

ANALISIS EMISI GRK DENGAN METODE LCA PADA PEKERJAAN KONSTRUKSI JEMBATAN SIMPANG SUSUN RANGKASBITUNG

Alif Kurnia W, Fajar Handayani, dan Ary Setyawan

Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta
Jl. Ir. Sutami No. 36A, Kentingan, Surakarta 57126, Telp(0271) 647069, Fax 634524
Email: fajar_hani@yahoo.co.id

Abstract

Bridges are often used in Interchange, this is an important structure that is used as access for vehicles to get in or leave on the Toll Road. But there are still very few people who care about the environmental impact of construction works. Therefore, this study aims to identify process units that have the potential to generate GHG, find process units with the highest GHG emissions, and look for alternative methods that can be used to reduce GHG emissions. The method used is the Life Cycle Assessment (LCA) approach. This study uses 2 data sources, there are primary data which is the result of research in the field, and secondary data obtained from PT. PP as well as the Ecoinvent database. This study shows 38 process units have the potential to produce GHG in the construction of the Rangkasbitung interchange bridge with a total GHG emission of 234,946.3 KgCO_{2e} produced, with the processing unit with the highest GHG emission is cement production, produced GHG emission of 95552.33 KgCO_{2e} (40.66%). The cast-in-place method produced GHG emissions of 202633.73 KgCO_{2e} which is 13.75% less than the GHG emissions produced using the precast method.

Keywords : construction of bridges, GHG, life cycle assessment.

Abstrak

Struktur jembatan sering digunakan dalam simpang susun, ini adalah struktur penting yang digunakan untuk keluar masuk kendaraan di jalan bebas hambatan. Namun masih sangat sedikit orang yang peduli terhadap dampak lingkungan yang dihasilkan dari suatu pekerjaan konstruksi. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi unit proses yang berpotensi menghasilkan GRK (gas rumah kaca), menemukan unit proses dengan emisi GRK tertinggi, serta mencari metode alternatif yang bisa digunakan untuk mengurangi emisi GRK yang dikeluarkan. Metode yang digunakan adalah pendekatan Life Cycle Assesment (LCA). Penelitian ini menggunakan duasumber data, yaitu data primer yang merupakan hasil dari penelitian lapangan, serta data sekunder yang didapatkan dari PT. PP serta database Ecoinvent. Penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat 38 unit proses yang berpotensi menghasilkan GRK dalam pembangunan jembatan simpang susun Rangkasbitung dengan total emisi GRK yang dihasilkan adalah sebanyak 234.946,3 KgCO_{2e}, dengan unit proses dengan emisi GRK tertinggi adalah produksi semen, dengan emisi GRK yang dihasilkan yaitu sebanyak 95552,33 KgCO_{2e} (40,66%). Metode cor ditempat menghasilkan emisi GRK sebesar 202633,73 KgCO_{2e} yang mana 13,75% lebih sedikit dari pada emisi GRK yang dihasilkan menggunakan metode precast.

Kata Kunci : emisi gas rumah kaca, konstruksi jembatan, life cycle assesment.

PENDAHULUAN

Jembatan merupakan bangunan yang digunakan untuk menyambungkan dua belah sisi yang terputus akibat adanya suatu rintangan seperti jurang, sungai, atau bahkan jalan raya. Sehingga dengan adanya jembatan kedua sisi dapat terhubung guna melancarkan kegiatan kehidupan sehari-hari. Struktur jembatan juga sering digunakan dalam simpang susun, ini struktur penting yang digunakan untuk keluar masuk kendaraan di jalan bebas hambatan, sehingga struktur jembatan pada suatu jalan bebas hambatan sangatlah penting. Kebanyakan struktur jembatan yang digunakan dalam simpang susun adalah jembatan menggunakan gelagar (*Girder*). Sehingga dalam proses konstruksinya dibutuhkan yang namanya proses *Erection Girder*, atau pengangkatan gelagar ke abutment. Namun sampai saat ini kesadaran para *stakeholder* terhadap dampak lingkungan yang dihasilkan oleh kegiatan konstruksi sangatlah kurang, padahal tuntutan pembangunan yang ramah lingkungan sudah menjadi kegiatan yang wajib dan mulai disorot semua pihak. Analisis Dampak Lingkungan (AMDAL) adalah studi wajib untuk setiap kegiatan konstruksi yang sekiranya berdampak terhadap lingkungan sesuai dengan pasal 16 UU No.4 Tahun 1982 mengenai Ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup. Namun AMDAL ini belum mencakup batasan konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca (CO₂) yang dihasilkan, padahal kedua hal tersebut sangatlah penting guna mengetahui dampak dari proyek terhadap lingkungan. Maka dari itu kita perlu penelitian mengenai efek GRK (Gas Rumah Kaca) dari suatu pekerjaan sipil, karena GRK ini sangat berdampak pada lingkungan sekitar dimana kita tinggal. Penelitian ilmiah menyebutkan bahwa gas rumah kaca yang berasal dari kegiatan sehari-hari memperburuk

pemanasan global dan perubahan iklim (IPCC, 2007). Tentu kita menginginkan lingkungan yang sehat untuk kita tinggal, dan pula pemerintah telah berkomitmen untuk melakukan penurunan emisi dari GRK agar lingkungan tetap terjaga. Untuk itu kita perlu mengetahui unit pekerjaan mana yang memiliki potensi mengeluarkan GRK sehingga kedepannya kita dapat mencari solusi terkait hal tersebut.

Salah satu metode analisis yang dapat digunakan untuk menganalisis emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh proyek konstruksi adalah dengan menggunakan metode LCA (*Life Cycle Assessment*). LCA adalah metode yang memperikaran dampak lingkungan yang diakibatkan dari produksi material, transportasi material, konstruksi, dan rehabilitasi. Salah satu emisi yang menjadi penyebab pemanasan global adalah emisi karbon dioksida, besarnya emisi CO₂ ini dapat terjadi di semua tahap proyek tersebut. Maka dari itu ada baiknya bila emisi CO₂ dari konstruksi dapat dihitung agar tahu seberapa besar emisi yang keluar. Sehingga kita dapat mencari usaha untuk menutupi emisi yang keluar dari proyek tersebut.

Bagian Bagian Pada Jembatan

Menurut Departemen Pekerjaan Umum (Pengantar dan Prinsip-prinsip Perencanaan Pondasi Jembatan, 1988) suatu bangunan jembatan pada umumnya terdiri dari 6 bagian pokok, yaitu bangunan atas, landasan, bangunan bawah, pondasi, optrit, bangunan pengaman. Menurut (Siswanto, 1993) Bentuk dan bagian jembatan dapat dibagi dalam 4 bagian utama, yaitu struktur atas, struktur bawah, jalan pendekat, bangunan pengaman.

Life Cycle Assessment

Secara umum LCA (*Life Cycle Assessment*) adalah sebuah pendekatan yang bermaksud untuk mengetahui konsumsi dari energi dan pelepasan emisi dalam hal ini gas rumah kaca (GRK) atau *Green House Gases* (GHG). LCA merupakan metode pendekatan yang dapat membantu meneliti dan memahami apa saja yang berpengaruh terhadap konsumsi energi dan emisi Gas Rumah Kaca yang di lepas pada setiap kegiatan yang telah diinventarisasi. Tahap yang diinventarisasi meliputi penggunaan material, distribusi, serta tahap konstruksi pada pengerjaan konstruksi jembatan.

Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca adalah gas di atmosfer yang menyerap radiasi terstial 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 foreing* 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)

Karena gelagar dan diafragma terbuat dari beton bertulang maka disediakan data faktor emisi untuk bahan-bahan penyusun beton didapatkan dari penelitian sebelumnya pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Faktor emisi gas rumah kaca untuk produksi bahan baku material serta bahan bakar minyak

No	Nama Material	Jumlah Gas Rumah Kaca	
		(ton CO ₂ e/ton Material) (kg CO ₂ e/liter BBM)	Sumber
1	Semen	1	Kubba, 2010
2	Agregat	0,0032	Zapata dan Gambatese, 2005
3	Besi Tulangan	2,4	Frick, 2007
4	<i>Admixture</i>	0,69	EFCA Enviromental Declaration
5.	<i>Motor Gasoline</i>	2,32	United States Environmental Protection Agency, 2004)
6.	<i>Diesel Fuel</i>	2,66	United States Environmental Protection Agency, 2004)

Kemudian ada beberapa gas emisi yang termasuk gas rumah kaca antara lain

1. Karbondioksida
2. Metana
3. Nitrous Oxide

Emisi Alat

Data emisi yang dikeluarkan alat alat yang digunakan di pekerjaan konstruksi jembatan simpang susun Rangkasbitung diperoleh dari *database Ecoinvent* serta penelitian terdahulu, kemudian dikonversikan kedalam besaran CO₂ ekuivalen yang disajikan dalam Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Emisi alat yang digunakan pada konstruksi Jembatan Simpang Susun Rangkasbitung

No.	Alat	Emisi yang dihasilkan KgCO ₂ e	Sumber
1.	Dump Truk (7,5 ton)	0,351/ton.km	EcoInvent 3.3, 2014
2.	Truk Trailer Multi Axle (16 ton)	0,1187/ton.km	EcoInvent 3.3, 2014
3.	Vibrator	2,9202/jam	EcoInvent 3.3, 2014
4.	Perputaran Truk Mixer	15,9940/jam	EcoInvent 3.3, 2014
5.	Crawl Crane	201,9499/jam	ABB Crane System, Sweden, 2010
6.	Concrete Pump	86,43455/jam	EcoInvent 3.3, 2014
7.	Welding Tools	0,86238/jam	EcoInvent 3.3, 2014
8.	Vibro Roller	27,9364/jam	Politeknik Negeri Banjarmasin, 2008

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode LCA (*life cycle assesment*), adapun langkah langkah atau fase dalam studi LCA berdasarkan ISO 14040 - 2006 yaitu :

1. Fase mendefinisikan tujuan dan ruang lingkup penelitian.
2. Fase analisis bahan baku dan alat alat (inventarisasi).
3. Fase penilaian dampak yang terjadi.
4. Fase interpretasi

Fase ruang lingkup penelitian, termasuk level detail dan batasan dari penelitian yang dilakukan, studi LCA sendiri besarnya tergantung pada subjek serta studi yang sedang diteliti. Fase analisis bahan baku dan alat adalah menentukan segala apa saja terkait subjek yang diteliti yang memiliki potensi untuk mengeluarkan gas rumah kaca, baik dari bahan, alat, serta kegiatan. Fase penilaian, adalah menghitung segala dampak lingkungan yang ditimbulkan dari segala sesuatu yang telah diinventarisasi di tahap analisis bahan baku dan alat. Fase interpretasi, adalah menginterpretasi hasil dari penilaian untuk mendapatkan keputusan keputusan yang sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian.

Lokasi

Lokasi penelitian terletak di Simpang Susun Rangkasbitung Jalan Tol Serang – Panimbang



Gambar 1. Lokasi proyek

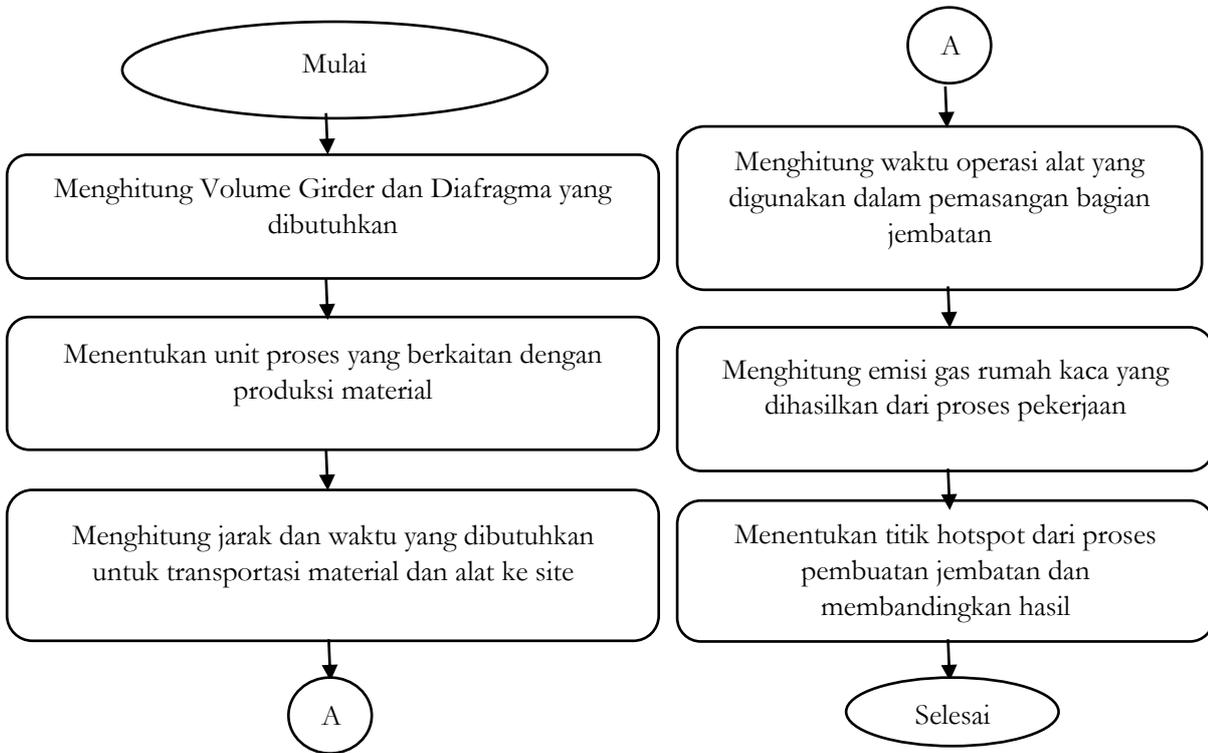
Pengumpulan data

Penelitian ini menggunakan data berupa data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan dengan cara pengamatan langsung di lapangan pada Juli 2020. Untuk mendapatkan waktu operasi dari alat alat yang digunakan pada pekerjaan pembangunan jembatan.

Data sekunder bersumber dari PT. PP dan *database Ecoinvent*. Adapun data sekunder yang diperlukan :

1. Volume pekerjaan
2. Lokasi material
3. *Softdrawing Girder*
4. Emisi yang dihasilkan alat alat berat

Setelah data didapatkan data diolah sesuai diagram alir yang disajikan pada gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Diagram hasil penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rekapitulasi hasil analisis perhitungan emisi gas rumah kaca dari kedua cara kerja (*precast* dan *insitu*) disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Pada pekerjaan pembuatan jembatan dengan metode *precast*, pekerjaan yang berkontribusi menghasilkan emisi GRK dalam jumlah signifikan adalah produksi semen girder sebesar 40,67% dan produksi baja girder sebesar 23,19%. Hal yang sama juga ditunjukkan pada pembuatan jembatan dengan metode *insitu*, di mana pekerjaan produksi semen girder memiliki bobot total emisi GRK sebesar 47,16% dan pekerjaan produksi baja girder sebesar 26,89%, sehingga dapat disimpulkan bahwa pekerjaan pembuatan jembatan dengan metode *precast* lebih ramah lingkungan dibandingkan metode *insitu*. Kesimpulan ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Intara (2017).

Hasil analisis dari kedua metode menunjukkan perilaku yang mirip, di mana tahapan konstruksi yang menyumbang emisi GRK terbesar adalah produksi raw material. Pada pekerjaan *precast* produksi *raw material* menghasilkan emisi lebih dari 60% dari total emisi GRK yang dihasilkan. Sedangkan pada pekerjaan *insitu*, produksi *raw material* menghasilkan emisi sebesar lebih dari 70%.

Selisih angka emisi yang terjadi pada proses pembuatan jembatan diakibatkan karena emisi yang dihasilkan oleh alat pada metode *insitu* lebih besar dibandingkan emisi yang dihasilkan oleh alat berat pada metode *precast*, dengan kontributor utama paling banyak menyumbang emisi adalah *concrete pump*. Selain itu, jika mempertimbangkan metode *lean construction*, di mana proses konstruksi akan memaksimalkan hasil dan meminimalisir limbah, metode *precast* dianggap lebih efektif dari sisi kekuatan beton, karena beton *precast* dapat mencapai kekuatan tinggi dengan waktu yang lebih singkat karena proses produksinya yang cepat dan terkontrol. Sedangkan jika ditinjau dari segi ekonomi teknik, beton *precast* memerlukan lebih sedikit tenaga ahli dalam proses pekerjaan, serta waktu yang lebih

singkat. Selanjutnya, jika memperhatikan sisi lingkungan, limbah material dari metode *precast* lebih sedikit jumlahnya dibandingkan metode *insitu*. Limbah material dari produksi beton precast masig dapat dimanfaatkan, dan limbah dari beton insitu cenderung dibuang.

Tabel 3. Rekapitulasi emisi GRK yang dilepaskan pada pekerjaan pembuatan Jembatan pada SS Rangkasbitung Tol Serang – Panimbang metode *Precast*

Tahapan Konstruksi	Unit Proses	Emisi Gas Rumah Kaca (KgCO ₂ e)	Bobot Total Emisi Gas Rumah Kaca (%)	
Produksi <i>Raw Material</i>	Produksi Semen Girder	95552,33	40,6698616	
	Produksi Agregat Halus Girder	638,5167	0,27177135	
	Produksi Agregat Kasar Girder	555,746	0,23654172	
	Produksi Bahan Tambah (<i>Admixtures</i>) Girder	637,4082	0,27129954	
	Produksi Baja Girder	54489,1	23,1921519	
	Produksi Semen Diafragma	6560,876	2,79250039	
	Produksi Agregat Halus Diafragma	34,55424	0,01470729	
	Produksi Agregat Kasar Diafragma	51,35136	0,02185664	
	Produksi Bahan Tambah (<i>Admixtures</i>) Diafragma	14,8971	0,00634064	
	Produksi Baja Diafragma	4764,64	2,0279699	
Transportasi <i>Raw Material</i>	Transportasi Air ke <i>Batching Plant Girder</i>	0	0	
	Transportasi Semen ke <i>Batching Plant Girder</i>	2521,188	1,07309123	
	Transportasi Agregat Halus ke <i>Batching Plant Girder</i>	29602,14	12,5995351	
	Transportasi Agregat Kasar ke <i>Batching Plant Girder</i>	15635,27	6,65482743	
	Transportasi <i>Admixtures</i> ke <i>Batching Plant Girder</i>	5483,94	2,33412499	
	Transportasi Tulangan ke <i>Batching Plant Girder</i>	1158,512	0,49309653	
	Transportasi Air ke <i>Batching Plant Diafragma</i>	771,1704	0,32823264	
	Transportasi Semen ke <i>Batching Plant Diafragma</i>	498,54	0,21219318	
	Transportasi Agregat Halus ke <i>Batching Plant Diafragma</i>	635,58	0,27052141	
	Transportasi Agregat Kasar ke <i>Batching Plant Diafragma</i>	1112,265	0,47341246	
	Transportasi <i>Admixtures</i> ke <i>Batching Plant Diafragma</i>	384,588	0,16369188	
	Transportasi Baja Tulangan Diafragma ke Direksi Keet	982,836	0,4183237	
	Proses <i>Mixing</i> Beton di <i>Batching Plant</i>	<i>Mixing</i> Beton di <i>Batching Plant Girder</i>	1784,625	0,75958851
		<i>Mixing</i> Beton di <i>Batching Plant Diafragma</i>	123,1627	0,05242164
Proses Pembuatan Bondex	<i>Proses Pembuatan Bondex</i>	6737,206	2,86755159	
Transportasi Komponen Jembatan	Transportasi Girder	1728,272	0,73560303	
	Transportasi Beton <i>Diafragma</i>	830,4912	0,3534813	
	Transportasi Baja	6,3558	0,00270521	
	Transportasi Baja Bondex	8,4744	0,00360695	
	Transportasi Bearing Pad	2,1186	0,00090174	
	Perputaran Mixer	92,12544	0,03921128	
Pemasangan Komponen Jembatan	<i>Persiapan Jalur Crawl Crane</i>	55,8728	0,0237811	
	Erection Girder	1346,319	0,57303268	
	Pemasangan Tulangan Diafragma	2,58714	0,00110116	
	Pengantaran Beton Segar	95,964	0,04084508	
	Pengecoran Diafragma	43,21727	0,01839453	
	Pemadatan Beton Segar	1,4601	0,00062146	
			0	
			0	

Tahapan Konstruksi	Unit Proses	Emisi Gas Rumah Kaca (KgCO ₂ e)	Bobot Total Emisi Gas Rumah Kaca (%)
	Pemasangan Bondex	2,58714	0,00110116
Total Emisi Gas Rumah Kaca		227050,6	100%

Tabel 4. Rekapitulasi Emisi GRK yang Dilepaskan pada Pekerjaan Pembuatan Jembatan pada SS Rangkasbitung Tol Serang – Panimbang Metode *In situ*

Tahapan Konstruksi	Unit Proses	Emisi Gas Rumah Kaca (KgCO ₂ e)	Bobot Total Emisi Gas Rumah Kaca (%)	
Produksi <i>Raw Material</i>	Produksi Semen Girder	95552,33	47,1551956	
	Produksi Agregat Halus Girder	638,5167	0,3151088	
	Produksi Agregat Kasar Girder	555,746	0,27426135	
	Produksi Bahan Tambah (<i>Admixtures</i>) Girder	637,4082	0,31456175	
	Produksi Baja Girder	54489,1	26,8904397	
	Produksi Semen Diafragma	6560,876	3,2378006	
	Produksi Agregat Halus Diafragma	34,55424	0,01705256	
	Produksi Agregat Kasar Diafragma	51,35136	0,02534196	
	Produksi Bahan Tambah (<i>Admixtures</i>) Diafragma	14,8971	0,00735174	
	Produksi Baja Diafragma	4764,64	2,35135586	
	Transportasi <i>Raw Material</i>	Transportasi Air ke <i>Batching Plant Girder</i>	1156,756	0,57086055
		Transportasi Semen ke <i>Batching Plant Girder</i>	1495,62	0,73809036
Transportasi Agregat Halus ke <i>Batching Plant Girder</i>		8580,33	4,2344037	
Transportasi Agregat Kasar ke <i>Batching Plant Girder</i>		8898,12	4,39123347	
Transportasi <i>Admixtures</i> ke <i>Batching Plant Girder</i>		384,588	0,18979466	
Transportasi Air ke <i>Batching Plant Diafragma</i>		771,1704	0,38057357	
Transportasi Semen ke <i>Batching Plant Diafragma</i>		498,54	0,24603012	
Transportasi Agregat Halus ke <i>Batching Plant Diafragma</i>		635,58	0,31365953	
Transportasi Agregat Kasar ke <i>Batching Plant Diafragma</i>		1112,265	0,54890418	
Transportasi <i>Admixtures</i> ke <i>Batching Plant Diafragma</i>		384,588	0,18979466	
Transportasi Baja Tulangan Diafragma ke Direksi Keet		982,836	0,48503081	
Proses <i>Mixing</i> Beton di <i>Batching Plant</i>		<i>Mixing</i> Beton di <i>Batching Plant Girder</i>	1784,625	0,88071469
	<i>Mixing</i> Beton di <i>Batching Plant Diafragma</i>	123,1627	0,06078095	
Proses Pembuatan Bondex	<i>Proses Pembuatan Bondex</i>	6737,206	3,32481968	
Transportasi Komponen Jembatan	Transportasi Beton Girder	2977,9456	1,46961992	
	Transportasi Beton <i>Diafragma</i>	830,4912	0,40984846	
	Transportasi Baja Girder	63,558	0,03136595	
	Transportasi Baja <i>Diafragma</i>	6,3558	0,0031366	
	Transportasi Baja Bondex	8,4744	0,00418213	
	Transportasi Bearing Pad	2,1186	0,00104553	
	Perputaran Mixer	92,12544	0,04546402	
Pemasangan Komponen Jembatan	Persiapan bekesting	10,34856	0,00510703	
	Memasang Tulangan Baja Girder	2,58714	0,00127676	
	Pengantaran Beton Segar Girder (Perputaran Mixer)	1023,616	0,50515579	
	Cor Girder	605,0419	0,29858894	
	Perataan Beton Segar Girder	20,4414	0,01008786	
	Pemasangan Tulangan <i>Diafragma</i>	2,58714	0,00127676	

Tahapan Konstruksi	Unit Proses	Emisi Gas Rumah Kaca (KgCO ₂ e)	Bobot Total Emisi Gas Rumah Kaca (%)
	Pengantaran Beton Segar (Perputaran Mixer)	95,964	0,04735836
	Pengecoran Diafragma	43,21728	0,02132764
	Pemadatan Beton Segar	1,4601	0,00072056
	Pemasangan Bondek	2,58714	0,00127676
Total Emisi Gas Rumah Kaca		107852,6	202633,73

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis emisi gas rumah kaca yang dihasilkan pada pekerjaan konstruksi jembatan simpang susun Rangkasbitung menggunakan cara cor *precast* berjumlah 234946,3 kg CO₂e sedangkan pada cara cor *insitu* berjumlah 202633,73 kg CO₂e, sehingga dapat disimpulkan bahwa cara cor *precast* menghasilkan keluaran emisi yang lebih sedikit dibandingkan dengan cara cor *insitu*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak-pihak terkait di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret yang telah membantu, memfasilitasi, dan mendukung penelitian ini.

REFERENSI

- Change, I.P.O.C., 2007. Climate change 2007: The physical science basis.
- Erlan, A., 2016, "Perhitungan Emisi Karbon dan Kecukupan Ruang Terbuka Hijau di Lingkungan Kampus", *Seminar Nasional Maritim, Sains, dan Teknologi Terapan 2016* Vol. 1.
- Handayani F S, Pramesti F P, Wibowo M A, & Setyawan A, 2019, "Estimating and Reducing the Release of Greenhouse Gasses in Local Road Pavement Constructions", *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*. Vol. 9 No. 5.
- Hermawan, Marzuki P F, Abdul M & Driejena R, 2013, "Peran Life Cycle Analysis (LCA) pada Material Konstruksi dalam Upaya Menurunkan Dampak Emisi Karbon Dioksida pada Efek Gas Rumah Kaca", *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7*.
- Intara, I.W., 2017. Pembangunan Jembatan Labuan Sait-Suluban yang Ramah Lingkungan. *Logic: Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*, 17(1), pp.16-25.
- Lutfie, M., 2018, "Studi Kasus Jalan Poros Malino", Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Marpaung, R., 2014, "Perbandingan CO₂ Menggunakan Beton dan Aspal (Studi Kasus Rekonstruksi Jalan Nasional Provinsi Riau)". *Jurnal Sosek Pekerjaan Umum*. Vol. 6 No. 3 Nov.
- Mulia, L., 2019, "Estimasi Emisi CO₂ Pada Pekerjaan Perakitan Baja Tulangan dengan Ruang Lingkup Gate to Install", *G-Smart Jurnal Teknik Sipil Soegijapranata Semarang*. Vol. 3 No. 2.
- Nurdjanah, N., 2015, "Emisi CO₂ Akibat Kendaraan Bermotor di Kota Denpasar", *Jurnal Penelitian Transportasi Darat*. Vol. 17. No. 1.
- Pramana, T., 2017, "Evaluasi Waste dan Carbon Footprint dalam Konsep Green Construction Pekerjaan Beton Ready Mix Proyek Konstruksi Gedung", *Jurnal Karya Teknik Sipil*, Vol. 6 No. 1.
- Rasyid, M., 2020, "Analisis Produktifitas Dan Efisiensi Pekerjaan Pengecoran Pelat Lantai, Balok, Dan Kolom Menggunakan Concrete Bucket dan Concrete Pump Pada Gedung Bertingkat", Institut Teknologi PLN.
- Setiawati, A., 2015, "Kuantifikasi Emisi Gas CO₂ Ekuivalen Pada Konstruksi Jalan Perkerasan Kaku", *Jurnal Karya Teknik Sipil*. Vol. 4, No. 1.