

BAB II

STUDI PUSTAKA

II.1 Manajemen Proyek

Manajemen proyek adalah praktik yang melibatkan perencanaan, pengorganisasian, pengendalian, dan pengawasan sumber daya proyek untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Ini mencakup pengelolaan waktu, biaya, kualitas, risiko, sumber daya manusia, dan komunikasi untuk memastikan keberhasilan proyek (Santoso & Desianti, 2012). Manajemen proyek adalah penerapan ilmu pengetahuan, keahlian dan keterampilan, cara teknik yang terbaik dan dengan sumber daya yang terbatas, untuk mencapai sasaran dan tujuan yang telah ditentukan agar mendapatkan hasil yang optimal dalam hal kinerja biaya, mutu dan waktu, serta keselamatan kerja (Husen, 2009).

II.2 Proyek Konstruksi

Proyek konstruksi berkembang seiring dengan perkembangan teknologi. Dalam berbagai bidang kehidupan, industri jasa konstruksi dituntut untuk membangun proyek-proyek sesuai dengan kebutuhan yang ada. Proyek konstruksi untuk bangunan gedung perkantoran, sekolah, dan perumahan memiliki perbedaan signifikan dengan konstruksi bangunan pabrik, bendungan, jembatan, jalan, dan proyek sipil lainnya. Tahapan konstruksi dapat dibedakan sebagai berikut (Alfa, 2018):

- a. Pra Konstruksi, dimana pada tahapan ini terdapat kegiatan seperti studi kelayakan, survey lokasi, perencanaan *Detail Engineering Design (DED)*, lelang pengadaan barang/jasa, dan persiapan dokumen lainnya yang berkaitan dengan persiapan konstruksi.
- b. Konstruksi, pada tahapan ini proses pembangunan konstruksi dimulai yaitu diawali dengan pembersihan lokasi, pengukuran, pemasangan pondasi, pekerjaan struktur, pekerjaan arsitektur, pekerjaan mekanikal dan elektrikal, pekerjaan Finishing dan pekerjaan pembangunan utilitas bangunan (jika diperlukan) serta beberapa pekerjaan tambahan. Pada tahapan konstruksi ini 10 dapat digolongkan pada 2 jenis kegiatan yaitu pekerjaan minor dan

pekerjaan mayor. Pada tahapan ini akan melibatkan orang banyak dengan berbagai disiplin ilmu yang berbeda pula.

- c. Pasca Konstruksi, pada tahapan ini adalah dimana hasil pembangunan digunakan (operasi) sebagaimana mestinya dan tentunya akan diadakan perbaikan pada bagian-bagian yang memerlukan. Ada kalanya dilakukan perbaikan secara mayor, jika konstruksi yang ada dipandang perlu dilakukan perbaikan baik secara berkala maupun insidental akibat bencana.

II.3 Manajemen Konstruksi

Manajemen konstruksi adalah suatu proses pengelolaan pekerjaan pelaksanaan pembangunan fisik yang ditangani secara multi disiplin profesional, dimana tahapan-tahapan persiapan perencanaan, perancangan, pelelangan pekerjaan, pelaksanaan pekerjaan, dan penyerahan pengoperasiannya diperlukan sebagai suatu sistem yang menyeluruh dan terpadu dengan tujuan untuk mencapai hasil yang optimal dalam aspek memperkecil biaya, memanfaatkan waktu dan mempertahankan kualitas proyek (Tuelah et al., 2014).

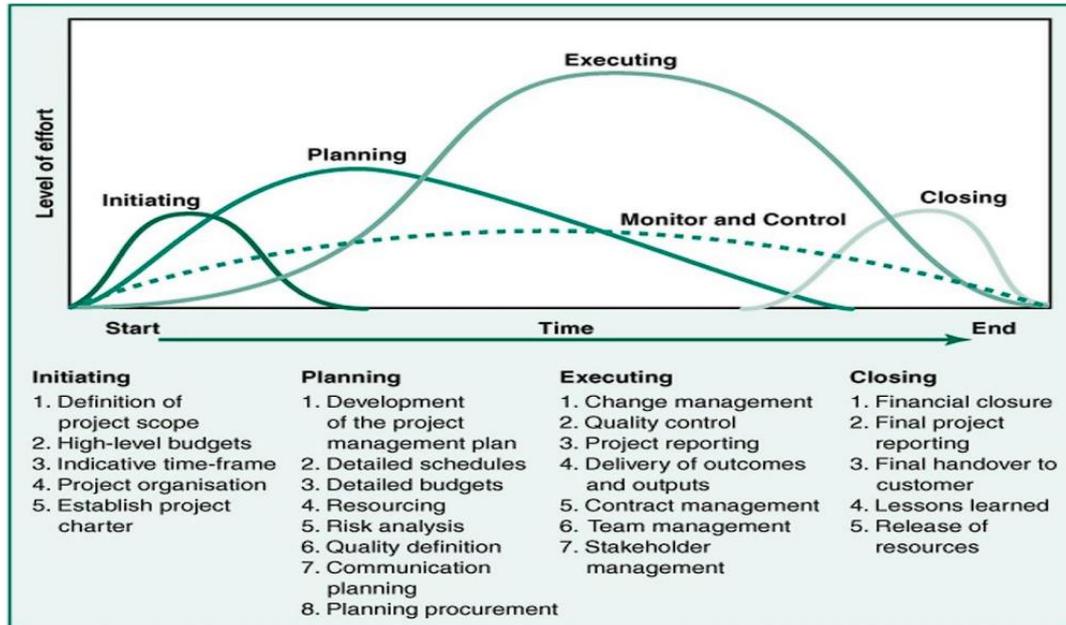
Tujuan pokok dari manajemen konstruksi ialah mengelola atau mengatur pelaksanaan pembangunan sedemikian rupa sehingga diperoleh hasil sesuai dengan persyaratan. Untuk itu perlu diperhatikan mengenai mutu bangunan, biaya yang digunakan, dan waktu pelaksanaan (Tuelah et al., 2014).

II.3.1 *Project Life Cycle*

Menurut (Santoso & Desianti, 2012), pendekatan mengenai tahapan proyek secara umum adalah mengidentifikasi urutan langkah yang harus diselesaikan. Dalam “pendekatan tradisional” ini, lima komponen perkembangan proyek dapat dibedakan (empat tahap ditambah kontrol) dan ditambah lagi tahapan penyelesaian proyek, yang dapat juga disebut “Siklus Kehidupan Proyek”. Secara umum, siklus hidup proyek merupakan suatu metode yang digunakan untuk menggambarkan bagaimana sebuah proyek direncanakan, dikontrol, dan diawasi sejak proyek disepakati untuk dikerjakan hingga tujuan akhir proyek tercapai.

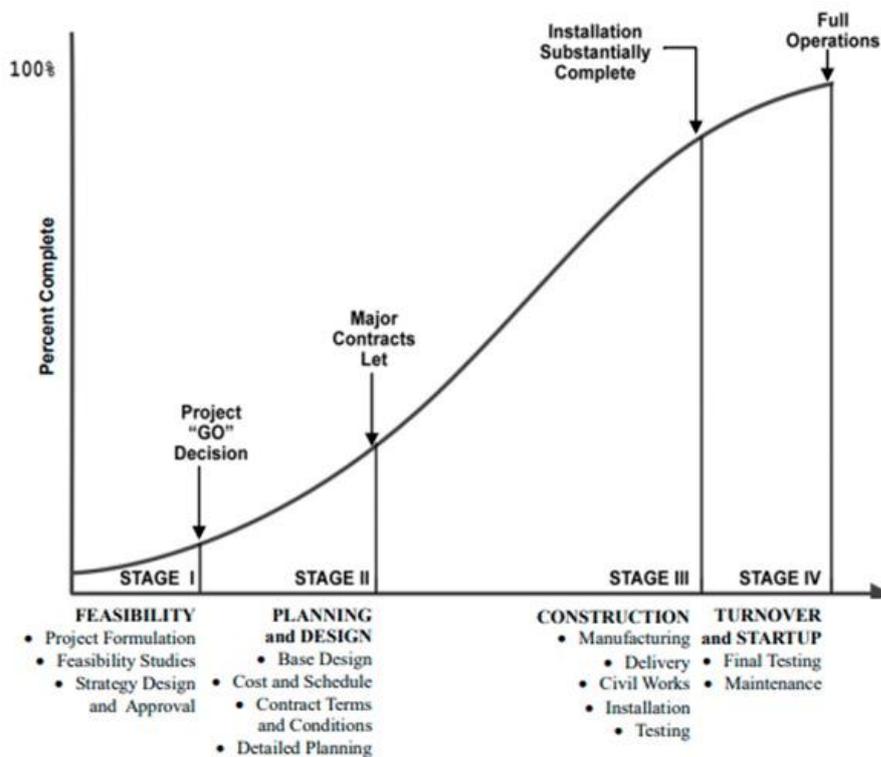
Menurut (Larson & Gray, 2011), siklus hidup proyek biasanya dilewati secara berurutan melalui empat tahap yaitu defining, planning, executing, dan delivering. Titik awal dimulai pada saat proyek diberikan. Usaha proyek mulai perlahan,

membangun ke puncak, dan kemudian menurun untuk pengiriman proyek ke pelanggan. Berikut ini merupakan penjelasan dari tahapan siklus hidup proyek, yaitu:



Gambar II. 1 The Project Life Cycle

Sumber: (Larson & Gray, 2011),



Gambar II. 2 Representative Construction Project Life Cycle

Sumber: (Dillard, 2003).

Berikut ini merupakan penjelasan dari gambar II.2 *The Project Life Cycle*:

a. *Defining Stage*

Pada tahap pendefinisian, spesifikasi proyek didefinisikan, tujuan proyek ditetapkan, tim terbentuk, dan tanggung jawab utama ditugaskan.

b. *Planning Stage*

Pada tahap perencanaan, tingkat upaya meningkat dan rencana dikembangkan untuk menentukan proyek apa yang akan diperlukan, kapan akan dijadwalkan, siapa yang akan diuntungkan, tingkat kualitas apa yang harus dipertahankan, serta berapa anggarannya.

c. *Executing Stage*

Pada tahap pelaksanaan, sebagian besar dari pekerjaan proyek berlangsung baik fisik maupun mental. Produksi dihasilkan seperti sebuah bangunan dan laporan. Waktu, biaya, dan ukuran spesifikasi digunakan untuk controlling. Proyek harus sesuai dengan jadwal, anggaran, dan spesifikasi yang telah ditetapkan. Menentukan perkiraan masing-masing langkah ini dan perubahan yang diperlukan.

d. *Closing Stage*

Pada tahap penutupan terdapat aktivitas yaitu mengirimkan produk proyek kepada pelanggan, pemindahan sumber daya proyek, dan review pasca proyek. Pengiriman proyek mungkin termasuk pelatihan pelanggan dan mentrasfer dokumen. Pemindahan biasanya melibatkan pelepasan peralatan dan material proyek ke proyek lain dan mencari tugas baru untuk anggota tim. Review pasca proyek termasuk tidak hanya menilai kinerja tetapi juga menangkap pelajaran yang dipetik.

Evaluasi Proyek Konstruksi (Santoso & Desianti, 2012):

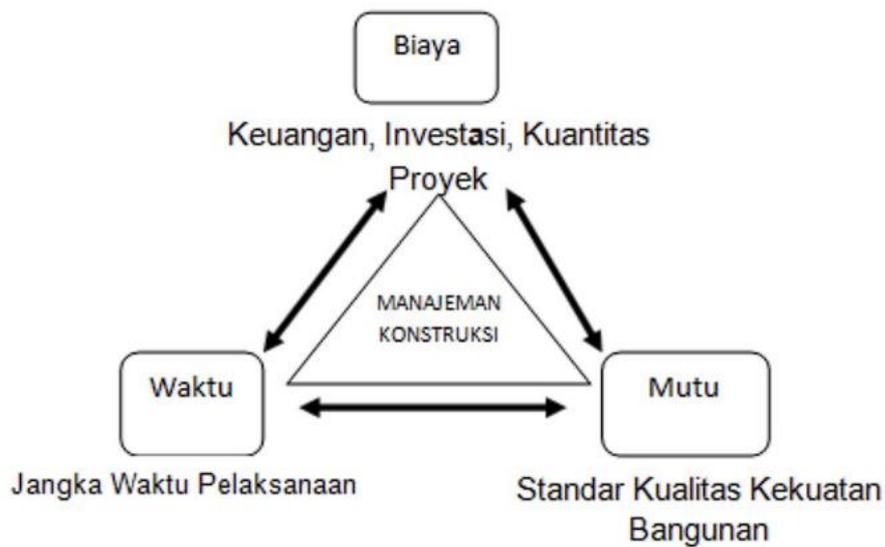
- a. Evaluasi terhadap usulan proyek yang akan didirikan (*pre-project evaluation*).
- b. Evaluasi terhadap proyek yang sedang dibangun (*on-construction project evaluation*).
- c. Evaluasi terhadap proyek yang telah dioperasionalkan (*on-going project evaluation*).
- d. Evaluasi terhadap proyek yang telah berakhir (*post-project evaluation study*).

II.3.2 Pengendalian Proyek Konstruksi

Pengendalian adalah usaha yang sistematis untuk menentukan standar yang sesuai dengan sasaran dan tujuan perencanaan, merancang sistem informasi, membandingkan pelaksanaan dengan standar, menganalisis kemungkinan penyimpangan, kemudian melakukan tindakan koreksi yang diperlukan agar sumber daya dapat digunakan secara efektif dan efisien dalam rangka mencapai sasaran dan tujuan (Esfianto et al., 2020).

Keterlibatan perencanaan yang baik diperoleh dari segi waktu, biaya, dan lingkup proyek untuk mewujudkan tujuan dan sasaran yang tepat bagi kontraktor maupun kepuasan pemilik proyek. Penjadwalan pada proyek sangat diperlukan sebagai alat untuk menentukan waktu yang dibutuhkan kapan mulai dan selesainya setiap kegiatan-kegiatan tersebut dan dapat mengetahui perkembangan dalam proyek apakah terlalu lambat dalam menyelesaikan atau melebihi target, dalam proyek dibuatlah manajemen proyek dengan melalui metode *network planning*, *bar chart*, dan *curva S* (Esfianto et al., 2020).

Dalam proses mencapai tujuan dari kegiatan pelaksanaan proyek, ada batasan yang harus dipenuhi yaitu besar biaya (anggaran) yang dialokasikan, jadwal (waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu proyek), serta mutu yang harus dipenuhi. Ketiga hal tersebut merupakan parameter penting bagi penyelenggara proyek sebagai sasaran pelaksanaan proyek. Ketiga batasan tersebut disebut tiga kendala (*tripleconstraint*) (Lasari & Sumarman, 2020).



Gambar II. 3 Hubungan *Triple Constraint*

Sumber: (Lasari & Sumarman, 2020).

a. Waktu

Waktu merupakan sumberdaya utama dalam pelaksanaan suatu proyek. Perencanaan dan pengendalian waktu dilakukan dengan mengatur jadwal, yaitu dengan cara mengidentifikasi titik kapan pekerjaan mulai dan kapan berakhir. Perencanaan dan pengendalian merupakan bagian dari penyusunan biaya. Dalam hubungan ini, sering kali pengelola proyek beranggapan bahwa penyelesaian proyek semakin cepat semakin baik. Akan tetapi pada kenyataannya perencanaan waktu harus dihitung berdasarkan man-hour dari perkiraan biaya, hal tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk menghitung lamanya kegiatan pada jadwal itu. Sehingga penggunaan waktu dapat optimal (Muzayanah, 2008).

b. Mutu

utu dalam Pengendalian Proyek Konstruksi mengacu pada pemenuhan standar dan spesifikasi yang ditetapkan untuk hasil akhir proyek konstruksi. Ini melibatkan pengawasan dan pengendalian terhadap kualitas material, proses konstruksi, dan hasil akhir yang diperoleh (Muzayanah, 2008).

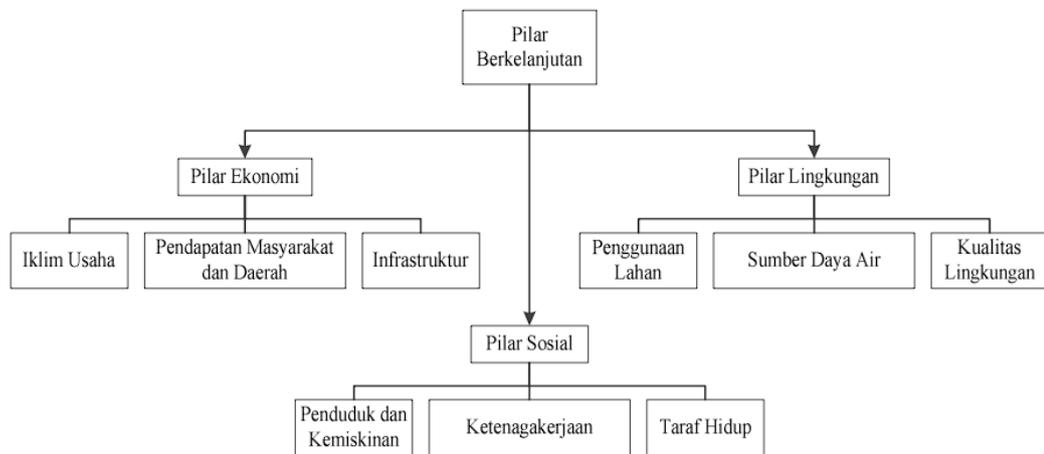
c. Biaya

Biaya dalam Pengendalian Proyek Konstruksi adalah salah satu aspek penting yang dikelola dalam manajemen proyek konstruksi. Ini melibatkan pemantauan, analisis, dan pengendalian semua aspek biaya yang terkait dengan proyek konstruksi. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa pengeluaran proyek tetap sesuai dengan anggaran yang telah ditetapkan (Muzayanah, 2008).

II.4 *Sustainable Development*

Sustainable Development atau pembangunan berkelanjutan adalah pembangunan yang memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri. Di dalamnya terdapat dua konsep utama yaitu: (a) konsep kebutuhan, khususnya kebutuhan esensial masyarakat miskin di dunia, yang harus diprioritaskan dan (b) gagasan tentang keterbatasan yang dipaksakan oleh keadaan teknologi dan organisasi sosial terhadap kemampuan lingkungan untuk memenuhi kebutuhan saat ini dan di masa depan (Brundtland, 1987).

Prinsip dari Pembangunan berkelanjutan ada tiga pilar, yaitu pilar ekonomi, pilar sosial, dan pilar lingkungan. Pilar ekonomi memperhatikan unsur iklim usaha, pendapatan masyarakat dan daerah dan infrastruktur. Kemudian pilar sosial yang berfokus kepada penduduk dan kemiskinan, ketenagakerjaan dan taraf hidup. Dan terakhir pilar lingkungan yang memperhatikan unsur penggunaan lahan, sumber daya air dan kualitas lingkungan. Ketika pembangunan infrastruktur memenuhi ketiga pilar ini, tujuan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan konstruksi sehingga terciptanya keseimbangan antara daya dukung lingkungan konstruksi dengan kebutuhan proses atau kegiatan konstruksi di masa akan datang berhasil menjadi pembangunan infrastruktur yang berbasis keberlanjutan.



Gambar II. 4 Tiga Pilar Isu Berkelanjutan

Sumber: (Ervianto, 2019)

Oleh karena itu, tujuan pembangunan ekonomi dan sosial harus didefinisikan dalam kerangka keberlanjutan di semua negara - negara maju atau berkembang, berorientasi pasar atau direncanakan secara terpusat. Interpretasi akan bervariasi, tetapi harus memiliki ciri-ciri umum tertentu dan harus mengalir dari konsensus tentang konsep dasar pembangunan berkelanjutan dan kerangka kerja strategis yang luas untuk mencapainya (Brundtland, 1987).

II.4.1 *Sustainable Construction*

Seiring dengan meningkatnya nilai konstruksi di Indonesia dari tahun ke tahun dan belum diterapkannya pendekatan yang tepat dalam mengelola proyek, akan berpotensi menyebabkan terjadinya kerusakan lingkungan. Hal ini disebabkan karena proses pengambilan dan pemanfaatan material menjadi tak terkendali terutama untuk material tak terbarukan. Dalam dokumen konstruksi Indonesia 2030, dinyatakan bahwa konstruksi Indonesia mesti berorientasi untuk tidak menyumbangkan terhadap kerusakan lingkungan namun justru menjadi pelopor perbaikan dan peningkatan kualitas lingkungan. Salah satu agenda yang diusulkan adalah melakukan promosi *sustainable construction* untuk penghematan bahan dan pengurangan limbah (bahan sisa) serta kemudahan pemeliharaan bangunan pasca konstruksi (Suraji & Nasional, 2007). *Council International du Batument*, (1994) menyatakan bahwa tujuan *Sustainable Construction* adalah menciptakan bangunan berdasarkan desain yang memperhatikan ekologi, menggunakan sumber daya alam secara efisien, dan ramah lingkungan selama operasional bangunan.

Du Plessis, (2002) menyatakan bahwa bagian praktik dalam tahap konstruksi adalah *Green Construction* yang merupakan proses holistik bertujuan untuk mengembalikan dan menjaga keseimbangan antara lingkungan alami dan buatan. Green construction didefinisikan “Suatu perencanaan dan pelaksanaan proses konstruksi untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan konstruksi agar tercipta keseimbangan antara daya dukung lingkungan konstruksi dengan kebutuhan proses atau kegiatan konstruksi di masa mendatang” (Ervianto, 2011). Adapun aspek-aspek green construction yang dapat direncanakan antara lain sebagai berikut (Maulidianti et al., 2021):

1. Tepat Guna Lahan

Aspek ini mendorong manajemen yang baik dalam pengelolaan lahan serta meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan sekitar yang dapat ditimbulkan oleh kegiatan konstruksi.

2. Efisiensi dan Konservasi Energi

Aspek ini mendorong dalam penghematan konsumsi energi dengan melakukan pemantauan pemakaian dan melakukan penerapan langkah-langkah efisiensi energi, serta mengendalikan penggunaan sumber energi yang memberikan dampak terhadap lingkungan.

3. Konservasi Air

Mendorong dalam penghematan pemakaian air dengan melakukan pemantauan pemakaian dan melakukan penerapan langkah-langkah efisiensi dengan cara mengoptimalkan pemakaian air.

4. Manajemen Lingkungan Proyek Konstruksi

Melaksanakan pengolahan sampah selama proses konstruksi dan mendorong mengurangi terjadinya sampah sehingga mengurangi beban TPA (Tempat Pembuangan Akhir Sampah). Selain itu aspek ini juga berupaya untuk mengembangkan kualitas dalam ruangan khususnya aspek pencahayaan, kesejukan ruang serta kualitas udara termasuk dalam pengendalian asap rokok dan kebakaran.

5. Sumber dan Siklus Material

Aspek ini bertujuan untuk merencanakan dan mengoptimalkan penggunaan material untuk mengurangi pemakaian material baru dan penggunaan material ramah lingkungan untuk mengurangi limbah konstruksi.

6. Kesehatan dan kenyamanan di Lokasi Proyek

Melakukan perencanaan dan penerapan sistem kualitas udara dengan upaya menjaga dan meningkatkan kebersihan dan kenyamanan di lingkungan proyek seperti mengurangi dampak asap rokok, debu dari kegiatan konstruksi serta tidak menggunakan material yang dapat membahayakan kesehatan.

Sebagai salah satu bentuk implementasi dari konsep *sustainable construction*, konsep *green building* telah didorong untuk menjadi *trend* dunia bagi pengembang *property* saat ini. Karena jika kita tidak fokus pada *green building* maka kita tidak akan memiliki kesempatan untuk mencegah terjadinya perubahan iklim global. Penerapan *green building* mempunyai kontribusi menahan laju pemanasan global dengan membenahi iklim mikro. Poin terbesar dalam penerapan konsep ini adalah penghematan air dan energi. Oleh karena itu, konsep *green building* ini sudah menjadi suatu keharusan dalam dunia konstruksi sejak dua dekade belakangan ini (Massie et al., 2018).

Sebuah konstruksi dapat dikatakan *sustainable* apabila konstruksi tersebut telah melewati beberapa tahap penilaian yang dilakukan oleh sebuah badan peneliti yang terkait dalam bidangnya. Dalam menciptakan *Sustainable Construction*, material konstruksi merupakan salah satu aspek yang perlu diperhatikan. Pemilihan material secara sembarangan dapat menimbulkan masalah lingkungan. Hal tersebut berkaitan dengan proses manufaktur bahan material mentah menjadi bahan material siap pakai yang disebut siklus hidup material.

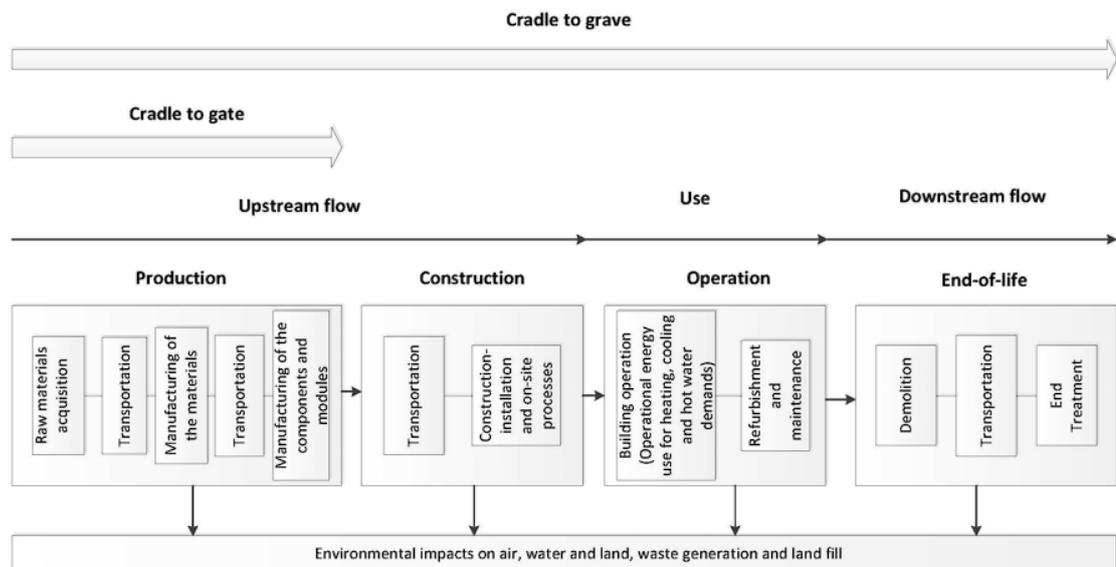
Di Negara – negara maju sistem akreditasi kadar hijau pada bangunan sudah dilakukan dengan standard dan alat uji tertentu. Setiap bangunan dapat dilakukan survei dan kemudian diberi peringkat, bahkan beberapa Negara juga sudah menerapkan reduksi pajak bagi bangunan-bangunan yang dikategorikan *green building*. Di Amerika Serikat program menghijaukan bangunan sudah sangat baku dengan adanya program *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)*.

Green Building Rating System, sebuah program dari lembaga *U.S. Green Building Council (USGBC)*. Program LEED mempermudah dalam mengukur tingkat berkelanjutan suatu proyek secara kuantitatif. Rating sistem ini di-review dan diperbaiki kembali oleh USGBC setiap dua tahun sekali. Sampai saat ini sebanyak 197.000 proyek diseluruh dunia yang terdiri dari 186 negara dan wilayah telah terdaftar untuk mencapai berbagai tingkat sertifikasi LEED. Hal ini menunjukkan betapa banyak pihak (Arsitek, Owner, developer, kontraktor) yang berkeinginan untuk menjadikan bangunannya *green construction (LEED Rating System, n.d.)*.

II.4.2 Life Cycle Assessment

Menurut Mulyana & Wirahadikusumah (2017), *Life Cycle Assessment (LCA)* adalah alat untuk evaluasi sistematis aspek dampak lingkungan dari suatu produk atau sistem pelayanan melalui semua tahap siklus hidupnya (*cradle to grave*). LCA menelusuri tahapan dan proses yang terlibat selama siklus hidup dari produk utama meliputi: ekstraksi bahan baku, manufaktur, penggunaan produk, daur ulang dan pembuangan akhir, identifikasi dan kuantifikasi dampak lingkungan pada setiap tahapnya. Tujuan dari LCA adalah untuk membandingkan berbagai macam dampak lingkungan yang diakibatkan dari suatu produk dan jasa dalam rangka memilih produk ataupun proses yang memiliki dampak lingkungan yang paling minimum. Proses LCA dibagi menjadi empat jenis ruang lingkup (Mulyana & Wirahadikusumah, 2017):

- a. *Cradle to grave*, ruang lingkup pada bagian ini dimulai dari *raw material* sampai pada pengoperasian produk.
- b. *Cradle to gate*, ruang lingkup pada analisis daur hidup dimulai dari *raw material* sampai ke gate sebelum proses operasi.
- c. *Gate to gate* merupakan ruang lingkup pada analisis daur hidup yang terpendek karena hanya meninjau kegiatan yang terdekat
- d. *Cradle to cradle* merupakan bagian dari analisis daur hidup yang menunjukkan ruang lingkup dari *raw material* sampai pada daur ulang material.



Gambar II. 5 The life cycle stages of a building

Sumber: (Khasreen et al., 2009)

Fase produksi mengacu pada layanan yang diperlukan dalam produksi bahan dan komponen mulai dari akuisisi bahan baku hingga produksi komoditas akhir. Fase konstruksi terdiri dari pengangkutan material dan komponen ke lokasi konstruksi dan layanan instalasi serta proses di lokasi. Meskipun demikian, dengan kemajuan pengetahuan saat ini dalam industri bangunan dan dengan meningkatnya industri perumahan dan modul *prefabrikasi*, kegiatan konstruksi di lokasi semakin terbatas pada perakitan modul dan komponen. Akibatnya, jumlah gerbang dalam rantai produksi bertambah banyak yang mengakibatkan peningkatan dampak lingkungan dalam produksi dibandingkan dengan fase konstruksi. Pada fase operasi, dampak lingkungan disebabkan oleh permintaan energi operasional terkait pemanasan, pendinginan, air panas domestik, serta layanan perbaikan dan pemeliharaan. Fase terakhir dikhususkan untuk pembongkaran yang terdiri dari layanan dekonstruksi, transportasi dan perlakuan akhir (yaitu penggunaan kembali, daur ulang atau pembuangan material ke tempat pembuangan akhir). Fase-fase siklus hidup ini terutama didistribusikan dalam 3 aliran proses, yaitu aliran hulu (produksi dan konstruksi), penggunaan (operasi), dan aliran hilir (dekonstruksi dan pembuangan) (Ramesh et al., 2010).

II.4.3 *Life Cycle Energy Analysis*

Bentuk lain dari LCA yang secara khusus terkait dengan upaya efisiensi energi bangunan adalah *Life Cycle Energy Analysis* (LCEA) yang telah dikembangkan dalam beberapa dekade terakhir (Fay et al., 2000). Faktor utama yang mewakili dalam metode ini adalah kandungan energi dan dampak lingkungan dievaluasi berdasarkan jumlah penggunaan energi. Meskipun, LCEA telah dipromosikan secara signifikan sebagai penaksir dampak lingkungan dalam industri bangunan, batas sistem dari metode ini masih belum jelas. (Ramesh et al., 2010) mendefinisikan batasan sistem LCEA bangunan dalam tiga fase; produksi, operasi dan pembongkaran. Menurut definisi ini, semua aktivitas dan layanan yang berhubungan dengan fase produksi dan konstruksi serta layanan perbaikan dari fase operasional dalam fase LCA bangunan dimasukkan dalam fase produksi LCEA. Namun, dua tahap lainnya, yaitu tahap pembongkaran dan pengoperasian, kecuali dari kegiatan perbaikan, sama seperti di LCA.

Oleh karena itu, sesuai dengan ketiga fase LCEA ini, *Life Cycle Energy* (LCE) bangunan dan dampak lingkungan yang terkait dengan penggunaan energi juga dibagi dalam tiga fase, energi yang terkandung, energi pengoperasian, dan energi pembongkaran. Sedangkan peneliti lain seperti yang dikemukakan (Dixit et al., 2010) memberikan definisi yang lebih komprehensif yang mendistribusikan LCE bangunan hanya dalam dua fase, yaitu energi yang terkandung dan energi operasi. Sesuai dengan definisi ini, energi yang terkandung juga mencakup kandungan energi pada fase pembongkaran. Namun (Dixit et al., 2010) menyatakan bahwa produksi bahan bangunan dan komponen di luar lokasi menyumbang 75% dari total energi yang terkandung. Selain itu, (Ramesh et al., 2010) menyatakan bahwa bangunan berenergi rendah memiliki kinerja lebih baik dibandingkan bangunan swasembada (tanpa energi operasional) dalam konteks siklus hidup energi karena energi yang terkandung dalam bangunan swasembada lebih tinggi dibandingkan bangunan berenergi rendah. Mereka juga berpendapat bahwa terdapat batasan dalam pengurangan energi operasional ketika jumlah energi operasional dan energi yang terkandung mencapai minimum. Oleh karena itu, dengan kemajuan dalam pengurangan energi operasional dan pencapaian bangunan hemat energi, energi yang terkandung dalam material dan komponen menjadi perhatian yang

memerlukan penyelidikan lebih lanjut untuk mendekati konsep siklus hidup bangunan tanpa energi (Shadram et al., 2014).

II.4.4 Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)

LEED adalah sistem penilaian yang dikembangkan oleh *U.S. Green Building Council* (USGBC) untuk menilai keberlanjutan lingkungan dari desain bangunan. Ini adalah kerangka kerja sukarela berbasis konsensus untuk mengembangkan bangunan berkinerja tinggi dan berkelanjutan. Sebuah desain bangunan dapat disertifikasi oleh USGBC atau *Canadian Green Building Council*. Sertifikasi membantu meningkatkan eksposur pasar, dan bertujuan untuk menempatkan gedung di antara gedung-gedung 'terhijau' di Amerika Utara (Humbert et al., 2007). Menurut (Humbert et al., 2007), bangunan bersertifikasi LEED sangat penting untuk mengatasi perubahan iklim dan memenuhi tujuan ESG, meningkatkan ketahanan, dan mendukung komunitas yang lebih adil. LEED adalah sistem holistik yang tidak hanya berfokus pada satu elemen bangunan, seperti energi, air, atau kesehatan. Sebaliknya, LEED melihat gambaran besarnya, dengan memperhitungkan semua elemen penting yang bekerja sama untuk menciptakan bangunan terbaik. Tujuan dari LEED adalah menciptakan bangunan yang lebih baik:

1. Mengurangi kontribusi terhadap perubahan iklim global
2. Meningkatkan kesehatan manusia secara individu
3. Melindungi dan memulihkan sumber daya air
4. Melindungi dan meningkatkan keanekaragaman hayati dan jasa ekosistem
5. Mempromosikan siklus material yang berkelanjutan dan regeneratif
6. Meningkatkan kualitas hidup masyarakat

Dari seluruh kredit LEED, 35% terkait dengan perubahan iklim, 20% berdampak langsung pada kesehatan manusia, 15% berdampak pada sumber daya air, 10% berdampak pada keanekaragaman hayati, 10% terkait dengan ekonomi hijau, dan 5% berdampak pada masyarakat dan sumber daya alam (*LEED Rating System*, n.d.).

Untuk mendapatkan sertifikasi LEED, proyek yang mengajukan permohonan harus memenuhi semua prasyarat dan jumlah kredit minimum (masing-masing

memberikan satu poin) yang akan memungkinkan tingkat peringkat LEED. Sistem peringkat LEED terdiri dari 9 prasyarat dan 60 kredit pilihan yang dikelompokkan ke dalam 6 kategori: lokasi yang berkelanjutan (1 prasyarat dan 14 poin), efisiensi air (5 poin), energi & atmosfer (3 prasyarat dan 17 poin), material & sumber daya (1 prasyarat dan 13 poin), kualitas lingkungan dalam rang (2 prasyarat dan 15 poin), dan inovasi & proses desain (5 poin). Peringkat yang berbeda yang dapat diperoleh sebuah bangunan adalah: Sertifikasi LEED (26-32 poin), Silver (33-38 poin), Gold (39-51 poin), dan Platinum (52-69 poin). Penetrasi pasar sertifikasi LEED terus meningkat dari tahun ke tahun (*LEED Rating System*, n.d.).

Sertifikasi LEED menyediakan kerangka kerja untuk bangunan hijau yang sehat, sangat efisien, dan hemat biaya, yang menawarkan manfaat lingkungan, sosial, dan tata kelola. Sertifikasi LEED merupakan simbol pencapaian keberlanjutan yang diakui secara global, dan didukung oleh seluruh industri yang terdiri dari organisasi dan individu yang berkomitmen untuk membuka jalan bagi transformasi pasar. Sampai saat ini sebanyak 197.000 proyek diseluruh dunia yang terdiri dari 186 negara dan wilayah telah terdaftar untuk mencapai berbagai tingkat sertifikasi LEED (*LEED Rating System*, n.d.)

II.4.5 Embodied Energy dan Embodied Carbon

Embodied energy atau *embodied carbon* menjadi hal yang penting untuk dipertimbangkan dalam proses konstruksi karena memiliki dampak langsung terhadap lingkungan, menurut (*World Green Building Council, 2021*) proses konstruksi menyumbang sekitar 39% dari total emisi karbon global. 28% dari emisi operasional, dari energi yang dibutuhkan untuk memanaskan, mendinginkan, dan menyalakan gedung, sedangkan 11% sisanya dari material dan konstruksi. Energi dalam pekerjaan konstruksi terbagi dua yaitu *embodied energy* dan *operational energy* (Ramesh et al., 2010).

Berikut ini merupakan beberapa pengertian mengenai *embodied energy* dan *embodied carbon* adalah sebagai berikut:

- a. *Embodied energy* atau *embodied carbon* adalah total energi atau emisi karbon yang diperlukan untuk membuat, mengirim, dan memasang material

bangunan dalam suatu proyek konstruksi (*World Green Building Council, 2021*).

- b. *Embodied energy* mulai terjadi pada tahap produksi (*manufacturing*) khususnya material, tahap konstruksi dan tahap pembongkaran bangunan. *Operational energy* terjadi pada tahap bangunan digunakan serta saat kegiatan renovasi/perbaikan bangunan (Ramesh et al., 2010).
- c. *Embodied energy* adalah energi yang terkandung dalam setiap kegiatan konstruksi, baik secara langsung maupun tidak langsung yang terdapat pada material bangunan dan peralatan yang digunakan selama proses konstruksi berlangsung (Uda, 2021).
- d. *Embodied energy* adalah energi yang tertanam dalam bahan bangunan dimulai dari proses produksi (*manufacturing*), proses konstruksi, operasional bangunan, hingga pembongkaran bangunan. *Embodied energy* di definisikan sebagai jumlah dari penggunaan energi (bahan bakar minyak/listrik, bahan, dan tenaga manusia) yang digunakan untuk membuat suatu produk (Hammond & Jones, 2008).
- e. *Embodied energy is defined here as the total primary energy consumed from direct and indirect processes associated with a product or service and within the boundaries of cradle-to-gate. This includes all activities from material extraction (quarrying/mining), manufacturing, transportation and right through to fabrication processes until the product is ready to leave the final factory gate* (G. Hammond et al., 2011).
- f. *Embodied carbon is the sum of fuel related carbon emissions (i.e. embodied energy which is combusted - but not the feedstock energy which is retained within the material) and process related carbon emissions (i.e. non-fuel related emissions which may arise, for example, from chemical reactions). This can be measured from cradle-to-gate, cradle-to-grave, or from cradle-to-grave. The ICE data is cradle-to-gate* (G. Hammond et al., 2011).

Berdasarkan beberapa pengertian diatas peneliti menyimpulkan pengertian *embodied energy* dan *embodied carbon*:

- a. *Embodied Energy* adalah energi yang tertanam dalam bahan bangunan dimulai dari proses produksi (manufacturing), proses konstruksi, operasional bangunan, hingga pembongkaran bangunan. Embodied energy di definisikan sebagai jumlah dari penggunaan energi (bahan bakar minyak/listrik, bahan, dan tenaga manusia) yang digunakan untuk membuat suatu produk.
- b. *Embodied carbon* adalah total emisi carbon yang dilepaskan dari energi yang digunakan pada bahan bangunan dimulai dari proses produksi (manufacturing), proses konstruksi, operasional bangunan, hingga pembongkaran bangunan.

Pada siklus hidup bangunan besarnya konsumsi energi dan emisi carbon dipengaruhi oleh jumlah *embodied energy* dan *operational energy* yang terdapat pada struktur bangunan (Praseeda et al., 2016). Total *embodied energy* adalah jumlah total energi yang diwujudkan dari setiap elemen bangunan. *Embodied energy* per meter kuadrat bangunan diperoleh dari perbandingan antara total embodied energy dengan total luas lantai bangunan. Bangunan dengan luas lantai kecil belum tentu memiliki nilai energi yang rendah, demikian juga pada bangunan dengan luas lantai yang besar tidak selalu akan menghasilkan *embodied energy* yang besar pada tiap meter kuadrat bangunannya (Noerwasito, 2015).

Pemilihan material yang rendah konsumsi energi dan perencanaan rumah dengan mengutamakan efisiensi material akan berdampak pada penurunan jumlah energi. Peran stakeholder dalam menentukan jenis dan bentuk bangunan akan mempengaruhi secara langsung upaya efisiensi energi (Zr et al., 2017). Perancangan arsitektur yang memperhatikan konsep karbon netral pada setiap aspek struktur bangunan akan mampu menurunkan jumlah karbon secara signifikan. Salah satunya dengan menerapkan teknik perencanaan selubung bangunan (*building envelope*) yang sumber pencahayaan alami (matahari) serta sistem sirkulasi udara yang mampu mengurangi besarnya penggunaan pendingin ruangan (La Roche, 2016). Total *embodied energy* pada bangunan rumah dihitung dengan menggabungkan semua konsumsi energi untuk pada material bangunan (energi produksi, pemeliharaan dan daur ulang) (Surahman et al., 2015). *Embodied energy* merupakan energi yang selalu menyertai disetiap kegiatan konstruksi selama

tahapan siklus hidup bangunan. Langkah sederhana dan efektif untuk mengurangi dampak lingkungan dari konstruksi adalah manajemen bahan yang bertanggung jawab pada tahap konstruksi (Hammond & Jones, 2008).

Adapun hal-hal yang harus menjadi prioritas untuk mengurangi emisi karbon pada saat ini yaitu (Huynh et al., 2023):

Top design interventions for embodied carbon reduction

	1 Reuse	Reuse an entire building and/or components of a deconstructed building. Limit the scope of renovations to what is needed. Prioritize salvaged materials over new production.
	2 Right-size	Optimize building size by using space more intensively and minimizing excess space. Design with better scheduling or dual-use spaces to decrease the building size.
	3 Dematerialize	Expose structure instead of applying finishes. Optimize structural system to minimize excess material. Consider reducing overdesign by evaluating conservative load assumptions.
	4 Carbon storing materials	Carbon storing materials can speed transition to zero embodied emissions. Building projects can ask for responsibly produced biobased and concrete materials that can store carbon durably.
	5 Product substitutions	Make substitutions for the highest impact materials informed by a whole-building integrated approach or by low-material GWP limits when you cannot do an LCA.
	6 Sourcing	Ensure products are coming from legal and sustainable or regenerative sources. Prioritize local materials when data reveals they have reduced impacts associated with transport.
	7 Circular design	Reduce the impact over the building's life cycle and enable low-embodied-carbon future construction by prioritizing reusability, recyclability, design for disassembly, and durability.

Gambar II. 6 RMI Graphic

Sumber: (Huynh et al., 2023)

1. *Reuse*

Penggunaan kembali bangunan dan/atau material yang sudah ada akan mengurangi emisi sebanyak 75% dibandingkan dengan menghancurkan dan membangun yang baru. Meskipun tidak selalu memungkinkan untuk menggunakan kembali bangunan yang sudah ada atau menggunakan material bekas dalam jumlah yang besar, kemungkinan tersebut seringkali tidak pernah dieksplorasi di awal siklus proyek. Perlu adanya analisis untuk menentukan apakah penggunaan kembali sebuah bangunan dan/atau material dapat dilakukan untuk menghasilkan pengembalian karbon (dan biaya) yang besar.

2. *Right-sizing*

Right-sizing melibatkan pembangunan yang lebih sedikit dengan melayani kebutuhan program dengan total luas lahan yang lebih sedikit dan akan mengurangi emisi secara proporsional; membangun 10% lebih sedikit,

mengurangi emisi sebesar 10% tanpa pertukaran material. *Right-sizing* bukanlah strategi yang tidak biasa karena dapat membantu mengurangi anggaran, dan manfaat karbon yang terkandung dapat menjadi keuntungan tambahan untuk latihan ini.

3. *Dematerialization*

Menurunkan permintaan material dengan memaksimalkan efisiensi material dan meminimalkan kelebihan, serta mengurangi karbon yang terkandung secara proporsional.

4. *Carbon storing materials*

melakukan upaya bersama untuk mengidentifikasi dan membeli bahan-bahan tersebut. Bahan biobased dari sisa pertanian dan produk sampingannya dapat digunakan di banyak interior dan aplikasi eksterior. Produk beton penyimpan karbon mulai memasuki pasar saat ini. Memprioritaskan bahan-bahan ini akan mempercepat transformasi pasar.

5. *Material substitutions*

Substitusi material dari produk dengan emisi lebih tinggi untuk produk serupa dengan emisi lebih rendah sering kali menjadi perhatian utama ketika menyusun strategi untuk mewujudkan pengurangan karbon dan untuk alasan yang baik. Substitusi yang dipilih dengan baik telah terbukti mencapai pengurangan emisi sebesar 46%.

Sebagai penunjang penelitian ini diperlukan sebuah data koefisien *embodied energy* dan *embodied carbon* pada material yang akan dipergunakan dalam proses perhitungan manual. Data acuan utama tentang koefisien *embodied energy* dan *embodied carbon* pada penelitian ini yaitu sebuah buku dari *University of Bath, UK* dengan judul *Inventory of Carbon & Energy (ICE)*. Selain tersedia dalam buku, koefisien *embodied energy & embodied carbon* ICE ini tersedia dalam bentuk *website* dengan sistem *proxy* sehingga akan memungkinkan untuk terus diperbaharui setiap saat. Data acuan kedua yaitu *The Energy embodied in building material* (New Zeland), merupakan sebuah data yang membandingkan koefisien *embodied energy* antara tahun 1988 sampai dengan 1996. Data acuan ketiga yaitu sebuah buku yang berjudul *Material Life: Embodied energy of building material* yang dipublikasi di Amerika pada tahun 2013.

Hal yang menjadi landasan mengapa menjadikan ICE menjadi data acuan utama dalam penggunaan koefisien *embodied energy & embodied carbon* karena dalam buku ICE G. Hammond et al. (2011), menyatakan bahwa data – data dalam buku tersebut tidak hanya bersumber dari Inggris namun bersumber dari eropa dan juga dunia sehingga dapat diartikan bahwa data koefisien *embodied energy & embodied carbon* dalam buku tersebut merupakan data internasional dan database ICE ini berlaku atau dapat digunakan di negara lain. Database ICE ini juga menjadi sangat relevan digunakan karena menyediakan pembaharuan mengenai data koefisien *embodied energy & embodied carbon* setiap saat yang dapat diakses melalui halaman *website proxy*.

Adapun rumus perhitungan *embodied energy* dan *embodied carbon* pada material bangunan dapat dihitung berdasarkan data tentang kandungan energi dan karbon pada material dari sebuah buku di *University of Bath, UK* dengan judul *Inventory of Carbon & Energy (ICE)*. Adapun rumus perhitungan yang digunakan yaitu:

$$EE = Vm \times CEE \dots \dots \dots (1)$$

$$EC = Vm \times CEC \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

EE = Embodied Energy

EC = Embodied Carbon

Vm = Volume Material

CEE = *Coefisien embodied energy*

CEC = *Coefisien embodied carbon*

II.5 Building information modeling (BIM)

BIM merupakan suatu sistem terintegrasi dalam bidang arsitektur, teknik dan konstruksi yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan keberhasilan proyek. Peningkatan dan keberhasilan proyek ini diwujudkan oleh BIM melalui sistemnya yang berupa konsep alur kerja berbasis model 3 dimensi dimana sistem ini memberikan hubungan antar komponen - komponen suatu proyek konstruksi (Häringer & Borrmann, 2018). Terhubungnya berbagai komponen disuatu proyek konstruksi memberikan berbagai keuntungan seperti estimasi biaya yang lebih

cepat dan akurat, mengurangi durasi proyek, mempermudah pendeteksian masalah serta hal lainnya.

BIM merupakan kumpulan informasi yang dihasilkan dan dikelola sepanjang siklus hidup suatu bangunan (Tanne & Indrayani, 2023). Semua informasi mengenai elemen-elemen bangunan tersebut terdapat di dalamnya, dan informasi ini menjadi dasar untuk pengambilan keputusan selama siklus umur bangunan, mulai dari konsep hingga demolisi. BIM dapat menampilkan informasi-informasi menggunakan tiga dimensi secara *real-time, software* bangunan pemodelan dinamis untuk meningkatkan produktivitas dalam membangun desain dan konstruksi (Hutama & Sekarsari, 2018).

BIM memiliki lebih banyak tawaran untuk proyek konstruksi ketika perspektif siklus hidup diadopsi, diskusi tentang implementasi dan adopsi BIM dalam literatur telah diperluas mencakup tema yang lebih luas termasuk pengembangan 25 pendidikan dan kurikulum, kolaborasi proyek, interoperabilitas melalui fondasi industri kelas (IFC), pengiriman proyek terintegrasi, estimasi biaya, konstruksi ramping dan manajemen aset (Yalcinkaya & Singh, 2015). Oleh karena itu, BIM memiliki peran utama dalam mengoordinasikan dan mengintegrasikan pertukaran informasi dan pengetahuan antara berbagai disiplin ilmu dan fase dalam proyek. Penggunaan BIM dalam proyek konstruksi memberikan manfaat untuk meningkatkan kualitas produk dan memungkinkan desain bangunan lebih berkelanjutan (Eastman et al., 2011). Berdasarkan survei yang dilakukan di AS dan Inggris, termasuk manfaat BIM adalah kreativitas, keberlanjutan, peningkatan kualitas, pengurangan sumber daya manusia (SDM), serta pengurangan biaya dan waktu (Yan & Demian, 2008).

Dasar pemikiran BIM adalah kolaborasi oleh pemangku kepentingan yang berbeda pada berbagai fase siklus hidup pelaksanaannya dari mulai memasukkan data, mengekstrak, memperbaharui atau memodifikasi informasi dalam BIM untuk mendukung dan mewakili peran dari pemangku kepentingan tersebut. Manfaat paling besar dalam penggunaan BIM adalah pengurangan biaya, penghematan waktu, dan kontrol yang lebih efisien di seluruh siklus hidup proyek (Bryde et al., 2013).

Secara umum pengetahuan pemodelan 3D, 4D, 5D, 6D, dan 7D terkait BIM serta simulasinya dan LOD mengacu pada topik pemodelan 3D dan simulasinya, penjadwalan proyek (*scheduling*) model 4D, estimasi biaya model 5D, *sustainability* model 6D, *facility management* model 7D, serta karakteristik dari LOD (Pupr, 2018).

II.5.1 Level of Development

Level of Development (LOD) adalah sistem yang digunakan dalam industri konstruksi untuk menentukan tingkat detail atau kedalaman informasi yang terkandung dalam suatu model atau elemen model BIM pada tahap-tahap berbeda selama siklus hidup proyek. LOD menetapkan standar untuk tingkat kualitas dan kejelasan informasi yang diperlukan dalam elemen-elemen BIM untuk representasi yang tepat pada setiap tahap proyek. Spesifikasi LOD adalah untuk membantu menjelaskan kerangka kerja LOD dan menstandarisasi penggunaannya sehingga menjadi lebih berguna sebagai alat komunikasi. Kerangka kerja LOD mengatasi masalah-masalah komunikasi dan kolaborasi dengan memberikan standar yang dikembangkan industri untuk menggambarkan keadaan pengembangan berbagai sistem dalam BIM. Standar ini memungkinkan konsistensi dalam komunikasi dan pelaksanaan dengan memfasilitasi definisi rinci tentang BIM *milestone* dan *deliverables* (Pupr, 2018).

LOD kadang-kadang diartikan sebagai *Level of Detail* (tingkat detail) daripada *Level of Development* (tingkat pengembangan). Tingkat detail pada dasarnya adalah seberapa banyak detail dimasukkan dalam elemen model. Sedangkan tingkat pengembangan adalah sejauh mana geometri elemen dan informasi terlampir dan sejauh mana anggota tim proyek dapat bergantung pada informasi saat menggunakan model (Pupr, 2018).

Berikut ini adalah definisi dasar *Level of Development* (LOD):

a. LOD 100

Elemen model dapat ditampilkan secara grafis dalam model dengan simbol atau representasi generik lainnya, tetapi tidak memenuhi persyaratan untuk LOD 200. Terkait dengan elemen model (yaitu biaya per kaki persegi, *tonase HVAC*, dll.) dapat diturunkan dari elemen model lainnya.

b. LOD 200

Elemen model secara grafis diwakili dalam model sebagai sistem umum, objek, atau perakitan dengan perkiraan jumlah, ukuran, bentuk, lokasi, dan orientasi. Informasi non-grafis juga dapat dilampirkan ke elemen model.

c. LOD 300

Elemen model secara grafis direpresentasikan dalam model sebagai sistem, objek atau perakitan spesifik dalam hal kuantitas, ukuran, bentuk, lokasi, dan orientasi. Informasi non-grafis juga dapat dilampirkan ke elemen model.

d. LOD 400

Elemen model secara grafis direpresentasikan dalam model sebagai sistem, objek, atau perakitan tertentu dalam hal kuantitas, ukuran, bentuk, orientasi, dan antarmuka dengan sistem bangunan lain. Informasi nongrafis juga dapat dilampirkan ke elemen model.

e. LOD 500

Elemen model secara grafis diwakili dalam model sebagai sistem, objek atau perakitan tertentu dalam hal ukuran, bentuk, lokasi, kuantitas, dan orientasi dengan detail, informasi fabrikasi, perakitan, dan pemasangan. Informasi non-grafis juga dapat dilampirkan ke elemen model.

II.5.2 Dimensi dan Tingkat Implementasi BIM

BIM merupakan sistem, manajemen, metode atau runutan pengerjaan suatu proyek yang diterapkan berdasarkan informasi terkait dari keseluruhan aspek bangunan yang dikelola dan kemudian diproyeksikan ke dalam model 3 dimensi. Di dalamnya melekat semua informasi bangunan tersebut, yang berfungsi sebagai sarana untuk membuat perencanaan, perancangan, pelaksanaan pembangunan, serta pemeliharaan bangunan tersebut beserta infrastrukturnya bagi semua pihak yang terkait di dalam proyek seperti konsultan, owner, dan kontraktor (Pupr, 2018).



Gambar II. 7 Pihak-pihak yang terkait BIM

Sumber: (Pupr, 2018).

Dengan menggunakan BIM dapat diperoleh 3D, 4D, 5D, 6D dan bahkan sampai 7D. Dimana 3D berbasis obyek pemodelan parametric, 4D adalah urutan dan penjadwalan material, pekerja, luasan area, waktu, dan lain-lain, 5D termasuk estimasi biaya dan part-lists, dan 6D mempertimbangkan dampak lingkungan termasuk analisis energi dan deteksi konflik, serta 7D untuk fasilitas manajemen.

3D	<ol style="list-style-type: none"> 2. Model Kondisi eksisting: <ol style="list-style-type: none"> a. <i>Laser scanning</i> b. Ground penetration (Konversi Radar (GPR)) 3. Model Logistik dan <i>safety</i> 4. Animasi, <i>rendering</i>, <i>walkthrough</i> 5. BIM Pre-Pabrikasi 6. Laser accurate BIM driven field layout
4D	<p>SCHEDULING</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Simulasi tahapan proyek 2. Mempelajari penjadwalan: <ol style="list-style-type: none"> a. Perencanaan akhir b. <i>Just in Time</i> (JIT) mengirim peralatan c. Instalasi simulasi detail 3. Validasi visual untuk persetujuan pembayaran
5D	<p>ESTIMATING</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pemodelan konsep real time dan perencanaan biaya 2. Ekstrak kuantitas untuk mensupport detail estimasi biaya 3. Trade verification dari model pabrikan: <ol style="list-style-type: none"> a. Struktur baja b. Pembesian c. Mekanikal dan plumbing d. Elektrikal 4. Value Engineering: <ol style="list-style-type: none"> a. Skenario b. Visualisasi c. Ekstak kuantitas 5. Solusi Pre-fabrication: <ol style="list-style-type: none"> a. Ruang peralatan b. MEP c. Multi-trade Prefabrication d. Arsitektural unik dan elemen-elemen struktur
6D	<p>SUSTAINABILITY</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Analisis konsep energi (via Dprofler) 2. Analisis detail energi (via Eco tech) 3. Sustainable element tracking 4. LEED tracking
7D	<p>APLIKASI FACILITY MANAGEMENT</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Strategi Life cycle BIM 2. BIM as-builts 3. BIM embedded O&P Manuals 4. COBe data population dan extraction 5. Perencanaan Pemeliharaan BIM dan Technical support 6. BIM file hosting on lend Lease's digital exchare system

Gambar II. 8 Model Dimensi dalam BIM

Sumber: (Pupr, 2018).

Dengan demikian, secara umum, BIM didefinisikan pada dua kepentingan yang berbeda, yaitu (Pupr, 2018):

- Adanya kerjasama antar stakeholder, yang secara efisien bertukar informasi (baik data maupun geometri), berkolaborasi dalam mengefisienkan proses pembangunan/konstruksi (kesalahan semakin sedikit, konstruksi semakin cepat), menghasilkan bangunan lebih mudah dioperasikan, serta dapat meminimalisir produksi limbah sekaligus mengeluarkan biaya yang lebih

murah. Dengan demikian, kunci BIM tidak hanya ditekankan pada model tiga dimensi akan tetapi bagaimana suatu informasi dikembangkan, dikelola, dibagi, melalui kolaborasi yang lebih baik.

- BIM juga dapat dilihat sebagai platform perangkat lunak yang memungkinkan untuk mengkoordinasikan atau menggabungkan karya masing-masing stakeholder menjadi satu Model Informasi Bangunan berorientasi obyek tiga dimensi (3D) dengan informasi yang melekat di dalamnya.

Dimensi BIM berhubungan erat dengan tingkat implementasi BIM pada suatu proyek konstruksi. Dimensi BIM menggambarkan berbagai aspek yang harus dipertimbangkan dan ditingkatkan untuk mencapai tingkat implementasi yang lebih tinggi. Dengan memahami dan mengoptimalkan setiap dimensi BIM, tingkat implementasi BIM pada proyek konstruksi dapat ditingkatkan secara signifikan. Menurut (Pupr & Institut BIM Indonesia, 2018), ada tingkatan implementasi BIM yaitu:

1. Level 0 BIM
 - a. Tidak ada kolaborasi
 - b. 2D CAD untuk penggambaran dan dokumentasi (*drafting*)
2. Level 1 BIM
 - a. Pekerjaan desain konseptual dengan 3D model, gambar- gambar 2D CAD digunakan untuk dokumentasi, perizinan dan informasi konstruksi.
 - b. Terdapat standar CAD dan informasi dikolaborasikan dalam bentuk elektronik
 - c. Setiap disiplin, pelaku memiliki standar sendiri-sendiri
3. Level 2 BIM
 - a. Bekerja secara kolaborasi. Semua pelaku bekerja dengan sistem dan lingkungan sendiri namun model atau obyek dikolaborasikan.
 - b. Informasi dipertukarkan dengan protokol dan format yang disetujui.
4. Level 3 BIM

- a. Kolaborasi penuh antar semua disiplin dan pelaku menggunakan satu obyek (*shared object*). Semua pelaku dapat mengerjakan, memodifikasi obyek yang sama.
- b. Dinamakan sebagai Open BIM.

II.5.3 Peran BIM terhadap *Sustainability*

BIM adalah teknologi digital yang memungkinkan para profesional dalam industri konstruksi untuk mengintegrasikan data dan informasi proyek dalam satu model. BIM dapat memainkan peran penting dalam mendukung prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan dalam proyek konstruksi. Dimensi 6D BIM merupakan bagian dari dimensi pada BIM yang mewujudkan dari analisis pada suatu bangunan yang berkaitan dengan keberlanjutan (*sustainability*) dari suatu project yang akan dibangun. 6D BIM berguna untuk desain bangunan hijau karena dapat membantu untuk menguji, menganalisis, dan mengembangkan alternatif desain (Yudi et al., 2020) mengintegrasikan lingkungan dan membantu melakukan analisis konsumsi energi, efisiensi, kesehatan, keselamatan, dan keberlanjutan (Putera, 2022).

Dengan adanya dimensi 6D pada BIM, maka dalam memperhitungkan informasi-informasi yang terdapat pada model project seperti geometri project (bentuk, layout), properti fisik dari material (lapisan dinding, thermal properties, visual properties) jenis ruang/space di dalam bangunan, jalur pergerakan matahari, dan pola angin dapat dilakukan dengan lebih efisien dikarenakan saling terintegrasi dengan perencanaan dan keadaan sekitar project yang akan dibangun (Yudi A et al, 2020).

(Brad Hardin, 2015) menetapkan tiga bidang utama desain berkelanjutan yang berhubungan langsung dengan BIM. Bidang-bidang ini adalah pemilihan dan penggunaan material, pemilihan dan pengelolaan lokasi, dan analisis sistem. Selain itu, (Krygiel & Nies, 2008) menunjukkan bahwa BIM dapat membantu dalam aspek-aspek desain berkelanjutan berikut ini:

1. Menganalisis bentuk bangunan.
2. Mengurangi kebutuhan air dalam bangunan.
3. Mengurangi kebutuhan energi dan menganalisis energi terbarukan seperti energi matahari.

4. Mengurangi kebutuhan material dan menggunakan material daur ulang.

II.5.4 Peran BIM dalam PLC

Secara sederhana, BIM mewakili banyak hal tergantung dari sudut pandang dalam melihatnya, untuk sebuah proyek, peran BIM adalah manajemen informasi. BIM adalah data yang dikolaborasikan dan dikomunikasikan kepada pihak yang tepat pada waktu yang tepat. Bagi peserta suatu proyek BIM pada dasarnya mendefinisikan bagaimana masing-masing tim bekerja dan berapa banyak tim yang bekerja sama untuk membuat konsep, merancang, membangun, dan mengoperasikan suatu proyek atau fasilitas. Sedangkan bagi tim desain, BIM menyediakan solusi teknologi, mendorong kreativitas, memberikan umpan balik, dan memberdayakan tim dalam tahap ini BIM mewakili desain yang terintegrasi (*LetsBuild, 2017*).

BIM memainkan peran penting di sepanjang siklus hidup proyek dengan meningkatkan kolaborasi, komunikasi, dan pengambilan keputusan di antara para pemangku kepentingan. Berikut ini adalah bagaimana BIM berkontribusi pada setiap tahap (*LetsBuild, 2017*):

- a. *Conceptualization and Planning*

BIM membantu dalam memvisualisasikan dan mensimulasikan proyek sejak awal. BIM membantu dalam menciptakan desain konseptual, menganalisis kelayakan, dan memperkirakan biaya dengan lebih akurat.

- b. *Design and Engineering*

BIM memungkinkan arsitek dan insinyur untuk berkolaborasi dalam model digital, meningkatkan koordinasi dan mengurangi konflik. Hal ini memungkinkan pembuatan desain terperinci, analisis kinerja, dan visualisasi konsep.

- c. *Construction*

BIM menyediakan model 3D terperinci yang membantu kontraktor memvisualisasikan proyek sebelum konstruksi dimulai. Ini membantu dalam merencanakan urutan konstruksi, penjadwalan, dan manajemen sumber daya. Deteksi bentrokan dan koordinasi membantu mengurangi kesalahan dan pengerjaan ulang.

- d. *Operation and Maintenance*

Model BIM digunakan untuk menyimpan informasi penting tentang bangunan, seperti detail peralatan, jadwal pemeliharaan, dan manual pengoperasian. Informasi ini membantu dalam manajemen dan pemeliharaan fasilitas yang efisien.

e. *Renovation and Retrofitting*

Model BIM dapat diperbarui untuk mencerminkan perubahan yang dibuat selama siklus hidup bangunan. Model ini membantu dalam merencanakan renovasi, retrofit, dan ekspansi secara lebih efektif.



Gambar II. 9 Peran BIM dalam PLC

Sumber: (LetsBuild, 2017):



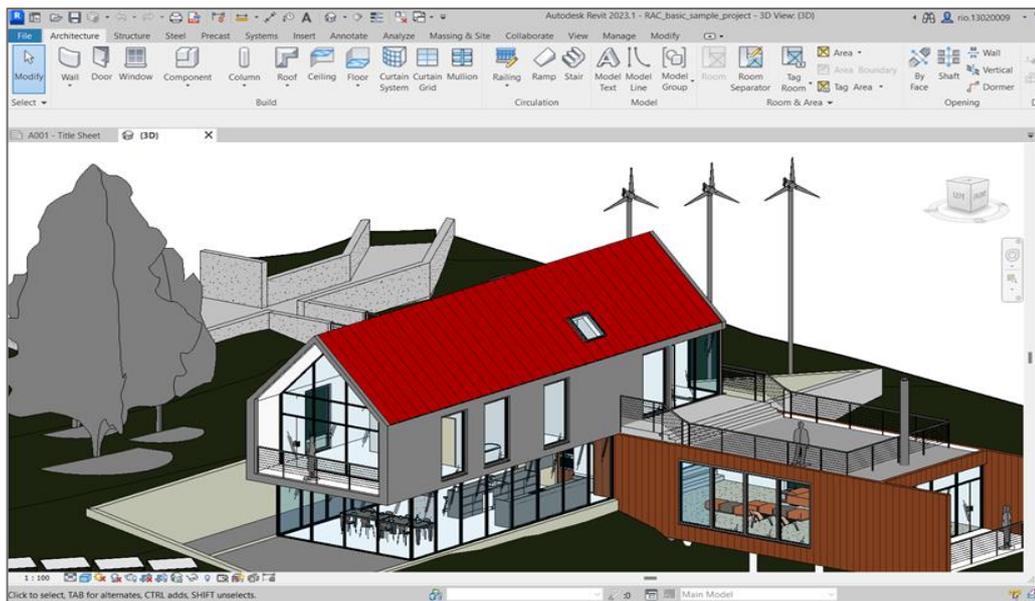
Gambar II. 10 Peran BIM dalam PLC

Sumber: (LetsBuild, 2017)

II.6 Software BIM

II.6.1 Autodesk Revit (Pemodelan)

Autodesk Revit adalah salah satu BIM *software* yang membantu tim *Architecture, Engineering and Construction* (AEC) dalam menciptakan bangunan dan infrastruktur berkualitas tinggi. *Revit* dapat digunakan untuk bentuk pemodelan, struktur, dan sistem 3D dengan akurasi, presisi, dan kemudahan parametrik. *Revit* juga mampu menyederhanakan pekerjaan dokumentasi dengan revisi instan untuk rencana, elevasi, jadwal, dan bagian saat proyek berubah. *Revit* mendukung pemberdayaan multidisiplin tim dengan perangkat khusus dan lingkungan proyek terpadu (Autodesk, 2022). Selain itu *Revit* dapat mendukung penggunaan aplikasi analisis seperti analisis *Green Building*, analisis struktur, *heat load*, dan sebagainya (Pranasanjaya, 2017).

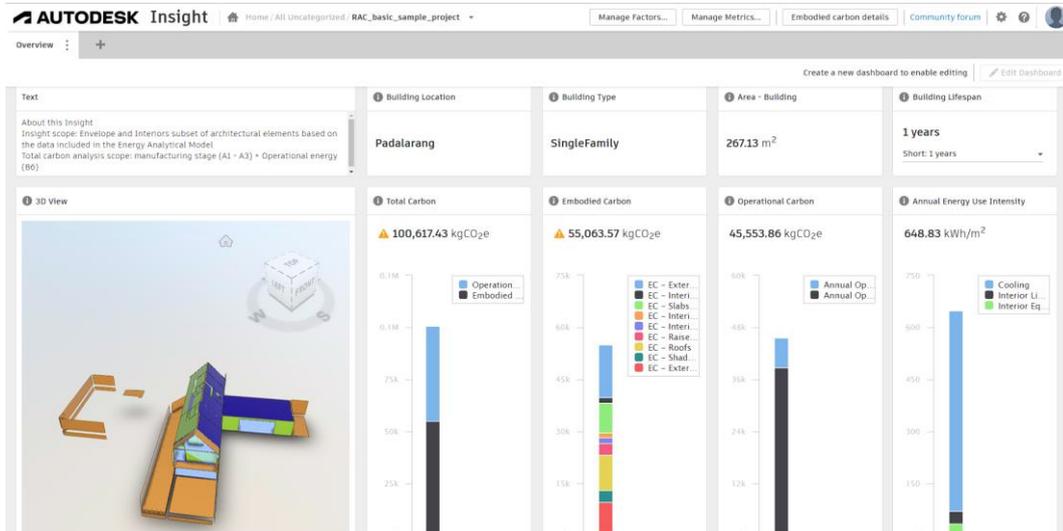


Gambar II. 11 Autodesk Revit

II.6.2 Revit Insights Tech Preview

Revit Insights Tech Preview merupakan sebuah fitur terbaru yang tersedia mulai dari *Revit* 2023.1. *Revit Insights Tech Preview* merupakan fitur analisis dampak karbon dari material bangunan, sehingga dapat memberikan *insights* dalam tahap perencanaan tentang bagaimana dampak karbon yang terwujud dari bangunan yang dimodelkan. Langkah pertama yang harus dilakukan untuk melakukan analisis karbon ini yaitu membuat model 3D, kemudian membuat model energi dan

menentukan lokasi bangunan yang dimodelkan. Setelah itu melakukan analisis dengan memilih tombol *analyze carbon insights* dan jika proses analisis berhasil maka akan langsung dihubungkan dengan web *Autodesk Insights Tech Preview* untuk melihat hasil analisis *carbon*.



Gambar II. 12 Revit Insight Tech Preview

II.7 Studi Literatur

Tabel II. 1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis dan Tahun	Judul	Lokasi Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Subrata Aditama K.A. Uda (2021)	Analisis Konsumsi <i>Embodied Energy</i> dan <i>Embodied Carbon</i> pada Material Bangunan Rumah Sederhana Tipe 36	Universitas Palangka Raya	<ul style="list-style-type: none"> • Menghitung jumlah <i>embodied energi</i> dan <i>embodied karbon</i> pada material bangunan tipe 36 • Mempermudah memilih material ramah lingkungan 	menghitung jumlah embodied energi dan karbon pada material secara manual berdasarkan data ICE Bath University. Menggunakan Rumus: $EE = V_m \times CEE$ $EC = V_m \times CEC$ V_m : vol material CEE/CEC: Coefisien	Total <i>embodied energy</i> dan <i>embodied carbon</i> pada bangunan rumah tipe 36 sebesar 127.714,66 MJ dan 10.257,48 KgCO ₂ . Pekerjaan atap seng dan dinding mengkonsumsi <i>embodied energy</i> sebesar 53% dari total energi, sedangkan lebih dari 70% penghasil karbon dioksida berasal dari pekerjaan dinding, kolom & balok serta pondasi.
2	Farshid Shadram, Marcus Sandberg,	<i>BIM-based environmental assessment in the</i>	<i>Södertälje, south of</i>	Mengembangkan sebuah metode untuk menilai energi yang terkandung	Metode penelitian yang digunakan adalah Kolaborasi data antara BIM	Berdasarkan hasil analisis didapatkn produksi <i>insulation</i> mempunyai

No	Penulis dan Tahun	Judul	Lokasi Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
	Jutta Schade, Thomas Olofsson Luleå	<i>building design process</i>	<i>Stockholm, Sweden</i>	dan dampak lingkungan dari produksi bahan bangunan	berupa <i>Quantity Take off</i> dan EPD yang kemudian dihitung menggunakan excel.	<i>embodied energy</i> tertinggi sebesar 38,4%, <i>diffusion barrier</i> 18,3%, <i>i-joist beams</i> 19,4% dan yang terkecil yaitu <i>plywood board</i> 6,8%.
3	Diki Farhan (2023)	Implementasi <i>Building information modeling</i> Pada Analisis Dampak Perencanaan Site Layout Konstruksi Terhadap <i>Sustainable Construction</i> (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Rumah Sakit Amanah Medical	Banjarmasin.	<ul style="list-style-type: none"> Mengidentifikasi faktor penting dalam penentuan Site Layout dan melakukan perencanaan Site Layout yang mempertimbangkan <i>Sustainable Construction</i> Melakukan simulasi dengan BIM <i>Revit</i> + <i>Autodesk Insights</i> untuk menganalisis 	Metode penelitian yang digunakan yaitu gabungan (<i>mixed methods research</i>) metode penelitian yang menggabungkan atau memadukan antara Pendekatan penelitian kuantitatif dan kualitatif dalam satu penelitian, menggunakan <i>Revit</i> dan <i>Autodesk Insights</i> .	Berdasarkan hasil analisis energi untuk tahap awal menghasilkan energi 252 kWh/m ² /yr, tahap pondasi menghasilkan energi 254 kWh/m ² /yr, tahap Pengecoran lantai 2 menghasilkan energi 256 kWh/m ² /yr dan pada tahap <i>finishing</i> menghasilkan energi 229 kWh/m ² /yr. Berdasarkan hasil analisis optimalisasi <i>site layout</i> menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan pada nilai

No	Penulis dan Tahun	Judul	Lokasi Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
		Center Banjarmasin		energi pada site layout		energi dengan tahap sebelumnya.
4	Adeis Trisa Pihawiano, Subrata Aditama, Lendra, Waluyo Nuswantoro (2024)	Analisis Emisi Karbon Pada Material Bangunan Gedung Tujuh Lantai dengan Metode BIM	Kota Palangka Raya	Meninjau nilai <i>Embodied Energy</i> pada gedung Pusat Pengembangan IPTEK dan Inovasi. Penelitian.	Penelitian ini melakukan perbandingan <i>embodied energy</i> BIM dengan konvensional. Data yang menjadi pembanding disini merupakan BoQ <i>Tekla</i> dan BoQ dari proyek. Nilai <i>Embodied energy</i> diambil dari jurnal yang berasal dari <i>University of Bath dari United Kingdom. (ICE)</i> .	Terdapat 16 bahan material yang menghasilkan emisi karbon dan 2 material menghasilkan emisi karbon. Material plester semen memiliki nilai emisi karbon terbesar yaitu sebesar 349.000,954 kgCo2/Kg (48,092%) kemudian material besi dengan nilai 339.035,037 kgCo2/Kg (46,718 %).
5	Egalita Nur Al-Fitriani Darajat, Eggi Septianto (2021)	Penerapan <i>Low Embodied Energy</i> Material Pada Bangunan RE Mall Parahyangan	Kota Baru Parahyangan	Merancang bangunan <i>Low Embodied Energy</i> Material Pada Bangunan RE Mall Parahyangan.	Metode penelitian yang digunakan yaitu menganalisis material <i>low embodied energy</i> berdasarkan data yang	Terdapat sekitar 70% material dengan energi rendah yang digunakan dengan kebutuhan energi material antara 0,1-

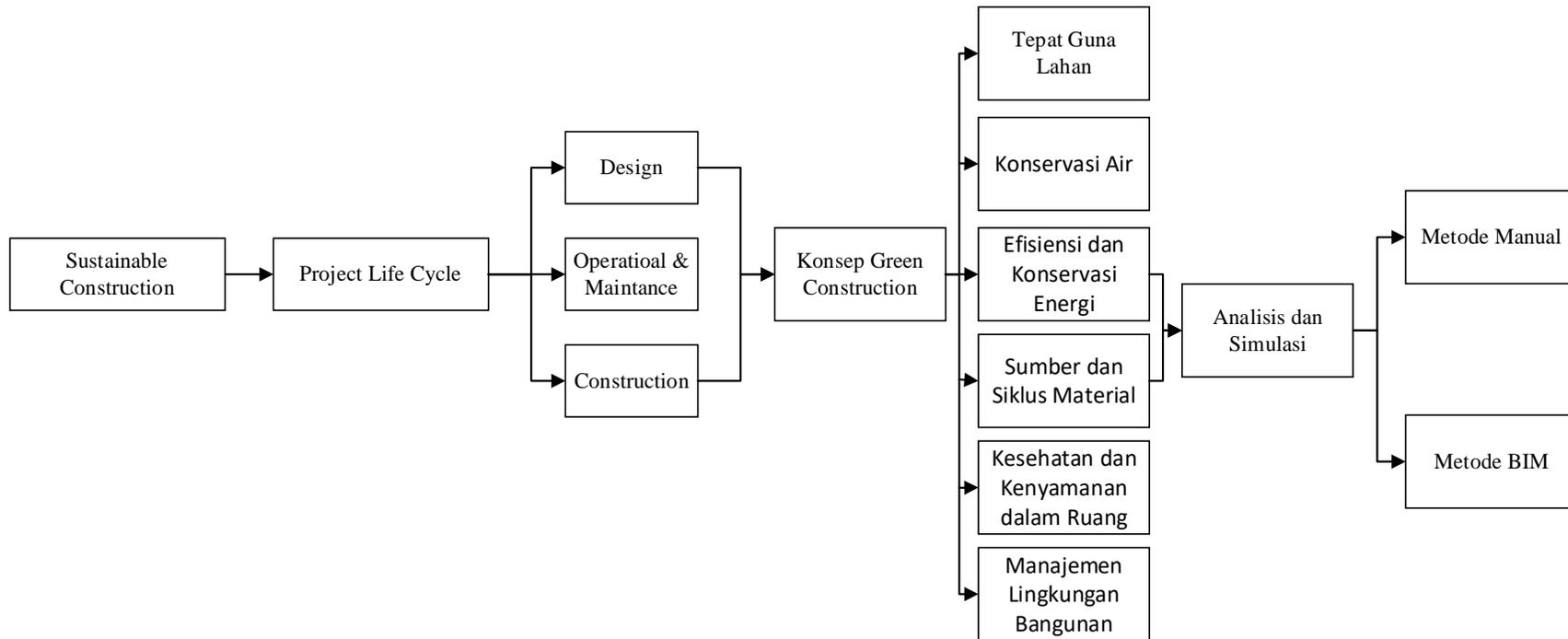
No	Penulis dan Tahun	Judul	Lokasi Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
					didapat dari perusahaan terkait.	60Gj/Ton, dan 30% material memiliki energi yang tinggi namun material dengan energi tinggi digunakan dalam kuantitas yang rendah seperti baja ringan untuk rangka atap.
6	Fuk-Jin OEI, Mohamad-Heri SUKANTARA (2023)	Pemilihan Material Bangunan Beremisi Karbon Rendah Dengan Integrasi <i>Building Information Modelling</i> (BIM)	Cikarang	Memberikan rekomendasi alternatif kombinasi material konstruksi gedung asrama sebuah kampus ditinjau dari aspek emisi CO2 yang dihasilkan dengan biaya konstruksi yang rendah.	Metode penelitian yang digunakan yaitu: <ul style="list-style-type: none"> • Analisis energi menggunakan <i>Revit</i> yang dintegrasikan dengan web <i>Green Building Studio</i> • Perhitungan manual berdasarkan data ICE • Membandingkan metode BIM dengan manual 	Rekomendasi yang diajukan tipe 1, yaitu menggunakan struktur beton <i>cast in place</i> , <i>façade</i> bata merah, <i>interior</i> bata ringan dengan nilai emisi CO2 fase konstruksi sebesar 1.844.193,76 KgCO2eq/tahun dan biaya sebesar Rp 26.470.191.605, serta emisi CO2 fase operasional sebesar 415.705,14 KgCO2eq/tahun.

No	Penulis dan Tahun	Judul	Lokasi Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
7	Agung Mulyana, Reini D. Wirahadikusumah (2017)	Analisis Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca pada Tahap Konstruksi Studi Kasus: Konstruksi Jalan Cisumdawu	Jalan Tol Cisumdawu STA 10+700 s.d STA 11+500	Menganalisis konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca pada level operasi kegiatan perkerasan jalan pada STA 10+700 s.d STA 11+500 proyek jalan bebas hambatan Cisumdawu	Metode penelitian yang digunakan adalah melakukan estimasi secara kuantitatif dengan menggunakan dasar perhitungan yang ada dan berlaku di Indonesia yaitu, LCI, LCA dan perhitungan energi berdasarkan penelitian terdahulu.	Pekerjaan perkerasan kaku berkontribusi 78.78%, sedangkan, pekerjaan subbase berkontribusi 17.04% dan pekerjaan subgrade berkontribusi 4.18%. Sementara itu secara keseluruhan material berkontribusi sebesar 92.80%, kegiatan transportasi berkontribusi 1.97% dan kegiatan konstruksi berkontribusi 5.23% dari total besaran dampak lingkungan yang dihasilkan dari konstruksi jalan tersebut.

Sebagai referensi untuk penelitian ini, peneliti melakukan pengumpulan data literatur penelitian terdahulu mengenai *sustainable construction* terkhusus dalam aspek material konstruksi untuk dibandingkan dengan penelitian ini. Hasil perbandingan menyatakan perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian ini terletak pada ruang lingkup analisis, dimana penelitian terdahulu khususnya penelitian no 1, 5 dan 7 hanya menggunakan metode perhitungan manual saja dalam menganalisis kandungan energi dan karbon sedangkan pada penelitian ini menggunakan BIM khususnya *Autodesk insights tech preview* untuk melakukan analisis kandungan energi dan karbon pada material. Pada penelitian terdahulu no 2 dan 4 sama – sama menggunakan BIM dan membandingkannya dengan perhitungan manual, namun pada penelitian tersebut BIM hanya digunakan untuk menentukan *Bill of Quantity* dan *Quantity Take off* saja tidak dipergunakan untuk melakukan analisis kandungan energi dan karbon pada material seperti yang dilakukan pada penelitian ini. Pada penelitian no 3 perbedaan terdapat pada ruang lingkup analisis, penelitian sebelumnya menganalisis *solar energy* pada *site layout* dan bangunan sedangkan penelitian ini menganalisis kandungan energi dan karbon pada material konstruksi. Pada penelitian terdahulu no 6 perbedaan terletak pada penggunaan *software* untuk melakukan analisis kandungan emisi karbon, penelitian sebelumnya mengintegrasikan antara *Revit* dan *Green Building Studio* sedangkan penelitian ini hanya menggunakan *software Revit* dan pada penelitian sebelumnya mempertimbangkan biaya dalam lingkup analisisnya.

II.8 Kerangka Pikir

Berikut ini merupakan kerangka pikir dari penelitian yang menjadi landasan dalam melakukan penelitian.



Gambar II. 13 Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir penelitian ini berawal dari teori *sustainable construction* yang terdapat dalam tiga fase *project life cycle* yaitu *design*, *construction* dan *operational & maintance*. Dimana ketiga fase tersebut sama – sama dapat menerapkan konsep *green construction* yang mendukung terwujudnya *sustainable construction*. Namun pada penelitian ini akan lebih fokus dalam aspek efisiensi dan konservasi energi serta sumber dan siklus material yang akan menentukan apakah bangunan tersebut hemat energi atau tidak. Penelitian ini akan menganalisis kandungan energi dan karbon pada material konstruksi menggunakan BIM yang kemudian akan dibandingkan dengan metode manual dalam menghitung kandungan energi dan karbon pada material. Analisis dan simulasi BIM dilakukan menggunakan *software Revit insights tech preview* dan perhitungan manual akan mengacu pada data dan rumus yang diperoleh dari buku *Inventory Carbon & Energy* (ICE) dan juga data – data proyek yang diperlukan yaitu *Detail Engineering Design* (DED) serta data *Bill of Quantity*.