

ANALISIS EMISI GAS RUMAH KACA DENGAN PENDEKATAN *LIFE CYCLE ASSESSMENT* PADA TAHAP KONSTRUKSI PERKERASAN LENTUR *FLY OVER CAKUNG*

Koosdaryani Soeryodarundio^{1)*}, Setiono²⁾, Dandy Rayhan Daniswara³⁾

1),2)Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta

3)Mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta

Jl. Ir. Sutami No. 36A, Kentingan, Surakarta 57126, Telp(0271) 647069, Fax 634524

Email: koodaryani@gmail.com

Abstract

Development is an effort that is planned and scheduled on an ongoing basis by a country in order to create a better society so that it plays an important role in the process of achieving community welfare. This development, on the other hand, also has an impact on the environment by emitting greenhouse gas emissions and consuming quite a lot of energy during its implementation, so efforts are needed to identify and estimate the resulting impact on the work. This study aims to identify process units that have the potential to produce greenhouse gas emissions, analyze the amount of greenhouse gas emissions produced by each unit, determine which process units produce the most greenhouse gas emissions, and identify the potential impact caused by global warming, specifically on the Cakung Fly Over project. The method used in this study was life cycle assessment (LCA) to estimate the amount of carbon dioxide (CO₂) gas emissions released to the environment. The data analysis process was calculated using the database from ecoinvent, and the pollutant units to KgCO₂e were converted using TRACI 2.1. The results of this study showed that there are 15 process units in Cakung Fly Over flexible pavement construction. The process unit that produces the most greenhouse gas emissions is the aggregate production process, which contributed 64,088.89 Kg of greenhouse gas emissions, or as much as 33.3423 % of the 15 process units.

Keywords: *ecoinvent, flexible pavement, greenhouse gases, Life Cycle Assessment (LCA), TRACI 2.1.*

Abstrak

Pembangunan adalah usaha yang terancang dan terjadwal secara berkelanjutan oleh suatu negara dalam rangka mewujudkan masyarakat yang lebih baik sehingga berperan penting dalam proses tercapainya kesejahteraan masyarakat. Pembangunan ini disisi lain juga berdampak kepada lingkungan yaitu dengan mengeluarkan emisi gas rumah kaca (GRK) serta menggunakan energi yang jumlahnya cukup banyak selama pelaksanaannya sehingga diperlukan upaya untuk mengidentifikasi dan mengestimasi dampak yang dihasilkan pada pekerjaan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi unit proses yang berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca, menganalisis jumlah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan tiap unit, menentukan unit proses mana yang menghasilkan emisi gas rumah kaca terbanyak, dan mengidentifikasi potensi dampak pemanasan global terhadap proyek *fly over* Cakung. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Life Cycle Assessment (LCA) untuk mengestimasi pelepasan emisi gas karbon dioksida (CO₂) ke lingkungan, database *ecoinvent* digunakan untuk menganalisis hasil perhitungan emisi dan TRACI 2.1 digunakan untuk mengkonversi satuan polutan kedalam KgCO₂e. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat 15 unit proses pada konstruksi perkerasan jalan lentur *Fly Over* Cakung. Unit proses yang menghasilkan emisi gas rumah kaca terbanyak adalah proses produksi agregat dengan kontribusi emisi gas rumah kaca sebesar 64.088,89 KgCO₂e atau sebanyak 33,3423 % dari 15 unit proses.

Kata Kunci : *ecoinvent, gas rumah kaca, Life Cycle Assessment (LCA), perkerasan lentur, TRACI 2.1.*

PENDAHULUAN

Pembangunan adalah usaha yang terancang dan terjadwal secara berkelanjutan oleh suatu negara dalam rangka mewujudkan masyarakat yang lebih baik sehingga berperan penting dalam proses tercapainya kesejahteraan masyarakat. Proses yang ditempuh untuk menggerakkan roda ekonomi serta meningkatkan kualitas hidup masyarakat salah satunya adalah dengan melakukan pembangunan jalan sehingga distribusi barang dan jasa serta transportasi masyarakat dapat berlangsung dengan lebih mudah dan cepat. Pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin pesat berimbas pada meningkatnya kepadatan lalu lintas, guna menghindari daerah/kawasan yang seringkali mengalami persoalan kemacetan lalu lintas serta guna menyeberangi persilangan kereta api maka dilakukan pembangunan jalan berupa jembatan layang atau biasa juga disebut sebagai *fly over*. *Fly over* adalah suatu struktur jalan tidak sebidang yang melintasi lembah, sungai, persimpangan jalan raya, rel kereta api, ataupun struktur lainnya. *Fly over* merupakan fasilitas yang krusial dan pemerintah wajib menyediakan fasilitas tersebut pada kawasan

yang memiliki kepadatan lalu lintas tinggi, seperti pada kawasan sentra primer yang kini telah dibangun *fly over* Cakung.

Pembangunan proyek *fly over* Cakung ini membawa banyak manfaat kepada masyarakat terutama untuk mendorong pertumbuhan ekonomi. Pembangunan proyek ini disisi lain juga berdampak kepada lingkungan yaitu dengan mengeluarkan emisi gas rumah kaca serta menggunakan energi yang jumlahnya cukup banyak selama pelaksanaannya sehingga diperlukan upaya untuk mengidentifikasi dan mengestimasi dampak yang dihasilkan pada pekerjaan tersebut. Beberapa polusi yang dihasilkan pada pembangunan proyek ini antara lain karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), metana (CH₄), nitrogen oksida (NO_x), sulfur oksida (SO_x), dan komponen organik yang tidak stabil (Yu dan Lu, 2012, Azis, dkk, 2021). Salah satu metode analisis yang dapat dilakukan untuk menghitung emisi polutan yang dihasilkan dari suatu pekerjaan yaitu metode *Life Cycle Assessment (LCA)*. *Life Cycle Assessment* adalah metode dengan ruang lingkup tertentu yang digunakan agar dapat mengetahui jumlah energi, biaya, dan dampak lingkungan yang diakibatkan dari tahapan daur hidup (*life cycle*) suatu produk dimulai dari produksi material hingga material atau produk tersebut selesai digunakan oleh konsumen (Harjanto, dkk, 2012, Rakhmawati, dkk, 2020, Febriyani, 2021).

Dengan menggunakan LCA, diperlukan pengumpulan serta penyusunan unit proses yang relevan dengan energi maupun material yang diperlukan beserta emisi yang dikeluarkan ke lingkungan. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk proses pembangunan proyek konstruksi maupun dari tahapan produksi material bagi pemegang kebijakan publik. Sehingga dengan tindakan tersebut dapat menjadi salah satu tindakan pencegahan maupun mengurangi terjadinya dampak terhadap lingkungan dan menjadikan pembangunan proyek konstruksi lebih ramah lingkungan yang sangat berpengaruh terhadap kehidupan di masa mendatang. Sektor konstruksi merupakan salah satu penyumbang emisi dan pengonsumsi bahan bakar terbesar, sektor konstruksi berkontribusi 20% dari keseluruhan emisi sektor industri, yaitu setara dengan 0,4 juta ton emisi CO₂ (Wirahadikusumah, 2012). Konstruksi jalan adalah salah satu kegiatan yang diperkirakan mengonsumsi energi serta menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK) yang cukup besar (Mulyana dan Reini, 2017). Konstruksi jalan *fly over* termasuk dalam salah satu proyek yang dilakukan di banyak daerah untuk pemerataan infrastruktur.

Gas Rumah Kaca (GRK)

Gas rumah kaca adalah gas di atmosfer yang menyerap radiasi terestial yang akan meninggalkan bumi dan memantulkannya kembali masuk ke dalam bumi yang menyebabkan efek rumah kaca. Meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca pada atmosfer dapat mengubah keseimbangan transfer energi antara atmosfer, ruang angkasa, daratan dan lautan. Pengukuran dari perubahan tersebut sering dikenal sebagai *radioactive forcing* yang merupakan ukuran sederhana dari perubahan energi yang tersedia untuk sistem atmosfer bumi. Perubahan iklim dapat didorong oleh perubahan konsentrasi atmosfer sejumlah gas dan aerosol yang aktif secara radiatif. Bukti yang ditemukan jelas menunjukkan bahwa aktivitas manusia telah mempengaruhi konsentrasi, distribusi, dan siklus hidup dari gas-gas ini (IPCC, 2013).

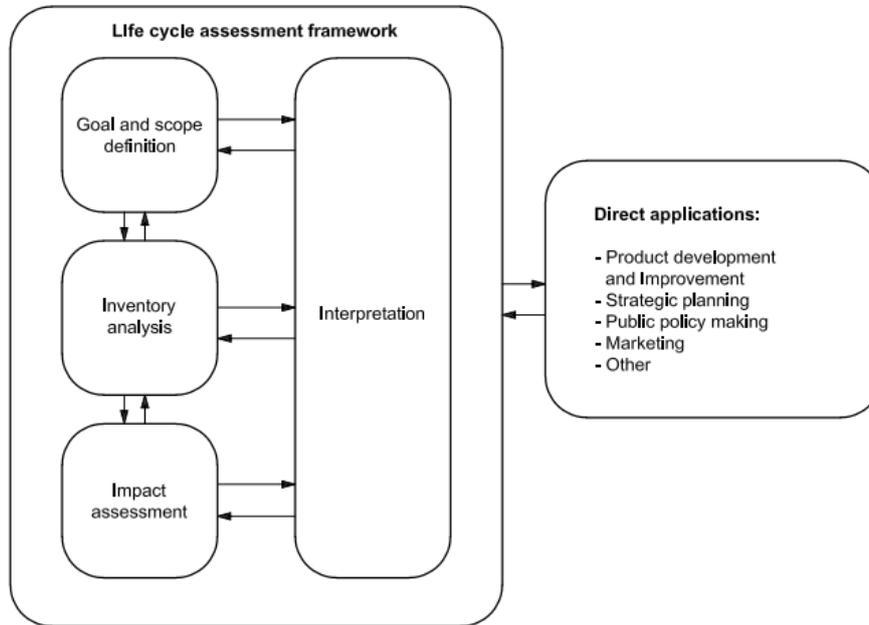
Persimpangan

Karakteristik utama dari transportasi jalan ialah bahwa setiap pengemudi bebas untuk memilih rutenya sendiri di dalam jaringan transportasi yang ada, dan karena itu perlu disediakan persimpangan-persimpangan untuk menjamin aman dan efisiennya arus lalu lintas yang hendak pindah dari satu ruas jalan ke ruas jalan lainnya. Menurut Morlok (1988), persimpangan jalan terdiri dari dua kategori utama yaitu persimpangan sebidang dan persimpangan tidak sebidang. Persimpangan sebidang adalah persimpangan dimana berbagai jalan atau ujung jalan masuk ke persimpangan mengarahkan lalu lintas masuk ke jalur yang dapat berlawanan dengan lalu lintas lainnya, seperti misalnya persimpangan pada jalan-jalan di kota (Asya, 2019). Persimpangan tak sebidang memisah-misahkan lalu lintas pada jalur yang berbeda-beda sedemikian rupa sehingga persimpangan jalur dari kendaraan-kendaraan hanya terjadi pada tempat dimana kendaraan-kendaraan memisah dari atau bergabung menjadi satu pada jalur gerak yang sama (Yevizal, 2016).

Life Cycle Assessment (LCA)

Menurut Harjanto, dkk (2012), *Life cycle assessment (LCA)* adalah sebuah metode berbasis *cradle to grave* yang digunakan untuk mengetahui jumlah energi, biaya, dan dampak lingkungan yang disebabkan oleh tahapan daur hidup produk dimulai dari saat pengambilan bahan baku sampai dengan produk itu selesai digunakan oleh

konsumen. Langkah yang dilakukan dijelaskan dalam standar internasional ISO 14040, langkah-langkah *life cycle assessment* berdasarkan ISO 14040 (2006) yaitu pendefinisian tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, analisis/penakaran dampak, dan interpretasi. Kerangka dari metode *Life Cycle Assessment* berdasarkan ISO 14040 (2006) dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka *Life Cycle Assessment* (Sumber: ISO 14040, 2006)

Dampak Perubahan Suhu Terhadap Aspal

Menurut Kartasapoetra (2004), suhu adalah derajat panas atau dingin yang diukur berdasarkan skala tertentu. Suhu perkerasan yang disebabkan oleh radiasi matahari dan emisi gas buang kendaraan merupakan hal yang tidak diinginkan. Biasanya, suhu perkerasan jauh lebih tinggi daripada suhu lingkungan udara, dan terkadang dapat mencapai 70°C atau lebih. Aspal adalah bahan penyerap panas dengan tingkat penyerapan 0,80–0,95, sedangkan aspal merupakan bahan isolasi, yaitu menyerap panas dengan mudah tetapi pendinginannya lambat. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Berens (1970), suhu permukaan perkerasan aspal adalah 26°C lebih tinggi daripada suhu udara. Dalam beberapa tahun terakhir, dengan terjadinya pemanasan global, suhu udara umumnya meningkat, dan sebagian besar bagian dari Indonesia telah mengalami cuaca suhu tinggi yang bahkan bisa bertahan lama, hal ini berdampak buruk terhadap struktur aspal karena menurut penelitian yang dilakukan oleh Willway dan Reeves (2008), sebagian besar *rutting* pada permukaan aspal terjadi pada beberapa hari dalam setahun, ketika suhu permukaan jalan melebihi 45°C.

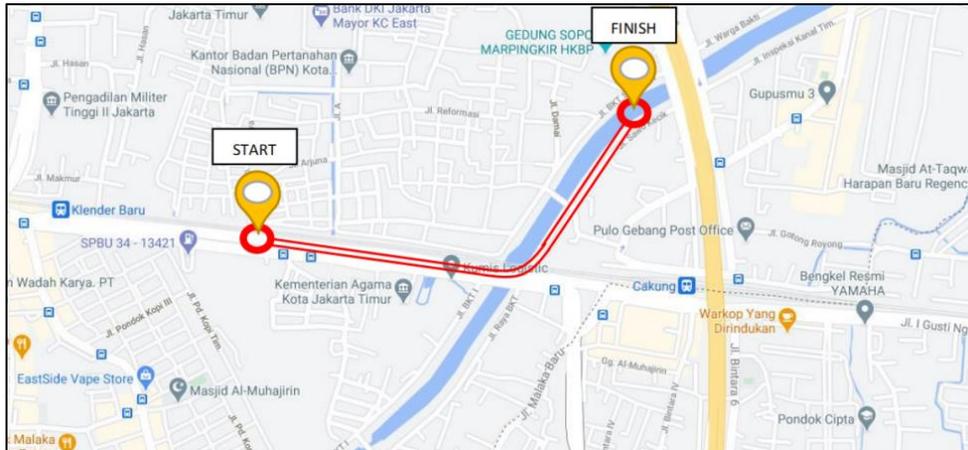
METODE

Lokasi

Lokasi *fly over* Cakung terletak di Jl. I Gusti Ngurah Rai, Cakung, Jakarta Timur. Secara geografis lokasi rencana *fly over* Cakung terletak pada posisi antara 6°13'07.5" LS dan 106°56'52.3" BT. Data perencanaan jalan *fly over* Cakung adalah sebagai berikut:

- 1) Nama jalan : Jalan *Fly Over* Cakung
- 2) Lokasi jalan : Cakung, Jakarta Timur, DKI Jakarta
- 3) Panjang jalan : 760 m
- 4) Lebar jalan : 18 m
- 5) Tebal Perkerasan Aspal : 0,05 m

Gambaran lokasi proyek dapat dilihat pada Gambar 2 dengan yang berada dalam area garis merah sebagai batasan objek penelitian.

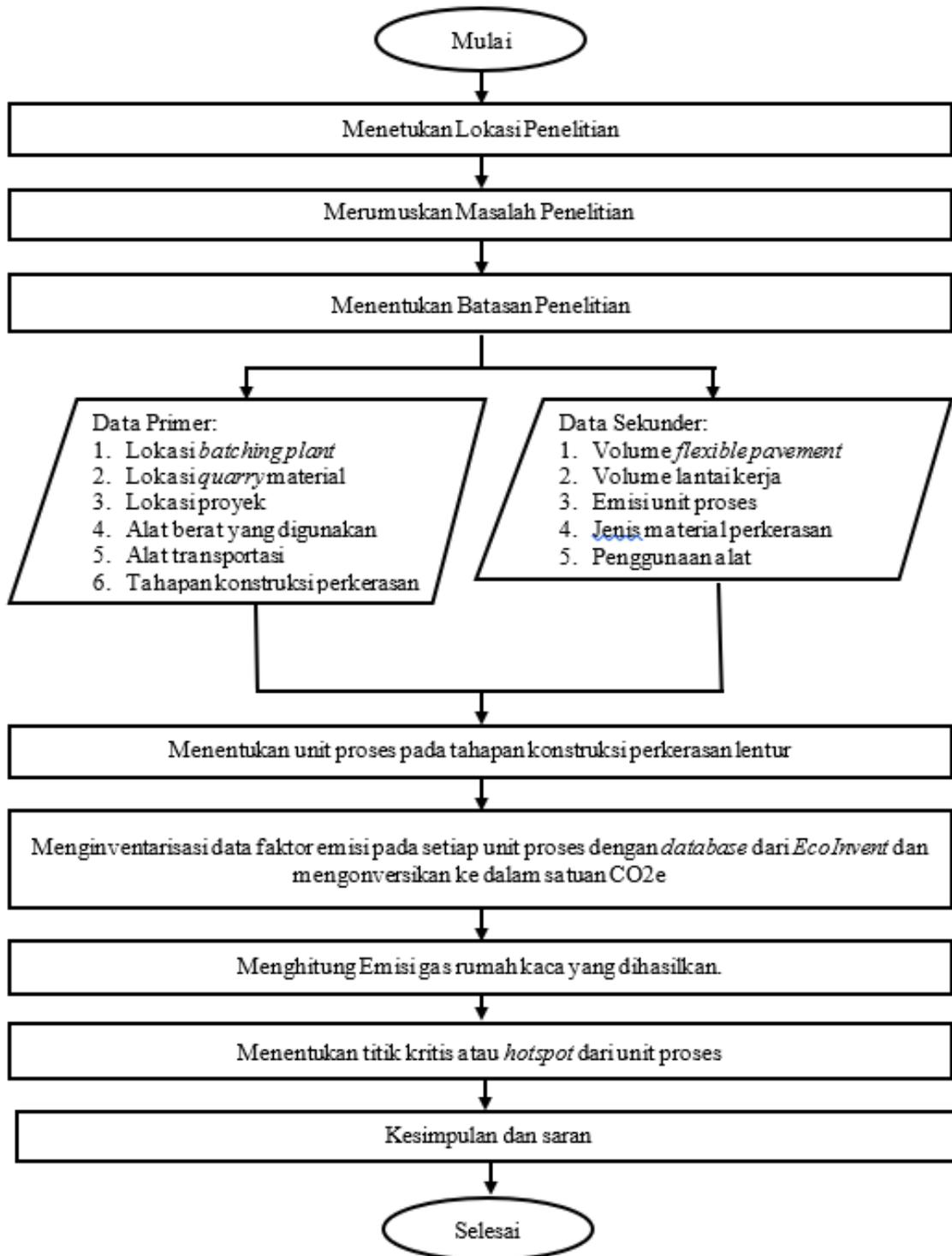


Gambar 2. Lokasi proyek *fly over* Cakung (Sumber: PT Adhi Karya, 2020)

Metode

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode *Life Cycle Assesment (LCA)* untuk mengestimasi besar emisi gas karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan pada tahapan konstruksi perkerasan lentur *fly over* Cakung. Data yang digunakan dari metode ini adalah data-data primer dari pengamatan di lapangan dan data-data sekunder dari dinas-dinas terkait maupun penggunaan *database* melalui situs-situs resmi penyedia *database* yang ada di internet. Pada penelitian ini digunakan penyedia *database ecoinvent* dibantu dengan bantuan *software Microsoft Excel 2019*. Penelitian ini berfokus pada tahapan konstruksi. Sedangkan ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada ruang lingkup *cradle to grave* dimana perhitungan yang dilakukan dimulai dari tahap produksi hingga tahap pelaksanaan pengaspalan jalan.

Analisis data dimulai dengan menentukan unit proses yang dilakukan dengan batasan ruang lingkup *cradle to grave*. Setelah itu dilakukan perhitungan waktu tempuh untuk mencapai lokasi pencampuran atau lokasi di lapangan. Menghitung lama waktu operasi alat yang digunakan pada saat konstruksi perkerasan lentur dilangsungkan. Menghitung emisi gas rumah kaca (GRK) CO₂ yang dihasilkan pada setiap unit proses yang sudah ditentukan. Setelah diperoleh besaran emisi GRK yang dihasilkan, kemudian menentukan titik kritis (*hotspot*) dimana di titik itu menghasilkan emisi gas CO_{2e} terbesar dalam satu tahap konstruksi dengan ruang lingkup yang sudah ditentukan. Diagram alir pelaksanaan penelitian ditunjukkan dalam bentuk *flowchart* seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart pelaksanaan penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan waktu penggunaan transportasi dimulai dengan tahapan transportasi pengambilan material yang merupakan proses awal dari tahapan konstruksi perkerasan lentur. Tahapan ini mencakup pengambilan bahan pembuatan campuran aspal berupa aspal, *filler* (semen), aspal pengikat dan agregat. Aspal dan *filler* diambil di Cirebon, aspal pengikat diambil di Jakarta, sedangkan agregat diambil di kecamatan Kasomalang, kabupaten Subang. Selanjutnya tahapan transportasi material dilakukan dari lokasi *Asphalt Mixing Plant (AMP)* ke lokasi proyek. Lokasi *AMP* terdapat di desa Gintung Lor, Kec. Susukan, Kabupaten Cirebon. Hasil dari perhitungan waktu penggunaan transportasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi waktu penggunaan transportasi proyek *fly over* Cakung

No	Proses Transportasi	Waktu Penggunaan (Jam)
1	Transportasi agregat ke <i>AMP</i>	1183,2
2	Transportasi aspal ke <i>AMP</i>	8,7
3	Transportasi aspal pengikat ke <i>AMP</i>	21,4
4	Transportasi <i>filler</i> ke <i>AMP</i>	5,6
5	Transportasi campuran material dari <i>AMP</i> ke lokasi proyek	2113,4
6	Transportasi aspal pengikat dari <i>AMP</i> ke lokasi proyek	19,3

Perhitungan waktu penggunaan alat dimulai dari proses penggunaan *Asphalt Mixing Plant (AMP)* yaitu proses pencampuran aspal, *filler*, dan agregat. Selanjutnya waktu penggunaan alat di proses konstruksi perkerasan lentur dibagi menjadi 2 tahapan, tahapan pertama penyemprotan aspal pengikat menggunakan *asphalt distributor* dan *air compresor*, dan tahap kedua, tahapan konstruksi *surface course*, menggunakan *asphalt finisher*, *tandem roller* dan *pneumatic tire roller*. Hasil dari perhitungan waktu penggunaan transportasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi waktu penggunaan alat proyek *fly over* Cakung

No	Proses Penggunaan Alat	Waktu Penggunaan (Jam)
1	Penggunaan <i>AMP</i>	1574,2
2	<i>Asphalt Distributor</i> penyemprotan aspal pengikat	0,7
3	<i>Air Compressor</i> penyemprotan aspal pengikat	0,7
4	<i>Asphalt Finisher</i> proses konstruksi <i>surface course</i>	32,4
5	<i>Tandem Roller</i> proses konstruksi <i>surface course</i>	22,5
6	<i>Pneumatic Tire Roller</i> proses konstruksi <i>surface course</i>	18

Setelah waktu penggunaan transportasi dan waktu penggunaan alat didapatkan, dilakukan perhitungan jumlah emisi yang dihasilkan. Perhitungan jumlah emisi dari tahapan transportasi dilakukan dengan cara mengalikan total penggunaan waktu transportasi dengan emisi dari *ecoinvent* yang telah dikonversikan dengan TRACI 2.1. Sedangkan perhitungan jumlah emisi dari tahapan penggunaan alat dilakukan dengan cara mengalikan waktu penggunaan alat dengan emisi dari *ecoinvent* yang telah dikonversikan dengan TRACI 2.1. Hasil dari perhitungan jumlah emisi yang dihasilkan dari proses konstruksi perkerasan jalan proyek *fly over* Cakung dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi emisi gas rumah kaca proyek *fly over* Cakung

No.	Tahapan Proses	Unit Proses	Emisi (Kg CO ₂ e)
1	Proses Produksi Material	Produksi Agregat	14.683,72
2		Produksi Aspal	25.691,14
3		Produksi Aspal pengikat	1.601,49
4		Produksi <i>Filler</i>	157,32
5	Transportasi ke <i>AMP</i>	Transportasi Agregat	5.988,18
6		Transportasi Aspal	215,99
7		Transportasi Aspal pengikat	108,31
8		Transportasi <i>Filler</i>	28,34
9	Pengolahan di <i>AMP</i>		13.030,60
10	Transportasi dari <i>AMP</i> ke lokasi Proyek	Transportasi Campuran	10.695,66
11		Transportasi Aspal pengikat	97,68
12	Konstruksi di Lokasi Proyek	Penyemprotan aspal pengikat	5,62
13		<i>Surface Course</i>	1.811,12
Jumlah			64.211,39

Berdasarkan Tabel 3, yang paling besar menghasilkan emisi *greenhouse gases* adalah proses produksi material yang akan digunakan. Data menunjukkan bahwa untuk pembuatan perkerasan jalan lentur dengan panjang 760 m dan lebar 18 m menghasilkan emisi *greenhouse gases* sebesar 64.211,39 Kg CO₂e. Dari data diatas dapat dilihat bahwa ada 5 tahapan konstruksi yang terbagi menjadi 13 unit proses. Tahapan yang pertama adalah produksi material, yang terdiri dari 4 unit proses, yaitu produksi agregat, produksi aspal, produksi aspal pengikat, dan produksi *filler*. Tahapan yang kedua adalah transportasi dari lokasi produksi ke *AMP*, yang terdiri dari 4 unit proses, yaitu transportasi agregat, transportasi aspal, transportasi aspal pengikat, dan transportasi *filler*. Tahapan yang ketiga adalah pengolahan di *AMP*, dalam tahapan ini hanya ada satu unit proses saja. Tahapan yang keempat adalah tahapan transportasi dari *AMP* ke lokasi proyek, tahapan ini dibagi menjadi 2 tahapan yaitu, transportasi campuran dan transportasi aspal pengikat. Tahapan yang terakhir adalah konstruksi di lokasi proyek, tahapan ini terdiri dari 2 unit proses, yaitu konstruksi *surface course* dan penyemprotan aspal pengikat.

Dari rekapitulasi pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa produksi aspal merupakan penghasil emisi yang paling banyak 25.691,14 Kg CO₂e. Emisi yang dihasilkan tersebut mengindikasikan bahwa produksi memberikan andil yang besar untuk seluruh proses konstruksi pekerasan jalan lentur. Untuk mengurangi dampak dari emisi bisa mengganti bahan untuk campuran dengan bahan lain yang lebih ramah lingkungan.

KESIMPULAN

Terdapat 13 unit proses pada proses konstruksi perkerasan jalan lentur (*flexible pavement*) *fly over* Cakung. Unit proses yang menghasilkan emisi gas rumah kaca paling banyak proses produksi aspal dengan kontribusi emisi *greenhouse gases* sebanyak 40,0103% atau sebanyak 25.691,14 Kg CO₂e.

REKOMENDASI

Penggunaan data sekunder sebaiknya menggunakan data-data yang paling terbaru dan diusahakan lengkap dan didapat dari dinas terkait yang terpercaya, penggunaan database *ecoinvent* perlu dicermati, karena *database* ini untuk beberapa kegiatan yang menghasilkan emisi masih sangat umum dan perlu *database* pendukung lain untuk menganalisis data lebih lanjut, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai upaya yang mungkin bisa dilakukan untuk mengurangi emisi GRK dari pekerjaan konstruksi jalan, seperti mengurangi repetisi transportasi material dari satu lokasi ke lokasi lain, mendekatkan jarak transportasi, serta penggunaan alat angkut yang memiliki kapasitas lebih besar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan puji syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Tuhan Yang Maha Esa, serta kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dan diterbitkan.

REFERENSI

- Asya, N., 2019. Analisis Beban Emisi pada Bundaran Jalan Raya kota Makassar berbasis Pemodelan Vissim. (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Aziz, M.F., Abdurrachman, A., Chandra, I., Majid, L.I., Vaicdan, F. and Salam, R.A., 2021. Pemantauan Konsentrasi Gas (Co₂, No₂) Dan Partikulat (Pm_{2.5}) Pada Struktur Horizontal Di Kawasan Dayeuhkolot, Cekungan Udara Bandung Raya. *Jurnal Sains Dirgantara*, 18(1), pp.1-12.
- Berens, J.J. 1970. *Thermal contact burns from streets and highways*. *Jama*, 214(11), pp.2025-2027.
- Febriyani, R.A., Wijatmiko, I. and Wisnumurti, W., 2021. Environmental Impact Evaluation on Constructing Materials with the Integration of Building Information Modelling (BIM) and Life Cycle Assessment (LCA). *Rekayasa Sipil*, 15(2), pp.78-85.
- Harjanto, Taufan R., Fahrurrozi, M., Bendiyasa, M. I. 2012. *Life Cycle Assesment Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap:Komparasi Antara Bahan Bakar Batubara Dengan Biomassa*. *Jurnal Rekayasa Proses*, Vol. 6, No. 2
- IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York.
- ISO. 2006. *ISO 14040:2006 Environmental management – life cycle assessment – principles and framework*. International Organisation for Standardisation, Geneva.
- Kartasapoetra, A.G., 2004. *Klimatologi Pengaruh Iklim terhadap Tanah dan Tanaman*. PT Bumi Aksara. Jakarta.
- Morlok, K. E. 1988. *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*, Erlangga. Jakarta.
- Mulyana, Agung, and Reini D. Wirahadikusumah. 2017. "Analisis Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca pada Tahap Konstruksi Studi Kasus : Konstruksi Jalan Cismudawu." *Jurnal Teknik Sipil ITB*, vol. 24, no. 3, pp. 269-280, doi:10.5614/jts.2017.24.3.10.
- Rakhmawati, A. N., Devia, Y. P. and Wijatmiko, I. 2020. "Life Cycle Assessment (LCA) Analysis Of Concrete Slab Construction For Estimating The Environmental Impact", *Rekayasa Sipil*, 14(3), pp. pp.232–237. doi: 10.21776/ub.rekayasasipil.2020.014.03.10.
- Willway, T., Reeves, S., & Baldachin, L. 2008. *Maintaining Pavements in a Change Climate*. Department for Transport, United Kingdom.
- Wirahadikusumah, R. D., Sahana, H. P. 2012. *Estimasi Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca pada Pekerjaan Pengaspalan Jalan*. *Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*. Vol. 19 No. 1 April.
- Yevizal, M., 2016. Analisis Pengaruh V/C Ratio Lalu Lintas Kendaraan Terhadap Tingkat Polusi Udara Dan Tingkat Kebisingan Berdasarkan Volume Lalu Lintas Kendaraan: Studi Di Kawasan Persimpangan Mall SKA Kota Pekanbaru.
- Yu, Bin dan Qin Lu. 2012. *Life cycle assessment of pavement: Methodology and case study*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Elsevier Ltd, 17(5), pp. 380–388. Florida.