

# Estimasi dan Optimalisasi Jumlah Karbon pada Material Konstruksi Jalan di Tanah Gambut Kota Palangka Raya

Subrata Aditama Kittie Aidon Uda<sup>1</sup>, Saritha Kittie Uda<sup>2</sup>, Devia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya, Jl. Yos Sudarso, Kalimantan tengah

<sup>2</sup>Program Studi Biologi, FKIP, Universitas Palangka Raya, Jl. Yos Sudarso, Palangka Raya, Kalimantan Tengah

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya, Jl. Yos Sudarso, Palangka Raya

<sup>1</sup>correspondence e-mail: [subrataaditama@jts.upr.ac.id](mailto:subrataaditama@jts.upr.ac.id)

**Abstrak** — Proses pembangunan jalan berwawasan lingkungan merupakan faktor utama dalam mewujudkan bangunan yang ramah lingkungan dan rendah emisi. Penelitian ini bertujuan menghitung jumlah karbon yang dihasilkan dari penggunaan material konstruksi jalan serta melakukan optimalisasi jenis material rendah emisi karbon. Metode analisis karbon menggunakan rumusan perhitungan. Hasil penelitian menunjukkan total karbon yang dihasilkan sebanyak 146.569,20 KgCO<sub>2</sub> atau 145,57 ton karbon. Material semen sebagai filler dan box culver menghasilkan karbon terbesar yaitu 47% atau sebesar 68,54 ton karbon, jika material ini diganti dengan abu batu diperoleh penurunan sebesar 0,59 ton karbon atau sebesar 98%, sehingga secara total akan menurunkan jumlah karbon sebesar 46,37%. Penurunan ini disebabkan perbedaan besaran koefisien karbon semen yaitu 0,83 KgCO<sub>2</sub>/Kg sedangkan abu batu sebesar 0,008 KgCO<sub>2</sub>/Kg. Nilai konversi harga karbon yang berlaku di Indonesia sebesar Rp2.040.000,00. Oleh karena itu penggunaan dan pemilihan material dengan nilai koefisien karbon terendah dapat menurunkan jumlah emisi karbon dari bangunan tersebut secara signifikan.

**Kata-kata kunci:** konstruksi jalan; emisi karbon; material; penurunan emisi.

**Abstract** — An environmentally friendly road construction process is an important factor in the realization of environmentally friendly and low-emission buildings. The purpose of this research is to calculate the amount of carbon generated by the use of road construction materials and to optimize the types of materials that are low in carbon emissions. The carbon analysis method uses a calculation formula. The results showed that the total carbon generated was 146,569.20 KgCO<sub>2</sub> or 145.57 tons of carbon. Cement material as filler and box culverts produce the largest carbon of 47% or 68.54 tons of carbon, if this material is replaced with stone ash, then a decrease of 0.59 tons of carbon or 98% is obtained, so the total amount of carbon is reduced by 46.37%. This decrease is due to the difference in the amount of carbon coefficient of cement which is 0.83 KgCO<sub>2</sub>/Kg while stone ash is 0.008 KgCO<sub>2</sub>/Kg. The conversion value of carbon price in Indonesia is Rp. 2,040,000,00. Therefore, the use and selection of materials with the lowest carbon coefficient value can significantly reduce the amount of carbon emissions from buildings.

**Keywords:** road construction; carbon emissions; materials; emission reduction.

## I. PENDAHULUAN

Kontributor utama pendorong pembangunan ekonomi nasional salah satunya berasal dari kegiatan konstruksi. Aktifitas konstruksi berpotensi besar dalam penurunan kualitas lingkungan apabila tidak ada perubahan dalam metode pembangunan. metode pembangunan konvensional harus diubah menjadi metode pembangunan berwawasan lingkungan, sehingga mampu meminimalisir penurunan kualitas lingkungan. Pembangunan Infrastruktur Jalan merupakan sarana penghubung antara satu wilayah atau daerah dengan wilayah lainnya yang akan memberikan dampak positif terhadap perkembangan ekonomi. Akses jalan sangat dibutuhkan guna memperlancar mobilisasi dan distribusi barang serta aktivitas manusia dalam menunjang peningkatan kesejahteraan masyarakat.

Proyek-proyek Infrastruktur berkontribusi besar dalam menghasilkan karbon di sektor konstruksi. Dibutuhkan inovasi di bidang konstruksi jalan agar proses pelaksanaannya memperhatikan prinsip pembangunan berkelanjutan dengan berwawasan lingkungan atau konstruksi hijau. Konstruksi hijau didefinisikan sebagai suatu perencanaan dan pengelolaan proyek konstruksi (sesuai dengan dokumen kontrak) untuk meminimalkan pengaruh proses konstruksi terhadap lingkungan agar terjadi keseimbangan antara kemampuan lingkungan dan kebutuhan hidup manusia untuk generasi sekarang dan mendatang. Pengertian “meminimalkan pengaruh proses konstruksi terhadap lingkungan” adalah usaha atau cara yang digunakan dalam proses konstruksi untuk menggunakan sumber daya alam secara efisien dan meminimalkan limbah yang

dihasilkan akibat proses konstruksi untuk menghindari terjadinya pencemaran lingkungan (Ervianto, 2012).

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Konsep yang tepat untuk memformulasikan proses pembangunan jalan yang memperhatikan faktor kelestarian lingkungan disebut sebagai *Green roads* atau jalan ramah lingkungan. *Greenroads* di sebagai lembaga penilai jalan berkelanjutan di USA menyatakan bahwa jalan hijau adalah proyek jalan yang dirancang dan dilaksanakan ke tingkat keberlanjutan yang lebih tinggi dari proyek jalan biasa. Tingkat keberlanjutan yang dikembangkan oleh *greenroads* merupakan berbagai kegiatan dari perencanaan, perancangan jalan, konstruksi, dan pemeliharaan (*Greenroads*, 2011).

Persyaratan utama jalan hijau adalah pemilihan kegiatan terkait lingkungan dan ekonomi, perencanaan jangka panjang untuk kinerja lingkungan, perencanaan konstruksi, perencanaan jenis monitoring dan pemeliharaan. Sedangkan praktek-praktek berkelanjutan secara sukarela dibagi menjadi lima kelompok, yaitu lingkungan dan keairan, akses dan kesetimbangan, kegiatan pelaksanaan konstruksi, material dan sumber daya alam, dan teknologi perkerasan (Lawalata, 2013). Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) kota Palangka Raya tahun 2020, total ruas panjang jalan kota Palangka Raya sebesar 911,38 km. Dengan pertumbuhan panjang jalan yang terus mengalami peningkatan tentu akan berakibat pada berkurangnya ketersediaan sumberdaya alam sebagai pembentuk struktur jalan, meningkatnya jumlah limbah yang dihasilkan oleh proses konstruksi, meningkatnya emisi yang ditimbulkan pada tahap pembangunan maupun operasional, berkurangnya lahan produktif akibat pengalihan lahan akibat pembangunan jalan, dan berbagai dampak lain terkait dengan lingkungan baik secara langsung maupun tidak langsung.

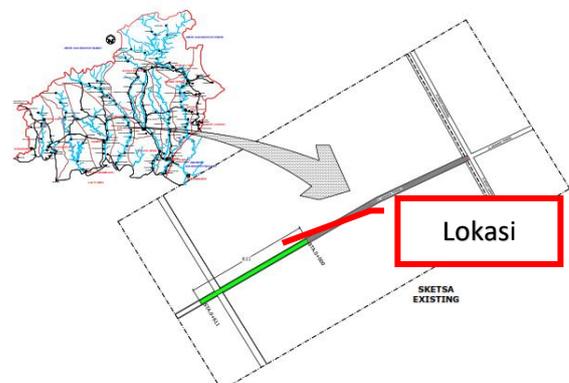
Upaya meminimalisasi jumlah emisi dapat dilakukan sejak tahapan perencanaan dengan melakukan mengganti jenis material dan peralatan yang digunakan. Tindakan untuk mengurangi jumlah emisi selama siklus hidup proyek dapat dilakukan dengan penerapan konsep *green building* pada fase design, selanjutnya sistem manajemen supply chain yang terkendali serta pengelolaan limbah dan efisiensi tenaga kerja

melalui penerapan konsep *Lean Construction* dan BIM (Wibowo dan Uda, 2018).

Penelitian tentang perhitungan jumlah konsumsi emisi/karbon terhadap infrastruktur jalan khususnya di daerah lahan gambut sampai saat ini masih belum banyak dilakukan. Sebagian besar penelitian dilakukan di wilayah pulau jawa dan sumatera. Penelitian ini dilakukan di wilayah kota Palangka Raya dimana sebagian besar tanahnya berupa gambut dengan kedalaman bervariasi, hal ini akan memberikan jenis penanganan yang berbeda dalam proses pembuatan jalan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan estimasi emisi karbon pada pembangunan infrastruktur jalan diatas lahan gambut. Penelitian ini sangat penting dilakukan mengingat masih belum adanya penelitian yang menghasilkan konsep model estimasi emisi karbon pada bangunan infrastruktur jalan diatas lahan gambut. Selain itu, hasil dari penelitian ini juga dapat dipergunakan untuk berinovasi lebih lanjut pada bangunan-bangunan lainnya seperti Gedung, Jembatan, Dermaga yang berada diatas tanah gambut.

## III. METODE

Penelitian ini mengambil studi pada proyek pekerjaan Peningkatan Jalan Universitas Palangka Raya (UTBK-Simpang Empat Gedung SBSN) di kota Palangka Raya. Pekerjaan proyek ini difungsikan sebagai jalur utama menuju Gedung SBSN. Panjang penanganan bangunan jalan adalah 611 m, dimana kondisi tanah dasar berupa tanah gambut dengan kedalaman rata-rata 2-3 meter sampai pada tanah berpasir, sedangkan jika sampai pada tanah keras atau granit mencapai 5 meter. Adapun sketsa existing bangunan jalan dan peta lokasi kegiatan terdapat pada gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Sketsa existing bangunan jalan



Gambar 2. Lokasi pelaksanaan penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan melakukan perhitungan jumlah emisi karbon berdasarkan data primer yang didapat dari perhitungan volume pada Harga Perkiraan Sendiri (HPS). Adapun formulasi dalam menghitung jumlah emisi berdasarkan konsumsi material dan peralatan yang digunakan selama kegiatan pembangunan. Berikut ini rumus yang digunakan:

$$EC = Vm \times CEC \quad (1)$$

Dengan  $EC$  = jumlah karbon terkandung (*Embodied Carbon*) ( $KgCO_2$ ) yang terdapat pada material dan bahan bakar yang dikonsumsi oleh peralatan yang digunakan,  $Vm$  = volume material

( $Kg$ ), sedangkan  $CEC$  = *Coefisien Embodied Carbon* yang diperoleh dari data inventory Bath University dalam satuan  $KgCO_2/Kg$ . Koefisien nilai kandungan emisi pada material diperoleh berdasarkan data inventory dari Bath University (Hammond and Jones, 2008). Sebelum melakukan perhitungan, setiap material yang memiliki satuan selain  $Kg$  harus dikoversi terlebih dahulu dengan menggunakan satuan berat jenis material. Berikut tabel data Inventori material yang digunakan pada penelitian ini:

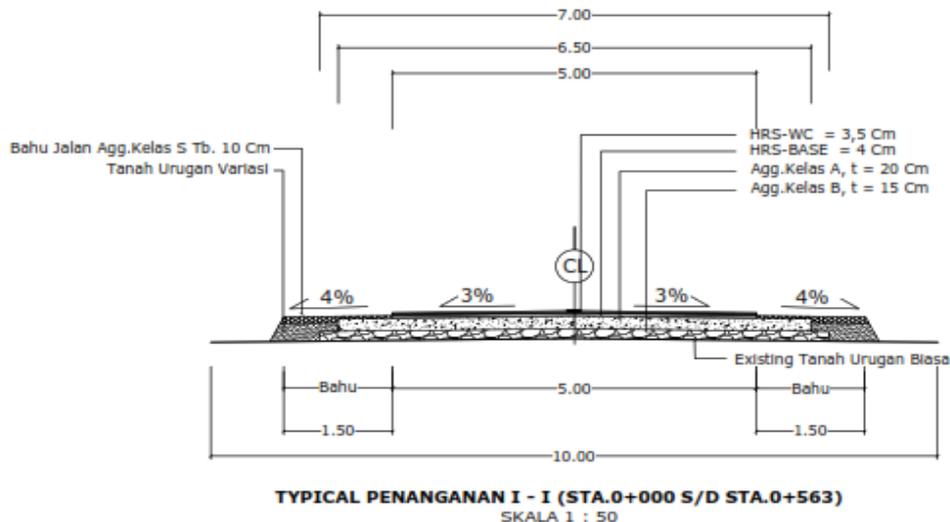
Tabel 1. Berat jenis dan emisi karbon pada material konstruksi

Jenis Material	Berat Jenis	Berat Karbon ( $KgCO_2/Kg$ )
Tanah	1.700 $Kg/m^3$	0,023
Aggregat Kasar	2.600 $Kg/m^3$	0,005
Aggregat Halus	2.500 $Kg/m^3$	0,005
Pasir	1.400 $Kg/m^3$	0,005
Aspal	1,03 $Kg/liter$	0,045
Aspal Beton	2,3 $Kg/m^3$	0,140
Minyak Tanah	0,80 $Kg/liter$	0,270
Kayu	550 $Kg/m^3$	0,460
Semen	3150 $Kg/m^3$	0,830
Air	1000 $Kg/liter$	0,030
Besi Tulangan Polos	2.400 $Kg/m^3$	1,710
Cat Thermoplastik	2,15 $Kg/m^3$	2,120
Cat Exterior	1,50 $Kg/m^2$	1,060
Abu Batu (Fly Ash)	2.800 $Kg/m^3$	0,008
Beton	2.200 $Kg/m^3$	0,106

IV. HASIL & PEMBAHASAN

Pada gambar 3 menunjukkan perencanaan badan jalan untuk penanganan mulai stasioning (STA) 0+000 sampai 0+563, dengan material yang digunakan diantaranya timbunan tanah sebagai lapisan dasar yang berasal dari tanah existing,

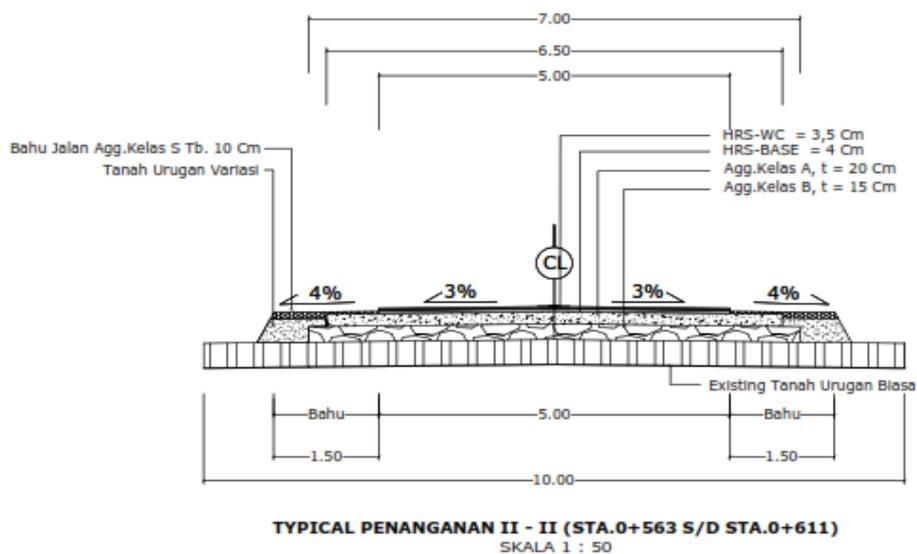
selanjutnya lapisan agregat kelas B dan aggregate kelas A. Sebagai lapis permukaan menggunakan aspal beton HRS-Base dan HRS-WC. Untuk penahan pada bahu jalan di pasang tanah urugan dan agregat kelas S di sisi kiri dan kanan.



Gambar 3. Potongan melintang jalan STA 0+000 sd STA 0+563

Pada Gambar 4 merupakan perencanaan konstruksi lanjutan dari STA 0+563 sampai dengan STA 0+611, dimana material yang digunakan sama dengan material pada gambar sebelumnya, hanya saja, untuk tanah existing

sebagai tanah urugan lebih tebal, sehingga volume untuk daerah ini lebih banyak. Hal ini disebabkan ketebalan tanah gambut yang digali lebih dalam dari yang sebelumnya. Berikut hasil perhitungan emisi karbon berdasarkan jenis material yang digunakan pada proyek ini:



Gambar 4. Potongan melintang jalan STA 0+563 sd STA 0+611

Tabel 2. Estimasi Emisi Karbon pada Material Konstruksi (Uda et al., 2023)

No	Material	Volume	Units	Vol. (kg)	Faktor Embodied Karbon (KgCO <sub>2</sub> /Kg)	Emisi Karbon (KgCO <sub>2</sub> )
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) = (5 x 6)
1	Timbunan Tanah	657,82	m <sup>3</sup>	1.118.294,00	0,023	25.720,762
2	Aggregat Kasar	1316,26	m <sup>3</sup>	3.422.285,10	0,005	17.111,426
3	Aggregat Halus	694,05	m <sup>3</sup>	1.735.130,80	0,005	8.675,654
4	Pasir	286,318	m <sup>3</sup>	400.845,68	0,005	2.004,228
5	Semen Filler	26,22	m <sup>3</sup>	82.583,61	0,83	68.544,399
6	Beton	31,79	m <sup>3</sup>	69.943,50	0,106	7.414,011
7	Aspal Pen 60/80	1718,43	ltr	1.769,98	0,045	79,649
8	Kayu	7,680	m <sup>3</sup>	4.224,00	0,46	1.943,040
9	Besi Tulangan	7.312,400	Kg	7.312,40	1,71	12.504,204
10	Aspal Hotmix	30,339	m <sup>3</sup>	69,78	0,14	9,769
11	Cat Thermoplastik	0,471	m <sup>3</sup>	1,01	2,12	2,146
12	Cat Eksterior	141,300	m <sup>2</sup>	2.119,50	1,06	2.246,670
13	Air	1,646	ltr	1.646,20	0,03	49,386
14	Minyak Tanah	1221,57	ltr	977,26	0,27	263,859
Total Emisi Karbon (KgCO <sub>2</sub> )						146.569,203

Pada Tabel 2 diketahui total emisi karbon pada proyek ini sebesar 146.569,203 KgCO<sub>2</sub> atau 146,56 ton karbon. Jika dilihat pada masing-masing jenis material, maka material semen menempati urutan teratas penghasil emisi karbon dengan nilai 68.544,399 KgCO<sub>2</sub> atau 68,54 ton karbon, dengan faktor karbon sebesar 0,83 KgCO<sub>2</sub>/Kg. Untuk mengurangi jumlah karbon

semen sebagai filler pada campuran aspal beton, maka dapat dilakukan optimalisasi dengan menggunakan alternatif material yang memiliki fungsi sama dan kekuatan yang sepadan namun memiliki factor karbon lebih kecil. Pada penelitian ini material semen diganti dengan abu batu (fly ash) dengan factor karbon 0,008 KgCO<sub>2</sub>/Kg.

Tabel 3. Perbandingan emisi karbon antara material semen dan abu batu (fly ash)

No	Material	Volume	Units	Vol. (kg)	Faktor Embodied Karbon (KgCO <sub>2</sub> /Kg)	Emisi Karbon (KgCO <sub>2</sub> )	
						Semen	Abu Batu
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) = (5 x 6)	(8) = (5 x 6)
1	Material lainnya					78.024,804	78.024,804
2	Semen	26,22	m <sup>3</sup>	82.583,61	0,83	68.544,399	
3	Abu Batu (Fly Ash)	26,22	m <sup>3</sup>	73.407,66	0,008		587,261
Total Emisi Karbon (KgCO <sub>2</sub> )						146.569,203	78.612,065

Pada tabel 4, menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap jumlah emisi karbon yang

dihasilkan dimana jika menggunakan filler abu batu (fly ash) maka jumlah total emisi karbon

sebesar 78.612,065 KgCO<sub>2</sub> atau turun sebesar 46,37 %. Penurunan yang signifikan ini menunjukkan pentingnya pemilihan jenis material yang rendah emisi karbon untuk menghasilkan bangunan konstruksi yang ramah lingkungan. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Hammond *et.al.* (2008), Yu *et.al.* (2012), Akadri *et.al.* (2012) dan Ma *et.al.* (2016) yang menyatakan bahwa penggunaan jenis material serta masa pakai material dalam bangunan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap besarnya embodied energi dan emisi. Jika dibandingkan dengan nilai perdagangan karbon dunia pada pekerjaan ini, maka penggunaan material abu batu akan menghasilkan keuntungan sebesar Rp2.040.000,00 dari nilai perdagangan karbon saat ini yaitu sebesar Rp30.000,00 per ton. Harga karbon di Indonesia relative lebih rendah jika dibandingkan dengan harga karbon di negara – negara eropa yang rata-rata sebesar di atas Rp500.000,00 per ton, sedangkan harga tertinggi ada di negara Uruguay dengan nilai karbon sebesar Rp2,04juta per tonnya.

#### V. KESIMPULAN

1. Penerapan green infrastruktur pada pelaksanaan pekerjaan konstruksi jalan merupakan salah satu upaya dalam membantu pemerintah dalam menurunkan jumlah emisi karbon yang dihasilkan baik berasal dari penggunaan peralatan konstruksi sampai pada pemilihan jenis material konstruksi.
2. Penggunaan material semen memiliki dampak peningkatan jumlah karbon yang signifikan dibandingkan menggunakan material abu batu (fly ash) sebagai bahan filler pada bahan campuran aspal beton.
3. Jika dikonversikan dalam nilai biaya, maka pada proyek ini dengan melakukan optimalisasi pada material abu batu (fly ash) menghasilkan keuntungan sebesar Rp. 2.040.000,- per ton. Nilai ini akan bertambah jika dilakukan metode yang sama untuk material lainnya yang memiliki nilai factor koefisien emisi karbon lebih rendah., selain itu efisiensi penggunaan peralatan selama kegiatan juga akan berdampak pada penurunan emisi karbon.

#### DAFTAR PUSTAKA

- (BPS), B. P. (2020). *Panjang jalan menurut kecamatan di Kota Palangka Raya tahun 2018-2020*. Palangka Raya. <https://palangkakota.bps.go.id>.
- Akadri, P. O., & Olomolaiye, P. O. (2012). Development of sustainable assessment criteria for building materials selection. *Engineering, Construction and Architectural Management*. Vol. 19 (6), 666-687. <https://doi.org/10.1108/09699981211277568>.
- Ervianto, W. I. (2012). *Selamatkan bumi melalui konstruksi hijau: Perencanaan, pengadaan, konstruksi & operasi*. Yogyakarta: Andi.
- Goggins, J. (2012). Sustainability and embodied energy (and carbon) in buildings. *IBCI Building Control Conference 2012. 28-29 Maret 2012*. Athlone, Ireland.
- Greenberg, E. (2008). Sustainable streets: An emerging practice. *ITE Journal-institute of Transportation Engineers*, 2939.
- Greenroads. (2012). *Greenroads*. Washington: Greenroads. <http://www.greenroads.org/1/home.html>.
- Greenroads, F. (2011). *Greenroads manual v1.5*. Washington: Greenroads Foundation.
- Hammond, G. P. (2008). Inventory Carbon & Energi (ICE) version 1.6a. Sustainable Energi Research Team (SERT). *Departement Mechanical Engineering, University of Bath, UK*.
- Hammond, G. P., & Jones, C. J. (2008). Embodied energy and carbon in construction materials. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy*, 161 (2), 87-98. <http://dx.doi.org/10.1680/ener.2008.161.2.87>.
- Hatmoko, J. U., Uda, S. A., Andika, A. D., & Putri, A. K. (2020). Energy consumption of bridge construction: conventional vs precast girders. *E3S Web Conf. The 5th International Conference on Energy, Environmental and Information System (ICENIS 2020)*. Vol. 202, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020209003>.
- Krantz, J., Larsson, J., Lu, W., & Olofsson, T. (2015). Assessing embodied energy and greenhouse gas emissions in infrastructure projects. *Journal of Buildings*. Vol. 5 (4), 1156-1170. <https://doi.org/10.3390/buildings5041156>.
- Lawalata, G. M. (2013). Prinsip-prinsip pembangunan jalan berkelanjutan. *Jurnal Transportasi*. Vol. 13 (2), 115-116. <https://doi.org/10.26593/jtrans.v13i2.531.%25p>.
- Lee, J. C., Edil, T. B., & Benson, C. H. (2010). Quantitative assessment of environmental and economic benefits of recycled materials in highway construction. *Transportation Research Record : Journal of the Transp[ortation Research Board*, 138-142.
- Ma, F., Sha, A., Lin, R., Huang, Y., & Wang, C. (2016). Greenhouse gas emissions from asphalt pavement construction: A case study in China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. Vol. 13 (3), 351. <https://doi.org/10.3390/ijerph13030351>.
- Wibowo, M. A., & Uda, S. A. (2018). Reducing carbon emission in construction base on project life cycle (PLC). *MATEC Web Conf. Volume 195. The 4th International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering (ICRMCE 2018)*, 11. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201819506002>.
- Yu, B., & Lu, Q. (2012). Life cycle assessment of pavement: Methodology and case study. *Transportation Research Part D : Transport and Environment*. Vol. 17 (5), 380-388.

