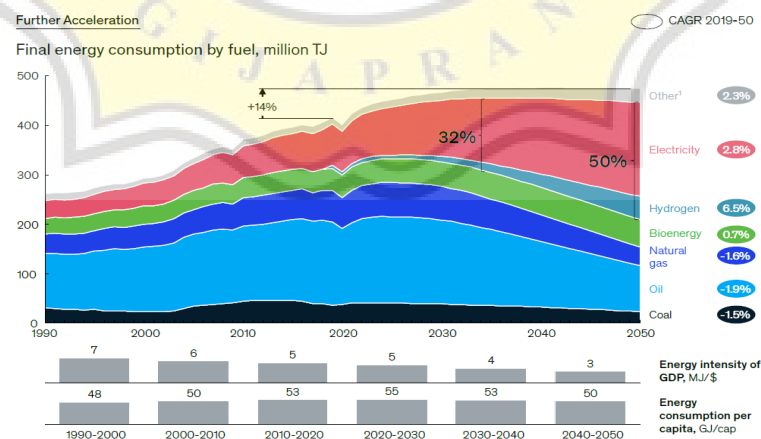




BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Embodied energy merupakan salah jenis energi yang terdapat dalam siklus hidup energi pada sebuah bangunan. Berdasarkan siklus hidupnya, *embodied energy* didefinisikan sebagai jumlah energi yang dikonsumsi selama proses produksi material, konstruksi dan demolisi bangunan (Li, dkk., 2020). Peningkatan *embodied energy* dapat disebabkan oleh meningkatnya konsumsi energi di dunia. Energi merupakan sumber daya penting yang mendorong kemajuan sosial serta ekonomi. Seiring dengan berkembangnya teknologi dan standar kehidupan masyarakat, konsumsi serta kebutuhan energi juga meningkat (Li, dkk., 2020). Berdasarkan *International Energy Agency* (IEA, 2021) kebutuhan energi global mengalami penurunan sebesar 4% pada tahun 2020 yang diakibatkan oleh adanya pandemi Covid-19. Namun, pada tahun 2021 kebutuhan energi akan meningkat sebesar 4,6%. Perkembangan ekonomi serta populasi secara global juga turut berdampak pada peningkatan konsumsi energi. Dalam beberapa dekade yang akan datang, konsumsi energi diperkirakan meningkat mencapai 14% (McKinsey & Company, 2022). Proyeksi konsumsi energi global berdasarkan bahan bakar mulai tahun 1990 hingga 2050 diperlihatkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Proyeksi Konsumsi Energi Global (Sumber: Diolah dari Gambar *Final energy consumption by fuel, million TJ* dalam McKinsey Global Energy Perspective 2022)



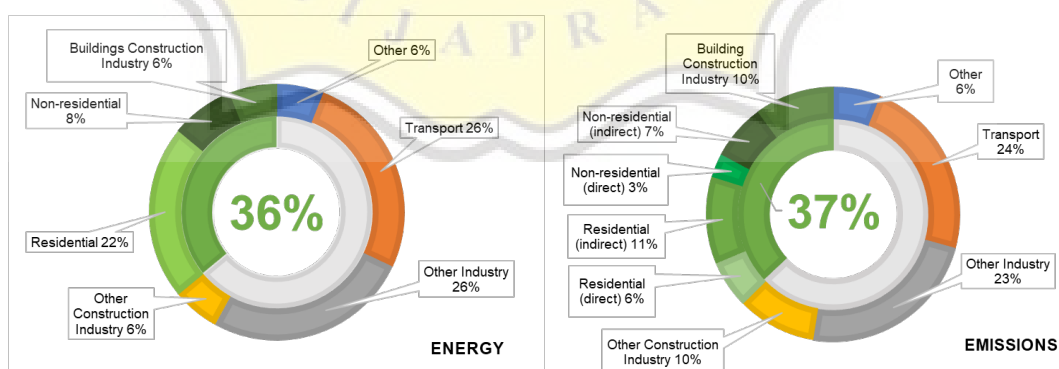
Konsumsi energi juga berdampak terhadap berbagai masalah lingkungan yang terus mengalami peningkatan (Li, dkk., 2020). Dampak lingkungan yang ditimbulkan dari konsumsi energi salah satunya adalah potensi pemanasan global sebagai akibat dari meningkatnya emisi *greenhouse-gas* (GHG). Peningkatan emisi *greenhouse-gas* (GHG) global berdasarkan IEA diperlihatkan pada Tabel 1.1.

 Tabel 1.1 *Greenhouse Gas Emissions* (Mt CO_{2eq})

| | Energy greenhouse gas emissions (Mt CO _{2eq}) | | | Growth rate (%) | |
|----------------------------------|---|--------|--------|-----------------|---------|
| | 2019 | 2020 | 2021 | 2019-20 | 2020-21 |
| GHG emissions | 40.756 | 38.635 | 40.838 | -5,2% | 5,7% |
| CO ₂ emissions | 36.077 | 34.221 | 36.257 | -5,1% | 6,0% |
| CO ₂ flared emissions | 283 | 268 | 281 | -5,1% | 4,8% |
| CH ₄ emissions | 4.115 | 3.89 | 4.031 | -5,4% | 3,5% |
| N ₂ O emissions | 271 | 253 | 268 | -6,6% | 5,9% |

(Sumber: Diolah kembali dari data Global Energy Review CO₂ Emissions, IEA 2021)

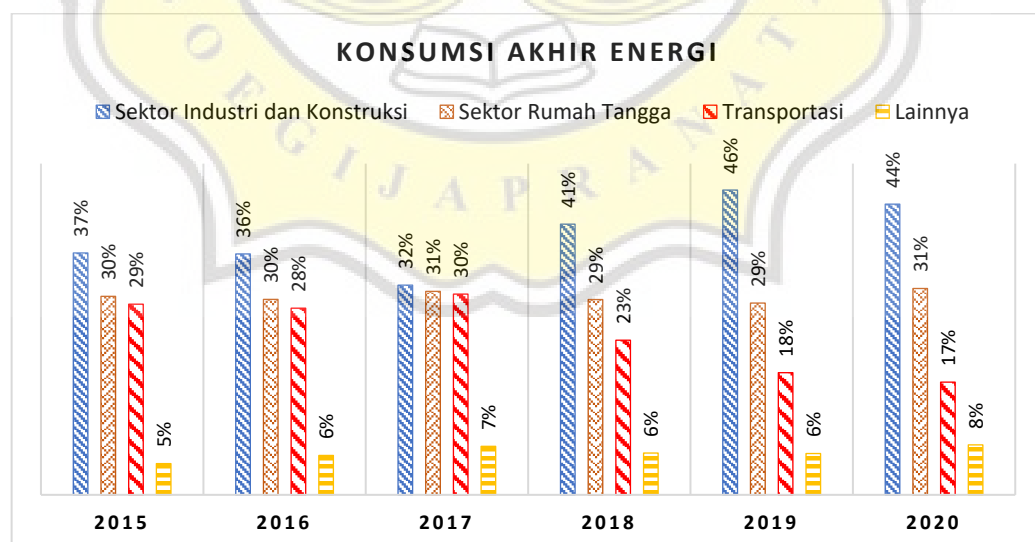
Pada Tabel 1.1, emisi gas CO₂ menempati urutan pertama dengan total emisi sebesar 36.257 Mt CO_{2eq} pada tahun 2021. Dalam hal ini, proyek konstruksi merupakan pengguna energi serta penyumbang emisi gas CO₂ terbesar. Sekitar 40% emisi CO₂ dunia dan 40% penggunaan sumber daya alam dapat dikaitkan dengan penggunaan energi pada proyek konstruksi (Najjar, dkk., 2019). Berdasarkan *United Nations Environment Programme* (UNEP, 2021) konstruksi dan bangunan menyumbang 36% dari total kebutuhan energi global dan 37% emisi CO₂ pada tahun 2020 yang diperlihatkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Energi dan Emisi Pada Konstruksi dan Bangunan (Sumber: Diolah dari Gambar *Buildings and construction's share of global final energy and energy-related CO₂ emissions*, UNEP 2021)



Sebagai negara berkembang, Indonesia berkontribusi konsumsi energi primer sebanyak 8,10 eksa joule dan menjadikan Indonesia menempati peringkat ke-5 di Asia Pasifik serta peringkat ke-13 di dunia (bp, 2021). Berdasarkan Badan Pusat Statistik, pada tahun 2020 Indonesia memproduksi energi primer sebesar 19.346.510 TJ yang meliputi produksi batu bara (14.258.071 TJ), gas alam (2.374.248 TJ), minyak mentah dan kondensat (1.752.622 TJ), serta energi lain (961.569 TJ). Kemudian energi tersebut diekspor ke suatu negara dengan jumlah 12.541.008 TJ yang meliputi ekspor batu bara (10.480.743 TJ), gas alam (811.361 TJ), minyak mentah dan kondensat (215.965 TJ), serta energi lain (1.032.939 TJ) namun Indonesia juga melakukan impor energi sebesar 1.851.880 TJ meliputi BBM berkadar ringan (687.366 TJ), minyak tanah dan kondensat (510.480 TJ), LPG dan gas kilang (288.805 TJ), serta energi lain (365.229 TJ). Konsumsi akhir energi yang diperlukan memenuhi kebutuhan energi di Indonesia sebesar 4.914.960 TJ yang meliputi konsumen pada sektor industri dan konstruksi (2.158.577 TJ) sebesar 43,9%, sektor rumah tangga (1.532.150 TJ) sebesar 31,2%, transportasi (837.094 TJ) sebesar 17%, dan konsumen lain (371.176 TJ) sebesar 7,6%. Persentase konsumsi akhir energi di Indonesia pada tahun 2015 sampai dengan tahun 2020 diperlihatkan pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Konsumsi Akhir Energi di Negara Indonesia Pada Tahun 2015 Sampai 2020 (Sumber: Diolah dari data Badan Pusat Statistika 2016 hingga 2020)



Berdasarkan Gambar 1.3, konsumsi energi terbesar di Indonesia yaitu sektor industri dan konstruksi. Puncak konsumsi energi terjadi pada tahun 2019 yaitu sebesar 46% (meningkat 5% dari 2018) meskipun pada tahun 2020 mengalami penurunan sebanyak 2% sebagai akibat dari pandemi Covid-19. Pertumbuhan di dalam proyek konstruksi dapat meningkatkan perekonomian suatu negara seperti di Indonesia. Berdasarkan Badan Pusat Statistika (2021), proyek konstruksi berkontribusi terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) dengan besar persentase peningkatan yaitu 0,09 % dari Triwulan III tahun 2021 serta menjadikan negara Indonesia berada dalam urutan ke-50 sesuai dengan indeks daya saing global. Salah satu jenis konstruksi yang mengalami peningkatan adalah konstruksi infrastruktur.

Tujuan dari peningkatan pembangunan infrastruktur di Indonesia adalah untuk memulihkan perekonomian nasional, lingkungan, dan sosial dalam beberapa dekade agar lebih kuat (Mulyani, 2021). Berdasarkan Pusat Data dan Teknologi Informasi Sekretariat Jenderal (2021) pada tahun 2021 terdapat akselerasi pembangunan dalam rangka mendorong pertumbuhan ekonomi dan tercapainya konektivitas antar wilayah. Data akselerasi dari pembangunan infrastruktur tahun 2021 yang ada di Indonesia diperlihatkan pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4 Data Akselerasi Pembangunan Infrastruktur 2021 (Sumber: Diolah dari Pusat Data dan Teknologi Informasi Sekretariat Jenderal, 2021)

Infrastruktur jalan dan jembatan menjadi salah satu fokus pemerintah dalam pembangunan infrastruktur yang ada di Indonesia. Pembangunan konstruksi infrastruktur jalan dan jembatan dilakukan percepatan untuk mendapatkan manfaat seperti meningkatkan kelancaran pada arus lalu lintas ataupun orang serta dapat menghubungkan satu daerah ke daerah lainnya dengan mudah. Selain itu manfaat lainnya dengan ada pembangunan konstruksi jalan dan jembatan yaitu dapat merangsang pertumbuhan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) pada suatu



daerah karena semakin lancarnya transportasi yang memicu pergerakan orang maupun barang (Irianingsih, 2019). Berdasarkan Kementerian Investasi/BKPM. (2021) jenis konstruksi terbagi ke dalam tiga bidang pekerjaan utama yaitu konstruksi gedung, konstruksi sipil dan konstruksi khusus yang diuraikan sebagai berikut:

1. Konstruksi gedung yang pada umumnya berupa konstruksi tempat tinggal, bangunan perkantoran serta bangunan lainnya,
2. Konstruksi sipil yang pada umumnya berupa konstruksi jalan, jembatan, jalan rel, bandara, pelabuhan serta bangunan air lainnya,
3. Konstruksi khusus meliputi konstruksi yang berhubungan dengan keahlian khusus.

Berdasarkan jenis-jenis konstruksi tersebut, terdapat satu kesamaan yaitu memiliki tahapan siklus hidup (*life-cycle*) yang sama. Menurut Li, dkk., (2020) siklus hidup dari bangunan meliputi tahapan produksi, tahapan konstruksi, tahapan operasional hingga tahapan masa akhir bangunan (meliputi tahap dekonstruksi dan penggunaan kembali). Berdasarkan *British Standards Institution* (BSI) No. 15978:2011, siklus hidup dari sebuah bangunan diperlihatkan pada Gambar 1.5.

| Building Life Cycle Information | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------|---------------|----------------------------|--------------|-----------|-------------|--------|-------------|---------------|--------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------|------------------|----------|----------------------------|--|
| Product Stage | | | Construction Process Stage | | Use Stage | | | | | | | End-of-life Stage | | | | Beyond Building Life-cycle | |
| A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | C1 | C2 | C3 | C4 | D | |
| Raw Materials Supply | Transport | Manufacturing | Transport | Construction | Use | Maintenance | Repair | Replacement | Refurbishment | Operational Energy | Operational Water Use | Deconstruction / Demolition | Transport | Waste Processing | Disposal | Reuse / Recycling | |

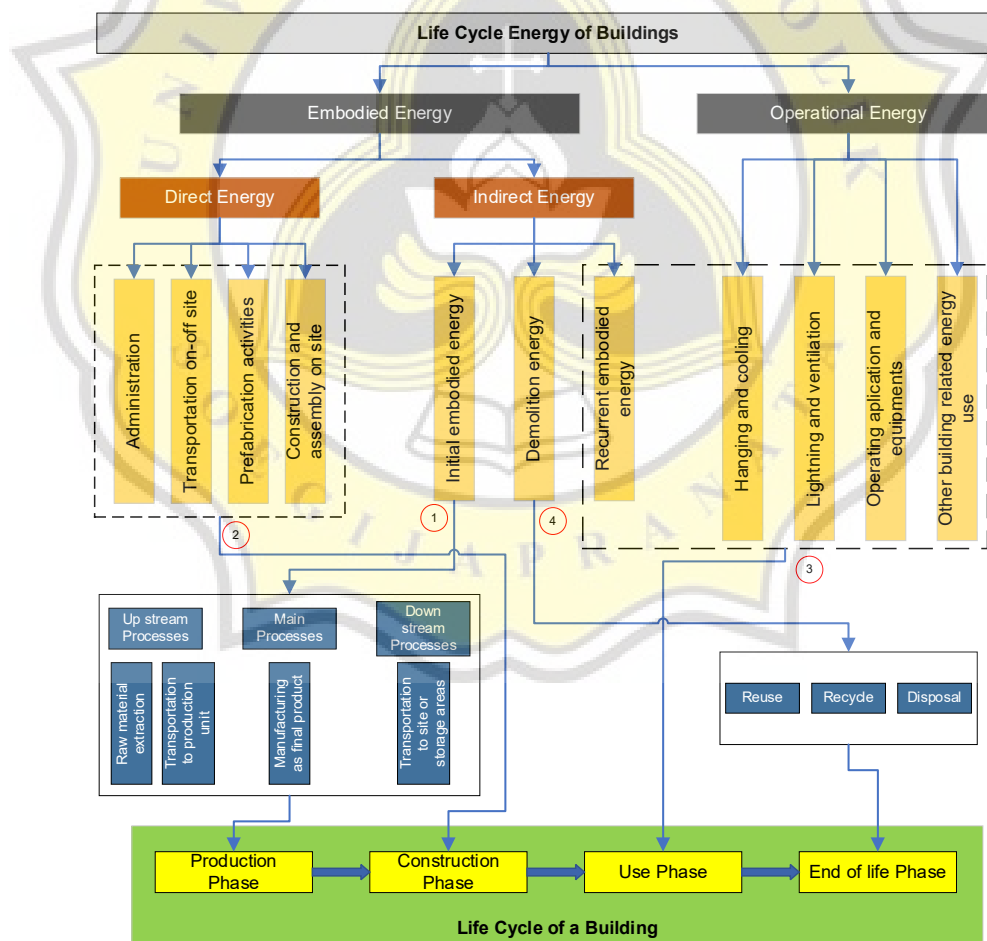
Gambar 1.5 Tahapan Siklus Hidup (*Life Cycle*) Bangunan (Sumber: Diolah dari *British Standards Institution* 15978:2011)

Berdasarkan Gambar 1.5, tahapan awal dalam siklus hidup bangunan yaitu diawali dengan proses pengolahan material dari bangunan. Jenis material yang digunakan pada konstruksi nantinya sangat berpengaruh terhadap konsumsi energi pada saat proses pengolahan. Menurut Wong dan Zhou (2015), sekitar 10% dari total energi



yang ada di bumi digunakan selama tahap proses fabrikasi dari material konstruksi. Energi yang digunakan pada tahapan awal tersebut dapat didefinisikan sebagai *embodied energy*.

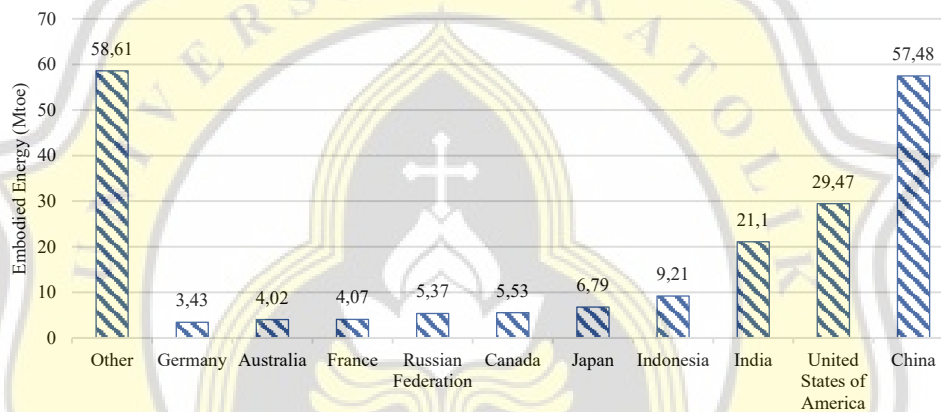
Terdapat dua jenis penggunaan energi yang ada di dalam industri konstruksi. *Embodied energy* merupakan energi yang dikonsumsi selama proses pengolahan material yang berasal dari alam yang digunakan dalam proyek konstruksi. Energi yang diperlukan untuk suatu struktur selama masa pakainya mulai dari awal hingga proses pembongkaran disebut sebagai *operational energy*. *Embodied energy* menyumbang sekitar 20% dari total energi bangunan (Mahboob, dkk., 2021). Penggunaan *embodied energy* dan *operational energy* pada siklus hidup bangunan diperlihatkan pada Gambar 1.6.



Gambar 1.6 Tahapan Siklus Hidup Energi (*Life Cycle Energy*) pada Bangunan (Sumber: Diolah dari Li, dkk., 2020)



Pada Gambar 1.6, *embodied energy* mencakup keseluruhan dari penggunaan energi pada bangunan. Menurut Li, dkk., (2020) karena usia bangunan yang cukup lama menyebabkan konsumsi *operational energy* lebih besar dari konsumsi *embodied energy*. Namun, seiring dengan munculnya penggunaan material baru, inovasi terhadap proses dan teknologi yang semakin berkembang, serta banyaknya gagasan untuk bangunan rendah energi (*low-energy*) dan bangunan nol energi (*zero-energy*) menyebabkan konsumsi *embodied energi* semakin lama semakin besar. Konsumsi *embodied energy* pada industri konstruksi di beberapa negara diperlihatkan pada Gambar 1.7.



Gambar 1.7 *Embodied Energy* di Seluruh Dunia (Mtoe) (Sumber: Diolah dari Guo, dkk., 2019)

Berdasarkan hasil penelitian Guo, dkk., (2019), Negara Cina, United States (US), India, Indonesia dan Jepang merupakan lima negara dengan posisi teratas dalam penggunaan *embodied energy* pada konstruksi. Negara Cina merupakan negara terbesar pengguna *embodied energy* pada proyek konstruksi. Menurut Chen, dkk., (2022) material konstruksi yang menghasilkan *embodied energy* terbesar adalah semen (32,2%) dan baja (29,8%) dari total keseluruhan *embodied energy* pada tahun 2018. Material tersebut merupakan material yang umum digunakan dalam seluruh jenis konstruksi terutama pada komponen struktur. Oleh karena hal tersebut, penelitian ini berfokus pada membandingkan hasil estimasi *embodied energy* yang terdapat pada konstruksi infrastruktur yaitu struktur lantai jembatan. Perbandingan ini dilakukan agar dapat menentukan besar *embodied energy* yang



dihasilkan serta dapat dijadikan rekomendasi optimalisasi pada proyek konstruksi yang serupa di masa depan dalam rangka mengurangi peningkatan konsumsi energi. Dalam perhitungan *embodied energy* masih terdapat keterbatasan yaitu masing-masing wilayah/regional memiliki definisi koefisien *embodied energy* yang berbeda-beda serta metode kalkulasi *embodied energy* metode yang digunakan masih belum dapat dijadikan pedoman utama (Marzouk dan Elshaboury, 2022). Karena hal tersebut, pada penelitian ini dilakukan perbandingan menggunakan dua metode yang berbeda sehingga dapat memberikan analisis hasil *embodied energy* dari dua metode yang berbeda.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pentingnya peran proyek konstruksi dalam penggunaan *embodied energy* global, diperoleh rumusan masalah antara lain:

- a. Berapa besar estimasi *embodied energy* yang dihasilkan pada pekerjaan struktur lantai jembatan menggunakan *software* SimaPro versi 9.4.0.2 *Faculty*?
- b. Berapa besar estimasi *embodied energy* yang dihasilkan pada pekerjaan struktur lantai jembatan menggunakan perhitungan konvensional?
- c. Bagaimana hasil perbandingan estimasi *embodied energy* berdasarkan *software* SimaPro versi 9.4.0.2 *Faculty* dan perhitungan konvensional?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

- a. Menentukan besar *embodied energy* yang dihasilkan pada pekerjaan struktur lantai jembatan menggunakan perangkat lunak.
- b. Menentukan besar *embodied energy* yang dihasilkan pada pekerjaan struktur lantai jembatan menggunakan perhitungan konvensional.
- c. Membandingkan hasil estimasi terhadap besar *embodied energy* berdasarkan dua metode yang berbeda.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini memiliki ruang lingkup sebagai berikut:



- a. Penelitian dilakukan dengan meninjau Proyek *Flyover* Ganefo Mranggen yang merupakan infrastruktur *flyover* di Kecamatan Mranggen, Kabupaten Demak.
- b. Perangkat lunak yang digunakan untuk analisis besar *embodied energy* yaitu SimaPro versi 9.4.0.2. *Faculty*
- c. Proses material pada *software* SimaPro menggunakan basis data yaitu EcoInvent 3.8.
- d. Perhitungan konvensional menggunakan gabungan formula dari beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.
- e. Basis data yang digunakan dalam perhitungan konvensional menggunakan *inventory of carbon & energy* (ICE) versi 2.0.
- f. Analisis *embodied energy* berfokus pada tahapan konstruksi struktur lantai jembatan dengan jenis material yang diamati hanya beton, baja dan aspal yang terdapat pada struktur lantai jembatan.
- g. Struktur *flyover* yang ditinjau pada struktur lantai jembatan mulai dari STA 0+327 sampai STA 0+667.
- h. Perhitungan *embodied energy* hanya ditinjau dari jenis material, jumlah material, alat berat serta bahan bakar yang digunakan selama tahapan konstruksi.
- i. Data yang digunakan berasal dari data *shop drawing* proyek saat addendum ke-2, spesifikasi material, dan wawancara tidak terstruktur dengan kontraktor dan konsultan.

1.5 Manfaat Penelitian

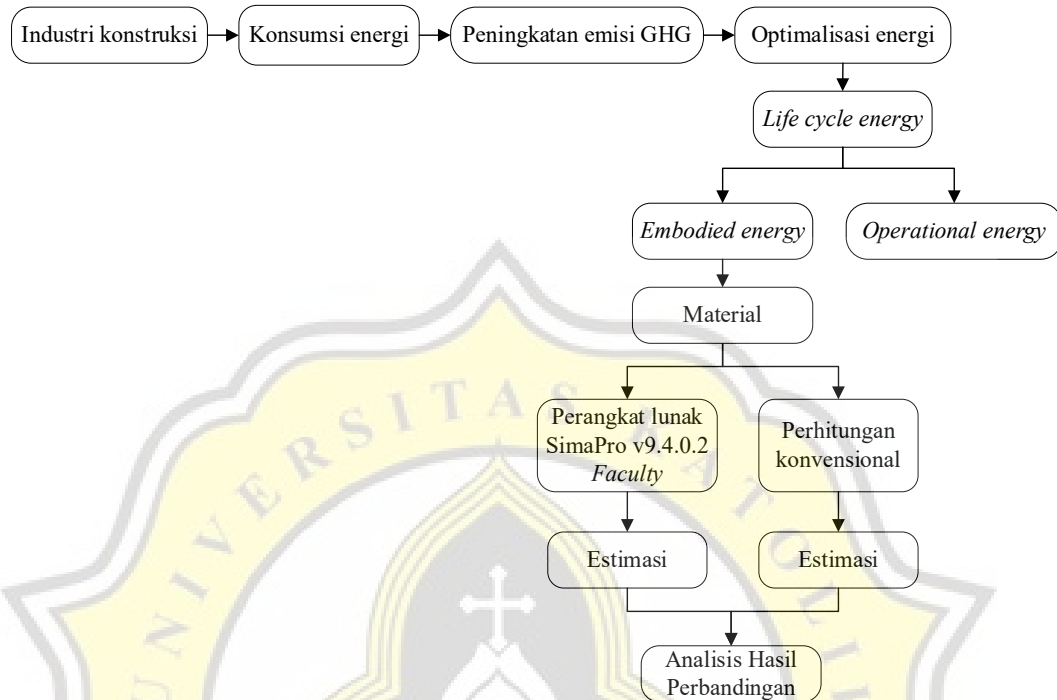
Perbandingan estimasi *embodied energy* pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besar perbedaan *embodied energy* yang dihitung dengan dua metode yang berbeda. Adapun metode yang digunakan untuk melakukan estimasi *embodied energy* yaitu menggunakan perangkat lunak SimaPro dan perhitungan konvensional. Penelitian ini dilakukan dengan harapan dapat memberikan analisis perbedaan besaran *embodied energy* dengan dua metode yang berbeda.

1.6 Kerangka Pikir Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya maka dapat disusun



kerangka pikir penelitian yang diperlihatkan pada Gambar 1.8.



Gambar 1.8 Kerangka Pikir Penelitian

Gambar 1.8 menunjukkan bahwa industri konstruksi merupakan proyek terbesar yang berkontribusi dalam penggunaan energi global. Dampak yang ditimbulkan dari konsumsi energi adalah meningkatnya emisi *greenhouse-gas* (GHG). Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan optimalisasi energi. Dalam siklus daur hidup energi pada konstruksi, penggunaan energi terbagi menjadi dua jenis yaitu *embodied energy* dan *operational energy*. Seiring dengan perkembangan teknologi dalam dunia konstruksi, penggunaan *embodied energy* menjadi lebih besar daripada *operational energy*. Konsumsi *embodied energy* pada konstruksi terletak pada proses yang diperlukan untuk mengolah, mendistribusikan serta merakit material pada proyek konstruksi. Dalam melakukan estimasi *embodied energy*, terdapat dua metode yang dapat dilakukan yaitu melalui perangkat lunak dan perhitungan konvensional. Hasil dari kedua metode tersebut mendapatkan hasil berupa estimasi yang nantinya dapat dilakukan perbandingan. Dengan adanya perbandingan tersebut dapat dilakukan analisis terhadap estimasi



embodied energy yang dihasilkan serta diharapkan dapat dijadikan rekomendasi dalam melakukan optimalisasi pada proyek konstruksi yang serupa di masa yang akan datang dalam rangka mengurangi peningkatan konsumsi energi.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian disusun dengan sistematika penulisan seperti di bawah ini:

Bab 1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, manfaat penelitian, kerangka pikir penelitian, serta sistematika penulisan.

Bab 2 Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisi teori – teori terkait subjek permasalahan yang dianalisis dalam penelitian. Permasalahan yang akan dianalisis pada penelitian ini adalah mengenai integrasi kecerdasan buatan (*software*) dalam perhitungan besar *embodied energy* material konstruksi.

Bab 3 Metode Penelitian

Bab 3 pada laporan penelitian ini meliputi metode yang digunakan dalam penelitian, tahapan yang harus dilaksanakan untuk mencapai tujuan penelitian, penjabaran mengenai data - data yang digunakan dalam penelitian, serta penjabaran alat yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian. Pada tahapan ini diberikan penjabaran mengenai *input* dan *output* dari penelitian yang akan dilakukan.

Bab 4 Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pada bab ini dijabarkan hasil pengolahan data yang diperoleh sesuai dengan metode dan alat yang telah ditentukan. Penjelasan pada bab ini dapat melalui hasil penelitian yang dibandingkan dengan tinjauan pustaka yang telah dirumuskan.

Bab 5 Penutup

Bab ini merupakan bagian akhir yang mencakup kesimpulan yang diperoleh dari penelitian serta saran – saran yang dapat digunakan pada penelitian selanjutnya.