengaspalan jalan, sehingga dapat diketahui metoda yang melibatkan proses-proses yang paling optimal dalam meminimalkan dampak lingkungan. Lebih jauh, perhitungan estimasi yang disajikan dapat memberikan gambaran umum mengenai kebutuhan energi dan emisi gas rumah kaca terkait pekerjaan pengaspalan jalan secara nasional.

Kata-kata Kunci: Konsumsi, energi, emisi, gas rumah kaca, konstruksi, jalan, aspal panas, lingkungan.

Abstract

While construction sector contributes to the national economic development, the construction process and building use consume significant energy and create substantial CO₂ emissions. The first effort in this context is to understand to quantitative impacts of construction activities to the environment. This study attempts to provide some estimates on this issue, focusing on the road construction projects particularly using hot mix asphalt. The estimates of energy consumptions and CO₂ emissions from two case studies were calculated based on IPCC guidelines. These estimates were limited to three phases of HMA road projects, i.e., the process of mixing at the AMP, the transportation to the sites, and the HMA application at project sites. The findings indicate that aggregate drying process at the AMP is the most contributor to the energy consumptions (68%) and emissions (70-75%) of the overall three phases observed. The presented methodology can be used to calculate the environmental impacts of different scenarios in road construction projects and recommending the optimal application technique (selection of main construction machines and equipment's). Furthermore, with larger data sets and complete variations of cases, similar estimates can be used and compiled to provide national projections of energy consumptions and emissions contributed by HMA road construction projects.

Keywords: Energy, consumption, green house gas, emission, construction, road, hotmix asphalt, environment.

1. Konstruksi dan Dampak Lingkungan

Konstruksi adalah salah satu sektor penting pendukung pembangunan ekonomi nasional. Data BPS menunjukkan kontribusi sektor konstruksi terhadap PDB nasional yang semakin meningkat dari 7,0% pada tahun 2005 menjadi 9,9% pada tahun 2009. Nilai konstruksi pada tahun 2009 adalah Rp. 46,6 triliun untuk jenis pekerjaan bangunan sipil yang merupakan 42% dari total nilai konstruksi, sedangkan pekerjaan konstruksi bangunan gedung mencakup sebesar 36,1%. Dalam hal penciptaan lapangan kerja, peranan sektor konstruksi juga signifikan yaitu mampu menyerap tenaga kerja sekitar 5,2% dari keseluruhan tenaga kerja produktif nasional.

Dalam konteks pembangunan nasional, di samping melakukan berbagai upaya untuk meningkatkan keahlian di bidang teknik, para pelaku sektor jasa konstruksi selayaknya senantiasa menyadari dampak aktivitas konstruksi terhadap lingkungan sekitar. Kontribusi positif sektor konstruksi tersebut di sisi lain menimbulkan dampak lingkungan yang cukup besar pula termasuk tingkat konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca (GRK).

Di Indonesia, data kuantitatif (misalnya dalam parameter konsumsi energi dan emisi GRK) mengenai dampak aktivitas konstruksi terhadap lingkungan sulit didapatkan. Namun indikasinya secara tidak langsung dapat dianalogikan dengan data di negara lain. Di Amerika Serikat misalnya, penelitian-penelitian yang dilakukan oleh US-EPA (2009) menunjukkan bahwa sektor konstruksi menghasilkan sekitar 1,7% dari total emisi GRK atau ekuivalen dengan 6% dari nilai emisi seluruh sektor industri. Angka tersebut masih belum termasuk industri pendukung konstruksi seperti industri semen, industri baja tulangan, industri kayu dan sebagainya. Jika semua nilai emisi industri pendukung tersebut dimasukkan, maka sektor konstruksi berkontribusi 20% dari keseluruhan emisi sektor industri, yaitu setara dengan 0,4 juta ton emisi CO₂.

Fakta lain di Uni-Eropa menunjukkan bahwa produk dan proses konstruksi merupakan pengonsumsi energi yang terbesar. Bangunan gedung dan fasilitas infrastruktur fisik lain diperkirakan menghasilkan 30 % emisi CO₂ dan mengonsumsi 40% dari total energi dan air bersih (CIB, 1999). Sebuah penelitian di Jepang oleh Oka, et al.(1993) tentang konsumsi energi dan polusi dalam pembangunan gedung menyimpulkan bahwa kebutuhan energi konstruksi bangunan adalah 8-12 GJ/m² dan memproduksi 750-1140 kg emisi CO₂ per meter luas lantai bangunan. Khusus pada konstruksi jalan, sebuah penelitian tentang *life cycle assessment* terhadap dampak lingkungan pekerjaan pembangunan jalan baru di Texas Amerika Serikat, menyimpulkan bahwa terdapat emisi 18,56 ton CO₂ pada pembangunan 3,2 mil proyek jalan tersebut (Rajagopalan, 2007).

Pada era kini yang mana ketersediaan sumberdaya alam sudah semakin terbatas, seluruh aktivitas industri wajib peduli dan memperbaiki proses kegiatannya untuk menjadi industri yang lebih efisien. Terlebih lagi di negara berkembang seperti Indonesia, sektor konstruksi tidak dapat menunda upaya penurunan dampak negatif terhadap lingkungan yang perlu dimulai dengan mendapatkan gambaran kuantitatif estimasi konsumsi energi dan emisi GRK dari suatu proyek konstruksi.

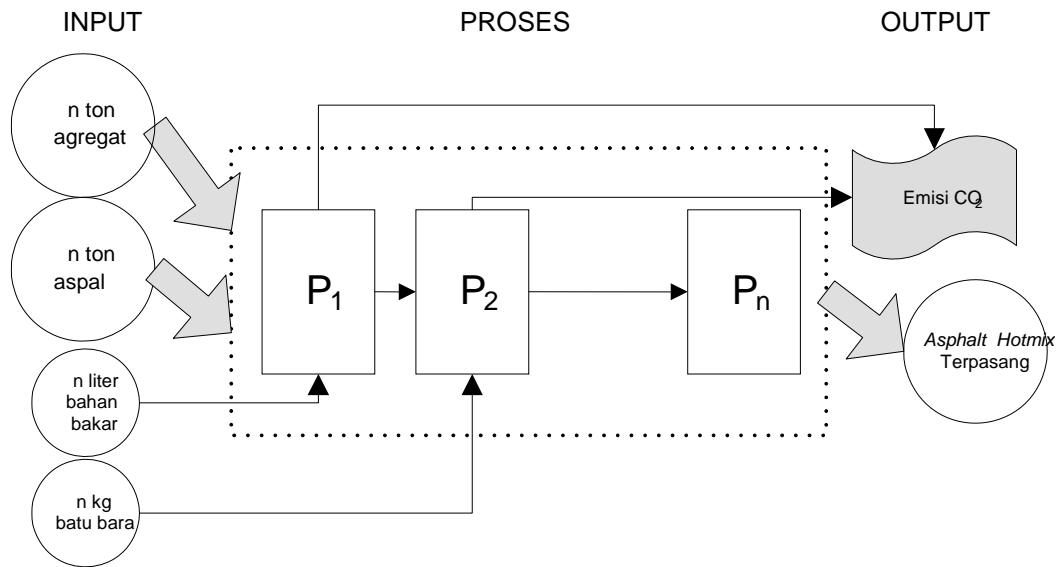
Dari berbagai jenis aktivitas konstruksi, studi ini fokus pada pekerjaan pengaspalan jalan karena diduga menghasilkan GRK yang besar, khususnya metode campuran aspal panas. Kajian ini menjelaskan perhitungan estimasi emisi GRK dan konsumsi energi pada pekerjaan pengaspalan jalan dapat digunakan untuk berbagai tujuan yaitu: i). Mengetahui nilai estimasi kuantitatif emisi GRK dan konsumsi energi yang merupakan bagian dari analisis dampak lingkungan proyek konstruksi, ii). Sebagai parameter untuk membandingkan nilai estimasi emisi GRK dan konsumsi energi pada proyek-proyek yang metoda/material konstruksinya berbeda.

Berdasarkan nilai estimasi emisi GRK dan konsumsi energi maka dapat dianalisis dan dioptimalkan penggunaan material dan metoda konstruksi. Lebih lanjut, perhitungan estimasi kontribusi emisi GRK dan konsumsi energi dari pekerjaan pengaspalan jalan secara nasional dapat diproyeksikan.

2. Pekerjaan Pengaspalan Jalan

Pekerjaan pengaspalan jalan atau juga dikenal sebagai konstruksi perkerasan lentur adalah salah satu aktivitas konstruksi yang banyak dilakukan di Indonesia setiap tahunnya. Berdasarkan data BPS, panjang jalan di Indonesia pada tahun 2008 secara keseluruhan mencapai 437.359 km. Dari keseluruhan jalan tersebut 59,1% diantaranya menggunakan jenis perkerasan aspal. Hal itu menyebabkan kebutuhan aspal nasional sangat besar yaitu mencapai 1,2 juta ton per tahun (Kompas, 2009).

Salah satu jenis pekerjaan konstruksi yang diduga menghasilkan banyak emisi gas rumah kaca adalah pekerjaan pengaspalan jalan khususnya dengan metode campuran aspal panas. Hal ini disebabkan oleh karakteristik metode konstruksi tersebut yang mensyaratkan material yang digunakan dengan suhu yang tinggi (>100⁰C). Dengan demikian, energi yang dibutuhkan pada proses pengolahan material *hotmix asphalt* menjadi lebih besar. Input energi tersebut terutama diperoleh dari hasil pembakaran bahan bakar fosil yang merupakan senyawa-senyawa karbon seperti mentah dan batu bara. Secara umum, **Gambar 1** menjelaskan potensi emisi gas rumah kaca pada proses-proses yang tercakup pada pekerjaan pengaspalan jalan sebagai reaksi pembakaran sempurna senyawa hidrokarbon $C_xH_y + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$.



Gambar 1. Emisi gas rumah kaca (CO₂) pada proses konstruksi pengaspalan jalan

Material perkerasan lentur merupakan campuran antara agregat yang biasanya terbuat dari kerikil pecahan batu alam, material pengisi (*filler*) yang merupakan serbuk pasir halus yang lolos saringan No.200, dan aspal semen cair. Aspal terbuat dari suatu turunan hidrokarbon yang umumnya merupakan residu hasil penyulingan minyak mentah. Aspal berwujud padat atau semi-padat pada temperatur normal, mempunyai sifat tidak menguap dan secara berangsur-angsur akan melunak apabila dipanaskan (Asphalt Institute, MS 22, 1983). Aspal yang banyak digunakan sebagai material perkerasan adalah aspal keras pen 60/70, memiliki tingkat penetrasi 60 s.d. 79 pada suhu 25°C. Aspal tersebut memiliki titik lembek pada suhu 48-580°C dan titik nyala minimum 200°C (SNI 06-2434-1991).

Ada beberapa metode pelaksanaan perkerasan lentur yang dikenal di Indonesia, diantaranya adalah metode Telford, metode Makadam dan metode pra-campur yang antara lain terbagi menjadi campuran panas (*hotmix*) dan campuran dingin (*coldmix*) (Alamsyah, A.,2006). Jenis material perkerasan lentur yang dikenal di Indonesia dengan metode campuran panas, antara lain LASTON (Lapis Aspal Beton) atau *Asphaltic Concrete* (AC), LATASTON (Lapis Tipis Aspal Beton), HRA (*HotRolled Asphalt*). Keunggulan metode pra-campur secara umum adalah karena pencampuran antara aspal dan agregat dilakukan dengan lebih baik sehingga dihasilkan kestabilan yang tinggi. Konstruksi dengan metode ini mampu menahan beban lalu lintas berat dan tinggi serta memiliki tingkat durabilitas yang baik (Dirjen Binamarga PU, 1999). Karena lebih praktis dan mempunyai kualitas lebih baik, metode pengaspalan campuran aspal panas saat ini banyak digunakan di Indonesia. Campuran aspal panas biasanya digunakan untuk jalan dengan beban lalu lintas yang cukup besar. Tercatat saat ini terdapat 650 buah

pabrik pencampuran aspal atau *asphalt mixing plant* (AMP) di Indonesia dengan kapasitas berkisar 500 kg sampai 2000 kg campuran aspal per-*batch* (AABI, 2011). Pada penelitian ini, estimasi konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca fokus pada proses-proses yang tercakup pada metode pelaksanaan perkerasan lentur dengan menggunakan campuran aspal panas.

Siklus keseluruhan suatu material perkerasan jalan sangat panjang yaitu mulai dari pengambilan material dasar dari alam, sampai menjadi material perkerasan jalan terpasang, dan akhirnya dibongkar dan tidak digunakan lagi. Seperti diuraikan oleh Miller dan Bahia (2009) pada **Gambar 2**, keseluruhan siklus tersebut melibatkan berbagai pelaku sektor industri termasuk pertambangan, manufaktur dan konstruksi. Kajian estimasi emisi GRK dan konsumsi energi pada makalah ini dibatasi pada aktivitas yang terkait langsung pada sektor jasa konstruksi. Bagian siklus proses yang diamati pada rantai pasok pekerjaan pengaspalan jalan meliputi tiga tahapan yaitu: 1). Tahap produksi campuran aspal panas, 2). Tahap transportasi material dan 3). Tahap pelaksanaan pekerjaan pengaspalan.

a. Tahap produksi campuran aspal panas

Proses pencampuran material di AMP tipe *batch mixing plant* dimulai dengan pemindahan material berupa 4 jenis ukuran agregat dari lokasi penimbunan ke *cold bins* dengan menggunakan alat berat *loader*. Selanjutnya, agregat dipindahkan lagi dengan *conveyor belt* ke dalam tabung pengering (*dryer drum*). Di dalam tabung pengering, agregat kemudian dipanaskan dengan cara dibakar pada suhu 160°C s.d. 200°C. Tabung pengering biasanya dilengkapi dengan tungku bakar dengan beberapa variasi bahan bakar seperti batubara, solar, minyak mentah, minyak residu, gas

dan sebagainya. Proses selanjutnya adalah pemindahan agregat yang telah dipanaskan melalui *hot elevator* menuju saringan (*screener*) dan agregat yang sudah tersaring masuk ke dalam *hot bins* sesuai dengan ukuran yang berbeda-beda. Dari *hot bins* agregat masuk ke dalam timbangan yang dapat mengatur komposisi agregat yang akan dicampur dalam pengaduk (*mixer*) dengan aspal panas.

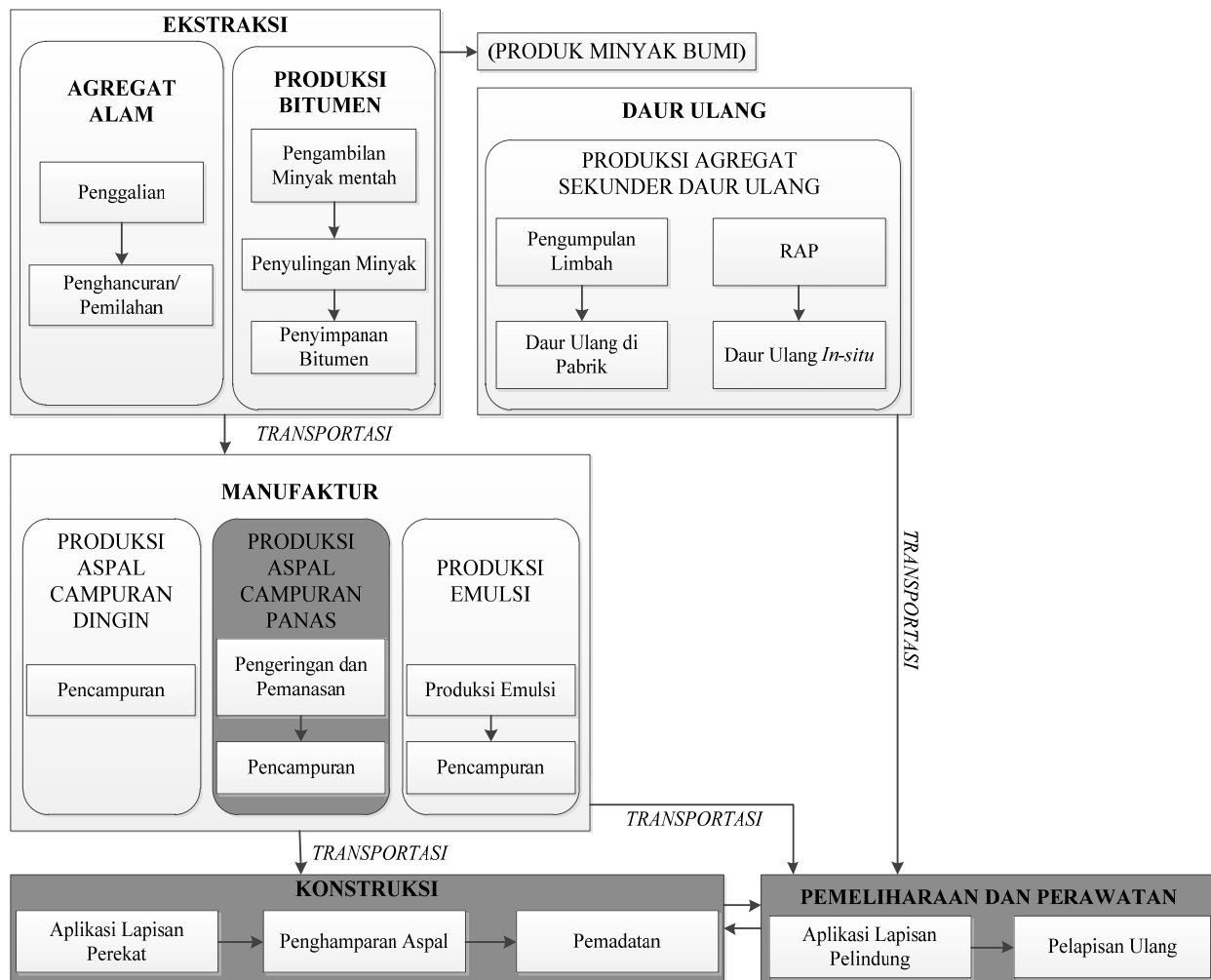
b. Tahap transportasi material

Setelah tahap pencampuran material di AMP, tahap selanjutnya adalah transportasi campuran aspal ke lokasi proyek. Proses pengangkutan pada umumnya menggunakan truk pengangkut (*dump truck*). Campuran aspal panas dari *mixer* langsung dimuat ke dalam truk pengangkut yang menunggu di bawah *mixer*. Truk yang sudah penuh selanjutnya melewati jembatan timbang yang berada di pintu keluar AMP dan kemudian mengangkut campuran aspal panas ke lokasi proyek.

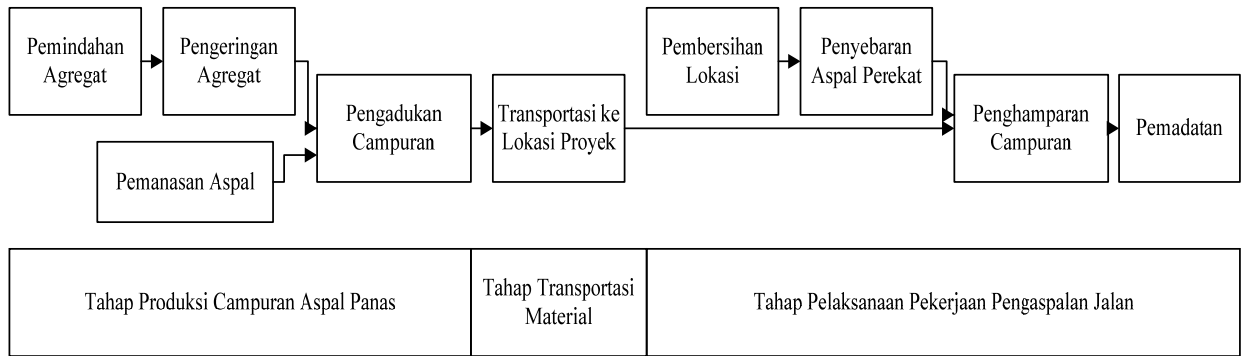
c. Tahap pelaksanaan pekerjaan pengaspalan

Pada tahap pelaksanaan konstruksi pengaspalan, ada beberapa peralatan yang digunakan yaitu peralatan penghamparan aspal (*asphalt paver*), peralatan pemadatan aspal (*tandem roller* dan *tire roller*), kompresor udara sebagai alat untuk pembersihan permukaan perkerasan, serta beberapa peralatan pendukung (*Asphalt Institute*, 1983).

Selanjutnya, cakupan perhitungan estimasi konsumsi energi dan emisi GRK diuraikan sesuai dengan penjelasan pada **Gambar 3**. Secara spesifik, “Tahap produksi campuran aspal panas” meliputi empat proses yaitu pemindahan agregat, pengeringan agregat, pemanasan aspal, dan pengadukan campuran. “Tahap transportasi material” adalah proses pengangkutan ke lokasi proyek, sedangkan “tahap pelaksanaan pekerjaan pengaspalan” mencakup pembersihan lokasi, penyebaran aspal perekat, penghamparan campuran, dan pemadatan.



Gambar 2. Siklus hidup material perkerasan aspal (Miller & Bahia, 2009)



Gambar 3. Bagian siklus yang diamati pada pekerjaan pengaspalan jalan HMA

3. Metoda Estimasi

Emisi gas rumah kaca adalah hasil pembakaran bahan bakar yang terdiri dari karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄) dan dinitro oksida ((N₂O)). Hampir semua karbon yang terkandung pada minyak (99) dikonversi menjadi CO₂ pada proses pembakaran bahan bakar minyak. Konversi tersebut relatif tergantung pada konfigurasi pembakaran karena emisi karbon monoksida (CO) akan mengurangi emisi CO₂, namun jumlah CO yang dihasilkan sangat kecil bila dibandingkan dengan jumlah CO₂ yang diproduksi. Metana (CH₄) dihasilkan dalam jumlah yang tidak signifikan pada suatu proses pembakaran. Sama halnya dengan CO, metana hanya terbentuk pada pembakaran yang tidak sempurna, yaitu pembakaran yang terjadi pada temperatur rendah yang biasanya terjadi pada awal dan akhir dari siklus pembakaran. Sedangkan dinitro oksida (N₂O) terbentuk dalam reaksi kompleks pembakaran yaitu terjadi apabila temperatur pembakaran tinggi (di atas 1475⁰F). Jumlah N₂O yang dihasilkan lebih kecil dari 1% dari total emisi suatu proses pembakaran (Pakrasi & Davis, 2000).

Karena komponen GRK yang paling dominan dihasilkan pada pembakaran bahan bakar adalah gas karbon dioksida (CO₂), maka estimasi emisi dan konsumsi energi didasarkan pada faktor emisi gas CO₂, yang mengacu pada panduan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) tahun 2006. Estimasi jumlah emisi CO₂ per-ton produksi material perkerasan, mengacu pada persamaan pada panduan IPCC adalah seperti dijelaskan pada **Persamaan (1)**.

$$\text{Emisi GRK } \left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{ton}} \right) = \frac{\text{Konsumsi Energi (Mj)} \times \text{Faktor Emisi } \left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{Mj}} \right)}{\text{Total Produksi (ton)}} \quad (1)$$

Metode analisis yang digunakan untuk estimasi konsumsi energi adalah dengan konversi penggunaan bahan bakar kepada satuan energi standar (*Joule*). Untuk mendapatkan angka konsumsi energi dalam setiap produksi 1 Mg (ton) material perkerasan, perhitungannya menggunakan **Persamaan (2)**.

$$\text{Konsumsi Energi } \left(\frac{\text{Mj}}{\text{ton}} \right) = \frac{\text{Konsumsi Bahan Bakar (liter)} \times \text{Calorific Value } \left(\frac{\text{Mj}}{\text{liter}} \right)}{\text{Total Produksi (ton)}} \quad (2)$$

Dengan menggunakan **Persamaan (1)** dan **(2)** diperoleh angka estimasi emisi dan kebutuhan energi pada tahap produksi campuran aspal panas, tahap transportasi material, dan tahap pelaksanaan pekerjaan pengaspalan.

3.1 Faktor emisi dan faktor konversi energi

Faktor Emisi adalah nilai representatif yang menunjukkan kuantitas suatu polutan yang dilepaskan ke atmosfer akibat suatu kegiatan yang terkait dengan sumber polutan. Faktor ini biasanya dinyatakan dalam berat polutan per satuan berat, volume, jarak, atau lamanya aktivitas yang mengemisikan polutan. Misalnya, partikel yang diemisikan sebanyak berapa kilogram per megagram batubara yang dibakar (IPCC, 2006). Emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar tergantung pada beberapa hal yaitu jenis bahan bakar, komposisi komponen penyusun minyak, tipe dan ukuran mesin bakar (*boilers*), metode pembakaran, dan tingkat perawatan dari peralatan/mesin.

Pada umumnya, bahan bakar yang digunakan untuk keperluan mesin/alat konstruksi adalah bahan bakar solar (*diesel fuel*) yang mengandung karbon (86.4%), hidrogen (12.7%), sulfur (0.4-1.5%), oksigen dan nitrogen (0.2%), serta kandungan sedimen dan air dalam jumlah kecil (Pakrasi & Davis, 2000). IPCC (2006) mengeluarkan panduan mengenai besarnya faktor emisi untuk pembakaran berbagai tipe bahan bakar. Faktor emisi seperti diuraikan pada **Tabel 1** adalah nilai-nilai yang menggunakan asumsi kandungan karbon (*carbon content*) 716.5 g C/liter untuk minyak mentah (*crude oil*) dan 727.0 g C/liter untuk bahan bakar diesel.

Tabel 1. Faktor konversi energi dan faktor emisi bahan bakar (IPCC, 2006)

Jenis Bahan Bakar	Density (kg/ltr)	Calorific Value		Emission Factor	
		(GJ/Mg)	(MJ/ltr)	(kg CO ₂ /GJ)	(kg CO ₂ /ltr)
Minyak Mentah (Crude Oil)	0.847	42.30	35.83	73.30	2.63
Solar (Diesel fuel)	0.837	43.00	35.99	74.10	2.67
Batubara (Bituminous Coal)		25.80		94.60	

IPCC juga menjelaskan mengenai nilai kalor (*calorific value*). *Calorific value* adalah besaran kalor standar yang dihasilkan dari pembakaran setiap satuan massa bahan bakar. Satuannya adalah satuan energi dibagi satuan massa bahan bakar, misalnya gigajoule (GJ) per megagram (Mg). Nilai ini digunakan untuk menghitung konversi energi dari penggunaan bahan bakar minyak mentah dan batu bara.

4. Estimasi pada Studi Kasus

Kajian ini dirancang sebagai studi eksplorasi (*exploration study*) pada studi kasus dengan tujuan untuk i). Menghitung estimasi konsumsi energi dan emisi GRK aktivitas konstruksi pengaspalan jalan (campuran aspal panas) dan ii). Mengidentifikasi proses pada aktivitas konstruksi pengaspalan jalan yang dampak lingkungannya perlu lebih diperhatikan.

4.1 Deskripsi studi kasus

Pengumpulan data pada studi kasus dilakukan melakukan survei ke dua perusahaan kontraktor pekerjaan pengaspalan jalan. Data yang didapatkan mencakup data tentang produksi dan data mengenai mekanisme pencatatan yang berhubungan dengan konsumsi bahan bakar di perusahaan tersebut. Kedua kontraktor yang dipilih sebagai studi kasus adalah kontraktor yang memiliki fasilitas lengkap yaitu AMP, truk pengangkut dan peralatan konstruksi pelaksanaan pengaspalan jalan. Kedua kontraktor merupakan produsen campuran aspal sekaligus pelaksana konstruksi pengaspalan jalan dengan material campuran aspal panas. Wilayah operasional kedua kontraktor adalah di Jakarta dan sekitarnya dan Jawa Barat.

Data yang digunakan untuk menghitung estimasi konsumsi energi dan emisi GRK adalah data bulanan produksi campuran aspal panas, data bulanan penggunaan bahan bakar, dokumen evaluasi tahunan, dan data penggunaan peralatan konstruksi. Data

tersebut mencakup data pada kurun waktu sekitar 2010-2011.

a. Deskripsi Studi Kasus I

Kontraktor pada studi kasus I menyajikan data 145 proyek pekerjaan pengaspalan jalan yang dilaksanakan pada tahun 2010 dan 34 proyek yang dilaksanakan pada periode Januari 2011 sampai April 2011. Kontraktor ini memiliki *asphalt mixing plant* (AMP) yang berjenis *batch mixing plant* dengan kapasitas produksi maksimum 90 ton/jam dan 1,5 ton per batch.

Pada tahun 2010, volume pekerjaan yang dilaksanakan adalah 81.797 ton, sedangkan pada tahun 2011, volume pekerjaan yang telah dilaksanakan adalah 14.966 ton.

b. Deskripsi Studi Kasus II

Kontraktor pada studi kasus II menyajikan data berdasarkan 61 proyek pekerjaan pengaspalan jalan (campuran aspal panas) selama Oktober-Desember 2010. Sama seperti Kontraktor I, kontraktor inipun memiliki unit *asphalt mixing plant*. AMP tersebut berkapasitas maksimum 120 ton/jam.

Pada Oktober 2010 volume pekerjaan pengaspalan jalan yang dilaksanakan adalah 15.321 ton untuk 18 proyek. Pada November 2010, volume pekerjaan yang dilaksanakan adalah 17.494 ton untuk 31 proyek. Sedangkan pada Desember 2010, volume pekerjaannya adalah 12.260 untuk 12 proyek.

Peralatan konstruksi yang digunakan oleh kedua kontraktor hampir sama. Seperti diuraikan pada **Tabel 2**, khusus pada alat pengering, jenis bahan bakar untuk *drum dryer* yang digunakan berbeda pada Kasus I dan Kasus II. Pada Kasus II, pengeringan agregat menggunakan peralatan yang menggunakan bahan bakar batubara; sedangkan pada Kasus I, pengering agregat pada umumnya menggunakan bahan bakar solar namun terkadang juga menggunakan bahan bakar alternatif yaitu minyak mentah.

4.2 Data produksi aspal campuran panas

Berdasarkan data laporan bulanan pemakaian material dan laporan produksi bulanan diperoleh data jumlah campuran aspal panas yang dilaksanakan sebagai acuan untuk menghitung jumlah konsumsi energi dan jumlah emisi gas rumah kaca per-ton material terpasang. Pada **Tabel 3** ditampilkan data jumlah produksi aspal campuran panas dalam satuan ton yang mencakup data 16 bulan produksi yang tersedia di studi kasus I dan tiga bulan data produksi di studi kasus II.

Tabel 2. Perbandingan spesifikasi peralatan studi kasus I dan II

Tahap	Proses	Alat Utama	SpesifikasiAlat	
			Studi Kasus I	Studi Kasus II
Produksi campuran aspal panas (AMP)	Pemindahan Agregat	wheel loader	Komatsu WA200; Kapasitas Bucket 2.2 m3, TP:2003	Hitachi LX100 1.7 m3, TP:2000 dan Kawasaki NI70 kap. 2.2 m3 TP: 2000
	Pengeringan Agregat	dryer drum	Oil dryer burner	Coal dryer burner
	Pemanasan Aspal	oil heater dan elemen	Generator set (500 KVA)	Genset CUNMIN (175 KVA); TP 1998
Transportasi Material	Pengadukan Campuran	conveyor belt, hot elevator, mixer	Generator set (375 KVA dan 500 KVA)	Genset CAT 600 KVA, Detroit 500KVA
	Transportasi ke Lokasi Proyek	dump truck	Dump Truck Toronton, Daya Angkut 25 Ton	Truk enkel HINO kapasitas 16 ton; Truk Toronton kapasitas 25 ton.TP 1989
Pelaksanaan Pekerjaan Pengaspalan	Pembersihan Lokasi	air compressor	Airmad PDS 175, TP: 1996	Airmad 60 HP, TP: 1997 & Atlas Carpo TP: 2003
	Penghamparan Campuran	asphalt paver	Niigata, NF B63C, Kapasitas 200 ton/jam, TP: 1998	Sumitomo, TP 1998 & Niigata, TP: 2001
	Pemadatan	tandem roller	SAKAI WM7710 berat 8-10 ton; TP: 1992 & SAKAI WM 7708 berat 6-8 ton, TP:1995	BOUMAG berat 8-10 ton, TP:1994; LOUYANG berat 8-10 ton, TP:1994
		tire roller	SAKAI TS 600; berat 14-16 ton, TP 1996; SAKAI TS200 berat 12-14 ton, TP 1996	SAKAI TS7409 berat 10-12 ton; TP 1984.

Tabel 3. Data produksi aspal campuran panas padaStudiKasus I dan II

Periode														Total (ton HMA)			
	Jan '10	Feb '10	Mar '10	Apr '10	Mei '10	Jun '10	Jul '10	Agu '10	Sep '10	Okt '10	Nov '10	Des '10	Jan '11		Feb '11	Mar '11	Apr '11
Data Produksi Aspal Campuran Panas (ton HMA)	7,273	3,431	6,474	1,661	.	1,753	5,672	6,675	4,075	10,116	18,803	15,865	6,718	373	5,195	2,681	96,764
									15,321	17,495	12,261						45,077

4.3 Data konsumsi bahan bakar

Data penggunaan bahan bakar untuk proses pengeringan agregat menggunakan *drum dryer* (dilengkapi dengan *dryer burner* berbahan bakar solar namun terkadang menggunakan bahan bakar alternatif yaitu minyak mentah) diperoleh dari laporan bulanan pemakaian material. Data penggunaan solar di AMP merupakan data jumlah pemakaian solar gabungan untuk semua aktivitas di AMP, yaitu pemakaian solar untuk sumber tenaga proses produksi pada *generator set* dan pemakaian solar untuk proses pemindahan agregat dengan *loader*.

Sedangkan data penggunaan bahan bakar pada proses transportasi material *hotmix* dengan truk diperoleh dari catatan/laporan pembelian bahan bakar untuk truk. Truk yang digunakan pada umumnya merupakan truk jenis tronton berkapasitas 25 ton dan sebagian kecil menggunakan truk engkel berkapasitas 15 ton. Untuk tahap pelaksanaan di lapangan, data penggunaan bahan bakar diperoleh dari laporan bulanan penggunaan bahan bakar peralatan pada divisi peralatan di perusahaan masing-masing. **Tabel 4** dan **5** menampilkan data penggunaan bahan bakar selama 16 bulan pada kontraktor studi kasus I dan 3 bulan pada kasus II

Tabel 4. Data konsumsi bahan bakar studi kasus I

No	Periode	Jumlah Proyek (proyek)	Volume (ton)	Dryer (minyak) (liter)	Total Konsumsi Bahan Bakar					
					Solar di AMP (liter)	Dump Truk (solar) (liter)	Kom- presor (solar) (liter)	Peralatan Asphalt Paver (liter)	Paving (Solar) Tan- dem (liter)	TR (liter)
1	Januari 2010	19	7,273	63,266	12,532	9,655	1,120	3,735	1,290	1,450
2	Februari 2010	12	3,431	36,358	7,140	4,450	655	1,915	914	1,285
3	Maret 2010	10	6,474	62,150	10,095	8,416	1,870	3,237	1,170	1,495
4	April 2010	3	1,661	16,325	3,515	2,259	275	1,130	649	835
5	Mei 2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Juni 2010	13	1,753	18,220	3,835	2,278	320	1,175	662	750
7	Juli 2010	1	5,672	48,231	17,225	7,373	970	2,835	1,150	1,334
8	Agustus 2010	33	6,675	55,906	19,655	8,766	1,115	3,430	1,301	1,534
9	September 2010	10	4,075	40,870	12,560	5,450	725	2,035	1,215	1,514
10	Oktober 2010	7	10,116	104,341	18,070	13,250	1,440	5,057	1,817	2,222
11	November 2010	15	18,803	186,446	26,120	24,504	2,890	9,400	3,320	4,160
12	Desember 2010	22	15,865	144,098	20,675	20,625	2,440	7,632	2,780	3,872
13	Januari 2011	10	6,718	63,503	10,455	9,185	1,050	3,160	1,108	1,422
14	Februari 2011	6	373	3,500	2,075	285	180	721	455	574
15	Maret 2011	9	5,195	52,591	10,705	7,216	800	2,497	1,380	1,755
16	April 2011	9	2,681	21,221	4,750	3,664	400	1,240	534	736
Total				917,026	179,407	127,376	16,250	49,199	19,745	24,938

4.4 Estimasi konsumsi energi dan emisi GRK

Estimasi konsumsi energi dan emisi GRK dihitung dalam satuan berat material aspal *hotmix* terpasang (ton). Selain itu, untuk memberikan ilustrasi mengenai hasil estimasi terhadap pekerjaan pengaspalan secara praktis, estimasi konsumsi energi dan emisi GRK juga dihitung dalam satuan panjang jalan yang diaspal. Dalam menghitung estimasi per satuan panjang jalan, maka digunakan asumsi yaitu lebar tipikal 1 jalur 7 meter, tebal penghamparan 5 cm, dan berat rata-rata jenis campuran (G_{100se}) 2,215 ton/m³. Dengan demikian, kebutuhan material aspal campuran panas tipikal adalah 775.25 ton per-kilometer panjang jalan.

Seperti telah dijelaskan Bagian 3, sebagai contoh berikut disampaikan contoh perhitungan estimasi konsumsi energi dan emisi berdasarkan konsumsi bahan bakar pada proses pengeringan agregat di studi kasus I. Secara skematik, hasil perhitungan dijelaskan pada Gambar 4.

Input:

Konsumsi minyak mentah: 917.026 liter.

1. Faktor emisi minyak mentah : 2,63 kg CO₂/liter
2. *Calorific value* minyak mentah : 35.839 MJ/liter

Output:

Aspal *hotmix* yang terpasang: 96.764 ton

1. Konsumsi minyak mentah per ton aspal *hotmix* yang terpasang : 9,47 liter/ton

Maka estimasi konsumsi energi dan emisi GRK pada proses pengeringan agregat dengan *dryer* berbahan bakar minyak mentah untuk setiap ton aspal *hotmix* yang terpasang adalah:

$$a. \text{Konsumsi Energi } \left(\frac{MJ}{\text{ton}} \right) = \frac{(917.026 \text{ liter} \times 35.839 \text{ kg CO}_2/\text{liter})}{96.764 \text{ ton}} = (339.56 \frac{MJ}{\text{ton}})$$

$$b. \text{ Emisi GRK } \left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{ton}} \right) = \left(\frac{917.026 \text{ liter} \times 2,63 \text{ kg CO}_2/\text{liter}}{96,764 \text{ ton}} \right) = \left(24,92 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{ton}} \right)$$

Sedangkan estimasi konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca per 1 km jalur jalan yang teraspal adalah:

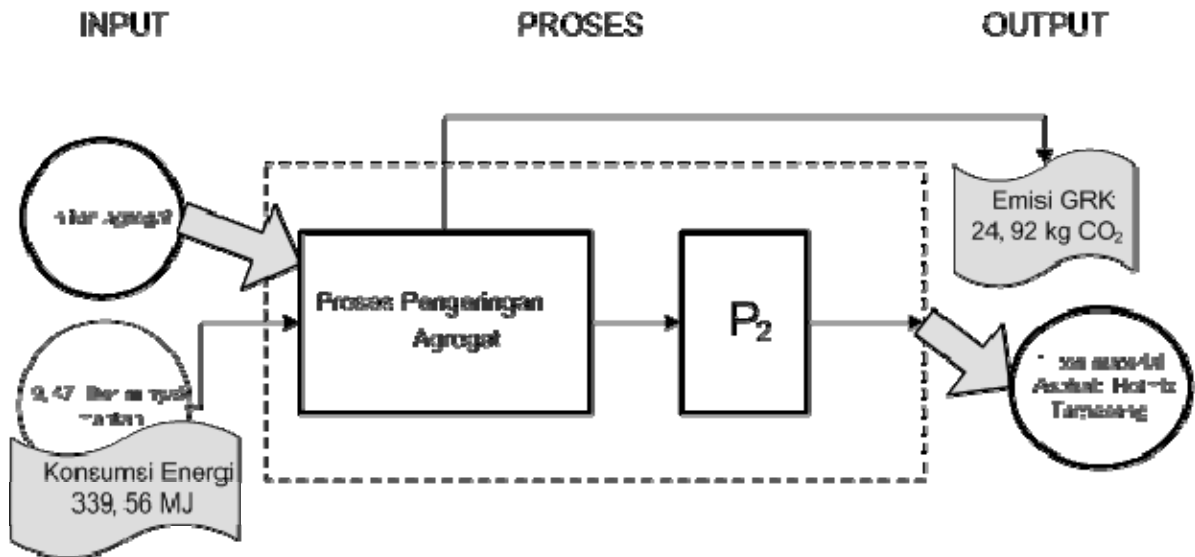
$$c. \text{ Konsumsi Energi } \left(\frac{\text{MJ}}{\text{ton}} \right) = \left(339,56 \frac{\text{MJ}}{\text{ton}} \right) \times 775,25 \frac{\text{ton}}{\text{km}} \times \frac{1 \text{ GJ}}{1000 \text{ MJ}} = \left(263,24 \frac{\text{GJ}}{\text{km}} \right)$$

$$d. \text{ Emisi GRK } \left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{ton}} \right) = \left(24,92 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{ton}} \right) \times 775,25 \frac{\text{ton}}{\text{km}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = \left(19,32 \frac{\text{ton CO}_2}{\text{km}} \right)$$

Untuk lebih lengkapnya, pada **Tabel 6** dan **7** disajikan hasil estimasi untuk setiap proses yang tercakup dalam tiga tahap konstruksi pengaspalan jalan di kasus I dan II.

Pada kasus I dan II konsumsi energi total adalah 494.62 dan 571.78 MJ/ton, atau rata-rata dari kedua kasus adalah 533.2 MJ/ton. Sedangkan emisi GRK diestimasi sebesar 36.43 CO₂/ton pada kasus I dan 50.56 CO₂/ton pada kasus II, atau rata-rata 43.5 kg CO₂/ton pada kedua kasus yang diamati.

Konsumsi energi dan emisi GRK sebagian besar terjadi pada tahap pencampuran material di AMP, khususnya pada proses pengeringan agregat. Pada kasus I, proses pengeringan agregat mengkonsumsi energi sebesar 68% dan menghasilkan emisi 68%. Sedangkan pada kasus II, proses pengeringan agregat mengkonsumsi energi sebesar 70% dan menghasilkan emisi 75% dari seluruh tahapan pekerjaan pengaspalan jalan.



Gambar 4. Konsumsi energi dan emisi GRK proses pengeringan agregat Studi Kasus I

Tabel 6. Estimasi konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca Studi Kasus I

Proses	Alat Utama	Konsumsi Energi		Emisi GRK	
		MJ/ton HMA	GJ/km jalan	Kg CO ₂ /ton HMA	Ton CO ₂ /km jalan
Pengeringan Agregat	<i>Dryer Drum</i>	339.56	263.24	24.92	19.32
Pemindahan Agregat, Pemanasan Aspal & Produksi AMP	<i>Loader & Genset</i>	66.73	51.73	4.95	3.84
	Subtotal Tahap Pencampuran	406.29	314.97	29.87	23.16
Transportasi material	<i>Dump Truck</i>	47.38	36.73	3.51	2.72
	Subtotal Tahap Transportasi	47.38	36.73	3.51	2.72
Pembersihan Lokasi	<i>Air Compressor</i>	6.04	4.69	0.45	0.35
Penghamparan	<i>Asphalt Paver</i>	18.30	14.19	1.36	1.05
Pemadatan	<i>Tandem Roller</i>	7.34	5.69	0.54	0.42
	<i>Tire Roller</i>	9.28	7.19	0.69	0.53
	Subtotal Tahap Pelaksanaan	40.96	31.76	3.04	2.36
	Total	494.62	383.46	36.43	28.24

Tabel 7. Estimasi konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca Studi Kasus II

Proses	Alat Utama	Estimasi Kebutuhan energi		Estimasi Emisi GRK	
		MJ/Mg HMA	GJ/km jalan	Kg CO ₂ /Mg HMA	Mg CO ₂ /km jalan
Pengeringan Agregat	<i>Dryer Drum</i> Batubara	398.96	309.30	37.74	29.26
Pemindahan Agregat, Pemanasan Aspal & Produksi AMP	<i>Loader & Genset</i>	64.21	49.78	4.76	3.69
	Subtotal Tahap Pencampuran	463.18	359.08	42.51	32.95
Transportasi Material	<i>Dump Truck</i>	62.35	48.34	4.63	3.59
	Subtotal Tahap Transportasi	62.35	48.34	4.63	3.59
Pembersihan Lokasi	<i>Air Compressor</i>	6.03	4.68	0.45	0.35
Penghamparan	<i>Asphalt Paver</i>	18.07	14.01	1.34	1.04
Pemadatan	<i>Tandem Roller</i>	9.51	7.37	0.71	0.55
	<i>Tire Roller</i>	12.65	9.81	0.94	0.73
	Subtotal Tahap Pelaksanaan	46.26	35.86	3.43	2.66
	Total	571.78	443.27	50.56	39.20

Dari hasil perhitungan di **Tabel 6** dan **7** dapat disimpulkan bahwa proses pengeringan agregat adalah proses yang paling penting untuk diperhatikan dalam peningkatan efisiensi penggunaan energi dan perbaikan proses pembakarannya. Konsumsi energi pada kedua proses di studi kasus I dan II besarnya hampir sama (sekitar 68%), namun emisi GRK-nya berbeda. Pada kasus I, bahan bakar yang digunakan untuk alat pengering agregat adalah minyak mentah (sebagai alternatif dari solar) sedangkan pada kasus II batu bara digunakan sebagai bahan bakar untuk *drum dryer*. Penggunaan batubara sebagai bahan bakar pada proses pengeringan agregat menghasilkan emisi GRK yang lebih besar (sekitar 75%) dibandingkan dengan minyak mentah (sekitar 70%) untuk konsumsi energi yang relatif hampir sama.

Hal lain yang dapat dijadikan perhatian adalah bahwa perlu upaya penyimpanan material agregat yang lebih baik di lokasi AMP. Proses pengeringan agregat akan dapat dikurangi konsumsinya apabila agregat sejak awal disimpan dalam lokasi/metoda penyimpanan yang memungkinkan berada dalam kondisi yang lebih "kering".

5. Proyeksi Konsumsi dan Emisi Nasional

Sehubungan dengan komitmen Pemerintah RI pada Konferensi Iklim di Copenhagen tahun 2009 untuk menurunkan tingkat emisi gas rumah kaca pada tahun 2020 sebesar 26% dari tingkat emisi tahun 2005, maka terdapat kebutuhan untuk terlebih dahulu mengetahui gambaran umum mengenai tingkat emisi GRK saat ini. Sebelum secara nasional dapat dilakukan upaya-upaya yang efektif mengarah kepada pencapaian agenda nasional tersebut, perlu diketahui estimasi secara kuantitatif bagaimana sebenarnya dampak lingkungan dari berbagai aktivitas industri termasuk sektor konstruksi. Hasil perhitungan mengenai estimasi emisi GRK pada pekerjaan pengaspalan jalan yang telah dijelaskan, sedikit banyak dapat berkontribusi pada kebutuhan informasi tersebut.

Hasil estimasi pada kedua studi kasus tentunya tidak dapat mewakili secara statistik dalam menggambarkan populasi aktivitas secara nasional. Namun, apabila proyeksi gambaran nasional ingin diketahui secara kasar, maka hasil kajian ini dapat berguna. Data panjang jalan di Indonesia tahun 2008 secara keseluruhan mencapai 437.359 km, yang mana 59.1% diantaranya atau sekitar 258.500 kilometer adalah jenis perkerasan aspal (BPS,2010). Laporan Bappenas (Tulus, 2006 dari Bappenas, 2005) menyatakan bahwa kondisi jalan di Indonesia 53,7 % berada dalam kondisi baik dan sedang, sedangkan 46,5 % dalam kondisi rusak ringan atau rusak berat. Kebutuhan aspal nasional tahun 2010 adalah mencapai 1.2 juta ton per tahun. Dengan menggunakan asumsi bahwa 40% dari kebutuhan aspal digunakan untuk material perkerasan HMA misalnya, maka dengan rata-rata komposisi aspal HMA 5.5%, diperoleh kebutuhan HMA per-tahun sebesar 8,7 juta ton yang mampu melapisi sekitar 11.250 km jalan dengan lebar tipikal 7 meter.

Dengan asumsi demikian, maka kebutuhan energi untuk proses pengaspalan jalan secara nasional adalah 3.35juta GJ dan perkiraan emisi sebesar 0.247juta Mg emisi gas rumah kaca. Angka-angka ini dapat menunjukkan seberapa besar kontribusi dampak lingkungan dari aktivitas konstruksi pengaspalan jalan terhadap konsumsi energi dan emisi GRK secara nasional.

6. Kesimpulan

1. Sebagai sektor penting dalam pembangunan nasional, konstruksi berkontribusi besar dalam emisi gas rumah kaca yang memicu terjadinya pemanasan global. Estimasi konsumsi energi dan emisi GRK yang telah dilakukan dapat memberikan gambaran khususnya mengenai dampak lingkungan dari pekerjaan pengaspalan jalan. Lingkup kajian terbatas pada tahapan pencampuran aspal panas, transportasi, dan pelaksanaan di lokasi proyek, dan menunjukkan bahwa:

- a. Proses pengeringan agregat di AMP adalah proses yang paling dominan dalam mengkonsumsi energi dan menghasilkan emisi GRK.
 - b. Perhitungan estimasi ini dapat dilakukan untuk berbagai skenario metoda pekerjaan pengaspalan jalan, sehingga dapat diketahui metoda yang melibatkan proses-proses yang paling optimal dalam meminimalkan dampak lingkungan.
2. Meskipun masih diperlukan kajian yang lebih komprehensif dan melibatkan kasus yang lebih banyak (metoda *sampling* yang *valid*), perhitungan estimasi yang disajikan dapat memberikan gambaran umum mengenai kebutuhan energi dan emisi gas rumah kaca terkait pekerjaan pengaspalan jalan secara nasional.

Daftar Pustaka

- Alamsyah, A., 2006, *Rekayasa Jalan Raya*, UMM Press Malang.
- Asosiasi Aspal Beton Indonesia, 2011, Upaya Menjamin Kualitas Aspal, Buletin AABI Edisi 21. <http://www.aabi.or.id>. diakses 21 Juni.
- Asphalt Institute USA, 1983, *Principles of Construction of Hot-Mix Asphalt Pavement*, Manual Series No. 22, Badan Pusat Statistik RI (2009), *Statistik Konstruksi 2009*, Penerbit Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik RI, 2010, *Panjang Jalan Dirinci Menurut Jenis Permukaan tahun 1987-2008*, <http://www.bps.go.id>., diakses 27 September.
- Conseil International du Batiment (CIB), 1999, Agenda 21 on Sustainable Construction, CIB Report Publication 237.
- Direktorat Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum, 1999, Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak, Jakarta: PT.Medisa.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006, General Guidance and Reporting, *Journal of IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Bab 1, hal 15.
- Kompas, 2009, *Pertamina Hentikan Produksi Aspal Agustus*, Koran Kompas edisi Jumat, 20 Februari.
- Miller, T.D. & Bahia, H.U.2009, *Sustainable Asphalt Pavements: Technologies, Knowledge Gaps and Opportunities*. Modified Asphalt Research Center (MARC), University of Wisconsin-Madison.
- Pakrasi, A. & Davis, W.T. (Air and Waste Management Association), 2000, *Air Pollution Engineering Manual*. Chapter 7: Combustion Sources. John Wiley & Sons.
- Puslitbang Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum RI, 1991, *Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola (Ring and Ball)*, SNI 06-2434-1991, Penerbit PU.
- Rajagopalan, N., 2007, *Environmental Life Cycle Assesment of Highway Construction Project*, Thesis, Master of Science in Civil Engineering, Texas A&M University.
- Oka,T., Suzuki, M. & Konnya, T., 1993, *The Estimation of Energy Consumption and Amount of Pollutants Due to The Construction of Buildings*. Energy and Buildings, Vol. 19, hal 303-311.
- Tulus, T., 2006, Kondisi Infrastruktur Indonesia, Buletin KADIN Indonesia, www.kadin-indonesia.or.id., diakses 15 November 2010.
- US-EPA, 2009, *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2007*, <http://www.epa.gov>., diakses 21 November 2010.

