

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Jejak karbon yang ditinggalkan diketahui memiliki peran yang merugikan bagi lingkungan khususnya lapisan ozon serta pemanasan global, peningkatan konsentrasi gas-gas ini di atmosfer telah mengganggu keseimbangan radiasi sehingga mengakibatkan peningkatan suhu permukaan bumi. Menurut Lindsey (2023) Pada pertengahan abad ke-20 emisi gas rumah kaca khususnya gas karbon dioksida mengalami peningkatan sebesar 5 miliar ton per tahun dan mengalami peningkatan yang ekstrem sampai lebih dari 35 miliar ton per tahun pada akhir abad ke-20. (Shazhad, 2015). Jejak karbon tidak hanya ditimbulkan dari buangan kendaraan bermotor atau kegiatan produksi pada kawasan industri, tetapi dapat ditimbulkan juga oleh kegiatan konstruksi. Sektor industri bangunan merupakan sektor konsumsi sumber daya alam dunia kedua terbesar setelah sektor industri makanan. Oleh karena itu pelaku industri bangunan mengambil peran sangat penting untuk dapat mengurangi dampak lingkungan yang menyebabkan pemanasan global (Syahriyah, 2017). Dengan pembangunan di Indonesia yang saat ini meningkat secara masif. Menurut Arndarnijariah dan Saputro (2021) bahwa perkembangan pembangunan di Indonesia juga disebabkan oleh pertumbuhan laju penduduk yang meningkat setiap tahunnya. Pembangunan gedung-gedung yang tinggi tidak diiringi dengan kepedulian terhadap lingkungan sekitar. Secara global, sektor bangunan menyumbang 37% dari energi dan proses terkait emisi CO₂, dengan karbon yang terkandung di dalamnya yang terdiri dari setidaknya 10% pada aktivitas konstruksi tersebut. Pada bangunan *Net Zero Building*, karbon yang terkandung di dalamnya dapat ditekan sampai mewakili lebih dari 50% dari emisi siklus hidup atau *life Cycle Emission* (Ming Hu, Siavash Ghorbany, 2025)

Emisi CO₂ yang dihasilkan oleh bangunan gedung terjadi melalui proses yang panjang, dimulai dari tahap perencanaan hingga tahap penghancuran bangunan tersebut. Pada tahap perencanaan, emisi CO₂ yang muncul bersifat tidak langsung, berasal dari energi yang digunakan selama proses perencanaan, seperti aktivitas administrasi atau perkantoran. Contohnya termasuk penggunaan kertas, komputer, pencahayaan, dan sistem pengkondisian udara (AC). Pada tahap konstruksi, emisi CO₂ dihasilkan baik secara langsung maupun tidak langsung. Emisi langsung berasal dari penggunaan peralatan yang digerakkan oleh bahan bakar fosil, sedangkan emisi tidak langsung terkait dengan produksi bahan bangunan yang digunakan. Selanjutnya, pada tahap pemanfaatan dan pemeliharaan bangunan, emisi CO₂ dihasilkan melalui penggunaan energi untuk mendukung aktivitas manusia di dalam gedung. Selain itu, proses pemeliharaan bangunan juga dapat menghasilkan emisi CO₂, terutama ketika dilakukan penggantian atau penambahan bahan bangunan yang sudah melebihi masa pakainya.

Tahap pra konstruksi dikatakan cukup memberikan emisi karbon dari bahan baku utamanya sendiri yaitu semen, dengan bahan utama semen sendiri yaitu CaCO₃ atau Kalsium Karbonat yang biasa disebut batu kapur memiliki andil besar dalam emisi karbon tersebut. Pabrik semen di seluruh dunia memiliki kontribusi penyumbang karbon dioksida secara langsung sebesar 27% yang membuat penyumbang terbesar ke 2 dalam sektor industri, semen kebanyakan digunakan sebagai bahan utama dalam konstruksi seperti pembuatan beton dan acian IEA atau International Energy Agency memprediksi produksi semen akan mencapai 4.4 miliar ton pada tahun 2050, yang dimana saat tahun 2020 sudah mencapai 4.1 miliar ton menurut US Geological Survey. (Cement Production Worldwide from 1995 to 2020 (in Billion Tons)), Statista. 2021. <https://www.statista.com/statistics/1087115/global-cement-production-volume/> (diakses 14 Maret 2025)). Dalam sektor produksinya emisi karbon yang dikeluarkan sebesar 10 % secara langsung dari transportasi dan proses

penggunaan listrik, Pengapuran kalsium karbonat dan pembakaran bahan bakar fosil dianggap sebagai emisi yang menyumbang 90% dari total emisi. Sebagian besar emisi (hampir 50-60%) dihasilkan dari pemecahan batu kapur (CaCO_3), yang menghasilkan kapur (CaO) sebagai elemen penting dalam formulasi semen. Pembakaran bahan bakar fosil di unit pemrosesan suhu tinggi (preheater, kalsiner, tungku) menyumbang 30-40% dari keseluruhan emisi CO_2 (Johanna Lehne and Felix Preston, 2018).

Dari argumen sebelumnya dapat disimpulkan bahwa emisi karbon secara langsung maupun tidak langsung dari kegiatan konstruksi dari tahap awal sampai kegiatan operasional dapat memperburuk keadaan lingkungan sekitar yang berdampak pada kerentanan lapisan ozon yang dapat menyebabkan efek rumah kaca dan berdampak pada pemanasan global secara signifikan. Undang-Undang Nomor 21 Tahun 2014 berisi tentang penggunaan energi efisien dan konservasi energi yang bertujuan untuk mendorong penggunaan energi secara efisien dan konservasi energi di berbagai sektor, baik industri, transportasi, rumah tangga, dan lain-lain. Peningkatan efisiensi energi menjadi salah satu fokus utama pemerintah untuk mengurangi pemborosan dan memitigasi dampak lingkungan. Kampanye untuk mengedukasi masyarakat dan industri tentang penghematan energi telah dilakukan, terdapat peraturan yang mengatur terkait konstruksi hijau di Indonesia dimana terdiri dari 42 pasal/ayat yang mengatur terkait dengan perencanaan bangunan hijau, 53 pasal/ayat terkait tahap pelaksanaan konstruksi hijau, dan 46 pasal/ayat terkait tahap operasional (Erviyanto, W.I., dkk, 2013). Perlunya tindak lanjut mengenai evaluasi bangunan untuk mengukur serta monitoring emisi karbon yang keluar tertuang pada peraturan oleh sebab itu diusung bangunan bertemakan hijau atau disebut bangunan hijau. Bangunan gedung hijau adalah bangunan yang dirancang, dibangun, dan dioperasikan dengan mempertimbangkan aspek-aspek keberlanjutan lingkungan. Bangunan ini bertujuan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan melalui efisiensi penggunaan energi, air, dan sumber daya lainnya, serta mengurangi limbah dan polusi (Lembaga Manajemen Aset

Negara, “Apa itu Green Building? Manfaat dan Fungsinya Untuk Kehidupan Yang Lebih Baik,” AESIA, diakses 20 Februari 2025, <https://aesia.kemenkeu.go.id>)

Menurut pernyataan (Soehendro, dkk, 2018), bangunan Hijau tidak hanya memberikan dampak positif bagi lingkungan namun juga memberi banyak manfaat dari segi ekonomi, pasar, industri serta dampak positif bagi pengguna gedung tersebut. Namun di samping itu terdapat tantangan yang menghambat penerapan konsep bangunan hijau. Tantangan tersebut yang umumnya berasal dari segi perspektif keuangan, kurangnya kesadaran dan pengetahuan masyarakat, maupun tantangan lain yang dihadapi oleh personel konstruksi. Oleh sebab itu lembaga seperti Green Building Council Indonesia serta PUPR mengembangkan standar atau rating tool yang dapat digunakan sebagai tolak ukur untuk menilai sebuah bangunan layak dikatakan bangunan hijau atau ternyata menjadi penyumbang emisi karbon yang besar. Menurut Green Building Council Indonesia (GBCI) konsep Green Building adalah bangunan yang dimana di dalam perencanaan, pembangunan, pengoperasian serta dalam pemeliharannya memperhatikan aspek-aspek dalam melindungi, menghemat, mengurangi penggunaan sumber daya alam, menjaga mutu baik bangunan maupun mutu dari kualitas udara di dalam ruangan, dan memperhatikan kesehatan penghuninya yang semuanya berdasarkan kaidah pembangunan berkelanjutan. Sedangkan dalam Permen PUPR No. 9 tahun 2021 menginstruksikan untuk melaksanakan konstruksi berkelanjutan, dimana berangkat dari suatu tujuan yang mulia, yaitu mencapai kualitas hidup yang lebih baik bagi masyarakat saat ini dan bagi generasi yang akan datang. Kondisi berkelanjutan ini dapat tercipta jika pembangunan tersebut dapat memenuhi 3 (tiga) pilar dasar, yakni ; secara ekonomi layak dan dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat; menjaga pelestarian lingkungan; dan mengurangi disparitas sosial masyarakat Dengan mempertimbangkan ketiga aspek tersebut, pembangunan akan dirasakan manfaatnya oleh seluruh masyarakat secara inklusif, tidak memberikan dampak negatif terhadap lingkungan hidup, dan dengan penggunaan sumber daya yang lebih efisien.

Selanjutnya, kualitas ekonomi dalam konstruksi berkelanjutan bisa dicapai melalui banyak hal, seperti efisiensi desain, efisiensi material agar tidak menimbulkan sisa material yang berlebihan, efisiensi energi dengan menggunakan energi terbarukan dan/atau desain telah disusun dengan memperhatikan konservasi energi, efisiensi air dengan menggunakan sumber air daur ulang dan/atau melakukan pemanenan air hujan (rain harvesting) guna memenuhi kebutuhan dalam pembangunan. Selain itu negara tetangga salah satunya singapura sudah menerapkan hal yang sama, bangunan di sana sebagian besar menerapkan skema *Building Construction Authority's* (BCA) yang didirikan pada tahun 2005 sebagai kerangka kerja utama untuk mempromosikan praktik bangunan berkelanjutan. sistem peringkat komprehensif ini mengevaluasi bangunan berdasarkan dampak lingkungan dan kinerjanya di berbagai bidang, seperti efisiensi energi, efisiensi air, perlindungan lingkungan, dan kualitas lingkungan dalam ruangan. Sistem ini memberikan penghargaan kepada bangunan dengan tingkat sertifikasi yang berbeda – beda dimana memiliki sertifikat yaitu, Emas, Emas PLUS, dan Platinum - yang masing-masing mencerminkan standar keberlanjutan yang lebih tinggi. Kriteria untuk sertifikasi di bawah Skema Green Mark Singapura dirancang secara ketat untuk menyelaraskan dengan standar keberlanjutan global, mendorong integrasi praktik-praktik yang diakui secara internasional dalam konteks lokal. Hal ini memastikan bahwa bangunan yang disertifikasi di Singapura tidak hanya sesuai dengan standar lokal tetapi juga kompetitif dalam skala global, mengikuti prinsip-prinsip bangunan berkelanjutan yang dihormati secara universal (Aisyah Binte Mahmud, 2024).

Bangunan yang akan diteliti adalah bangunan berskala gudang dengan 6 tingkat lantai dan rooftop di bagian atas merupakan sebuah bangunan yang memiliki fungsi sebagai produksi motor listrik dan dimana bangunan yang memiliki intensitas kegiatan yang padat terkait fungsi bangunan keberlanjutan yang memiliki tujuan bangunan pada abad 21 ini. Dengan memiliki standar yang ketat untuk mendirikan bangunan hijau agar dapat mencegah emisi karbon perlu alat bantu yang memadai serta berintegrasi

yaitu menggunakan Building Information Modeling atau BIM dengan Metode Penilaian Siklus Hidup dan *Life Cycle Assessment* atau LCA untuk menghitung pengeluaran emisi karbon. Konsep Building Information Modelling (BIM) pertama kali diperkenalkan oleh Charles M. Eastman pada tahun 1970-an. Eastman memelopori ide penggunaan teknologi digital untuk mengelola data bangunan secara komprehensif, melampaui metode desain tradisional. Awalnya berakar pada desain yang dibantu oleh komputer (*Computer Assisted Design*) atau CAD. Building information modeling (BIM) adalah sebuah pendekatan baru yang inovatif untuk desain, konstruksi, dan manajemen bangunan, yang diperkenalkan oleh Autodesk pada tahun 2002. BIM merupakan proses yang terintegrasi dan terkoordinasi secara teknis untuk menciptakan representasi 3D yang cerdas dan informatif bagi para pemangku kepentingan dan desainer untuk mengambil keputusan desain, membangun dan menjalankan proyek dengan cara yang hemat biaya dan berkelanjutan (Christopher N. P. et.al, 2016). Saat ini, telah diterima secara luas bahwa penilaian siklus hidup *Life Cycle Assessment* (LCA) merupakan metode yang berguna untuk mengevaluasi jejak karbon di seluruh siklus hidup produk, proses atau aktivitas. Meskipun demikian, melakukan LCA pada industri Arsitektur-Rekayasa Konstruksi (AEC) lebih rumit dibandingkan dengan industri manufaktur karena beragamnya bahan dan sumber energi, pemasok yang berbeda, jumlah pemangku kepentingan, beserta protokol dan standar perbandingan yang berbeda (Sakdirat Kaewunruen, Jessada Sresakoolchai, Zhihao Zhou, 2020)

Penerapan teknologi Building Information Modeling (BIM) dapat menganalisis emisi karbon dari gedung yang akan dibangun karena informasi semua elemen bangunan dapat direpresentasikan di dalam BIM (Munawir, 2021; Lu dan Wang, 2019; Mousa, et.al., 2016). Meningkatkan efisiensi penggunaan energi merupakan hal yang penting untuk meningkatkan fungsi penggunaan dan efisiensi konstruksi. BIM-6D dapat dengan mudah memantau dan mengelola penggunaan energi dalam konstruksi, menambahkan fungsi sensorik ke dalam catatan penggunaan energi,

mewujudkan pengumpulan dan pemrosesan informasi energi dan analisis statistik otomatis konsumsi energi di sistem manajemen, dan memperingatkan penggunaan yang tidak normal. Dengan mengumpulkan dan memproses data dari sensor suhu dan sensor persepsi manusia yang digunakan secara luas dalam konstruksi, peralatan seperti AC dan lampu dapat dengan cerdas menentukan ke mana harus memutuskan penempatan keadaan saat dingin, panas, atau terang, sehingga mengurangi pemborosan energi yang digunakan. (Lei Zhang, Manyun Zhao 2021, 254) BIM-6D dapat juga menghitung pengeluaran emisi karbon pada bangunan yang sudah berdiri, dengan menyertakan bahan dan material serta pemakaian operasional seperti penggunaan listrik dapat dihitung pengeluarannya, Konsep green building dapat diterapkan untuk bangunan baru maupun bangunan yang sudah ada. Konsep ini meliputi proses desain, proses pembangunan, pemeliharaan hingga renovasi ulang terhadap suatu bangunan. Untuk itu konsep ini cocok digunakan untuk menangani pemanasan global yang saat ini semakin mengkhawatirkan. (Roshanda dkk, 2019), dengan begitu bangunan pabrik motor elektrik yang memiliki fungsi sebagai produksi motor elektrik di wilayah strategis pada kawasan industri yang padat akan aktivitas dapat ditindaklanjuti untuk menghitung pengeluaran emisi karbon dengan bantuan software BIM konvensional meliputi lingkup struktur pada bangunan, diikuti dengan harapan pemilihan material yang tepat mengikuti batasan sertifikasi terkait. Dengan batasan emisi yang dikeluarkan, maka penempatan bangunan strategis di setiap wilayah Indonesia diharapkan tidak membebani lingkungan sebagai penyumbang emisi karbon karena tidak memiliki perencanaan yang matang.

1.2. Identifikasi Masalah

Masalah yang dihadapi pada penelitian berdasarkan latar belakang yaitu sebagai berikut,

1. Pengeluaran emisi karbon pada sebuah bangunan cukup mengganggu lingkungan baik secara langsung berdasarkan emisi yang dikeluarkan

saat masa konstruksi maupun secara tidak langsung berdasarkan kegiatan operasionalnya.

2. Pembuatan material bahan bangunan yang menggunakan bahan tambang seperti CaCO_3 pada semen menjadi bahan penyumbang terbesar karbon pada emisi GRK dalam bidang konstruksi.
3. Penelitian ini berkaitan dengan bangunan bertemakan hijau atau Green Building yang sudah diusung oleh GBCI dan PUPR dimana bangunan hijau harus mengurangi sekitar 30% pengeluaran gas karbon baik saat pembangunan ataupun saat operasional. dengan pendekatan tambahan dari BCA Green Mark yang lebih terperinci mengenai batasan karbon pada lingkup tahap produksi material, serta pajak yang harus ditanggung jika mencapai batas Perangkat Penilaian yang tersedia.
4. Perhitungan terhadap material konstruksi menggunakan metode LCA dengan bantuan BIM 6D dengan bantuan *Plugin* yang terdapat pada perangkat yang terkait.
5. Integrasi antara BIM dan metode kalkulasi LCA dapat memudahkan asesmen emisi karbon pada bangunan, dengan begitu capaian skema bangunan hijau atau reduksi emisi karbon dapat tercapai.
6. Pelaku atau penggiat konstruksi harus memilih material yang tepat untuk mencapai tujuan reduksi GRK tersebut, dengan menggunakan bahan yang terbarukan tentunya dapat mengurangi emisi karbon yang selama ini menjadi beban lingkungan yang disematkan pada bahan material konvensional yang sudah usang.

1.3. Pembatasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi bertujuan agar pembahasan tidak terlalu menyimpang dari inti permasalahan penelitian. Adapun batasan penelitian ini adalah :

1. Lokasi penelitian difokuskan kepada bangunan pabrik BRT Electric, kawasan Industri Sentul
2. Analisis dilakukan untuk mencari emisi karbon dalam faktor bangunan saja tanpa melibatkan aktivitas setelah bangunan didirikan

3. Cakupan yang diteliti terkait emisi karbon pada siklus A1 – A5 (produksi sampai bangunan jadi)
4. Tahapan dengan menghitung seluruh volume material
5. Material yang diteliti meliputi, beton, besi tulangan, profil baja.
6. *Rating Tools* atau standar yang digunakan adalah BCA Green Mark Singapura
7. Alat BIM 6D yaitu Revit dan *plugin* yaitu One Click LCA
8. Penelitian ini tidak membahas karbon yang dikeluarkan langsung dari lingkungan sekitar

1.4. Rumusan Masalah

Menurut Latar belakang masalah serta fokus penelitian maka rumusan masalah yang dapat disimpulkan yaitu

1. Berapa emisi karbon yang dikeluarkan pada sebuah bangunan bertingkat.
2. Seberapa efektif *Plugin* One Click LCA pada aplikasi Revit dalam mengukur emisi karbon pada sebuah bangunan dengan faktor material yang dipakai.
3. Apakah Karbon yang dikeluarkan oleh bangunan terkait memenuhi Perangkat Penilaian batas emisi karbon untuk BCA Green Mark Singapura dalam lingkup konstruksi.
4. Bagaimana kontribusi yang dapat diraih untuk mata kuliah AMK (Aplikasi Manajemen Konstruksi) dengan mengembangkan BIM 4D ke BIM 6D.

1.5. Tujuan Penelitian

Menganalisis implementasi BIM 6D melalui *plugin* One Click LCA dalam menghitung emisi karbon pada material struktur dengan siklus A1-A5 atau material mentah sampai bangunan didirikan berdasarkan perangkat penilaian BCA Green Mark untuk mewujudkan target *Net Zero Emission* dan regulasi PUPR di Indonesia, sekaligus dimanfaatkan sebagai instrumen referensi pengembangan bahan ajar pada mata kuliah Aplikasi Manajemen Konstruksi (AMK).

1.6. Manfaat Penelitian

Bagi Praktisi

1. Dengan penelitian ini dapat menjawab permasalahan dari penelitian dengan pengamatan menggunakan metode yang berkaitan.
2. Dengan metode yang dilakukan pada BIM maka Penulis berkesempatan mengembangkan manfaat dari BIM pada Autodesk Revit yang dapat diterapkan pada Proyek sungguhan.
3. Asesmen pada bangunan pabrik manufaktur kendaraan elektrik dapat menjadi wawasan bagi penulis, serta menjadikan penelitian ini sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya yang akan mendatang.

Bagi Prodi

1. Penelitian dilakukan untuk mencari sejauh mana BIM dapat berkontribusi pada mata kuliah AMK dengan fokus pada pengembangan energi yang terbarukan
2. Sebagai materi baru mengenai BIM 6D untuk mengembangkan lingkup materi serta mendukung tema bangunan hijau untuk masa yang akan datang.
3. Penelitian ini berfungsi sebagai referensi bagi PTB untuk memperkaya kurikulum, khususnya pada mata kuliah mengenai BIM. Melalui pembelajaran *Building Information Modeling* (BIM) hingga dimensi BIM 6D.

Dengan menjadikan BIM 6D sebagai praktik nyata, penelitian ini secara tidak langsung mendukung PTB dalam menyiapkan mahasiswa untuk menghadapi sertifikasi kompetensi di bidang BIM, khususnya untuk jenjang level 6 (BIM Koordinator atau Analis Madya).

Tabel 1. 1. Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia mengenai BIM

No	Kode unit	Judul Unit	Elemen Kompetensi
1	M.71BIM02.012.01	Merencanakan Produksi Data <i>Model Building Information Modelling</i> (BIM)	1. Menyiapkan kerangka rencana produksi

			2. Melakukan penyusunan <i>Task Information Delivery Plan</i> (TIDP) 3. Merancang <i>Master Information Delivery Plan</i> (MIDP)
2	M.71BIM02.025.01	Mengembangkan Solusi Berbasis Rujukan Tepat Guna	1. Melakukan evaluasi kebutuhan informasi di level praktis 2. Membangun <i>value</i> /nilai dari solusi potensial yang sudah diberikan
3	M.71BIM02.029.01	Melakukan Proses Produksi Data <i>Model Building Information Modelling</i> (BIM)	1. Membuat pemodelan sesuai dengan kebutuhan yang ditetapkan di dalam setiap fase proyek 2. Melaporkan hasil produksi data model BIM

Sumber : Kemnaker 2023