

Studi Komparasi Pekerjaan *Hotmix Asphalt Pavement* (HMA) dengan *Rigid Pavement* Terhadap Konsumsi Energi dan Luaran Emisi Gas CO₂

Jeviana Permatasari, Muhammad Amin, Dwi Sat Agus Yuwana

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar
Jl. Kapten Suparman No.39, Potrobangsari, Magelang Utara, Jawa Tengah, 56116

INTISARI

Konstruksi adalah salah satu sektor penting pendukung pembangunan ekonomi nasional terutama pada konstruksi perkerasan jalan *rigid pavement* dan *hotmix asphalt pavement*. Pada proses pekerjaan perkerasan jalan tentunya akan mengkonsumsi energi dan mengeluarkan polusi yang akan menambah tingkat CO₂ di muka bumi ini. Studi Bank Dunia (The World Bank Group 2011) yang dilakukan terhadap program pembangunan jalan di Indonesia memperkirakan bahwa program pembangunan konstruksi jalan di Indonesia pada periode 2009-2019 akan menghasilkan emisi gas CO₂ sebesar 29.941.737 ton, sudah selayaknya mendapat perhatian dalam upaya pengurangan emisi GRK agar target pengurangan emisi CO₂ sebagaimana yang sudah dicanangkan pada tahun 2020 dapat tercapai. Oleh karena itu, diperlukan suatu penelitian untuk memperkirakan jumlah konsumsi energi dan emisi CO₂ pada pelaksanaan perkerasan jalan tersebut.

Metode dalam penelitian ini menggunakan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2006) dengan menghitung estimasi bahan bakar pada alat berat dan volume material untuk menganalisis konsumsi energi dan emisi CO₂ yang dikeluarkan pada pekerjaan konstruksi perkerasan jalan dengan *rigid pavement* dan *hotmix asphalt pavement*.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pekerjaan konstruksi perkerasan dengan *rigid pavement* mengkonsumsi energi sebesar 42,9345mj/m², mengeluarkan emisi CO₂ sebesar 113,5298 ton CO₂/ m² dan biaya konstruksi Rp.863.078,50m². Sedangkan perkerasan dengan *hotmix asphalt pavement* mengkonsumsi energi sebesar 104,7260 mj/ m², mengeluarkan emisi CO₂ sebesar 395,8669 ton CO₂/ m² dan biaya konstruksi Rp.743.940. Dari hasil tersebut dapat diketahui untuk pekerjaan konstruksi dengan *hotmix asphalt pavement* berkontribusi lebih besar yaitu mengkonsumsi energi 71% dan mengeluarkan emisi CO₂ sebesar 78 % dari pekerjaan konstruksi dengan *rigid pavement*. Dari segi biaya konstruksi perkerasan *rigid pavement* lebih tinggi yaitu 54% dari pekerjaan *hotmix asphalt pavement*.

Kata Kunci : *Estimasi konsumsi energy, emisi CO₂, anggaran biaya.*

ABSTRACT

Construction is one of the important sectors to support national economic development, especially in the construction of rigid pavement and hot mix asphalt pavement. In the process of pavement work, of course, it will consume energy and emit pollution which will increase the level of CO₂ on this earth. A World Bank study (The World Bank Group 2011) conducted on road construction programs in Indonesia estimates that road construction programs in Indonesia in the 2009-2019 period will produce CO₂ gas emissions of 29,941,737 tons, it should be given attention in efforts to reduce GHG emissions so that the target of reducing CO₂ emissions as planned in 2020 can be achieved. Therefore, a study is needed to estimate the amount of energy consumption and CO₂ emissions in the pavement implementation.

The method in this study uses the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2006) by calculating the estimated fuel for heavy equipment and material volume to analyze energy consumption and CO₂ emissions released on pavement construction work with rigid pavement and hot mix asphalt pavement.

The results of the analysis show that pavement construction work with rigid pavement consumes energy of 42.9345mj / m², emits 113.5298 tonnes of CO₂ / m² and construction costs of

Rp.863.078.50m², while pavement with hot mix asphalt pavement consumes 104 energy, 7260 mj / m², emits 395,8669 tonnes of CO₂ / m² and a construction cost of Rp. 743,940. From these results, it can be seen that construction work with hot mix asphalt pavement has a greater contribution, namely consuming 71% of energy and emitting 78% of CO₂ emissions from construction work with rigid pavement. In terms of the construction cost of rigid pavement, it is 54% higher than the hot mix asphalt pavement work.

Keywords: *Estimated energy consumption, CO₂ emissions, budge*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Konstruksi adalah salah satu sektor penting pendukung pembangunan ekonomi nasional. Nilai konstruksi dari tahun ketahun semakin meningkat seiring berkembangnya teknologi dan bertambahnya jumlah penduduk di dunia salah satunya konstruksi jalan aspal dan konstruksi jalan beton (Reini, 2017).

Pada proses pekerjaan perkerasan jalan tentunya menggunakan alat berat sebagai alat bantu agar pekerjaan bisa lebih efisien. Untuk menjalankan alat berat juga di butuhkan bahan bakar sebagai penggerakannya. Pada saat alat berat beroperasi tentunya akan mengeluarkan polusi yang akan menambah tingkat CO₂ di muka bumi ini, selain dari alat berat CO₂ juga bisa disebabkan dari material yang dipakai pada konstruksi perkerasan jalan (setiawati, 2015).

Studi Bank Dunia (The World Bank Group 2011) yang dilakukan terhadap program pembangunan jalan di Indonesia memperkirakan bahwa program pembangunan kontruksi jalan di Indonesia pada periode 2009-2019 akan menghasilkan emisi gas CO₂ sebesar 29.941.737 ton, dimana pembangunan jalan nasional sebesar 11.706.139 juta ton (39%), disusul dengan jalan desa (24%), jalan tol (20%) dan jalan provinsi (17%). Jalan nasional adalah sektor transportasi darat terbesar penyumbang terbesar emisi CO₂, sudah selayaknya mendapat perhatian dalam upaya pengurangan emisi GRK agar target pengurangan emisi CO₂ sebagaimana yang sudah dicanangkan pada tahun 2020 dapat tercapai (Ridwan, 2014).

1.2 Rumusan Masalah

Volume pekerjaan serta penggunaan alat berat pada proses pekerjaan perkerasan jalan dengan *hotmix asphalt pavement* (HMA) dan *rigid pavement* menyebabkan tingginya konsumsi energi dan tingkat emisi gas CO₂ yang mengakibatkan meningkatnya penggunaan sumber daya alam yang tidak terbarukan dan *global warming*.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui biaya konstruksi pada saat proses konstruksi perkerasan jalan dengan *rigid pavement*.
2. Mengetahui biaya konstruksi pada saat proses

konstruksi perkerasan jalan dengan *hotmix asphalt pavement* (HMA).

3. Mengetahui konsumsi energi pada saat proses konstruksi perkerasan jalan dengan *rigid pavement*.
4. Mengetahui konsumsi energi pada saat proses konstruksi perkerasan jalan dengan *hotmix asphalt pavement* (HMA).
5. Mengetahui hasil perbandingan biaya konstruksi pada pekerjaan konstruksi perkerasan jalan dengan *hotmix asphalt pavement* (HMA) dan *rigid pavement*.
6. Mengetahui hasil perbandingan konsumsi energi dan tingkat emisi gas CO₂ antara perkerasan dengan *hotmix asphalt pavement* (HMA) dan *rigid pavement*.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil Penelitian dapat dijadikan bahan evaluasi konsumsi energi dan tingkat emisi gas CO₂ pada proses konstruksi jalan, serta dapat dijadikan sumber acuan untuk terlaksananya konstruksi hijau.

1.5 Hipotesis Penelitian

Pekerjaan konstruksi perkerasan jalan mengkonsumsi energi dan menyumbang emisi CO₂ terbesar, terutama pada perkerasan lentur tingkat konsumsi energi dan emisi CO₂ lebih tinggi dibandingkan dengan perkerasan kaku (Rusdi, 2017).

2. Landasan Teori

2.1 Jenis Perkerasan

1. Perkerasan Kaku

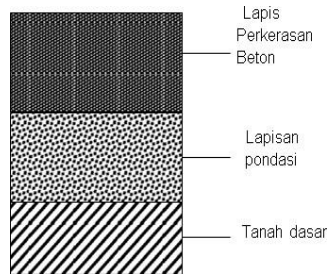
Struktur perkerasan dengan beton berbahan semen merupakan struktur yang terbuat dari atas plat beton berbahan semen kemudian disambung dalam artian (tidak menerus) baik itu tanpa tulangan maupun dengan tulangan, atau bisa juga menerus dengan tulangannya, struktur ini berada diatas lapisan pondasi bawah atau sering kita jumpai di tanah dasar, atau dengan lapisan permukaan yang sudah beraspal (Sentosa, 2012).

2. Perkerasan Lentur

Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat dan lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar (Senja, 2016).

2.2 Lapis Perkerasan

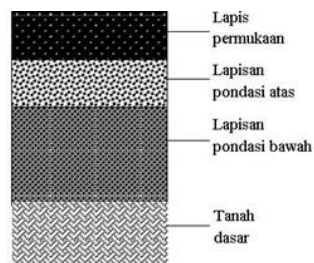
1. Lapis Perkerasan Kaku



Gambar 1. Lapis Perkerasan Kaku

- Tanah dasar (*subgrade*), adalah bagian dari permukaan badan jalan yang dipersiapkan untuk menerima konstruksi di atasnya yaitu konstruksi perkerasan.
- Lapis fondasi (*subbase*). Lapis fondasi ini terletak di antara tanah dasar dan plat beton.
- Lapis perkerasan beton, merupakan lapisan perkerasan jalan.

2. Lapis Perkerasan Lentur



Gambar 2. Lapis Perkerasan Lentur

- Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*) Lapisan tanah dasar adalah lapisan tanah yang berfungsi sebagai tempat perletakan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan di atasnya. Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, atau tanah urugan yang didatangkan dari tempat lain atau tanah yang distabilisasi dan lain lain.
- Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*) Lapisan pondasi bawah adalah lapisan perkerasan yang terletak di atas lapisan tanah dasar dan dibawah lapis pondasi atas.
- Lapisan pondasi atas (*base course*) Lapisan pondasi atas adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan
- Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan adalah lapisan yang bersentuhan langsung dengan beban roda kendaraan.

2.3 Tahap-Tahap pekerjaan Perkerasan Jalan



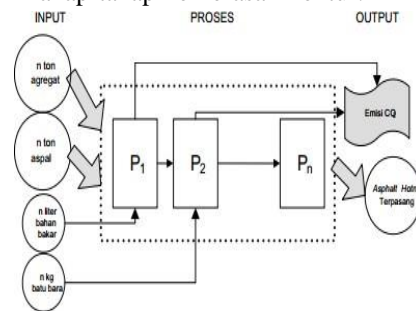
Gambar 4. Tahapan-Tahapan Pelaksanaan Perkerasan Kaku

1. Tahap-tahap Perkerasan Kaku

- Pekerjaan Persipan
- Pekerjaan Galian dan Timbunan
- Pekerjaan Perkerasan Jalan
- Pekerjaan Beton

Pada proses pelaksanaan konstruksi perkerasan kaku diperlukan penggunaan beberapa alat berat. Alat berat yang digunakan antara lain adalah *excavator*, *bulldozer*, *vibrating roller*, *dump truck*, *truck mixer*, dan lain-lain. Penggunaan alat berat terbesar biasanya adalah pada proses pekerjaan tanah dan lapis pondasi (Apsari,2015).

2. Tahap-tahap Perkerasan Lentur.



Gambar 5. Tahapan-Tahapan Pelaksanaan Perkerasan Lentur

- Tahap Produksi Campuran Aspal
- Tahap transportasi material
- Tahap pelaksanaan pekerjaan pengaspalan

2.4 Alat Berat pada Pekerjaan Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur.

1. Motor Grader

Motor Grader adalah suatu alat yang digunakan untuk keperluan perataan permukaan tanah, membuat selokan samping dan membentuk permukaan tanah yang dikehendaki produksi alat perjam :

$$Q = \frac{Lh \times (N \times (b - bo) \times t \times Fa \times 60}{n \times Ts}$$

2. Tandem Roller

Tandem roller merupakan suatu alat berat yang digunakan pada pekerjaan konstruksi yang bertujuan untuk memadatkan tanah atau material sehingga tercapai kepadatan yang diinginkan produksi alat perjam :

$$Q = \frac{(v \times 1000) \times (N \times (b - bo) + bo) \times t \times Fa}{n}$$

3. Dump Truck

Dump truck adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan material pada jarak menengah sampai jarak jauh (500 meter atau lebih). produksi alat perjam :

$$Q = \frac{V \times Fa \times 60}{Ts \times Bip}$$

4. Water Tanker

Water Tanker merupakan sarana yang berfungsi untuk mendistribusi air yang pada waktu pemadatan atau pengaspalan.

Produksi alat perjam :

$$Q = \frac{V \times Fb \times Fa \times Fv1 \times 60}{Ts}$$

5. Excavator

Excavator adalah alat yang bekerjanya berputar bagian atasnya pada sumbu vertikal di antara sistem roda – rodanya, sehingga *excavator* yang beroda ban, pada kedudukan arah kerja attachment tidak searah dengan sumbu memanjang sistem roda – roda.

Produksi alat perjam :

$$Q = \frac{V \times Fb \times Fa \times Fv1 \times 60}{Ts}$$

6. Whell Loader

Whell Loader adalah alat yang mencampurkan dan memuat agregat ke dalam dump truck.

Produksi alat perjam :

$$Q = \frac{V \times Fb \times Fa \times 60}{Ts}$$

7. Vibrator Roller

Alat pemadatan tanah merupakan proses untuk mengurangi adanya rongga antar partikel tanah sehingga volume tanah menjadi lebih kecil.

Produksi alat perjam :

$$Q = \frac{(v \times 1000) \times (N \times (b - bo) + bo) \times t \times Fa}{n}$$

8. Jack hammer

Jack hammer beroperasi dengan menggerakkan palu *internal* ke atas dan ke bawah. Palu pertama-tama didorong ke bawah untuk memukul punggung dan kemudian kembali ke atas untuk mengembalikan palu ke posisi semula untuk mengulangi siklus.

Produksi alat perjam :

$$Q = \frac{Fa \times t \times 60}{bk}$$

9. Batching Plant (*Concrete Pan Mixer*)

Peralatan pembuatan campuran beton yang ditempatkan secara terpusat dan biasanya mempunyai kapasitas tinggi, sehingga cocok untuk pekerjaan-pekerjaan beton dengan volume besar, disebut *Batching Plant*. Produksi alat perjam :

$$Q = \frac{V \times Fa \times 60}{1000 \times Ts}$$

10. Concrete Vibrato

Concrete vibrato adalah salah satu peralatan yang digunakan saat pengecoran di mana fungsinya ialah untuk pemadatan beton yang dituangkan ke dalam bekisting.

Produksi kerja *concrete vibrator* di peroleh dari kapasitas produksi beton *mixer* dan *concrete mixer truck*.

11. Concrete Mixer Truck

Concrete Mixer Truck ini berguna untuk mengangkut *ready mix concrete* dari *batching plant* ke lokasi pengecoran.

Produksi alat perjam :

$$Q = \frac{V \times Fa \times 60}{Ts}$$

12. Asphalt Distributor

Asphalt Distributor adalah alat berat yang berfungsi untuk mendistribusikan asfalt sampai dengan terampar pada lokasi pemasangan di jalan yang sedang dilakukan perkerasan. Produksi alat perjam :

$$Q = pas \times Fa \times 60$$

13. Compressor

Compressor adalah alat yang digunakan untuk membersihkan pennaakaan jalan dari kotoran dan debu.

Produksi kerja *air compressor* di peroleh dari kapasitas produksi *jack hammer* dan *asphalt distributor*.

14. Pneumatic Tire Roller

Pneumatic tyre roller adalah roda -roda penggilas. Jenis ini terdiri atas roda-roda dan karet yang di pompa *pneumatic* susunan dari roda muka dan roda belakang selang- seling sehingga bagian yang tidak tergilas oleh roda bagian muka, maka akan digilas oleh roda bagian belakang. Produksi alat perjam :

$$Q = \frac{(v \times (N \times (b - bo) + bo) \times Fa}{n}$$

15. Asphalt Sprayer

Asphalt Sprayer adalah alat yang digunakan untuk mengolah material lapis pengikat.

Produksi alat perjam :

$$Q = \frac{pa \times Fa \times 60}{1000}$$

16. Asphalt Finisher

Asphalt Finisher adalah alat yang digunakan untuk menghamparkan asphalt pada pennaakaan badan jalan.

Produksi alat perjam :

$$Q = V \times b \times 60 \times Fa$$

17. Asphalt mixing plant

Asphalt mixing plant (AMP) adalah tempat dimana campuran aspal diaduk, dipanaskan, dan dicampur.

Produksi alat perjam :

$$Q = \frac{v \times Fa}{D1 \times Fk}$$

2.5 Metode Estimasi Konsumsi Energi dan Emisi Gas CO2

Karena komponen GRK yang paling dominan dihasilkan pada pembakaran bahan bakar adalah gas carbon 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

Metode analisis yang digunakan untuk estimasi konsumsi energi adalah dengan konversi penggunaan bahan bakar kepada satuan energi standar (Joule) . Untuk mendapatkan angka konsumsi energi menggunakan Rumus berikut :

$$\begin{aligned} & \text{Konsumsi Energi} \left(\frac{Mj}{ton} \right) \\ &= \text{Konsumsi Bahan Bakar (ltr)} \\ & \times \text{Claraficvalue} \left(\frac{Mj}{liter} \right) \end{aligned}$$

Estimasi jumlah emisi CO2 per-ton produksi material perkerasan, mengacu pada persamaan panduan IPCC adalah seperti dijelaskan pada Rumus berikut :

$$\begin{aligned} & \text{Emisi GRK} \left(\frac{Kg CO_2}{ton} \right) \\ &= \text{Konsumsi Energi (ltr)} \\ & \times \text{Faktor Emisi} \left(\frac{Kg CO_2}{ton} \right) \end{aligned}$$

2.6 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.

Tabel 1. Emisi CO2 yang ditimbulkan oleh proses produksi Material

No	Material	Faktor konversi
1	Besi tulangan	2.4 ton CO2/ton
2	Semen	1 ton CO2/ton
3	Agregat Kasar	1,067 ton CO2/ton
4	Agregat Halus	-
5	Aspal	11,91 kg CO2/gal
6	Fly Ash	-

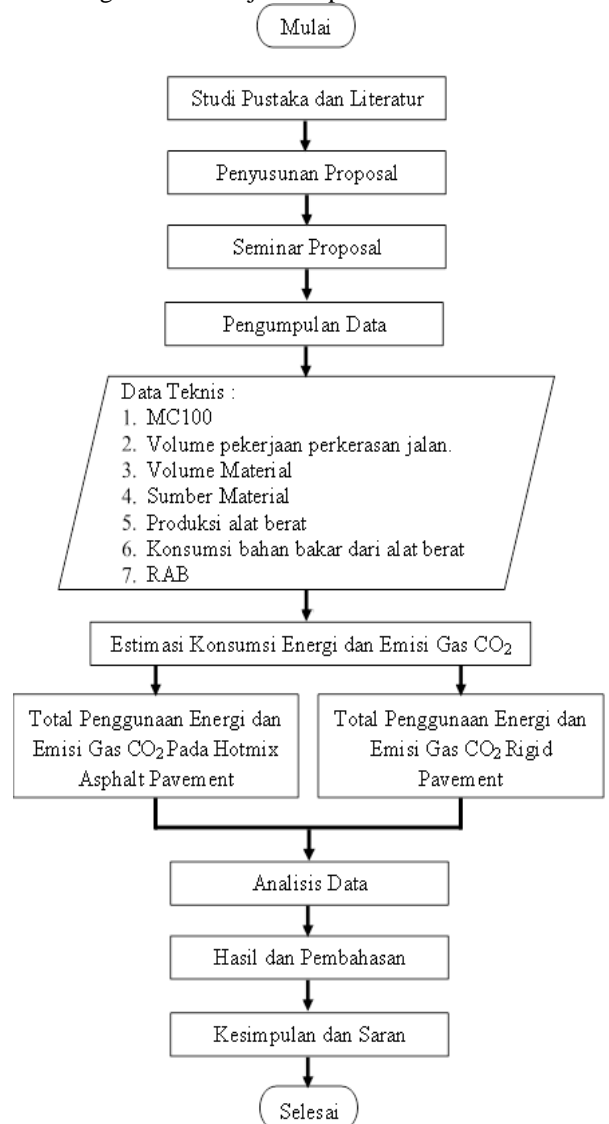
Tabel 2. Faktor Konversi Energi dan Faktor Emisi Bahan Bakar

Jenis Bahan Bakar	Density (kg/ltr)	Calorific Value		Emission Factor	
		(GJ/Mg)	(MJ/ltr)	(Kg CO2/GJ)	(Kg CO2/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	

3. Metodologi Penelitian

3.1 Bagan Alir Penelitian

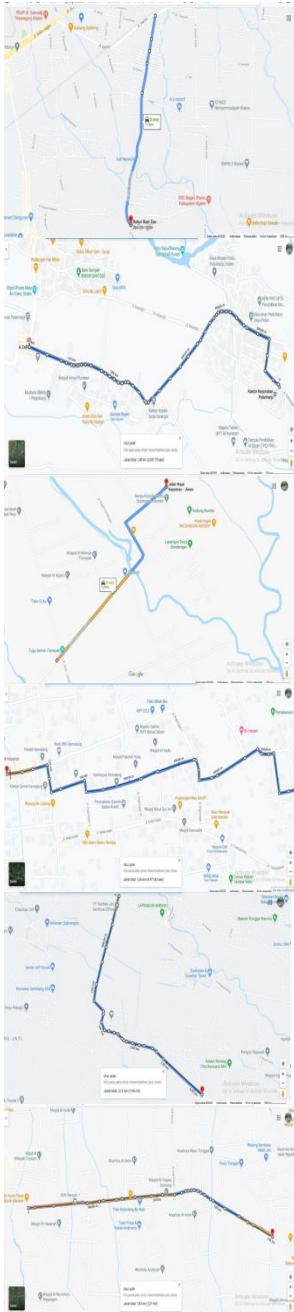
Bagan Alir ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Klaten yaitu jalan Kunto Wijoyodanu, jalan Polanharjo-Karanglo, jalan Jiwan-kayumas, jalan Mipitan-pasar Kembang, jalan Ngaran-Telukun, jalan Prawatan-Nangsri.



Gambar 4. Lokasi Penelitian

3.3 Metode Penelitian

Penelitian bertujuan untuk menghitung berapa energi yang dikonsumsi dan emisi gas rumah kaca CO₂ yang dihasilkan dalam konstruksi perkerasan jalan raya di jalan dengan menggunakan *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*

tahun 2006. Data teknis proyek yang didapat dari konsultan dan kontraktor pelaksana.

3.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dasar penelitian yaitu data sekunder yang bersumber dari data MC100 dan RAB proyek konstruksi perkerasan jalan yang di dapat dari PT. Srigading Puspa Wangi dan Bina Marga Kabupaten Klaten.

3.5 Pengolahan Data

1. Menghitung total volume material (agregat kasar, agregat halus, besi tulangan, semen, aspal).
2. Menghitung total penggunaan bahan bakar dari sumber material sampai ke lokasi pekerjaan konstruksi jalan.
3. Menghitung volume Pekerjaan perkerasan *Rigid Pavement*.
4. Menghitung volume pekerjaan perkerasan *hotmix asphalt pavement*.
5. Menghitung kapasitas produksi alat berat.
6. Menghitung konsumsi bahan bakar pada setiap tahapan pekerjaan perkerasan jalan.

Hasil dari volume pekerjaan, volume material, jarak sumber material sampai ke lokasi proyek, dan total bahan bakar yang digunakan pada alat berat didapat dari data MC100 Proyek perkerasan jalan dengan *hotmix asphalt pavement (HMA)* dan *rigid pavement*.

Hasil dari kapasitas produksi alat berat didapat dari rumus kapasitas Produksi perjam dan Produksi persiklus.

7. Estimasi Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca (CO₂)

Melakukan perhitungan estimasi konsumsi energi dan emis gas rumah kaca (CO₂) pada pekerjaan perkerasan kaku dan perkerasan lentur dengan menggunakan konversi konsumsi bahan bakar (IPCC).

3.6 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu, alat tulis, rol meter, laptop, kalkulator.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil

Berdasarkan Penelitian yang dilakukan, maka diperoleh hasil penelitian berikut:

a. Data Masukan

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa data teknis proyek pembangunan di Kabupaten Klaten yaitu jalan Kunto Wijoyodanu, jalan Polanharjo- Karanglo, jalan Ngaran-Telukun, jalan Jiwan-kayumas, jalan Mipitan-Pasar Kembang, dan jalan Prawatan-Nangsri, data masukan yang terdiri dari data volume pekerjaan, data sumber material, data volume material, produksi alat berat, dan total bahan bakar yang terpakai pada pelaksanaan pekerjaan konstruksi perkerasan jalan di dapat dari MC100 pada setiap

divisi proses pekerjaan jalan perkerasan dengan *rigid pavement* dan *hotmix asphalt pavement*, yang diperoleh dari kontraktor pelaksana. Data ini

didapat dari PT. Srigading Puspa Wangi dan DPU Kabupaten Klaten.

Tabel 3. Nama Jalan dan Jenis Perkerasan

No	Nama Jalan	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)	Total (m ²)	Jenis Perkerasan
1	Jalan Mipitan – Pasar Kembang	1.360	5	6.800	51.755	<i>Rigid Pavement</i>
2	Jalan Prawatan – Nangsri	4.775	5	23.875		<i>Rigid Pavement</i>
3	Jalan Jiwan – Kayumas	4.216	5	21.080		<i>Rigid Pavement</i>
4	Jalan Kunto Wijoyodanu	1.731	5,5	9.520,5	45.319,5	<i>Hotmix Asphalt Pavement</i>
5	Jalan Ngaran – Telukan	4.157	6,0	24.942		<i>Hotmix Asphalt Pavement</i>
6	Jalan Polanharjo-Karanglo	1.974	5,5	10.857		<i>Hotmix Asphalt Pavement</i>

Material	Volume	Faktor Konversi	Emisi Co2 (Ton)
Agregat Kasar	2.813,51 Ton	1,067 Ton CO ₂ /ton	3.002,0186
Agregat Halus	1.867,01 Ton	0	0,0000
Semen	1.549.934,89 kg	1 ton CO ₂ /ton	1.549,9348
Besi Tulangan	500.271,91 kg	2,4 ton CO ₂ /ton	1.200,6526
Aspal	-	11,9111,91 kg CO ₂ /gal	-
Total			5.752,61

i. Emisi CO₂ pada Material

Perhitungan emisi CO₂ pada material dilakukan dengan mengalikan total volume material dan faktor konversi pada setiap material sehingga didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 4 Emisi CO₂ Berdasarkan Volume Material pada Pekerjaan Jalan Mipitan – Pasar Kembang Berdasarkan Bahan Bakar Alat yang Digunakan pada Pekerjaan Jalan Mipitan – Pasar Kembang

Tabel 5 Emisi CO₂ Berdasarkan Volume Material pada Pekerjaan Jalan Kunto Wijoyodanu

Material	Volume	Faktor Konversi	Emisi Co2 (Ton)
Agregat Kasar	2.271,93 Ton	1,067 Ton CO ₂ /ton	2.424,1544
Agregat Halus	976,539 Ton	0	0,0000
Semen	-	1 ton CO ₂ /ton	-
Besi Tulangan	-	2,4 ton CO ₂ /ton	-
Aspal	187.321 Kg	11,9111,91 kg CO ₂ /gal	2.230.987,3957
Total			2.233.411,55

ii. Konsumsi Energi dan Emisi CO₂ pada Transportasi Material

Tabel 6 Konsumsi Energi dan Emisi CO₂ pada Transportasi Material Pekerjaan Jalan Mipitan – Pasar Kembang (PT.Srigading Puspa Wangi)

Material	Konsumsi Bahan Bakar (liter)	Konsumsi Energi (Mj) (35,99 Mj/Ltr)	Emisi Co2 (Kg Co2) (2,67 Kg Co2/Ltr)
Agregat Kasar	126,286	4.545,03	337,184
Agregat Halus	54,857	1.974,30	146,468
Semen	12,571	452,43	33,565
Besi Tulangan	8,000	287,92	21,360
Aspal	-	-	-
Total		7.259,69	538,576

Tabel 7 Konsumsi Energi dan Emisi CO² pada Transportasi Material Pekerjaan Jalan Kunto Wijoyodanu (DPU Kabupaten Klaten)

Material	Konsumsi Bahan Bakar (liter)	Konsumsi Energi (Mj) (35,99 Mj/Ltr)	Emisi Co2 (Kg Co2) (2,67 Kg Co2/Ltr)
Agregat Kasar	136,000	4.894,64	363,120
Agregat Halus	83,200	2.994,37	222,144
Semen dan Aspal	11,429	411,33	30,515
Besi Tulangan	-	-	-
Total		8.300,34	615,779

iii. Konsumsi Energi dan Emisi CO₂ Alat Berat pada Setiap Pekerjaan

Tabel 8 Konsumsi Energi dan Emis CO₂

Pekerjaan	Alat Berat	Konsumsi Bahan Bakar (Liter)	Konsumsi Energi (Mj) (35,99 Mj/Ltr)	Emisi Co2 (Kg Co2) (2,67 Kg Co2/Ltr)
3.1.(8)	Jack Hammer	0,000	0,000	0,000
	Compresor	7,229	260,169	694,650
	Dump Truck	45,000	1.619,550	4.324,199
3.2.(1a)	Excavator	38,747	1.394,501	3.723,318
	Dump Truck	437,392	15.741,732	42.030,424
	Motor Grader	14,595	525,264	1.402,455
	Vibro Roller	9,918	356,942	953,034
	Water tank Truck	20,319	731,273	1.952,499
3.2.(1b)	Excavator	116,210	4.182,405	11.167,021
	Dump Truck	574,771	20.686,002	55.231,626
	Motor Grader	16,712	601,482	1.605,957
	Vibro Roller	11,357	408,735	1.091,324
	Water tank Truck	23,267	837,384	2.235,815
5.1.(1)	Wheel Loader	15,057	541,909	1.446,897
	Dump Truck	120,847	4.349,268	11.612,545
	Motor Grader	7,880	283,609	757,237
	Tandem oller	15,043	541,405	1.445,552

	Water Tanker	19,263	693,291	1.851,086
5.3.(2)	Wheel Loader	657,402	23.659,910	63.171,961
	Batching Plant	1.750,678	63.006,891	168.228,398
	Truck Mixer	5.659,286	203.677,716	543.819,501
	Concrete Vibrator	71,856	2.586,104	6.904,897
	Water Tank Truck	878,111	31.603,197	84.380,536
5.3.(3)	Wheel Loader	0,474	17,046	45,513
	Batching Plant	1,261	45,394	121,202
	Truck Mixer	0,116	4,158	11,101
	Concrete Vibrator	0,052	1,863	4,975
	Water Tank Truck	0,633	22,769	60,793
7.1.(7a)	Concrete Pan Mixer	121,084	4.357,825	11.635,394
	Truck Mixer	247,500	8.907,525	23.783,092
	Water Tank Truck	27,470	988,661	2.639,724
7.1.(10)	Concrete Mixer	243,154	8.751,097	23.365,430
	Water Tank Truck	54,364	1.956,560	5.224,015
Total			403.341,637	1.076.922,171

Tabel 9 Konsumsi Energi dan Emis CO₂ Berdasarkan Alat Berat yang Digunakan pada Pekerjaan Jalan Kunto Wijoyodanu

Pekerjaan	Alat Berat	Konsumsi Bahan Bakar (Liter)	Konsumsi Energi (Mj) (35,99 Mj/Ltr)	Emisi CO ₂ (CO ₂ /Kg) (2,67 Kg CO ₂ /Ltr)
3.1.(1a)	Excavator	302,204	10.876,332	29.039,806
	Dump Truck	2.974,395	107.048,463	285.819,397
3.2.(1b)	Excavator	149,082	5.365,467	14.325,796
	Dump Truck	737,354	26.537,376	70.854,795
	Motor Grader	21,440	771,621	2.060,228
	Vibro Roller	14,569	524,353	1.400,022

	Water tank Truck	29,849	1.074,252	2.868,252
3.2.(2a)	Wheel Loader	0,140	5,036	13,445
	Dump Truck	7,709	277,450	740,792
	Motor Grader	0,068	2,452	6,548
	Tandem	0,168	6,046	16,143
	Water Tanker	0,089	3,217	8,590
	5.5.(1)	Wheel Loader	89,552	3.222,982
Batching Plant		685,337	24.665,291	65.856,328
Truck Mixer		797,708	28.709,510	76.654,392
Concrete Vibrator		28,130	1.012,381	2.703,058
Tandem Roller		35,788	1.287,995	3.438,945
Water Tank Truck		114,568	4.123,319	11.009,261
Motor Grader		46,867	1.686,755	4.503,635
6.1.(2a)	Aspal Distributor	9,179	330,335	881,995
	Compresor	4,789	172,349	460,171
6.3.(5a)	Asphalt Mixing Plant	5.123,868	184.408,008	492.369,381
	Dump Truck	2.103,833	75.716,962	202.164,288
	Asphalt Finisher	24,469	880,628	2.351,276
	Tandem Roller	46,558	1.675,625	4.473,920
	Pneumatic Tire Roller	5.729,213	206.194,384	550.539,005
6.3.(6c)	Asphalt Mixing Plant	5.269,534	189.650,512	506.366,867
	Dump Truck	2.163,643	77.869,506	207.911,582
	Compresor	1,305	70,853	189,177
	Asphalt Sprayer	0,241	64,198	171,409
	Asphalt Finisher	1,969	1.005,736	2.685,316
	Tandem Roller	1,784	832.004,784	2.221.452,774
	Pneumatic Tire Roller	27,945	1.005,736	2.685,316
Total			1.788.249,915	4.774.627,273

Tabel 10 Total Keseluruhan Energi dan Luaran Emisi CO₂ Berdasarkan Alat Berat yang Digunakan Pada Pekerjaan Jalan Perkerasan Rigid Pavement

Nama Jalan	Total Konsumsi Energi (Mj)	Total Emisi CO ₂ (CO ₂ /kg)
Jalan Mipitan – Pasar Kembang	403.341,637	1.076.922,171
Jalan Prawatan – Nangsri	879.096,90	2.347.188,72
Jalan Jiwan – Kayumas	912.179,811	2.435.520,09
Total	2.194.618,35	5.859.630,98

Tabel 11 Total Keseluruhan Energi dan Luaran Emisi CO₂ Berdasarkan Alat Berat yang Digunakan Pada Pekerjaan Jalan Perkerasan Hot Mix Asphalt Pavement

Nama Jalan	Total Konsumsi Energi (Mj)	Total Emisi CO ₂ (CO ₂ /kg)
Jalan Kunto Wijoyodanu	1.788.249,92	4.774.627,27
Jalan Ngaran – Telukan	2.055.008,46	5.486.872,58
Jalan Polanharjo - Karanglo	875.050,47	2.336.384,76
Total	4.718.308,85	12.597.884,61

iv. **Konsumsi Energi dan Emisi CO₂ Pada Perkerasan Rigid Pavement**

Tabel 12 Konsumsi Energi dan Emisi CO₂ Pada Perkerasan Rigid Pavement

	konsumsi energi (mj)	Emisi CO ₂ (CO ₂ /Ton)
Berdasarkan Material	27.455,22	16.101,00
Berdasarkan Bahan Bakar Alat	2.194.618,35	5.859.630,98
Total	2.222.073,57	5.875.731,98

Konsumsi energi $\text{mj/m}^2 = 2.222.073,57 : 51.755 = 42,9345 \text{ mj/m}^2$

Emisi CO₂ $\text{Ton CO}_2/\text{m}^2 = 5.875.731,55 : 51.755 = 113,5298 \text{ Ton CO}_2/\text{m}^2$

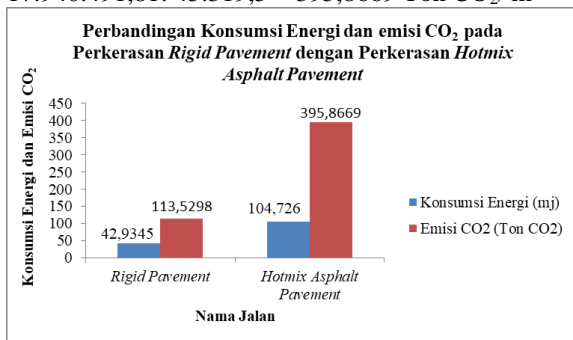
v. **Konsumsi Energi dan Emisi CO₂ Pada Perkerasan Hotmix Asphalt Pavement**

Tabel 13 Konsumsi Energi dan Emisi CO₂ Pada Perkerasan Hotmix Asphalt Pavement

	konsumsi energi (mj)	Emisi CO ₂ (CO ₂ /Ton)
Berdasarkan Material	27.821,28	5.342.607,20
Berdasarkan Bahan Bakar Alat	4.718.308,85	12.597.884,61
Total	4.746.130,13	17.940.491,81

Konsumsi energi $\text{mj/m}^2 = 4.746.130,13 : 45.319,5 =$

104,7260 mj/ m² Emisi CO₂ Ton CO₂/ m² =
17.940.491,81: 45.319,5 = 395,8669 Ton CO₂/m²



Gambar 5 Diagram Perbandingan Konsumsi Energi dan emisi CO₂ pada

b. Pembahasan

Berdasarkan Tabel 12 dan 13 dapat diketahui total keseluruhan konsumsi energi dan emisi CO₂ pada konstruksi perkerasan *rigid pavement* adalah 2.222.073,57 mj dan 5.875.731,98 CO₂/Ton, sedangkan pada perkerasan *hotmix asphalt pavement* adalah 4.746.130,13 mj dan 17.940.491,81 CO₂/Ton. Untuk mendapatkan konsumsi energi /m² dan emisi CO₂ /m², sehingga didapatkan konsumsi energi dan emisi CO₂ pada konstruksi perkerasan *rigid pavement* 42,9245 mj/m² dan 113,5298 ton CO₂/m² sedangkan perkerasan *hotmix asphalt pavement* 104,7260 mj/m² dan 395,8669 ton CO₂/m². Dari hasil tersebut dapat diketahui perkerasan dengan *hotmix asphalt pavement* berkontribusi paling besar pada penggunaan konsumsi energi dan luaran emisi CO₂.

Hasil penelitian menunjukkan konstruksi perkerasan *hotmix asphalt pavement* berkontribusi besar terhadap konsumsi energi dan emisi CO₂ pada konstruksi jalan sedangkan biaya konstruksi tertinggi ditunjukkan pada konstruksi perkerasan dengan *rigid pavement*.

Dengan diketahuinya hasil tersebut di harapkan bisa menjadi acuan untuk mengurangi penggunaan energi yang berlebihan dan mengurangi emisi CO₂ yang di hasilkan dari proses konstruksi perkerasan jalan.

5 Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka penyusun dapat berikan kesimpulan dan saran sebagai berikut:

a. Kesimpulan

1. Total energi yang dikonsumsi dan emisi CO₂ pada pekerjaan konstruksi perkerasan jalan dengan *rigid pavement* yaitu sebesar 42,9262 mj/ m² dan 113,5291ton CO₂/m².
2. Total energi yang dikonsumsi dan emisi CO₂ pada pekerjaan konstruksi perkerasan jalan

dengan *hotmix asphalt pavement* yaitu sebesar 104,5617mj/ m² dan 395,7516 ton Co₂/m².

3. Hasil perbandingan biaya konstruksi menunjukkan bahwa biaya konstruksi pada perkerasan *rigid pavement* lebih tinggi di banding dengan perkerasan *hotmix asphalt pavement*. perkerasan *asphalt pavement* lebih hemat sebesar Rp.119.137,66 /m².
4. Hasil perbandingan konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca (CO₂) pada pekerjaan konstruksi perkerasan jalan dengan *hotmix asphalt pavement* berkontribusi lebih besar di banding dengan konstruksi perkerasan jalan dengan *rigid pavement*.

b. Saran

1. Pada proses konstruksi perkerasan jalan dimana emisi CO₂ secara dominan dihasilkan oleh alat berat khususnya pada pekerjaan *hotmix asphalt pavement* diperlukan penggunaan alat berat yang mengkonsumsi bahan bakar lebih efisien agar emisi CO₂ yang dikeluarkan lebih sedikit.
2. Diperlukan peraturan perundangan yang membahas emisi CO₂ pada pekerjaan konstruksi di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Fadholah, R., Setyawan, A., Suryoto, 2017, Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca (CO₂) Pada Proses Pelaksanaan Pekerjaan Perkerasan Jalan, Jurnal Matriks Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret.
- Marpaung, R., 2014, Perbandingan Emisi Co2 Menggunakan Beton dan Aspal (Studi Kasus Rekonstruksi Jalan Nasional Proinsi Riau),Jurnal Sosek Pekerjaan Umum, 6(3): 140-221.
- Mulyana, A., Wirahadikusumah, R.D., 2017, Analisis Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca pada Tahap Konstruksi Studi Kasus : Konstruksi Jalan Cisumdawu, JurnalTeoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, 24(3), Jurnal Teknik Sipil ITB.
- Peng, B., Cai, C., Yin, G., Li, W., Zhan, Y., 2015, Evaluation system for CO₂emission of hotasphalt mixture, Journal Of Traffic and Transportation Engineering, 2(2) : 116-124.
- Purboyo, W., Maha, I., 2019, Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca Campuran Aspal Industri Konstruksi Jalan, 2(1), Universitas Trisakti.
- Setiawati, A., Prasetyo, S.C.A., Hatmoko, J.U.D., Hidayat, A., 2015, Kuantifikasi Emisi Gas Co₂ Ekuivalen Pada Konstruksi Jalan

Jurnal Rekayasa Infrastruktur Sipil,
v.03, n.1, p. 10-21 Juli 2022

Perkerasan Kaku, Jurnal Karya Teknik Sipil, 4(1): 83-92, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
Wirahadikusumah, R.D., Sahana, H.P., 2012, Estimasi Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca pada Pekerjaan Pengaspalan Jalan, Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, 19(1).