



E-ISSN : 2621-4164

Vol. 01 No 02 Juli 2019

Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca Campuran Aspal Industri Konstruksi Jalan

Wiryawan Purboyo¹, Indra Maha²^{1,2}Magister Teknik Sipil, Universitas Trisakti

*) wiryawan.punkq@gmail.com

Abstract

The construction industry plays an important role in the national economic development, however it also contributes to greenhouse gas (GHG) emitters. According to the BPS Indonesia regarding Final Energy Consumption referring to the 2009-2013 sector, the Industrial and Construction sector ranked first, thus the phenomenons of global warming, climate change, energy conservation and GHG emission reduction has become important issues in the construction industry including road construction industry. This study is to determine the amount of GHG emissions from road construction industry at the production and the implementation of the asphalt pavement construction stages and also to determine the gap of mitigation results against the GHG emission benchmarks. To achieve these objectives, development of data activities and identification of key sources of GHG emissions for each stage are carried out. Equipment type, capacity, specifications, year of manufacture and fuel requirements were obtained from the survey. GHG emission estimates refer to the IPCC 2006 procedures and Bina Marga AHSP 2010. Aggregate heating at the production stage of HMA using diesel as a benchmark compared to aggregate heating: 1. HMA production using LPG 2. HMA production with 60% original aggregate + 40% RAP using Solar 3. HMA production with 60% original aggregate + 40% of RAP uses LPG 4. Production of warm asphalt mixture (WMA) uses Solar 5. Production of warm asphalt mixture (WMA) uses LPG. Furthermore, the study also carried out a reduction in the temperature of the asphalt mixture to the distance and travel time from the production location to the project location. achieved reduction of GHG emissions exceeding the target of 2.4%. The most dominant aggregate heating process produces GHG emissions of 59.5% - 67.5% for all stages. Ranking of the largest emitters: AMP (aggregate heating).

Keywords: GHG Emissions 29% reduction, RAP, WMA, IPCC 2006, Bina Marga AHSP 2010

Abstrak

Industri konstruksi berperan penting dalam perekonomian dan pembangunan nasional, tetapi juga berkontribusi penghasil emisi gas rumah kaca (GRK). Meningkatnya konsentrasi GRK pada lapisan atmosfer menjadi salah satu penyebab terjadinya fenomena pemanasan global dan perubahan iklim. Menurut Badan Pusat Statistik Indonesia mengenai Konsumsi Akhir Energi menurut sektor tahun 2009-2013, sektor Industri dan Konstruksi menempati urutan pertama, dengan demikian fenomena pemanasan global, PI, konservasi energi dan pengurangan emisi GRK telah menjadi isu penting dalam industri konstruksi termasuk konstruksi jalan. Penelitian ini untuk mengetahui besaran emisi GRK hasil Industri konstruksi jalan pada tahap produksi dan pelaksanaan pengaspalannya serta untuk mengetahui gap hasil mitigasi terhadap tolok ukur emisi GRK. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan pengembangan data aktivitas dan identifikasi sumber-sumber kunci emisi GRK masing-masing tahap. Data informasi jenis peralatan, kapasitas, spesifikasi, tahun pembuatan dan kebutuhan bahan bakar diperoleh dari survei. Estimasi emisi GRK mengacu pada prosedur IPCC 2006 dan AHSP Bina Marga tahun 2010. Pemanasan agregat tahap produksi campuran beraspal panas (HMA) menggunakan solar sebagai tolok ukur dibandingkan dengan pemanasan agregat: 1. produksi HMA menggunakan LPG 2. produksi HMA dengan 60% agregat asli + 40% RAP menggunakan Solar 3. Produksi HMA dengan 60% agregat asli + 40% RAP menggunakan LPG 4. Produksi

campuran beraspal hangat (WMA) menggunakan Solar 5. Produksi campuran beraspal hangat (WMA) menggunakan LPG. Lebih jauh, penelitian dilakukan juga penurunan temperatur campuran beraspal terhadap jarak dan waktu tempuh dari lokasi produksi sampai lokasi proyek. Gap pengurangan emisi GRK produksi campuran hangat WMA menggunakan LPG sebesar 31,4% dibandingkan tolok ukur. dicapai pengurangan emisi GRK melebihi target sebesar 2,4 %.

Proses pemanasan agregat paling dominan menghasilkan emisi GRK 59,5% - 67,5% terhadap seluruh tahapan. Urutan ranking alat penghasil emisi terbesar: AMP (pemanasan agregat).

Kata kunci: pengurangan 29% Emisi GRK, RAP, WMA, IPCC 2006, AHSP Bina Marga 2010

Pendahuluan

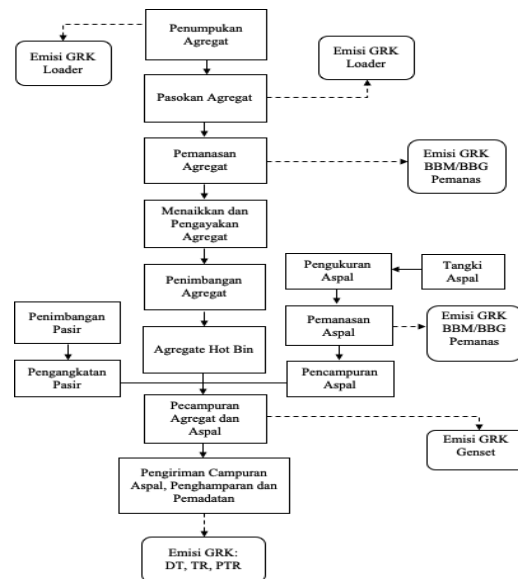
Gas Rumah Kaca (GRK) diartikan sebagai gas yang terkandung dalam atmosfer, baik alami maupun dari kegiatan manusia (antropogenik), yang menyerap dan memancarkan kembali radiasi inframerah. Sebagian radiasi matahari dalam bentuk gelombang pendek yang diterima permukaan bumi dipancarkan kembali ke atmosfer dalam bentuk radiasi gelombang panjang (radiasi infra merah). Radiasi gelombang panjang ini oleh GRK pada lapisan atmosfer bawah, dekat dengan permukaan bumi akan diserap dan menimbulkan efek panas yang dikenal sebagai “Efek Rumah Kaca”. Peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global dan menimbulkan masalah pemanasan global. Peningkatan suhu global ini akan mempengaruhi proses fisik dan kimia yang ada baik di bumi maupun atmosfer dan pada akhirnya berdampak pada perubahan iklim (PI).

Perubahan iklim, yang menjadi ancaman bagi manusia, menarik perhatian dunia internasional untuk mengambil langkah-langkah aksi. Tahun 1994, beberapa negara berinisiatif membentuk *United Nation Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*, yang memvisualisasikan strategi menghadapi pemanasan global yaitu mitigasi dan adaptasi.

- a. Mitigasi: serangkaian kegiatan yang dilakukan dalam upaya menurunkan tingkat emisi GRK sebagai bentuk upaya penanggulangan dampak PI.
- b. Adaptasi: upaya yang dilakukan untuk meningkatkan kemampuan dalam menyesuaikan diri terhadap PI, termasuk keragaman iklim dan kejadian iklim ekstrim sehingga potensi kerusakan akibat PI berkurang, peluang yang ditimbulkan PI dapat dimanfaatkan, dan konsekuensi yang timbul akibat PI dapat diatasi

- c. Indonesia menerbitkan UU 16/2016 tentang Ratifikasi Perjanjian Paris, dengan 9 aksi prioritas pembangunan nasional dituangkan melalui Nawa Cita merupakan komitmen nasional menuju arah pembangunan rendah karbon dan berketahanan iklim, dengan adaptasi dan mitigasi PI sebagai satu prioritas yang terintegrasi dan lintas-sektoral dalam agenda Pembangunan Nasional. Komitmen mitigasi perubahan iklim dengan rencana penurunan emisi hingga tahun 2030 sebesar 29%.

Upaya mitigasi PI adalah mengurangi emisi GRK yang berasal dari industri konstruksi jalan. Emisi GRK yang diperhitungkan dalam industri konstruksi jalan adalah emisi GRK yang dihasilkan pada tahap produksi dan tahap pelaksanaan pengaspalan jalan. Investigasi Sumber Emisi GRK pada Proses ini sebagai katagori kunci penghasil emisi GRK, yang dapat digambarkan dalam Gambar 1



Gambar 1. Production & Construction Process
 Sumber: Bo Peng a, Chunli Cai a, Guangkai Yin a, Wenying Li b, Yaowen Zhan a (diolah)

Metode

Dalam penelitian ini, perhitungan emisi GRK dan analisis pada tahap-tahap kunci (data aktivitas) dan faktor-faktor yang mempengaruhi emisi GRK dibentuk berdasarkan analisis konsumsi energi dalam tahap produksi dan tahap pelaksanaan pekerjaan pengaspalan. Metode perhitungan untuk estimasi besaran emisi GRK dengan melakukan analisis terhadap:

- a. Emisi CO₂ dari Pembakaran Stasioner
Emisi CO₂ bergantung pada kandungan karbon bahan bakar. Selama proses pembakaran, sebagian besar karbon dipancarkan sebagai CO₂. Penggunaan jenis bahan bakar yang berbeda dalam tahapan produksi dan tahapan konstruksi mempengaruhi tingkat emisi GRK dikarenakan masing-masing jenis bahan-bakar mempunyai faktor emisi yang berbeda.
- b. Konsumsi energi
Perhitungan emisi GRK dan analisis pada tahap-tahap kunci dan faktor-faktor yang mempengaruhi emisi GRK dibentuk berdasarkan analisis pada konsumsi energi dalam tahap produksi dan tahap pelaksanaan pekerjaan pengaspalan.
- c. Aplikasi *Warm Mix Asphalt (WMA)*
Teknologi WMA memiliki banyak keuntungan baik dari sisi produksi, penghamparan dan pemadatan, lingkungan termasuk ekonomi. Temperatur pencampuran dan penghamparan turun cukup signifikan dibandingkan dengan campuran HMA, berkurangnya kebutuhan bahan bakar juga menyebabkan turunnya biaya, lebih rendahnya emisi pada proses pencampuran di AMP dan saat penghamparan serta pemadatan.
- d. Aplikasi *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*
Keuntungan Penggunaan RAP diantaranya adalah:
 - 1) RAP menghasilkan penghematan substansial sebagai pengganti material baru serta dapat mengurangi biaya pengantaran bila penggunaan RAP dilakukan ditempat.
 - 2) Penggunaan RAP menjaga kelestarian lingkungan dengan mengurangi penambangan alam.
 - 3) Penggunaan RAP terbukti mempunyai kualitas material yang sama bahkan lebih baik dibandingkan material baru,

pelaksanaan *recycle* dapat menyelesaikan permasalahan tumpukan bahan buangan.

- 4) Bahan daur ulang RAP dapat menghemat sejumlah energi bila dibandingkan dengan teknik konstruksi konvensional.
- e. Estimasi Emisi GRK

Model kuantifikasi emisi GRK kombinasi dari keseluruhan emisi GRK dengan persamaan:

$$G = \sum_i \sum_j \sum_k m_{ij} Q_j P_j G_{wpk}$$

dimana:

- G : total emisi GRK
- m_{ij} : energi yang digunakan pada tahap i
- Q_j : unit besaran panas energi
- P_j: faktor emisi energi
- G_{wpk}: Gwp dari gas rumah kaca k

Komponen GRK paling dominan adalah CO₂, maka estimasi emisi dan konsumsi energi didasarkan pada faktor emisi CO₂. Estimasi emisi CO₂ per-ton produksi material perkerasan, menggunakan persamaan

$$\text{Emisi GRK } \left(\frac{kg \text{ CO}_2}{\text{Ton}} \right) = \frac{\text{Konsumsi Energi (Mj)} \times \text{Faktor Emisi } \left(\frac{kg \text{ CO}_2}{\text{Mj}} \right)}{\text{Total Produksi (Ton)}}$$

Metode analisis yang digunakan untuk estimasi konsumsi energi adalah dengan konversi penggunaan bahan bakar pada satuan energi standar (*Joule*). Untuk mendapatkan konsumsi energi setiap produksi 1 Ton material perkerasan, menggunakan

$$\text{Konsumsi Energi } \left(\frac{Mj}{\text{Ton}} \right) = \frac{\text{Konsumsi Bahan bakar (L)} \times \text{Calorific Value } \left(\frac{Mj}{L} \right)}{\text{Total Produksi (Ton)}}$$

Untuk analisis penggunaan alat dipergunakan Analisis Harga Satuan (AHSP) Bidang Bina Marga 2010.

- f. Faktor emisi dan faktor konversi energi
Faktor Emisi adalah nilai representatif yang menunjukkan kuantitas suatu polutan yang dilepaskan ke atmosfer. Faktor emisi dinyatakan dalam berat polutan per satuan berat, volume, jarak, atau lamanya aktivitas yang mengemisikan polutan. Emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar tergantung pada beberapa hal yaitu jenis bahan bakar, komposisi komponen penyusun minyak,

tipe dan ukuran mesin bakar, metode pembakaran, dan tingkat perawatan dari peralatan/mesin.

IPCC (2006) mengeluarkan panduan mengenai besarnya faktor emisi untuk pembakaran berbagai tipe bahan bakar.

IPCC juga menjelaskan mengenai nilai kalor (*calorific value*). disajikan pada tabel 1 sedangkan tabel 2 digunakan sebagai nilai konversi LPG

Tabel 1. Faktor konversi energi dan faktor emisi bahan bakar

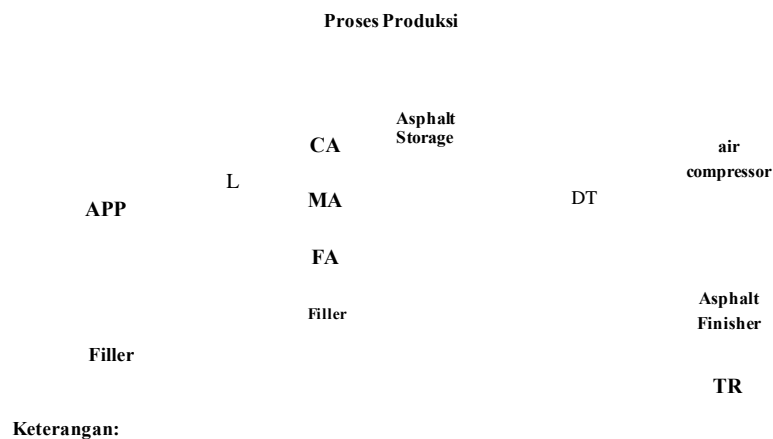
Fuel type	Density (kg/m ³)	Calorific Value		Effective CO ₂ emission factor
		Mj/kg	Mj/L	kg/Mj
Crude Oil	0,847	42,30	35,83	73,300
Diesel Oil	0,837	43,00	35,99	74,100
Bituminous Coal	1,320	25,80	34,06	94,600
LPG	0,495	47,30	24,92	63,100

Bitumen	1,000	40,20	40,20	80,700
---------	-------	-------	-------	--------

Sumber: IPCC 2006 Guidelines for National GHG Inventories

Tabel 2. Konversi untuk LPG (propene)

kg to litres: 1kg = 1.96L	litres to kg: 1L = 0.51kg
kg to m ³ : 1kg = 0.53m ³	m ³ to kg: 1m ³ = 1.89kg
litres to m ³ : 1L = 0.27m ³	m ³ to litres: 1m ³ = 3.70L
MJ to kWh: 1MJ = 0.278kWh	kWh to MJ: 1kWh = 3.6 MJ
litres to MJ: 1L = 25MJ	MJ to litres: 1MJ = 0.042L
kg to MJ: 1kg = 49MJ	MJ to kg: 1MJ = 0.02kg
litres to kWh: 1L = 6.9kWh	kWh to litres: 1kWh = 0.145L
kg to kWh: 1kg = 13.6kWh	kWh to kg: 1kWh = 0.074kg
L to BTU: 1L = 23,700 BTU	kg to BTU: 1kg = 46,452 BTU



Gambar 2. Model Perhitungan Emisi GRK Tahap Proses Produksi dan Pelaksanaan Pengaspalan

Data-data Penelitian**Tabel 3.** Data AMP dan Peralatan Campuran Beraspal Proyek Pekerjaan Scrapping, Filling dan Overlay (SFO) JORR Jarak Proyek – AMP = 72 km

Tahapan	Proses	Nama Alat Utama	Jenis, tipe, merk, tahun	Kapasitas	Jenis Bahan Bakar	Perkiraan Penggunaan Bahan Bakar
Produksi campuran beraspal - AMP	Pengangkutan agregat	<i>wheel loader</i>	Changling z1937H (2010)	1,7 m ³	Solar	100 L/8jam
	Pemanasan Agregat	<i>dryer drum</i>	AMP I Nikko AZ1000 (2017)			
	Pemanasan aspal	<i>oil heater dan elemen</i>	AMP II Ammann Apollo ANP1000 (2014)	100 Ton/jam	LPG	5,20 m ³ /Ton
	Pengadukan campuran	<i>conveyor belt, hot elevator, mixer</i>	Genset AMP, Cummins KTA-19G4 (2018)	500 KVA	Solar	200 L/8jam
Pelaksanaan Pekerjaan Pengaspalan	Transportasi Lokasi Proyek	<i>dump truck</i>	Mitsubishi FN 527 Ms (2012)	10-12 Ton	Solar	25 L/Ton
	Pembersihan Lokasi	<i>air compressor</i>	185 CFM PDS (2013)	3000 rpm	Solar	100lt/8jam
	Pelapisan <i>tack coat</i>	<i>Asphalt Sprayer</i>	Hino Dutro 130HD (2009)	3000 L	Solar	25 L/ton
	Penghamparan Campuran	<i>asphalt paver/finisher</i>	Caterpillar AP655 D (2009)	8-12 Ton	Solar	150 L/ 8jam
	Pemadatan awal	<i>Tandem steel roller</i>	Bomag BW151-AD2 (1998)	8-10 Ton	Solar	30L/ 8jam
	Pemadatan antara	<i>Pneumatic tire roller</i>	Sakai TS-600C (1995)	10-12 Ton	Solar	30L/ 8jam
	Pemadatan akhir	<i>Tandem steel roller</i>	Bomag BW151-AD2 (1998)	8-10 Ton	Solar	30L/ 8jam

Perhitungan konsumsi energi dan emisi GRK

Perhitungan dilakukan pada 4 jenis proses yaitu:

- Estimasi Emisi GRK Proses Produksi HMA dengan LPG
 - Estimasi emisi GRK proses Produksi HMA bahan bakar solar
 - Estimasi emisi GRK proses Produksi Agregat asli 60% + RAP 40%
 - Estimasi emisi GRK proses Produksi WMA
- Dari data-data yang diperoleh dari hasil survei dapat dilaksanakan perhitungan menggunakan AHSP Bina Marga dari Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil tahun 2010, untuk memperoleh kapasitas produksi alat perjam dan Koefisien alat/ton yang selanjutnya dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan 1 dan persamaan 2 diatas untuk estimasi besaran emisi GRK setiap

tahapan sampai mendapatkan hasil emisi GRK keseluruhan proses.

Contoh perhitungan:**a. Emisi GRK *wheel loader* dari stock pile ke AMP**

- Kapasitas *bucket* = 1,7 m³
- Berat Jenis Agregat = 2,5 Ton/m³
- Berat jenis aspal = 1,00 gram/cc
- Kapasitas bucket dalam ton= 1,7 m³ x 2,5 Ton/m³ = 4,25 Ton
- Jenis BBM = solar, kebutuhan solar = 200 L/8jam = 200L/480 menit

Tabel 4. Analisis pemakaian wheel loader untuk memuat agregat dari *stock pile* ke *cold bin AMP*

Uraian	Kode	Koef	Satuan	Keterangan
Kapasitas bucket	V	1,7	m ³	panduan
Faktor bucket	F _b	0,85	-	
Faktor efisiensi alat	F _a	0,83	-	Kondisi baik
Waktu siklus	T _s			
Kecepatan maju rata-rata	V _{f1}	15,00	Km/jam	
Kecepatan kembali rata-rata	V _{f2}	20,00	Km/jam	
Memuat ke bin= (1x60)/ V _{f1}	T ₁	1,20	menit	l = 0,3 km
Kembali ke stock pile=(1x60)/ V _{f2}	T ₂	0,90	menit	l = 0,3 km
Lain-lain	T ₃	0,75	menit	
Jumlah	T _{s1}	2,85	menit	
Kap.Prod/jam= (VxFb xFax60xBiP)/T _{s1}	Q ₁	45,70	Ton	Berat isi padat (BiP)= 1,81
Koefisien Alat/Ton = 1:Q ₁	E ₁₅	0,0219	jam	

sumber: Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bina Marga

- Dalam 1 Ton produksi campuran beraspal diperlukan: aspal (rata-rata) = 6% dan agregat (rata-rata) = 94% = 0,94 Ton Agregat.
- Perhitungan Emisi GRK Wheel Loader:
 - koefisien alat = 0,0219 jam
 - Perhitungan kebutuhan solar: 200 L/8 jam
 - Konsumsi solar per-jam = 200/8 = 25 L/jam
 - kebutuhan solar wheel loader per jam = 0,0219 jam x 25 L/jam= 0,55L.
 - Calorific Value solar = 35,99 MJ/L
 - Emission Factor solar = 74,10 kg CO₂/L

$$\text{Konsumsi Energi } \left(\frac{Mj}{Ton}\right) = \frac{0,55 L \times 35,99 MJ/L}{1 Ton} = 19,70 MJ/Ton = 0,02 MJ/kg$$

$$\text{Emisi GRK } \left(\frac{kg CO_2}{Ton}\right) = \frac{0,020 \frac{Mj}{kg} \times 74,10 kg CO_2/L}{1 Ton} = 1,46 kg CO_2/Ton$$

b. Emisi GRK pemanasan agregat HMA dengan LPG

- Kapasitas produksi = 60 Ton/ jam
- Bahan Bakar = LPG
- Perhitungan emisi GRK di AMP:
 - Kapasitas efektif produksi = 49,80 Ton/jam (Tabel 4.3.)
 - Dari hasil survei diketahui konsumsi LPG= 5,20m³/Ton (HMA, temperatur pemanasan agregat 1650 C)
 - Nilai konversi 1m³ LPG= 3,70 L (Tabel 3.7. Konversi untuk LPG), sehingga untuk 5,20 m³ LPG = 19,24 L LPG

- Calorific Value LPG = 24,92 MJ/L
- Emission Factor LPG = 63,10 kg CO₂/L

- Perhitungan:

$$\text{Konsumsi Energi } \left(\frac{Mj}{Ton}\right) = \frac{19,24 L \times 24,92 MJ/L}{1 Ton} = \frac{479,46 MJ}{1 Ton} = 479,46 MJ/Ton = 0,479 MJ/kg$$

$$\text{Emisi GRK } \left(\frac{kg CO_2}{Ton}\right) = \frac{0,479 \frac{Mj}{kg} \times 63,10 kg CO_2/Mj}{1 Ton} = 30,25 kg CO_2/Ton$$

Tabel 5. Analisis Pemakaian AMP

Uraian	Kode	Koef	Satuan	Keterangan
Kapasitas produksi	V	60	Ton/jam	Spec. AMP
Faktor efisiensi alat	F _a	0,83	-	Kondisi baik alat
Kap.Prod/jam= VxFa	Q ₂	49,80	Ton	
Koefisien alat/Ton = 1:Q ₂	EO1	0,0201	Jam	

sumber: Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bina Marga

c. Emisi GRK pengangkutan campuran aspal:

Dump Truck

- Kapasitas DT= 10-12 Ton
- BBM = Solar
- Perkiraan konsumsi Solar = 80L/10 jam
- Dari tabel diatas diperoleh hasil: untuk 1 Ton Campuran aspal dibutuhkan waktu= 0,569 jam.
- Konsumsi solar per Ton = 0,569 jam x 8 L/jam = 4,55 L/Ton

- Calorific Value solar = 35,99 MJ/m³
- Emission Factor solar = 74,10 kg CO₂/L
- Konsumsi Energi (Ton) = $\frac{Mj}{Ton} = \frac{4,55 L \times 35,99 MJ/L}{Ton} = 163,75 MJ/Ton = 0,164 MJ/kg$
- Emisi GRK ($\frac{kg CO_2}{Ton}$) = $\frac{0,164 \frac{Mj}{kg} \times 74,1 kg CO_2/Mj}{Ton} = 12,13 kgCO_2/Ton$
- dan seterusnya dan dilanjutkan dengan perhitungan nilai konversi yaitu tabel 6 dibawah ini

Tabel 6. Analisis Pengangkutan Campuran Beraspal ke Lokasi Proyek dengan *Dump truck (DT)*

Uraian	Kode	Koef	Satuan	Keterangan
Kapasitas bak	V	10	Ton	
Faktor efisiensi alat	F _a	0,80	-	Kondisi sedang
Kecepatan maju rata-rata	v ₁	20,00	Km/jam	
Kecepatan kembali rata-rata	v ₂	30,00	Km/jam	
Kapasitas AMP/ batch	Q _{2b}	2	Ton	
Waktu menyiapkan 1 batch	T _b	1	menit	
Waktu siklus	T _{s2}			
Mengisi Bak = (V: Q _{2b}) x T _b	T ₁	5	menit	
Angkut = (L: v ₁) x 60 menit	T ₂	148,80	menit	L=49,60km
Tunggu+dump+putar	T ₃	20,00	menit	
Kembali = (L: v ₂) x 60 menit	T ₄	99,20	menit	
Jumlah	T _{s2}	273	menit	
Kap.Prod/jam= (V xFa x60)/T _{s2}	Q ₄	1,76	Ton	
Koefisien Alat/Ton = 1:Q ₁	E15	0,569	jam	

d. Perhitungan Nilai Konversi

Setelah diperoleh hasil estimasi emisi GRK dari perhitungan pada setiap tahap, dapat dihitung pula estimasi per satuan panjang jalan (nilai konversi) dengan asumsi-asumsi sebagai berikut:

- 1) Lebar tipikal jalan 1 jalur dua arah = 7 m

- 2) Tebal penghamparan rata-rata= 4 cm
- 3) Berat jenis rata-rata campuran = 2,215 Ton/m³
- 4) Kebutuhan campuran aspal panas per-km = 7 x 0,04 x 1000 x 2,215 = 620,2 Ton/km. (nilai konversi = 0,620)

Sehingga diperoleh nilai konversi 1 ton campuran untuk = 0,620 km

e. Rekapitulasi Hasil Perhitungan

- 1) Hasil estiasi GRK Proses Produksi HMA dengan LPG

Tabel 7 Rekapitulasi Estimasi Konsumsi Energi dan Emisi GRK Pemanasan Bahan Bakar LPG

Proses	Nama Alat	Kapasitas	Jenis Bahan Bakar	Penggunaan Bahan Bakar	Konsumsi energi (Mj/Ton)	Emisi GRK (kgCO ₂ /Ton)	Emisi GRK (Ton CO ₂ /km)
Pemindahan agregat dingin	Wheel Loader	1,7 m ³	Solar	200 L/8 jam	19,69	1,46	0,90
Pemanasan agregat	AMP	60 ton/jam	LPG	14 L/ton	503,86	30,25	18,76
Pemindahan agregat panas	Genset	500 KVA	Solar	200 L/8 jam	18,07	1,34	0,82
A Sub total tahap produksi						33,05	19,66
Transportasi campuran aspal ke lokasi proyek	Dump truck	10-12 Ton	Solar	80L/10 jam	163,75	12,13	7,52

Proses	Nama Alat	Kapasitas	Jenis Bahan Bakar	Penggunaan Bahan Bakar	Konsumsi energi (Mj/Ton)	Emisi GRK (kgCO ₂ /Ton)	Emisi GRK (Ton CO ₂ /km)
Pembersihan lokasi penghamparan	Air compressor	PDS 175s, 3000 rpm	Solar	100L/8 jam	3,75	0,28	0,17
Pelapisan aspal ke permukaan jalan	Asphalt sprayer	3000 L	Solar	100L/10 jam	12,00	0,89	0,55
Penghamparan campuran aspal	Asphalt finisher	8-12 ton	Solar	150L/8 jam	77,60	5,75	3,57
Pendataan awal dan akhir	Tandem roller	8-10 ton	Solar	30L/8 jam	1,83	0,14	0,08
Pemadatan antara	Pneumatic tire roller	10-12 ton	Solar	30L/8 jam	1,84	0,14	0,08
B Sub total tahap pelaksanaan pengaspalan						19,32	11,98
A+B TOTAL						52,37	31,64
Emisi GRK tahap produksi A	63,11%						
Emisi GRK tahap pengaspalan B	36,89%						

2) Hasil estimasi emisi GRK proses produksi HMA bahan bakar solar

Tabel 8 Rekapitulasi Estimasi Konsumsi Energi dan Emisi GRK Pemanasan Bahan Solar

Proses	Nama Alat	Kapasitas	Jenis Bahan Bakar	Penggunaan Bahan Bakar	Konsumsi energi (Mj/Ton)	Emisi GRK (kgCO ₂ /Ton)	Emisi GRK (Ton CO ₂ /km)
Pemindahan agregat dingin	Wheel Loader	1,7 m ³	Solar	200 L/8 jam	19,69	1,46	0,90
Pemanasan agregat	AMP	60 ton/jam	Solar	14 L/ton	503,86	37,34	23,15
Pemindahan agregat panas	Genset	500 KVA	Solar	200 L/8 jam	18,07	1,34	0,82
A Sub total tahap produksi						40,13	24,05
Transportasi campuran aspal ke lokasi proyek	Dump truck	10-12 Ton	Solar	80L/10 jam	163,75	12,13	7,52
Pembersihan lokasi penghamparan	Air compressor	PDS 175s, 3000 rpm	Solar	100L/8 jam	3,75	0,28	0,17
Pelapisan aspal ke permukaan jalan	Asphalt sprayer	3000 L	Solar	100L/10 jam	12,00	0,89	0,55
Penghamparan campuran aspal	Asphalt finisher	8-12 ton	Solar	150L/8 jam	77,60	5,75	3,57
Pendataan awal dan akhir	Tandem roller	8-10 ton	Solar	30L/8 jam	1,83	0,14	0,08
Pemadatan antara	Pneumatic tire roller	10-12 ton	Solar	30L/8 jam	1,84	0,14	0,08

Proses	Nama Alat	Kapasitas	Jenis Bahan Bakar	Penggunaan Bahan Bakar	Konsumsi energi (Mj/Ton)	Emisi GRK (kgCO2/Ton)	Emisi GRK (Ton CO2/km)
B Sub total tahap pelaksanaan pengaspalan						19,32	11,98
A+B	TOTAL					59,46	36,03
Emisi GRK tahap produksi	67,50%						
A							
Emisi GRK tahap pengaspalan B	32,50%						

3) Hasil estimasi emisi GRK proses Produksi Agregat asli 60% + RAP 40%

a) Pemanasan agregat asli + RAP dengan LPG

Tabel 9 Rekapitulasi Estimasi Konsumsi Energi dan Emisi GRK Pemanasan Bahan Bakar LPG

Proses	Nama Alat	Kapasitas	Jenis Bahan Bakar	Penggunaan Bahan Bakar	Konsumsi energi (Mj/Ton)	Emisi GRK (kgCO2/Ton)	Emisi GRK (Ton CO2/km)
Pemindahan agregat dingin	Wheel Loader	1,7 m3	Solar	200 L/8 jam	20,06	1,46	0,90
Pemanasan agregat	AMP	60 ton/jam	LPG (HMA)	5,20m3/ton	450,00	28,40	17,60
			LPG (RPA)	4,40m3/ton			
Pemindahan agregat panas	Genset	500 KVA	Solar	200 L/8 jam	18,07	1,34	0,82
A Sub total tahap produksi						31,22	18,53
Transportasi campuran aspal ke lokasi proyek	Dump truck	10-12 Ton	Solar	80L/10 jam	163,75	12,13	7,52
Pembersihan lokasi penghamparan	Air compressor	PDS 175s, 3000 rpm	Solar	100L/8 jam	3,75	0,28	0,17
Pelapisan aspal ke permukaan jalan	Asphalt sprayer	3000 L	Solar	100L/10 jam	12,00	0,89	0,55
Penghamparan campuran aspal	Asphalt finisher	8-12 ton	Solar	150L/8 jam	77,60	5,75	3,57
Pendataan awal dan akhir	Tandem roller	8-10 ton	Solar	30L/8 jam	1,83	0,14	0,08
Pemadatan antara	Pneumatic tire roller	10-12 ton	Solar	30L/8 jam	1,84	0,14	0,08
B Sub total tahap pelaksanaan pengaspalan						19,32	11,98
A+B	TOTAL					50,54	30,51
Emisi GRK tahap produksi	61,77%						
A							
Emisi GRK tahap pengaspalan B	38,23%						

b) Pemanasan Agregat asli + RAP dengan Solar

Tabel 10. Rekapitulasi estimasi konsumsi energi dan emisi GRK pemanasan bahan bakar solar

Proses	Nama Alat	Kapasitas	Jenis Bahan Bakar	Penggunaan Bahan Bakar	Konsumsi energi (Mj/Ton)	Emisi GRK (kgCO2/Ton)	Emisi GRK (Ton CO2/km)
Pemindahan agregat dingin	Wheel Loader	1,7 m3	Solar	200 L/8 jam	20,06	1,46	0,90
Pemanasan agregat	AMP	60 ton/jam	Solar (HMA)	14L/ton	475,11	35,21	21,83
			Solar (RPA)	12L/ton			
Pemindahan agregat panas	Genset	500 KVA	Solar	200 L/8 jam	18,07	1,34	0,82
A Sub total tahap produksi						38,03	22,75
Transportasi campuran aspal ke lokasi proyek	Dump truck	10-12 Ton	Solar	80L/10 jam	163,75	12,13	7,52
Pembersihan lokasi penghampanan	Air compressor	PDS 175s, 3000 rpm	Solar	100L/8 jam	3,75	0,28	0,17
Pelapisan aspal ke permukaan jalan	Asphalt sprayer	3000 L	Solar	100L/10 jam	12,00	0,89	0,55
Penghampanan campuran aspal	Asphalt finisher	8-12 ton	Solar	150L/8 jam	77,60	5,75	3,57
Pendataan awal dan akhir	Tandem roller	8-10 ton	Solar	30L/8 jam	1,83	0,14	0,08
Pemadatan antara	Pneumatic tire roller	10-12 ton	Solar	30L/8 jam	1,84	0,14	0,08
B Sub total tahap pelaksanaan pengaspalan						19,32	11,98
A+B TOTAL						57,36	34,73
Emisi GRK tahap produksi A	66,31%						
Emisi GRK tahap pengaspalan B	33,69%						

4) Hasil estimasi emisi GRK proses Produksi WMA

a) Pemanasan Agregat dengan LPG

Tabel 11. Rekapitulasi estimasi konsumsi energi dan emisi GRK (pemanasan agregat dengan LPG)

Proses	Nama Alat	Kapasitas	Jenis Bahan Bakar	Penggunaan Bahan Bakar	Konsumsi energi (Mj/Ton)	Emisi GRK (kgCO2/Ton)	Emisi GRK (Ton CO2/km)
Pemindahan agregat dingin	Wheel Loader	1,7 m3	Solar	200 L/8 jam	19,69	1,46	0,90
Pemanasan agregat	AMP	60 ton/jam	LPG	14 L/ton	503,86	25,60	15,87
Pemindahan agregat panas	Genset	500 KVA	Solar	200 L/8 jam	18,07	1,34	0,82
A Sub total tahap produksi						28,40	16,78

Proses	Nama Alat	Kapasitas	Jenis Bahan Bakar	Penggunaan Bahan Bakar	Konsumsi energi (Mj/Ton)	Emisi GRK (kgCO2/Ton)	Emisi GRK (Ton CO2/km)
Transportasi campuran aspal ke lokasi proyek	Dump truck	10-12 Ton	Solar	80L/10 jam	163,75	12,13	7,52
Pembersihan lokasi penghamparan	Air compressor	PDS 175s, 3000 rpm	Solar	100L/8 jam	3,75	0,28	0,17
Pelapisan aspal ke permukaan jalan	Asphalt sprayer	3000 L	Solar	100L/10 jam	12,00	0,89	0,55
Penghamparan campuran aspal	Asphalt finisher	8-12 ton	Solar	150L/8 jam	77,60	5,75	3,57
Pendataan awal dan akhir	Tandem roller	8-10 ton	Solar	30L/8 jam	1,83	0,14	0,08
Pemadatan antara	Pneumatic tire roller	10-12 ton	Solar	30L/8 jam	1,84	0,14	0,08
B Sub total tahap pelaksanaan pengaspalan						19,32	11,98
A+B	TOTAL					47,72	28,76
Emisi GRK tahap produksi A							59,51%
Emisi GRK tahap pengaspalan B							40,49%

b) Pemanasan Agregat dengan Solar

Tabel 12. Rekapitulasi estimasi konsumsi energi dan emisi GRK (pemanasan agregat dengan Solar)

Proses	Nama Alat	Kapasitas	Jenis Bahan Bakar	Penggunaan Bahan Bakar	Konsumsi energi (Mj/Ton)	Emisi GRK (kgCO2/Ton)	Emisi GRK (Ton CO2/km)
Pemindahan agregat dingin	Wheel Loader	1,7 m3	Solar	200 L/8 jam	19,69	1,46	0,90
Pemanasan agregat	AMP	60 ton/jam	Solar	14 L/ton	503,86	32,00	19,84
Pemindahan agregat panas	Genset	500 KVA	Solar	200 L/8 jam	18,07	1,34	0,82
A Sub total tahap produksi						34,80	20,75
Transportasi campuran aspal ke lokasi proyek	Dump truck	10-12 Ton	Solar	80L/10 jam	163,75	12,13	7,52
Pembersihan lokasi penghamparan	Air compressor	PDS 175s, 3000 rpm	Solar	100L/8 jam	3,75	0,28	0,17
Pelapisan aspal ke permukaan jalan	Asphalt sprayer	3000 L	Solar	100L/10 jam	12,00	0,89	0,55
Penghamparan campuran aspal	Asphalt finisher	8-12 ton	Solar	150L/8 jam	77,60	5,75	3,57

Proses	Nama Alat	Kapasitas	Jenis Bahan Bakar	Penggunaan Bahan Bakar	Konsumsi energi (Mj/Ton)	Emisi GRK (kgCO ₂ /Ton)	Emisi GRK (Ton CO ₂ /km)	
Pendataan awal dan akhir	Tandem roller	8-10 ton	Solar	30L/8 jam	1,83	0,14	0,08	
Pemadatan antara	Pneumatic tire roller	10-12 ton	Solar	30L/8 jam	1,84	0,14	0,08	
B Sub total tahap pelaksanaan pengaspalan						19,32	11,98	
A+B TOTAL						54,12	32,73	
Emisi GRK tahap produksi		64,30%						
A								
Emisi GRK tahap pengaspalan B		35,70%						

Dari hasil perhitungan-perhitungan diatas diperoleh hasil:

- penghasil emisi GRK yang terbesar adalah pada tahap produksi, khususnya pada proses pemanasan agregat.
- penghasil emisi GRK terbesar ke-2 adalah pada waktu pengangkutan campuran aspal ke lokasi proyek.

Selanjutnya untuk dapat mengetahui pencapaian penurunan emisi GRK perlu dianalisis pada proses pemanasan agregat terhadap penggunaan jenis bahan bakarnya dan campuran beraspal yang diproses, berikut ini disajikan rangkuman hasil perhitungan emisi GRK campuran beraspal:

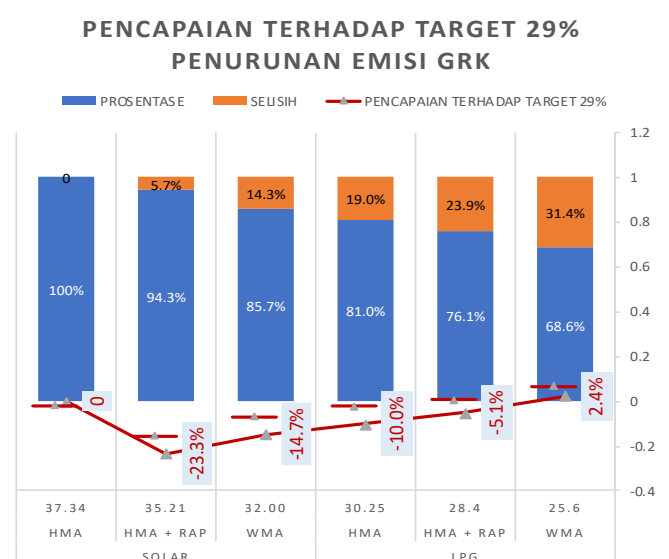
Tabel 13. Rangkuman Perhitungan Emisi GRK campuran beraspal berdasarkan jenis Bahan Bakar pemanasan agregat (tahap produksi)

Jenis Bahan Bakar	Solar			LPG		
	HMA	HMA + RAP	WMA	HMA	HMA + RAP	WMA
Proses Pemanasan Agregat	HMA	HMA + RAP	WMA	HMA	HMA + RAP	WMA
Konsumsi Bahan Bakar	14L/ton	14L/ton 12L/ton	12L/Ton	5.20m3/ ton	5.20m3/ton 4.40m3/ton	4.40m3/ ton
Konsumsi Energi (MJ/Ton)	50,86	35,21	431,88	479,46	450,00	405,70
Emisi GRK (Kg CO ₂ /Ton)	37,34	35,21	32,00	30,25	28,40	25,6
Emisi GRK (Ton CO ₂ /km)	23,15	21,83	19,84	18,76	17,60	15,87
Prosentase	100%	94,30%	85,70%	81,00%	76,1%	68,6%
Selisih	-	5,70%	14,30%	19,00%	23,9%	31,4%
Pencapaian terhadap target 29%	-	-23,30%	-14,70%	-10%	-5,1%	2,4%

d. Gap Analisis Penurunan GRK hasil Mitigasi PI



Gambar 3. Perbandingan besaran Emisi GRK



Gambar 4. Pencapaian terhadap target 29% Penurunan Emisi GRK

1) Dari rangkuman perhitungan pada Tabel 16 dan Gambar 7. dapat dilihat nilai penurunan Emisi GRK pada produksi WMA dengan menggunakan LPG sebesar 31,4 % dibandingkan dengan emisi GRK pada produksi HMA. Dengan demikian dicapai penurunan emisi melebihi target penurunan 29%, yaitu sebesar 2,4%.

2) Gap Penurunan emisi GRK:

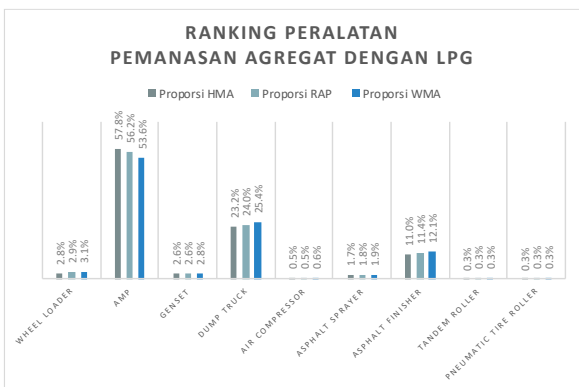
a) proyeksi panjang jalan dan jenis permukaan jalan di Indonesia sampai dengan tahun 2030 Panjang Jalan dan Jenis Permukaan Jalan beraspal di Indonesia diproyeksikan secara linier sampai tahun 2030, dengan asumsi komposisi jenis permukaan jalan tetap yaitu: 61% jenis permukaan jalan beraspal dibanding 39% jenis permukaan jalan bukan aspal

b) Dari hasil perhitungan diperoleh hasil bahwa dalam setiap km produksi campuran beraspal terdapat gap penurunan emisi GRK sebesar= 23,15-15,87= 7,28 Ton CO₂, sehingga diperoleh hasilproyeksi gap penurunan GRK pada tahun 2030 sebesar = 3.122.189,43 TonCO₂.

c) **Ranking Peralatan Penghasil emisi GRK dan Proporsinya**

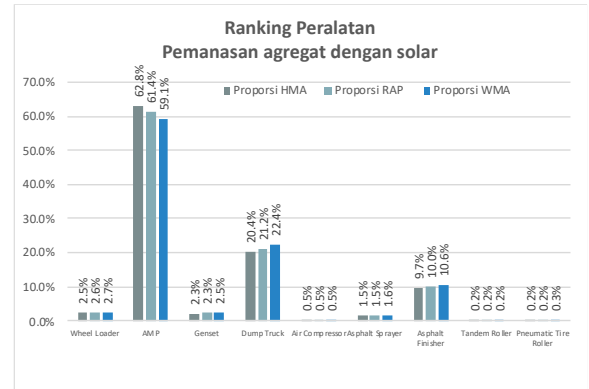
Dari hasil perhitungan emisi GRK dapat diperoleh dan diketahui ranking peralatan yang menghasilkan emisi terbesar sampai yang terkecil berdasarkan jenis bahan bakar untuk pemanasan agregatnya, yaitu sebagai berikut:

1) Pemanasan Agregat dengan LPG



Gambar 8. Ranking Peralatan pemanasan agregat - LPG

2) Pemanasan Agregat dengan Solar



Gambar 9. Ranking Peralatan pemanasan agregat - Solar

Dari hasil analisis diperoleh ranking peralatan penghasil emisi terbesar sampai terkecil adalah:

- AMP pada pemanasan agregat
- Dump Truck pada transportasi campuran beraspal ke lokasi proyek
- Asphalt Finisher pada Penghamparan Campuran Aspal
- Wheel Loader pada pemindahan agregat dari stock pile ke cold bin AMP
- Generator Set pada pemindahan agregat panas di AMP
- Asphalt Sprayer pada pelapisan tack coat
- Pneumatic Tire Roller pada pemadatan antara
- Tandem Roller pada pemadatan awal dan akhir

Kesimpulan

a. Terhadap target 29%, pengurangan emisi GRK pada upaya mitigasi PI dicapai sebesar 31,4 % dibandingkan dengan emisi GRK tolok ukur, melebihi target sebesar 2,4%.

b. Dari hasil perhitungan diperoleh estimasi pengurangan emisi GRK:

- 1)Setiap Ton campuran beraspal= 11,74kgCO₂.
- 2)Setiap km jalan campuran beraspal=7,28Ton CO₂.
Sehingga dapat diproyeksikan pengurangan GRK pada tahun 2030 sebesar= 377,893,694.52kgCO₂

c. Ranking penghasil emisi GRK

1)Urutan tahapan penghasil emisi terbesar:

- Tahap Produksi (59,51%-67,50%)
- Tahap Pelaksanaan Pengaspalan (40,49% - 32,50%)

2)Urutan alat penghasil emisi terbesar:

- AMP pada pemanasan agregat
- Dump Truck pada transportasi campuran beraspal ke lokasi proyek
- Asphalt Finisher pada Penghamparan Campuran beraspal

- *Wheel Loader* pada pemindahan agregat dari stock pile ke cold bin AMP
- *Generator Set* pada pemindahan agregat panas di AMP
- *Asphalt Sprayer* pada pelapisan *tack coat*
- *Pneumatic Tyred Roller* pada Pemadatan Antara
- *Tandem roller* pada Pemadatan Awal dan Akhir

Daftar Pustaka

- Affandi Furqon (2011). *Teknologi Campuran Beraspal Hangat*. Laporan Akhir, Pusjatan, Bandung.
- Bo Peng a, Chunli Cai a, Guangkai Yin a, Wenying Li b, Yaowen Zhan a, (2015). *Evaluation system for CO₂ emission of hot asphalt mixture*. a School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China b Xi'an Highway Institute, Xi'an 710065, China.
- Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan, Direktorat Inventarisasi GRK dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (2018). *Laporan Inventarisasi GRK, Monitoring, Pelaporan, dan Verifikasi Nasional Tahun 2017*, Kementerian LHK.
- Indonesia, Kementerian PUPR, Dirjen Bina Marga, 2018. *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan*.
- IPCC 2008. (2006). IPCC Guidelines for National GHG Inventories – A primer, Prepared by the National GHG Inventories Programme, Eggleston H.S., Miwa K., Srivastava N. and Tanabe K.(eds). IGES, Japan.
- Martono, *Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca Dari Sumber Pembakaran Tetap* , Forum Teknologi volume 06 nomor 4 Pusdiklat Migas ESDM.
- Neni Kusnianti, Furqon Affandi, Aldian Nurcahya (2016). *Aspal Eco Nuska yang Ramah Lingkungan Untuk Campuran Beraspal Hangat Bagi Lalu Lintas Berat*, Pusjatan, Bandung
- Kementerian PUPR, Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil (2010). *Bagian 3: Analisis Harga Satuan (AHSP) Bidang Bina Marga*, Dirjen Bina Marga Kementerian PU.
- Reini D. Wirahadikusumah, Hengki Putra Sahana. (2012). *Estimasi Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca pada Pekerjaan Pengaspalan Jalan*, Kelompok Keahlian Manajemen dan Rekayasa Konstruksi, Fakultas T. Sipil dan Lingkungan ITB