

**LAPORAN SKRIPSI**

**PERBANDINGAN HASIL ESTIMASI *EMBODIED ENERGY*  
BERDASARKAN *SOFTWARE* SIMAPRO VERSI 9.4.0.2  
*FACULTY* DAN PERHITUNGAN KONVENSIONAL PADA  
STRUKTUR LANTAI JEMBATAN  
(Studi Kasus: Proyek Flyover Ganefo Mranggen)**



Oleh:

**FAISAL MIRZA**

**NIM: 18.B1.0027**

**NAUFAL RIZKY KURNIAWAN**

**NIM: 18.B1.0112**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS KATOLIK SOEGIJAPRANATA  
SEMARANG  
2023**

**PERBANDINGAN HASIL ESTIMASI *EMBODIED ENERGY*  
BERDASARKAN *SOFTWARE* SIMAPRO VERSI 9.4.0.2  
*FACULTY* DAN PERHITUNGAN KONVENSIONAL PADA  
STRUKTUR LANTAI JEMBATAN  
(Studi Kasus: Proyek Flyover Ganefo Mranggen)**

**TUGAS AKHIR**

Karya tulis sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dari  
Universitas Katolik Soegijapranata



Oleh:

**FAISAL MIRZA**

**NIM: 18.B1.0027**

**NAUFAL RIZKY KURNIAWAN**

**NIM: 18.B1.0112**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS KATOLIK SOEGIJAPRANATA  
Februari 2023**

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Berdasarkan Surat Keputusan Rektor Universitas Katolik Soegijapranata Semarang No. 0047/SK.Rek/X/2013 perihal Pernyataan Keaslian Skripsi, Tugas Akhir, dan Tesis, maka yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Faisal Mirza

NIM : 18.B1.0027

Nama : Naufal Rizky Kurniawan

NIM : 18.B1.0112

Sebagai penulis tugas akhir yang berjudul:

**Perbandingan Hasil Estimasi *Embodied Energy* Berdasarkan *Software SimaPro* Versi 9.4.0.2 *Faculty* dan Perhitungan Konvensional Pada Struktur Lantai Jembatan (Studi Kasus: Proyek Flyover Ganefo Mranggen)**

Menyatakan bahwa tugas akhir merupakan karya akademik yang ditulis oleh penyusun, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi lain atau diterbitkan oleh orang lain. Secara tertulis, semua rujukan yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini ditulis dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa tugas akhir ini terdapat sebagian atau seluruhnya merupakan hasil plagiasi, maka penyusun menyatakan sanggup menerima segala akibatnya sesuai dengan hukum dan peraturan yang berlaku di Universitas Katolik Soegijapranata Semarang, dan atau peraturan serta undang-undang yang berlaku.

Semarang, Februari 2023



Faisal Mirza  
18.B1.0027



Naufal Rizky Kurniawan  
18.B1.0112

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PERBANDINGAN HASIL ESTIMASI *EMBODIED ENERGY*  
BERDASARKAN *SOFTWARE SIMAPRO* VERSI 9.4.0.2  
*FACULTY* DAN PERHITUNGAN KONVENSIIONAL PADA  
STRUKTUR LANTAI JEMBATAN  
(Studi Kasus: Proyek Flyover Ganefo Mranggen)**

Oleh:

**FAISAL MIRZA**

**18.B1.0027**


**NAUFAL RIZKY KURNIAWAN**

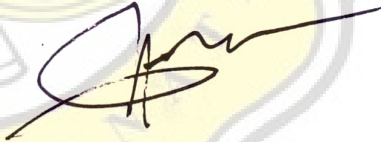
**18.B1.0112**

Telah diperiksa dan disetujui:

Tanggal 14 Feb. 2023

Tanggal 14 Feb 2023

  
Dosen Pembimbing I  
(Dr. Hermawan, S.T., M.T., IPM.,  
ASEAN Eng., CPSp., GP.)

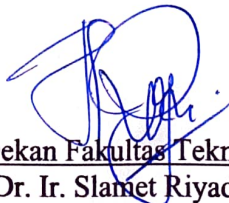
  
Dosen Pembimbing II  
(Jati Utomo Dwi Hatmoko, S.T.,  
M.M., M.Sc., Ph.D.)

Mengetahui:

Tanggal 14 Feb. 2023

Tanggal 14 Feb 2023

  
Kepala Program Studi Teknik Sipil  
(Daniel Hartanto, S.T., M.T.)

  
Dekan Fakultas Teknik  
(Prof. Dr. Ir. Slamet Riyadi, M.T.)



## HALAMAN PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir: : Perbandingan Hasil Estimasi Embodied Energy Berdasarkan Software  
SimaPro Versi 9.4.0.2 Faculty Dan Perhitungan Konvensional Pada Struktur  
Lantai Jembatan (Studi Kasus: Proyek Fly over Ganefo Mranggen)

Diajukan oleh : FAISAL MIRZA

NIM : 18.B1.0027

Tanggal disetujui : 09 Februari 2023

Telah setuju oleh

Pembimbing 1 : Dr. Hermawan S.T., M.T.

Pembimbing 2 : Jati Utomo Dwi Hatmoko Ph.D

Penguji 1 : Dr. Hermawan S.T., M.T.

Penguji 2 : Jati Utomo Dwi Hatmoko Ph.D

Penguji 3 : Ir. Y. Yuli Mulyanto M.T.

Penguji 4 : Daniel Hartanto S.T., M.T.

Ketua Program Studi : Daniel Hartanto S.T., M.T.

Dekan : Prof. Dr. Ir. Slamet Riyadi M.T.

Halaman ini merupakan halaman yang sah dan dapat diverifikasi melalui alamat di bawah ini.

[sintak.unika.ac.id/skripsi/verifikasi/?id=18.B1.0027](http://sintak.unika.ac.id/skripsi/verifikasi/?id=18.B1.0027)



## HALAMAN PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir: : Perbandingan Hasil Estimasi Embodied Energy Berdasarkan Software  
SimaPro Versi 9.4.0.2 Faculty dan Perhitungan Konvensional Pada Struktur  
Lantai Jembatan (Studi Kasus: Proyek Flyover Ganefo Mranggen)

Diajukan oleh : NAUFAL RIZKY KURNIAWAN

NIM : 18.B1.0112

Tanggal disetujui : 09 Februari 2023

Telah setuju oleh

Pembimbing 1 : Dr. Hermawan S.T., M.T.

Pembimbing 2 : Jati Utomo Dwi Hatmoko Ph.D

Penguji 1 : Dr. Hermawan S.T., M.T.

Penguji 2 : Jati Utomo Dwi Hatmoko Ph.D

Penguji 3 : Ir. Y. Yuli Mulyanto M.T.

Penguji 4 : Daniel Hartanto S.T., M.T.

Ketua Program Studi : Daniel Hartanto S.T., M.T.

Dekan : Prof. Dr. Ir. Slamet Riyadi M.T.

Halaman ini merupakan halaman yang sah dan dapat diverifikasi melalui alamat di bawah ini.

[sintak.unika.ac.id/skripsi/verifikasi/?id=18.B1.0112](http://sintak.unika.ac.id/skripsi/verifikasi/?id=18.B1.0112)

## HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Faisal Mirza  
Naufal Rizky Kurniawan  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Tugas Akhir

Menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Katolik Soegijapranata Semarang Hak Bebas Royalti Non-eksklusif atau karya ilmiah yang berjudul **“Perbandingan Hasil Estimasi *Embodied Energy* Berdasarkan *Software SimaPro* Versi 9.4.0.2 *Faculty* dan Perhitungan Konvensional Pada Struktur Lantai Jembatan (Studi Kasus: Proyek Flyover Ganefo Mranggen)”** beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Katolik Soegijapranata Semarang berhak menyimpan, mengalihkan media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir ini selama tetap mencantumkan nama penyusun sebagai penyusun/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian Pernyataan ini penyusun buat dengan sebenarnya.

Semarang, Februari 2023



Faisal Mirza  
18.B1.0027

Naufal Rizky Kurniawan  
18.B1.0112

## PRAKATA

Puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat karunia dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Perbandingan Hasil Estimasi *Embodied Energy* Berdasarkan *Software* SimaPro Versi 9.4.0.2 *Faculty* Dan Perhitungan Konvensional Pada Struktur Lantai Jembatan (Studi Kasus: Proyek Flyover Ganefo Mranggen)”. Tugas Akhir ini ditulis untuk memenuhi persyaratan gelar Sarjana (S1) Teknik Sipil Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.

Penulis tidak lupa berterima kasih kepada pihak – pihak yang telah membantu proses penelitian hingga berlangsungnya penulisan Tugas Akhir ini, diantaranya:

1. Prof. Dr. Ir. Slamet Riyadi, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.
2. Daniel Hartanto, ST. M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.
3. Dr. Hermawan, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng., CPSp., GP., selaku Dosen Pembimbing I dan Jati Utomo Dwi Hatmoko., S.T., M.M., M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing II.
4. Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga dan Cipta Karya Provinsi Jawa Tengah, selaku pemilik Proyek Flyover Ganefo Mranggen.
5. PT. Garis Putih Seajar, selaku konsultan pengawas pada Proyek Flyover Ganefo Mranggen.
6. Orang tua, keluarga, dan seluruh pihak yang telah memberi dukungan dan semangat tiada henti kepada penulis hingga Tugas Akhir ini terselesaikan.

Semoga karya tulis ini dapat memberikan manfaat khususnya di bidang Teknik Sipil.

Semarang, 14 Februari 2023



Penulis





Nama : Faisal Mirza  
: Navfal Rizky Kurniawan  
MT Kuliah : Tugas Akhir  
Dosen : Dr. Hermawan, S.T., M.T., IPM ASEAN Eng. CPSP.  
Asisten :  
Dimulai :  
Selesai :  
016/00/UNIKA/TS/R-QSR/III/07  
18. B1. 0027  
NIM : 18. B1. 0112  
Semester : IX  
Dosen Wali : Dr. Ir. Doko Suwarno, MS  
: Ir. Yohanes Yuli M., M.T.  
Nilai :

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	26 / 09 2022	- Penyusunan latar belakang pada BAB I - Cari sumber data yang paling baru	
2	27 / 09 2022	- Revisi latar belakang - cek format penulisan dan typo penulisan	
3	28 / 09 2022	- Perbaiki format penulisan - Lengkapi data - data pendukung	
4	29 / 09 2022	- Lanjutkan latar belakang - cek format penulisan dan typo penulisan	
5	30 / 09 2022	- Latar belakang oke - Lanjut rumusan masalah, tujuan, manfaat	
6	3 / 10 2022	- cek format penulisan dan typo penulisan - Lengkapi batasan dan kerangka pikir	
7	4 / 10 2022	- Lengkapi sistematika penulisan - Lanjutkan BAB II Tinjauan pustaka	
8	5 / 10 2022	- Lengkapi pembahasan metode estimasi - cek format penulisan dan typo penulisan	
9	6 / 10 2022	- Lengkapi pembahasan faktor pengaruh - Pembahasan metode konvensional - mulai susun Daftar Pustaka - cek format penulisan dan Typo penulisan	

Semarang,.....

Dosen/ Asisten



FAKULTAS TEKNIK  
**PROGDI TEKNIK SIPIL**  
UNIVERSITAS KATOLIK SOEGIJAPRANATA

**KARTU  
ASISTENSI**

Nama : Faisal Mirza  
: Naufal Rizky Kurniawan  
MT Kuliah : Tugas Akhir  
Dosen : Dr. Hermawan, S.T., M.T., IPM ASEAN ENG. CPSp.  
Asisten :  
Dimulai :  
Selesai :  
NIM : 18. B1. 0027  
Semester : IX  
Dosen Wali : Dr. Ir. Djoko Suwarno, Msi  
: Ir. Yohanes Yuli M., M.T.  
Nilai :

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
10	7/10 2022	- Lengkapi Daftar Pustaka - Lanjutkan penyusunan BAB III Metode Penelitian	
11	08/10 2022	- Cek kembali format Daftar Pustaka - Lanjutkan bagan Metode Penelitian - cek format penulisan dan typo kata	
12	10/10 2022	- Lengkapi tahap pengolahan data dengan gambar - Lengkapi tahap Perhitungan (konvensional) - cek kembali format penulisan	
13	12/10 2022	- Susun cover hingga Daftar Isi untuk Proposal Tugas Akhir - cek kembali Daftar Pustaka	
14	14/10 2022	Propose stop di SEMINARKAN ! 	

Semarang.....  
Dosen/Asisten

.....



016/00/UNIKA/TS/R-QSR/III/07

Nama : Faisal Mirza  
 : Nausfal Rizky Kurniawan  
 MT Kuliah : Tugas Akhir  
 Dosen : Dr. Hermawan, S.T., M.T., IPM ASEAN Eng. CPSp.  
 Asisten :  
 Dimulai :  
 Selesai :  
 NIM : 18.01.0027  
 : 18.01.0112  
 Semester :  
 Dosen Wali : Dr. Ir. Djoko Suwarno, MSi  
 : Ir. Yohanes Yuli M., M.T.  
 Nilai :

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
21.	14/12 2022	ABSTRAK OJPEM-BASIS	
22	15/12 2022	RAP TUGAS AKHIR DAPAT OJSEMIFIKASIKAN PADA SEMINAR DAPAT!	

Semarang,.....  
 Dosen/ Asisten



016/00/UNIKA/TS/R-QSR/III/07

Nama : Faisal Mirza  
: Naufal Rizky Kurniawan  
MT Kuliah : Tugas Akhir  
Dosen : Jati Utomo Dwi H., S.T., M.M., M.Sc., Ph.D.  
Asisten :  
Dimulai :  
Selesai :  
NIM : 18. B1. 0027  
: 18. B1. 0112  
Semester :  
Dosen Wali : Dr. Ir. Djoko Suwarno, MSi  
: Ir. Yohanes Yuli M., M.T.  
Nilai :

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	26/09 2022	- Perbaiki Judul Penelitian - Perbaiki tyuan Penelitian	
2	05/10 2022	- cek format penulisan - Perbaiki BAB 3	
3	14/10 2022	- Asistensi proposal tugas akhir lengkap	
4		- proposal siap diseminarkan	

Semarang,.....

Dosen/ Asisten



016/00/UNIKA/TS/R-QSR/III/07

Nama : Faisal Mirza  
: Naufal Rizky Kurniawan  
MT Kuliah : Tugas Akhir  
Dosen : Jati Utomo Dwi H., S.T., M.M., M.Sc., Ph.D  
Asisten :  
Dimulai :  
Selesai :  
NIM : 18.01.0027  
: 10.01.0112  
Semester :  
Dosen Wali : Dr. Ir. Dyoko Suwarno, MSi  
: Ir. Yohanes Yuli M., M.T.  
Nilai :

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	08/12 2022	- Tambahkan penelitian terdahulu - Perbaiki Pembahasan BAB 5	
2	13/12 2022	- Asistensi kelengkapan Draft Tugas Akhir	
3		- Draft Tugas Akhir dapat diseminarkan	

Semarang.....  
Dosen/ Asisten

.....

## ABSTRAK

### PERBANDINGAN HASIL ESTIMASI *EMBODIED ENERGY* BERDASARKAN *SOFTWARE* SIMAPRO VERSI 9.4.0.2 *FACULTY* DAN PERHITUNGAN KONVENSIONAL PADA STRUKTUR LANTAI JEMBATAN (Studi Kasus: Proyek Flyover Ganefo Mranggen)

Oleh

**FAISAL MIRZA**

**NIM: 18.B1.0027**

**NAUFAL RIZKY KURNIAWAN**

**NIM: 18.B1.0112**

Konsumsi energi global mengalami peningkatan akibat perkembangan teknologi serta standar gaya hidup masyarakat yang mengakibatkan peningkatan emisi *Greenhouse Gases* (GHG). Peningkatan sektor konstruksi infrastruktur di Indonesia diindikasikan berkontribusi dalam peningkatan konsumsi energi. Perkembangan teknologi dalam konstruksi mengakibatkan proporsi *embodied energy* pada konstruksi menjadi lebih besar daripada operasional energi. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perbandingan terhadap estimasi *embodied energy* berdasarkan *software* SimaPro dengan basis data EcoInvent dan perhitungan konvensional dengan basis data ICE pada struktur lantai jembatan sehingga dapat menjadi rekomendasi dalam pemilihan metode estimasi untuk mengoptimalkan konsumsi *embodied energy* pada konstruksi. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa pada tahap produksi berdasarkan *software* SimaPro didapat besar *embodied energy* untuk material beton, baja tulangan dan aspal yaitu 2.521.000 MJ, 5.491.000 MJ, dan 1.599.000 MJ serta pada tahap konstruksi untuk pekerjaan pengecoran beton sebesar 650.980 MJ, pemasangan tulangan baja sebesar 1.146 MJ, dan pelapisan aspal AC-WC sebesar 44.584 MJ. Sedangkan berdasarkan perhitungan konvensional pada tahap produksi didapat besar *embodied energy* pada material beton, baja dan aspal yaitu 2.675.343 MJ, 5.353.771 MJ, dan 1.370.897 MJ serta pada tahap konstruksi untuk pekerjaan pengecoran beton sebesar 563.194 MJ, pemasangan tulangan baja sebesar 992 MJ, dan pelapisan aspal AC-WC sebesar 38.584 MJ. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa selisih perbedaan estimasi *embodied energy* pada tahap produksi dan konstruksi menggunakan *software* SimaPro berkisar 1-7% lebih besar daripada menggunakan perhitungan konvensional. Secara keseluruhan, nilai satuan *embodied energy* material konstruksi pada basis data EcoInvent dengan rata-rata *global production* memiliki nilai yang lebih besar daripada basis data *Inventory of Carbon and Energy*.

**Kata Kunci:** energi, emisi *Greenhouse Gases*, *embodied energy*, konstruksi infrastruktur.

## ***ABSTRACT***

Global energy consumption has increased due to technological developments and people's lifestyle standards, resulting in increased Greenhouse Gases (GHG) emissions. The increase in the infrastructure construction sector in Indonesia is indicated to have contributed to the increase in energy consumption. Technological developments in construction have resulted in the proportion of embodied energy in construction being greater than operational energy. This study aims to compare the estimated embodied energy based on SimaPro software with the EcoInvent database and conventional calculations with the ICE database on bridge floor structures so that it can be a recommendation in selecting an estimation method to optimize embodied energy consumption in construction. The results showed that at the production stage based on the SimaPro software, a large amount of embodied energy was obtained for concrete, reinforcing steel, and asphalt materials, namely 2,521,000 MJ, 5,491,000 MJ, and 1,599,000 MJ, and at the construction stage for concrete casting work, it was 650,980 MJ. installation of steel reinforcement of 1,146 MJ, and coating of asphalt AC-WC of 44,584 MJ. Whereas based on conventional calculations at the production stage, the amount of embodied energy obtained in concrete, steel, and asphalt materials is 2,675,343 MJ, 5,353,771 MJ, and 1,370,897 MJ and at the construction stage for concrete casting work is 563,194 MJ, the installation of steel reinforcement is 992 MJ, and asphalt coating AC-WC of 38,584 MJ. The results of the comparison show that the difference between the estimated embodied energy at the production and construction stages using SimaPro software is around 1-7% greater than using conventional calculations. Overall, the unit value of embodied energy construction materials in the EcoInvent database with a global average production has a greater value than the Inventory of Carbon and Energy database.

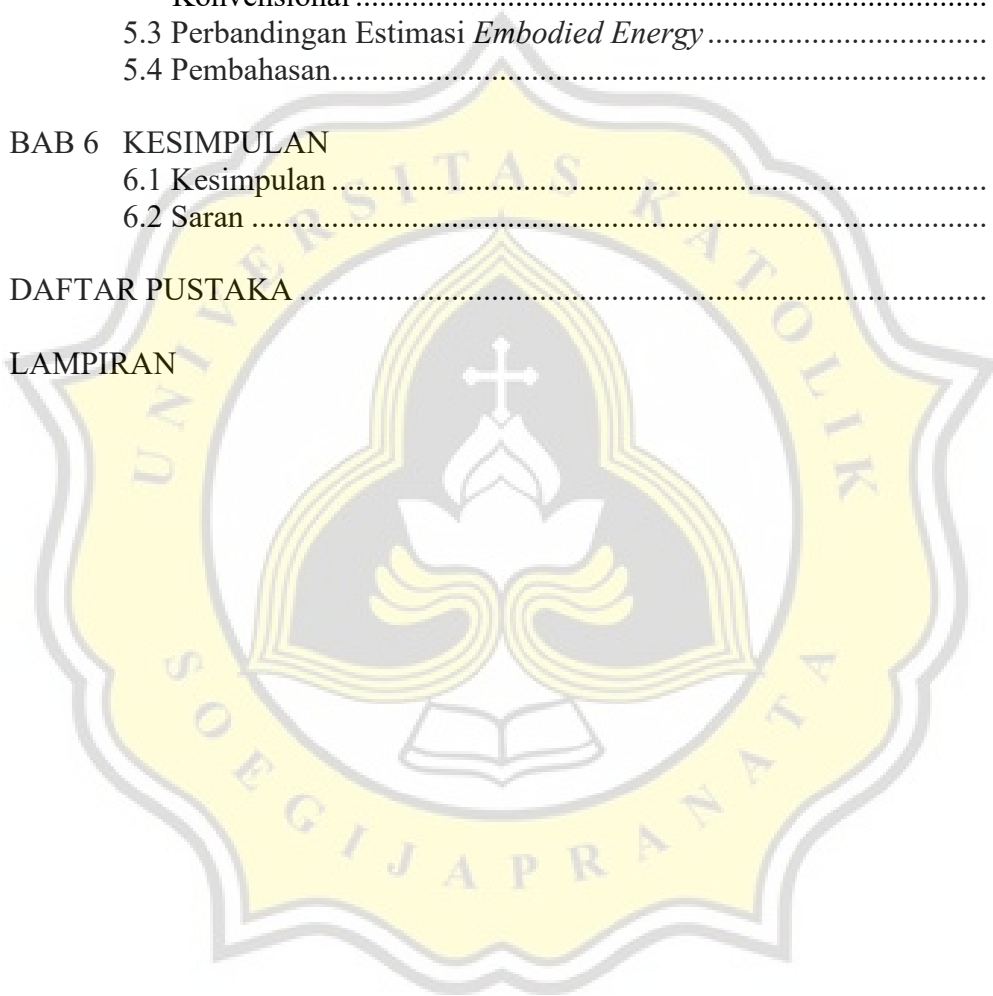
**Keywords:** energy, GreenHouse Gases emissions, embodied energy, infrastructure construction.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI .....	vi
PRAKATA.....	vii
LEMBAR ASISTENSI .....	viii
ABSTRAK .....	xiii
<i>ABSTRACT</i> .....	xiv
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG .....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	8
1.3 Tujuan .....	8
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	9
1.5 Manfaat .....	9
1.6 Kerangka Pikir Penelitian .....	9
1.7 Sistematika Penulisan Penelitian .....	11
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	12
2.1 <i>Embodied Energy</i> .....	12
2.2 Faktor-Faktor Pengaruh Besar <i>Embodied Energy</i> .....	12
2.3 Metode Estimasi <i>Embodied Energy</i> .....	15
2.4 Alat dan Basis Data <i>Embodied Energy</i> .....	18
2.5 Metode Estimasi <i>Embodied Energy</i> Konvensional.....	21
2.6 Perhitungan Volume Bahan Bakar Alat Berat.....	33
2.7 Penelitian Terdahulu .....	39
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	45
3.1 Uraian Umum.....	45
3.2 Tahap 1.....	47
3.3 Tahap 2.....	47
3.3.1 Pengumpulan data.....	47
3.3.2 Pengolahan dan analisis data .....	47
3.4 Tahap 3.....	66
3.5 Tahap 4.....	66
BAB 4 DATA PENELITIAN .....	67
6.1 Deskripsi Proyek.....	67



6.2 Data Proyek.....	68
6.3 Data Asumsi.....	77
6.4 Volume Bahan Bakar Solar .....	83
6.5 Koefisien <i>Embodied Energy</i> Perhitungan Konvensional.....	100
<b>BAB 5 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>102</b>
5.1 Estimasi <i>Embodied Energy</i> Menggunakan <i>Software</i> SimaPro ....	102
5.2 Estimasi <i>Embodied Energy</i> Menggunakan Perhitungan Konvensional .....	109
5.3 Perbandingan Estimasi <i>Embodied Energy</i> .....	118
5.4 Pembahasan.....	122
<b>BAB 6 KESIMPULAN</b>	
6.1 Kesimpulan .....	126
6.2 Saran .....	127
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>128</b>
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Proyeksi Konsumsi Energi Global.....	1
Gambar 1.2	Energi dan Emisi Pada Konstruksi dan Bangunan.....	2
Gambar 1.3	Konsumsi Akhir Energi di Negara Indonesia Pada Tahun 2015 Sampai 2020.....	3
Gambar 1.4	Data Akselerasi Pembangunan Infrastruktur 2021 .....	4
Gambar 1.5	Tahapan Siklus Hidup ( <i>Life Cycle</i> ) Bangunan.....	5
Gambar 1.6	Tahapan Siklus Hidup Energi ( <i>Life Cycle Energy</i> ).....	6
Gambar 1.7	<i>Embodied Energy</i> di Seluruh Dunia (Mtoe).....	7
Gambar 1.8	Kerangka Pikir Penelitian .....	10
Gambar 2.1	<i>Embodied Energy</i> Pada Material Konstruksi di Negara Cina Tahun 2018 .....	14
Gambar 2.2	Hasil Persentase Konsumsi <i>Embodied Energy</i> .....	40
Gambar 2.3	<i>Embodied Energy</i> Material Bangunan .....	40
Gambar 2.4	Persentase Total <i>Embodied Energy</i> Material Konstruksi.....	41
Gambar 2.5	Estimasi Konsumsi Energi Proyek Jembatan.....	42
Gambar 2.6	Perbandingan Total <i>Embodied Energy</i> Pada Bangunan Baja, Beton dan Kayu.....	44
Gambar 3.1	Metode Penelitian .....	45
Gambar 3.2	Alur Metode Estimasi <i>Embodied Energy</i> Menggunakan <i>Software</i> SimaPro.....	47
Gambar 3.3	Tab <i>Project</i> .....	48
Gambar 3.4	Tab <i>New Project</i> .....	49
Gambar 3.5	Menu <i>Description</i> .....	50
Gambar 3.6	Menu <i>Libraries</i> .....	51
Gambar 3.7	Menu <i>Processes</i> .....	52
Gambar 3.8	<i>Concrete Material Processes</i> .....	53
Gambar 3.9	Proses Material Beton Baru .....	54
Gambar 3.10	<i>Input Data</i> Material Beton.....	55
Gambar 3.11	<i>Steel Material Processes</i> .....	56
Gambar 3.12	Proses Material Baja Baru.....	57
Gambar 3.13	<i>Input Data</i> Material Baja .....	58
Gambar 3.14	<i>Bitumen Material Processes</i> .....	59
Gambar 3.15	Proses Material Aspal Baru.....	60
Gambar 3.16	<i>Input Data</i> Material Aspal .....	61
Gambar 3.17	<i>Network Calculation</i> .....	62
Gambar 3.18	Kalkulasi Data Pada <i>Software</i> SimaPro .....	62
Gambar 3.19	Alur Metode Estimasi <i>Embodied Energy</i> Menggunakan Perhitungan Konvensional .....	63
Gambar 3.20	Alur Metode Evaluasi Estimasi <i>Embodied Energy</i> .....	64
Gambar 4.1	Lokasi Proyek <i>Flyover</i> Ganefo (Mranggen) .....	66
Gambar 4.2	<i>Concrete Mixer Truck</i> Tipe Hino 500 FM 260 JM.....	70
Gambar 4.3	Rute Perjalanan <i>Concrete Mixer Truck</i> .....	71
Gambar 4.4	<i>Concrete Pump Truck</i> Tipe Mitsubishi Fuso DC-L100.....	72

Gambar 4.5	<i>Mobile Crane</i> Tipe Kato KR-250 .....	73
Gambar 4.6	<i>Dump Truck</i> Tipe Mitsubishi Colt Diesel Dump 125 HD .....	74
Gambar 4.7	<i>Asphalt Finisher</i> Tipe Sumitomo HA60W-8 .....	75
Gambar 4.8	<i>Tandem Roller</i> Tipe Sakai SW800.....	76
Gambar 4.9	<i>Pneumatic Tire Roller</i> Tipe Sakai TS200 .....	77
Gambar 4.10	Siklus Kerja Alat <i>Concrete Mixer Truck</i> .....	83
Gambar 4.11	Siklus Kerja Alat <i>Concrete Pump Truck</i> .....	86
Gambar 4.12	Siklus Kerja Alat <i>Mobile Crane</i> .....	88
Gambar 4.13	Siklus Kerja Alat <i>Dump Truck</i> .....	92
Gambar 4.14	Siklus Kerja Alat <i>Asphalt Finisher</i> .....	94
Gambar 4.15	Siklus Kerja Alat <i>Tadem Roller</i> .....	96
Gambar 5.1	Estimasi <i>Embodied Energy</i> Pada Tahap Produksi Menggunakan <i>Software</i> SimaPro.....	104
Gambar 5.2	Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Concrete Mixer Truck</i> dan <i>Concrete Pump Truck</i> Menggunakan <i>Software</i> SimaPro.....	105
Gambar 5.3	Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Mobile Crane</i> Menggunakan <i>Software</i> SimaPro.....	106
Gambar 5.4	Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Dump Truck</i> , <i>Asphalt Finisher</i> , <i>Tandem Roller</i> , dan <i>Pneumatic Tire Roller</i> Menggunakan <i>Software</i> SimaPro.....	108
Gambar 5.5	Konsep Estimasi <i>Embodied Energy</i> .....	109
Gambar 5.6	Estimasi <i>Embodied Energy</i> Tiap Segmen Struktur Lantai Jembatan Pada Tahap Produksi Menggunakan Perhitungan Konvensional .....	112
Gambar 5.7	Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Concrete Mixer Truck</i> dan <i>Concrete Pump Truck</i> Menggunakan Perhitungan Konvensional .....	114
Gambar 5.8	Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Mobile Crane</i> Menggunakan Perhitungan Konvensional .....	115
Gambar 5.9	Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Dump Truck</i> , <i>Asphalt Finisher</i> , <i>Tandem Roller</i> , dan <i>Pneumatic Tire Roller</i> Menggunakan Perhitungan Konvensional .....	118
Gambar 5.10	Perbandingan Estimasi <i>Embodied Energy</i> Pada Tahap Produksi .....	119
Gambar 5.11	Perbandingan Estimasi <i>Embodied Energy</i> Pada Tahap Konstruksi .....	120
Gambar 5.12	Perbandingan Estimasi <i>Embodied Energy</i> Pada Alat Berat Konstruksi .....	121
Gambar 5.13	Hasil Perbandingan Estimasi <i>Embodied Energy</i> Tahap Produksi dan Tahap Konstruksi Dengan Penelitian Terdahulu .....	124

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	<i>Greenhouse Gas Emissions</i> (Mt CO <sub>2eq</sub> ) .....	2
Tabel 2.1	Perbedaan Metode Estimasi <i>Embodied Energy</i> .....	17
Tabel 2.2	Alat dan Basis Data Metode <i>Life Cycle Assessment</i> Berbasis Proses Untuk Menghitung <i>Embodied Energy</i> .....	18
Tabel 2.3	Perbandingan Basis Data Perhitungan <i>Embodied Energy</i> Pada Proyek Konstruksi .....	19
Tabel 2.4	Perbandingan Alat Bantu Perhitungan <i>Life Cycle Assessment</i> Berbasis Proses Pada Proyek Konstruksi .....	20
Tabel 2.5	Koefisien <i>Embodied Energy</i> Berdasarkan Data <i>Inventory of Carbon and Energy</i> (ICE) .....	21
Tabel 2.6	Faktor Koefisien <i>Embodied Energy</i> ICE Versi 1.6a .....	42
Tabel 4.1	Segmen Struktur Lantai Jembatan STA 0+327 Sampai STA 0+667.....	68
Tabel 4.2	Volume Material Beton, Baja dan Aspal Struktur Lantai Jembatan.....	69
Tabel 4.3	<i>Job Mix Formula</i> Beton Mutu $f_c'$ 30 MPa .....	69
Tabel 4.4	Komposisi Campuran Aspal AC-WC .....	69
Tabel 4.5	Spesifikasi Alat Berat <i>Concrete Mixer Truck</i> .....	70
Tabel 4.6	Spesifikasi Alat Berat <i>Concrete Pump Truck</i> .....	72
Tabel 4.7	Spesifikasi Alat Berat <i>Mobile Crane</i> .....	73
Tabel 4.8	Spesifikasi Alat Berat <i>Dump Truck</i> .....	74
Tabel 4.9	Spesifikasi Alat Berat <i>Asphalt Finisher</i> .....	75
Tabel 4.10	Spesifikasi Alat Berat <i>Tandem Roller</i> .....	76
Tabel 4.11	Spesifikasi Alat Berat <i>Pneumatic Tire Roller</i> .....	77
Tabel 4.12	Faktor Efisiensi Alat .....	78
Tabel 4.13	Waktu Siklus <i>Concrete Mixer Truck</i> .....	78
Tabel 4.14	Waktu Siklus <i>Concrete Pump Truck</i> .....	80
Tabel 4.15	Kecepatan <i>Dump Truck</i> .....	82
Tabel 4.16	Hasil Estimasi Konsumsi Bahan Bakar <i>Concrete Mixer Truck</i> ....	85
Tabel 4.17	Hasil Estimasi Konsumsi Bahan Bakar <i>Concrete Pump Truck</i> ....	87
Tabel 4.18	Hasil Estimasi Konsumsi Bahan Bakar <i>Mobile Crane</i> .....	92
Tabel 4.19	Hasil Estimasi Konsumsi Bahan Bakar <i>Dump Truck</i> .....	94
Tabel 4.20	Hasil Estimasi Konsumsi Bahan Bakar <i>Asphalt Finisher</i> .....	96
Tabel 4.21	Hasil Estimasi Konsumsi Bahan Bakar <i>Tandem Roller</i> .....	98
Tabel 4.22	Hasil Estimasi Konsumsi Bahan Bakar <i>Pneumatic Tire Roller</i> ....	100
Tabel 4.23	Koefisien <i>Embodied Energy</i> Material .....	100
Tabel 4.24	Koefisien <i>Embodied Energy</i> Bahan Bakar Solar .....	101
Tabel 5.1	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Material Beton Menggunakan <i>Software</i> SimaPro .....	102
Tabel 5.2	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Material Baja Pada <i>Software</i> SimaPro .....	103
Tabel 5.3	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Material Aspal Pada <i>Software</i> SimaPro .....	103

Tabel 5.4	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Concrete Mixer Truck</i> Menggunakan <i>Software</i> SimaPro.....	105
Tabel 5.5	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Concrete Pump Truck</i> Menggunakan <i>Software</i> SimaPro.....	105
Tabel 5.6	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Mobile Crane</i> Menggunakan <i>Software</i> SimaPro.....	106
Tabel 5.7	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Dump Truck</i> Pada <i>Software</i> SimaPro.....	107
Tabel 5.8	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Asphalt Finisher</i> Pada <i>Software</i> SimaPro.....	107
Tabel 5.9	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Tandem Roller</i> Pada <i>Software</i> SimaPro.....	107
Tabel 5.10	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Pneumatic Tire Roller</i> Pada <i>Software</i> SimaPro.....	108
Tabel 5.11	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Material Beton Pada Perhitungan Konvensional.....	110
Tabel 5.12	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Material Baja Pada Perhitungan Konvensional.....	111
Tabel 5.13	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Material Baja Pada Perhitungan Konvensional.....	111
	<i>Truck</i> Pada Perhitungan Konvensional.....	113
Tabel 5.15	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Concrete Mixer Truck</i> Pada Perhitungan Konvensional.....	113
Tabel 5.16	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Mobile Crane</i> Pada Perhitungan Konvensional.....	114
Tabel 5.17	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Dump Truck</i> Pada Perhitungan Konvensional.....	116
Tabel 5.18	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Asphalt Finisher</i> Pada Perhitungan Konvensional.....	116
Tabel 5.19	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Tandem Roller</i> Pada Perhitungan Konvensional.....	117
Tabel 5.20	Hasil Estimasi <i>Embodied Energy</i> Alat Berat <i>Pneumatic Tire Roller</i> Pada Perhitungan Konvensional.....	118
Tabel 5.21	Nilai Satuan <i>Embodied Energy</i> Pada Material.....	120
Tabel 5.22	Perbedaan Estimasi Nilai <i>Embodied Energy</i> Pada Basis Data EcoInvent.....	123
Tabel 5.23	Perbedaan Estimasi Nilai <i>Embodied Energy</i> Pada Basis Data <i>Inventory of Carbon and Energy</i> .....	123
Tabel 5.24	Hasil Perbandingan Estimasi <i>Embodied Energy</i> Pada Material Beton dan Baja.....	125

## DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
IEA	<i>International Energy Agency</i>	1
TJ	<i>Tera Joule</i>	1
GHG	<i>Greenhouse-gas</i>	2
Mt CO <sub>2eq</sub>	<i>Million Tonnes of Carbon Dioxide Equivalent</i>	2
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>	2
BBM	Bahan Bakar Minyak	3
LPG	<i>Liquefied Petroleum Gas</i>	3
PDB	Produk Domestik Bruto	4
PDRB	Produk Domestik Regional Bruto	5
KBLI	Klasifikasi Baku Lapangan Indonesia	5
BSI	<i>British Standards Institution</i>	5
Mtoe	<i>Million Tonnes of Oil Equivalent</i>	7
BQ	<i>Bill of Quantity</i>	9
GJ	<i>GigaJoule</i>	14
ISO	<i>International Organization of Standardization</i>	15
I-O	<i>Input Output</i>	16
ICE	<i>Inventory of Carbon and Energy</i>	20
EPSRC	<i>Engineering and Physical Sciences Research Council</i>	20
MJ	<i>MegaJoule</i>	21
Kg	Kilogram	21
ASM	Analisis Satuan Material	28
DED	<i>Detail Engineering Design</i>	35
RKS	Rencana Kerja dan Syarat	35
STA	<i>STATIONING</i>	62
DPU BMCK	Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga dan Cipta Karya	62
APBD	Anggatan Pendapatan dan Belanja Daerah	63
PT	Perseroan Terbatas	63
MPa	Mega Pascal	64
AC-WC	<i>Asphalt Concrete-Wearing Course</i>	64
M <sup>3</sup>	Meter Kubik	64
CM	<i>Centimeter</i>	64
LTR	Liter	64
RPM	<i>Round Per Minute</i>	65
HP	<i>Horse Power</i>	65

## DAFTAR LAMPIRAN

<i>SHOP DRAWING</i> .....	LA
<i>Alinyemen Layout</i> .....	LA-1
<i>Row Plan Flyover Ganefo (Mranggen)</i> .....	LA-2
Situasi dan Potongan Memanjang STA -0+250 – STA 0+000 .....	LA-6
Situasi dan Potongan Memanjang STA 0+000 – STA 0+350.....	LA-7
Situasi dan Potongan Memanjang STA 0+350 – STA 0+700.....	LA-8
Situasi dan Potongan Memanjang STA 0+700 – STA 1+050.....	LA-9
Data Bore Log BH-02 <i>Flyover Ganefo (Mranggen)</i> .....	LA-10
Data Bore Log BH-01 <i>Flyover Ganefo (Mranggen)</i> .....	LA-11
Potongan Melintang.....	LA-12
Dimensi Plat Lantai Bentang 36,80 Meter .....	LA-17
Pembesian Plat Lantai Bentang 36,80 Meter.....	LA-18
Tabel Pembesian Plat Lantai Bentang 36,80 Meter.....	LA-19
Dimensi Plat Lantai Bentang 59,31 Meter .....	LA-20
Pembesian Plat Lantai Bentang 59,31 Meter.....	LA-21
Tabel Pembesian Plat Lantai Bentang 59,31 Meter.....	LA-22
Dimensi Plat Lantai Bentang 54,91Meter .....	LA-23
Pembesian Plat Lantai Bentang 54,91 Meter.....	LA-24
Tabel Pembesian Plat Lantai Bentang 54,91 Meter.....	LA-25
Dimensi Plat Lantai Bentang 32,80 Meter .....	LA-26
Pembesian Plat Lantai Bentang 32,80 Meter.....	LA-27
Tabel Pembesian Plat Lantai Bentang 32,80 Meter.....	LA-28
Dimensi Plat Lantai Bentang 40,80 Meter .....	LA-29
Pembesian Plat Lantai Bentang 40,80 Meter.....	LA-30
Tabel Pembesian Plat Lantai Bentang 40,80 Meter.....	LA-31
Detail Penulangan Sambungan Plat Lantai Dengan Pilar 5 .....	LA-32
<i>Landscape Flyover Ganefo (Mranggen)</i> .....	LA-33
<i>JOB MIX DESIGN BETON MUTU <math>f_c'</math> 30 MPa &amp; JOB MIX DESIGN</i>	
ASPAL AC-WC.....	LB
Halaman Judul Laporan <i>Quality</i> .....	LB-1
Halaman Lembar Pengesahan .....	LB-2
<i>Concrete Mix Design Summary Job Mix Formula 1M3 (SSD)</i> .....	LB-3
<i>Concrete Mix Design Calculation Sheet (1 m3-SSD Condition)</i> .....	LB-4
<i>Specific Gravity &amp; Absorption Test Of Coarse Aggregate</i> .....	LB-5
<i>Specific Gravity &amp; Absorption Test Of Fine Aggregate</i> .....	LB-7
Laporan <i>Job Mix Design (JMD)</i> .....	LB-8
Rekapitulasi Hasil Pengujian JMD AC-WC .....	LB-9
Percobaan <i>Marshal</i> Mencari Stabilitas Sisa Kadar Aspal Optimum....	LB-10
Grafik Pengujian Campuran Beraspal Dengan <i>Marshal</i> .....	LB-11
Percobaan Kepadatan Mutlak (Membal).....	LB-12
Lembar Kerja Pengujian Berat Jenis Campuran Maksimum (GMM)..	LB-13
Pengujian Campuran Beraspal Dengan <i>Marshal</i> .....	LB-14

Tabel Kombinasi Agregat AC-WC .....	LB-15
DAFTAR PERTANYAAN WAWANCARA TIDAK TERSTRUKTUR ....	LC
Daftar Pertanyaan Wawancara Tidak Terstruktur .....	LC-1
LEMBAR ANTIPLAGIASI TUGAS AKHIR .....	LD
<i>Similarity Report</i> .....	LD-1

