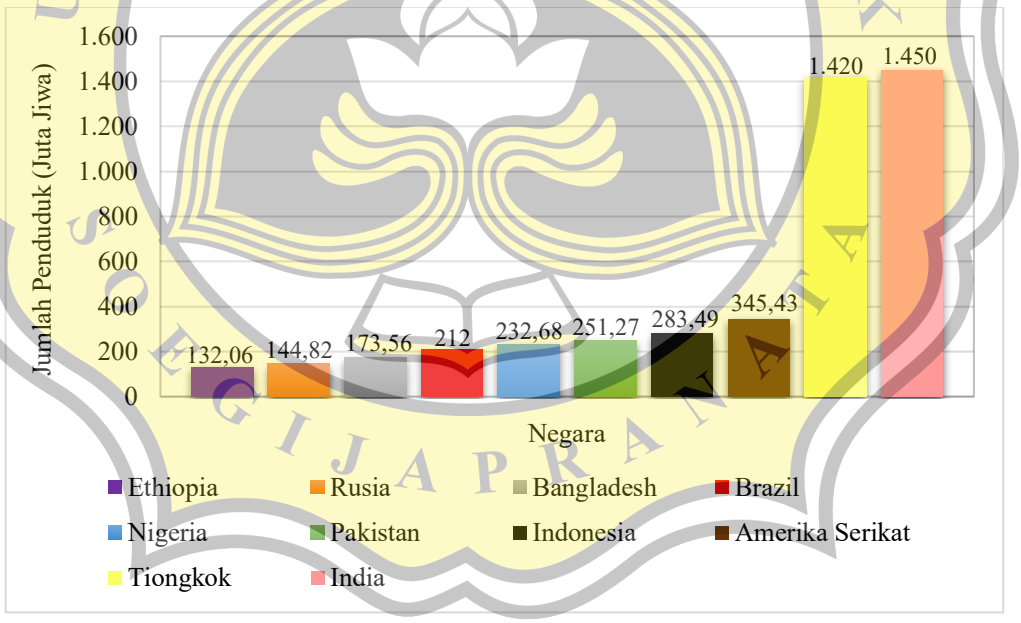
BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

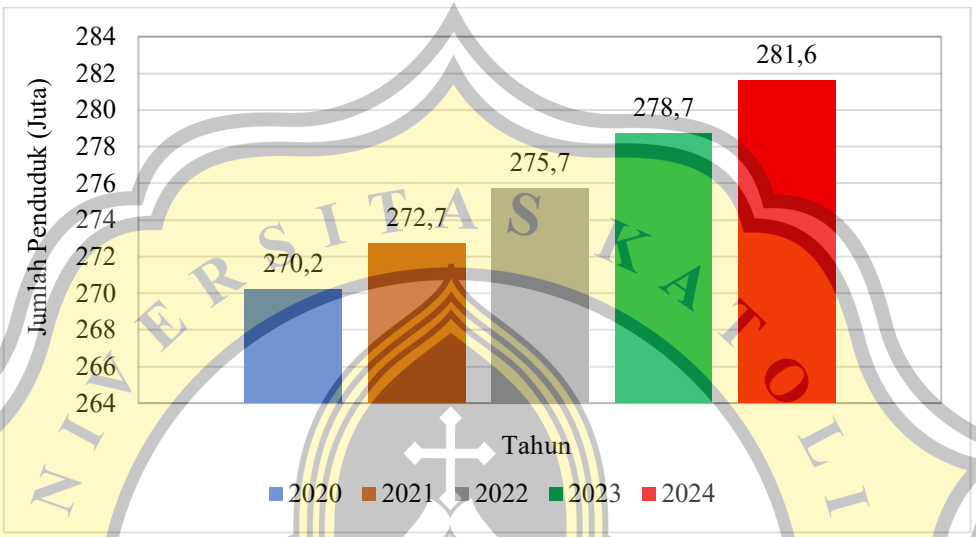
Negara dengan jumlah penduduk yang besar biasanya disebut sebagai negara yang memiliki kepadatan penduduk tinggi. Negara – negara ini sering menjadi pusat perhatian dalam diskusi kependudukan global. Beberapa contoh negara yang memiliki jumlah penduduk tinggi adalah India, Tiongkok, Amerika Serikat, dan Indonesia. India memiliki jumlah penduduk sebesar 1,45 miliar jiwa. Tiongkok memiliki jumlah penduduk sebesar 1,42 miliar jiwa. Amerika Serikat memiliki jumlah penduduk sebesar 345,43 juta jiwa. Indonesia memiliki jumlah penduduk sebesar 283,49 juta jiwa. Indonesia menjadi negara dengan pertumbuhan penduduk tertinggi ke-4 dari seluruh dunia (Databoks, 2025). Gambar 1.1 memperlihatkan daftar negara dengan jumlah penduduk terbanyak di dunia.



Gambar 1.1 Daftar Negara dengan Jumlah Penduduk Terbanyak di Dunia
(Sumber: Diolah kembali dari Databoks, 2025)

Berdasarkan survei sensus penduduk, jumlah penduduk Indonesia mengalami peningkatan seiring berjalannya waktu. Menurut Badan Pusat Statistik (2025), pada tahun 2020 Indonesia memiliki jumlah penduduk sebesar 270,2 juta jiwa penduduk.

Tahun 2021 Indonesia memiliki jumlah penduduk sebesar 272,7 juta jiwa penduduk. Peningkatan ini terjadi sampai tahun 2024 Indonesia memiliki jumlah penduduk sebesar 281,6 juta jiwa. Gambar 1.2 memperlihatkan data pertumbuhan penduduk Indonesia periode 2020 hingga 2024.

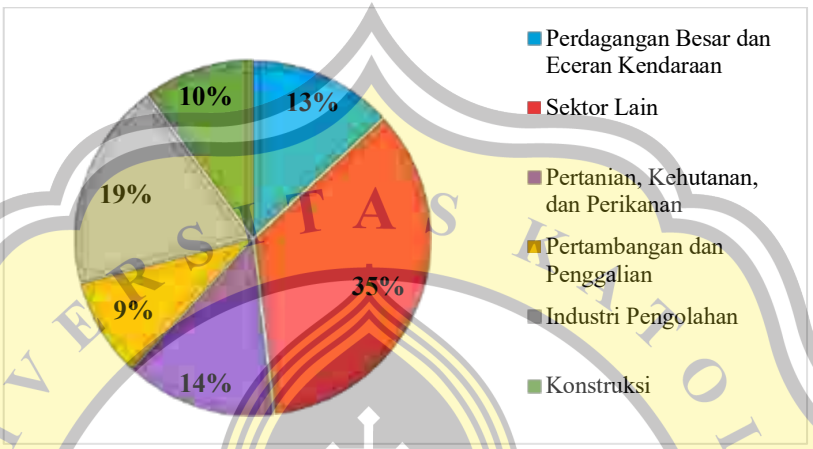


Gambar 1.2 Pertumbuhan Penduduk Indonesia Periode 2020-2024 (Sumber: Diolah kembali dari BPS, 2025)

Pertambahan jumlah penduduk memberi dampak terhadap perkembangan industri konstruksi. Pertambahan penduduk mendorong kebutuhan akan hunian, fasilitas publik, dan infrastruktur pendukung, sehingga meningkatkan permintaan industri konstruksi. Peningkatan populasi seringkali mengarah pada ekspansi wilayah pemukiman dan pembangunan fasilitas komersial serta industri, yang secara langsung meningkatkan volume dan skala industri konstruksi. Industri ini dianggap krusial karena proses pembangunan melibatkan pengolahan bahan baku maupun bahan setengah jadi secara bertahap hingga membentuk produk akhir berupa sebuah bangunan (Inggriani., dkk., 2023). Menurut Ullah (2019), industri konstruksi merupakan penyumbang penting bagi perkembangan sosial dan ekonomi suatu negara.

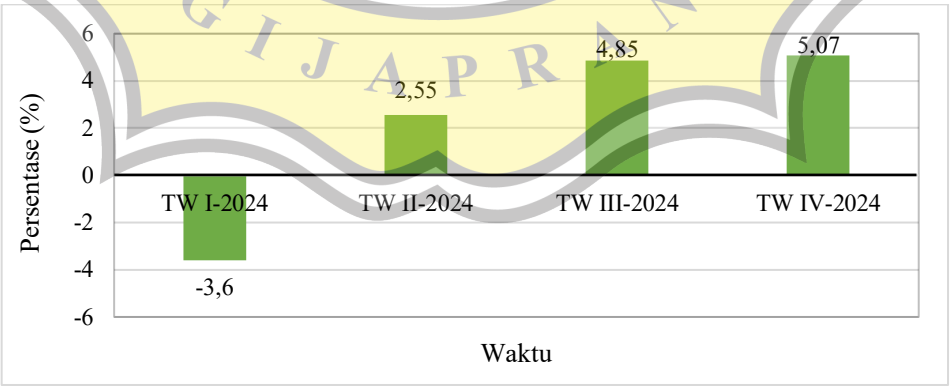
Menurut McKinsey and Company (2020), industri konstruksi berkontribusi sebesar 13% terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) di dunia. Menurut Badan Pusat Statistik (2024), industri konstruksi berpartisipasi dalam 10,06% terhadap Produk

Domestik Bruto (PDB) pada triwulan ketiga tahun 2024. Data ini diperoleh berdasarkan survei yang dilaksanakan oleh BPS pada perusahaan konstruksi setiap triwulan. Gambar 1.3 memperlihatkan grafik persentase PDB atas dasar harga berlaku menurut lapangan usaha pada triwulan ketiga tahun 2024.



Gambar 1.3 Persentase Produk Domestik Bruto Atas Dasar Harga Berlaku Menurut Lapangan Usaha, Triwulan III-2024 (Sumber: Diolah kembali dari BPS, 2024)

Berdasarkan Gambar 1.3, kontribusi industri konstruksi memiliki dampak yang cukup signifikan terhadap pembentukan besarnya PDB di Indonesia. Kontribusi industri konstruksi terhadap PDB ditentukan oleh laju pertumbuhan konstruksi. Adapun laju pertumbuhan konstruksi di Indonesia berdasarkan survei yang dilakukan oleh BPS. Gambar 1.4 memperlihatkan laju pertumbuhan konstruksi *quarter to quarter* sampai pada triwulan keempat tahun 2024.



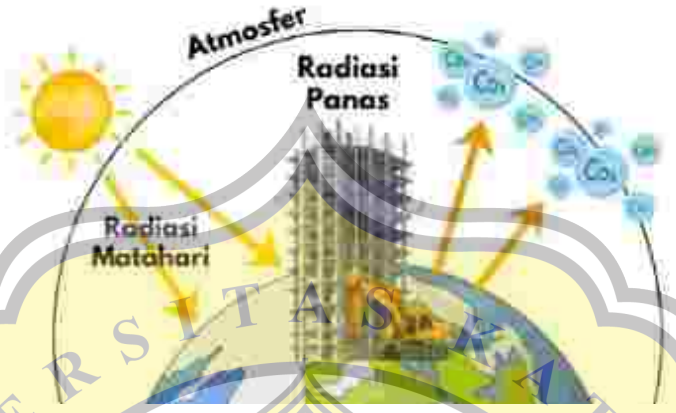
Gambar 1.4 Laju Pertumbuhan Konstruksi *Quarter to Quarter* (Sumber: Diolah kembali dari BPS, 2025)

Berdasarkan Gambar 1.4, pertumbuhan konstruksi mengalami penurunan tajam pada kuartal pertama tahun 2024 dengan angka mencapai -3,6%. Namun, pada pertengahan tahun 2024, usaha konstruksi mulai menunjukkan perbaikan dengan kenaikan hingga mencapai angka 2,55%. Selanjutnya, pada kuartal keempat tahun 2024, usaha konstruksi mengalami lonjakan pertumbuhan yang signifikan sebesar 5,07%. Hal ini menyebabkan laju pertumbuhan konstruksi mengalami puncaknya di kuartal keempat tahun 2024.

Meningkatnya laju pertumbuhan konstruksi membuat terciptanya *issue* terhadap lingkungan. Industri konstruksi secara signifikan berkontribusi terhadap pencemaran dan kerusakan lingkungan (Kaja dan Goyal, 2023). Salah satu contoh kerusakan lingkungan akibat kegiatan konstruksi adalah *waste* atau limbah konstruksi. Limbah konstruksi merupakan sisa – sisa bahan atau material yang muncul selama pelaksanaan konstruksi, yang tidak terpakai atau mengalami kerusakan. Dampak limbah dari kegiatan konstruksi terhadap lingkungan mencakup pencemaran tanah, air, dan penurunan kualitas estetika lingkungan sekitar (Fadika., dkk., 2014). Loizou., dkk., (2021) menyatakan bahwa industri konstruksi merupakan salah satu penyumbang utama limbah, melepaskan zat berbahaya ke lingkungan alami, dan memerlukan lahan yang luas untuk pengolahan, perawatan, dan pembuangan limbah.

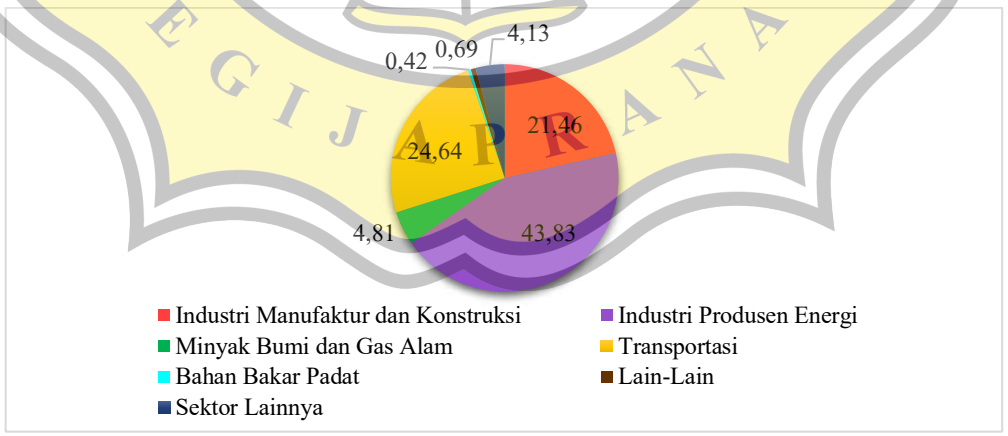
Contoh lain dari kegiatan konstruksi yang mengakibatkan pencemaran lingkungan adalah aktivitas penggunaan alat berat. Menurut Shekarian., dkk., (2024), penggunaan alat berat memberikan kontribusi terhadap pencemaran lingkungan seperti polusi dan penggunaan energi yang berlebih. Menurut *Global Alliance For Building and Construction* (2025), konsumsi energi pada industri konstruksi menyumbangkan sebesar 34% terhadap dunia. Menurut Huang., dkk., (2018), selain konsumsi energi, industri konstruksi juga menjadi penyumbang emisi karbon dioksida (CO_2). Emisi karbon dioksida (CO_2) yang terlepas ke atmosfer merupakan salah satu penyumbang utama terbentuknya gas rumah kaca, hal tersebut menyebabkan peningkatan efek rumah kaca yang dapat memicu pemanasan global, dan berdampak negatif terhadap keseimbangan ekosistem, serta keberlanjutan

lingkungan hidup. Visualisasi dari siklus gas rumah kaca diperlihatkan pada Gambar 1.5.



Gambar 1.5 Siklus Gas Rumah Kaca (Sumber: Diolah kembali dari https://gaw-bariri.bmkg.go.id//karya-tulis-dan-artikel/ /277-efek-rumah-kaca)

Berdasarkan Gambar 1.5, Gas Rumah Kaca (GRK) terbentuk secara alami ketika sinar matahari mencapai permukaan bumi, diserap oleh daratan dan lautan, lalu dipancarkan kembali sebagai radiasi. Contoh gas seperti CO_2 dari industri konstruksi menahan radiasi atmosfer sehingga menyebabkan peningkatan suhu global.. Industri konstruksi tergolong sebagai industri penyumbang emisi gas rumah kaca yang berdampak pada perubahan iklim (Hurlimann., dkk., 2019). Gambar 1.6 memperlihatkan kontribusi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) pada berbagai industri tahun 2020.



Gambar 1.6 Kontribusi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Pada Berbagai Industri Tahun 2020 (Sumber: Diolah kembali dari Pusat Data dan Teknologi Informasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020)

Berdasarkan Gambar 1.6, data emisi GRK yang diperoleh dari Pusat Data dan Teknologi Informasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral memperlihatkan bahwa industri manufaktur dan konstruksi menjadi penyumbang emisi GRK sebanyak 21,46%. Dampak dari emisi GRK adalah meningkatnya suhu rata – rata bumi yang menginisiasi pemanasan global. Lineman., dkk., (2015) menyatakan bahwa saat ini bumi sedang mengalami pemanasan global yang menjadi isu yang diwaspadai. Pemanasan global merupakan hal yang sangat nyata dan berdampak terhadap lapisan biosfer (Aizebeokhai, 2009).

Upaya yang dilakukan untuk meminimalisir pemanasan global adalah menerapkan konstruksi berkelanjutan. Menurut Gaetano., dkk., (2023), industri konstruksi memiliki tanggung jawab dalam mengadopsi praktik konstruksi berkelanjutan. Penerapan dari konstruksi berkelanjutan memiliki contoh seperti *Life Cycle Assessment* (LCA). *Life Cycle Assessment* (LCA) adalah suatu metode yang sistematis untuk mengevaluasi potensi dampak lingkungan serta pengaruhnya terhadap kesehatan manusia yang muncul dari suatu proses, produk, aktivitas, atau layanan (Pena, dkk., 2024). *Green material* juga merupakan penerapan konstruksi berkelanjutan. *Green material* adalah bahan yang ramah lingkungan karena membantu mengurangi dampak negatif terhadap alam (Patel dan Patel, 2021). Contoh lain dari penerapan konstruksi berkelanjutan adalah *green building*. *Green building* memiliki peranan penting dalam mewujudkan keberlanjutan pada industri konstruksi (Chatterjee, 2009). *Green building* dapat menekan emisi gas rumah kaca, menghemat pemakaian energi dan air, mengurangi polusi lingkungan, meningkatkan kualitas udara di dalam ruangan, dan mendukung konstruksi berkelanjutan secara efektif (Liu, dkk., 2024).

Agar penerapan *green building* lebih mudah dilaksanakan, ditetapkan sebuah sistem penilaian sebagai alat bantu. Sistem penilaian ini digunakan untuk mengukur tingkat keramahan lingkungan dari sebuah bangunan. Sistem ini disebut dengan *rating tools*. *Rating tools* telah dirancang untuk mengukur tingkat keberlanjutan pada *green building* (Sachin dan Jha, 2012). Menurut Doan, dkk., (2017); Berawi, dkk., (2019); dan Nguyen dkk., (2024) berbagai negara telah menciptakan *rating*

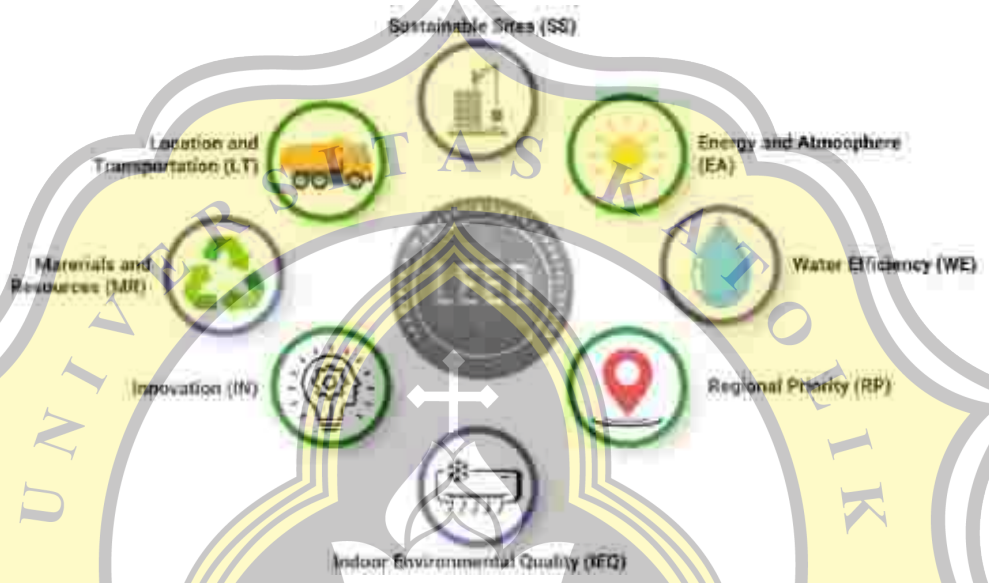
tools yang disesuaikan dengan karakteristik lingkungan dan kebutuhan lokal tiap wilayah antara lain:

1. *Haute Qualite Environnementale* (HQE) pada negara Prancis
2. *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) pada negara Inggris
3. *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) pada negara Amerika Serikat
4. *Estidama Pearl* pada negara Abu Dhabi
5. *Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen* (DGNB) pada negara Jerman,
6. *Green Star* pada negara Australia
7. *Green Globes* pada negara Amerika Utara
8. *National Australian Built Environment Rating System* (NABERS) pada negara Australia
9. *Green Mark* pada negara Singapura
10. *Green Building Index* (GBI) pada negara Malaysia
11. *Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency* (CASBEE) pada negara Jepang
12. *Greenship* pada negara Indonesia

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) merupakan *rating tool* yang berskala global dan praktiknya memiliki kemiripan dengan *Greenship.* Menurut Luangcharoenrat dan Intrachooto (2019), *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) merupakan standar *rating tool* yang menjadi acuan paling banyak ditelaah dalam berbagai kajian dibanding standar lainnya. EDGE juga menjadi *rating tool* dengan cakupan wilayah global yang fokusnya pada negara berkembang dan sering diterapkan di negara Indonesia. *Greenship* menjadi *rating tool* yang paling umum digunakan di negara Indonesia.

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) didirikan oleh *United States Green Building Council* (USGBC) pada tahun 2000 yang merupakan instansi *non – profit* dengan prioritas utamanya adalah meningkatkan kelestarian lingkungan dan konstruksi berkelanjutan. *Leadership in Energy and Environmental Design*

(LEED) menetapkan kategori sertifikasi untuk bangunan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan di konstruksi (Kang, 2020). Bangunan yang memenuhi kategori sertifikasi akan memperoleh poin yang digunakan untuk pemeringkatan. Peringkat dalam LEED terdiri dari *Certified*, *Silver*, *Gold*, dan *Platinum*. Kategori sertifikasi LEED diperlihatkan pada Gambar 1.7.



Gambar 1.7 Kategori Sertifikasi LEED (Sumber: Diolah kembali dari *United States Green Building Council*, 2017)

Berdasarkan sertifikasi LEED, adapun beberapa kategori dalam sertifikasi ini, yakni *Location and Transportation* (LT), *Sustainable Sites* (SS), *Water Efficiency* (WE), *Energy and Atmosphere* (EA), *Materials and Resources* (MR), *Indoor and Environmental Quality* (IEQ), *Innovation* (IN), dan *Regional Priority* (RP). Salah satu kategori penilaian yang berdampak bagi konstruksi berkelanjutan adalah *Materials and Resources* (MR) yang memiliki enam kriteria. Kriteria tersebut merupakan *storage and collection of recyclables*, *building life cycle impact reduction*, *enviromental product declarations*, *sourcing of raw materials*, *material ingredients*, dan *construction and demolition waste management*. Menurut Taygun (2019), sertifikasi kategori *Materials and Resources* dalam sertifikasi LEED diaplikasikan untuk lebih meningkatkan *reduce*, *reuse*, dan *recycle* pada material konstruksi sehingga mendukung efisiensi sumber daya dan keberlanjutan proyek secara keseluruhan.

Berdasarkan beberapa *rating tool* yang ada di setiap negara, Indonesia memiliki *rating tool* bernama *Greenship*. *Greenship* diciptakan oleh organisasi *non-profit* yakni *Green Building Council Indonesia* (GBCI) pada tahun 2009 dengan tujuan mengajak pelaku industri agar menerapkan praktik yang lebih bertanggung jawab dan berkelanjutan dalam konstruksi. Peringkat untuk *Greenship* terdiri dari *Bronze*, *Silver*, *Gold*, dan *Platinum*. Menurut *Green Building Council Indonesia* (2013), penilaian *Greenship* pada bangunan disarankan memiliki peringkat paling rendah *Bronze* agar dapat dikategorikan sebagai *green building*. Gambar 1.8 memperlihatkan kategori sertifikasi *Greenship*.

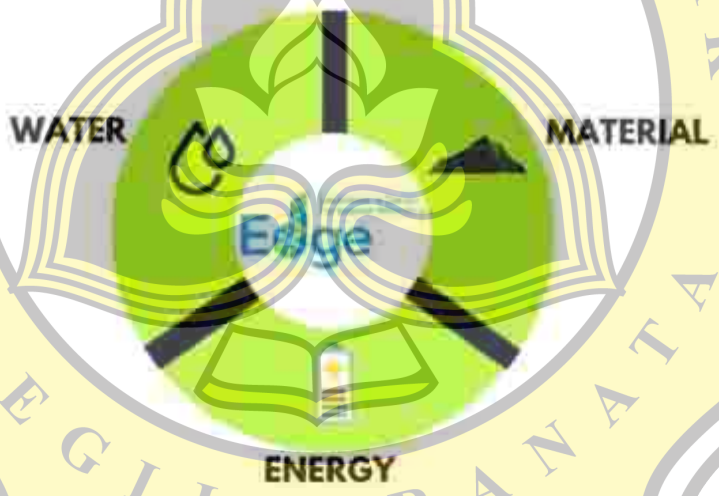


Gambar 1.8 Kategori Sertifikasi *Greenship* (Sumber: Diolah kembali dari GBCI, 2013)

Berdasarkan Gambar 1.8, adapun beberapa kategori yang dimiliki oleh *Greenship* adalah *Appropriate Site Development* (ASD), *Energy Efficiency and Conservation* (EEC), *Water Conservation* (WAC), *Material Resources and Cycle* (MRC), *Indoor Health and Comfort* (IHC), *and Building Environment Management* (BEM). Salah satu kategori sertifikasi adalah *Material Resources and Cycle* (MRC), yang memiliki tujuh kriteria seperti refrigeran fundamental, penggunaan gedung dan material bekas, material ramah lingkungan, penggunaan refrigeran tanpa ODP, kayu bersertifikat, material prafabrikasi, dan material regional.

Contoh *rating tool* lain yang diterapkan dalam skala global adalah *Excellence in Design for Greater Efficiencies* (EDGE). EDGE didirikan oleh *International*

Finance Corporation (IFC) yang merupakan anggota dari *World Bank Group* (WBG) pada tahun 2015. *Excellence in Design for Greater Efficiencies* (EDGE) memiliki tujuan dalam mempercepat perubahan konstruksi menuju konsep yang lebih ramah lingkungan dan efisien dalam penggunaan material, energi, dan air. Isimbi dan Park (2022) menyatakan bahwa EDGE dapat membantu dalam perhitungan biaya, menghemat waktu dengan proses yang lebih sederhana, mendukung desain yang ramah lingkungan, dan menitikberatkan pada efisiensi sumber daya seperti energi, air, dan material. Menurut Marzouk (2023), *Excellence in Design for Greater Efficiencies* (EDGE) terealisasi secara *online* dan dapat diakses tanpa biaya. EDGE juga memiliki kategori sertifikasi dalam penilaiannya. Poin yang diperoleh dari penilaian tersebut dapat dilakukan pemeringkatan. Peringkat dalam EDGE terdiri dari *Zero Carbon*, *Advanced*, dan *Certified*. Gambar 1.9 memperlihatkan kategori sertifikasi EDGE.

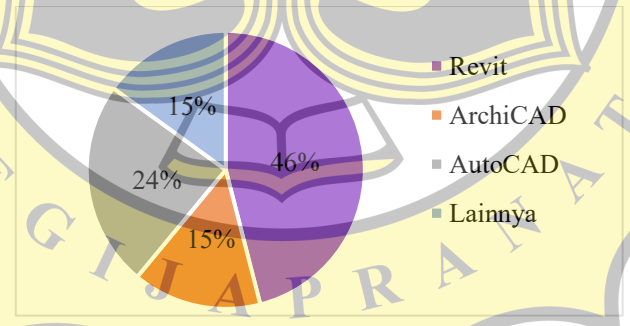


Gambar 1.9 Kategori Sertifikasi EDGE (Sumber: Diolah kembali dari *International Finance Corporation*, 2015)

EDGE terdiri dari beberapa kategori seperti *water*, *material*, dan *energy*. Kategori material dalam EDGE memiliki 11 kriteria, yakni *bottom floor construction*, *intermediate floor construction*, *floor finish*, *roof construction*, *exterior walls*, *interior walls*, *window frames*, *window glazing*, *roof insulation*, *wall insulation*, dan *floor insulation*. Menurut Rahmasari., dkk., (2024), EDGE melakukan perhitungan material menggunakan konsep *embodied energy*, yang

mencakup energi yang dibutuhkan untuk memperoleh bahan mentah dari alam dan energi yang digunakan dalam proses manufaktur produk. Berdasarkan ketiga *rating tools* yang telah dijelaskan, masing – masing *rating tool* memiliki sebuah kemiripan dari kategori sertifikasinya. Kemiripan kategori sertifikasinya merupakan kategori material. Tujuan utama peninjauan lebih lanjut terhadap kategori material karena saat ini kondisi lingkungan sedang menghadapi tantangan seperti limbah konstruksi dan emisi GRK yang apabila jumlahnya dibiarkan meningkat maka akan menimbulkan kerusakan yang lebih besar pada lingkungan.

Pada pelaksanaannya, untuk memperoleh sertifikasi *green building*, seringkali dibutuhkan alat bantu agar mempermudah kinerja dan meningkatkan keakuratan proses pengerjaannya. Seiring dengan berjalannya waktu, inovasi industri konstruksi mengalami integrasi *software* (Famdale dan Widyadana, 2023). *Software* yang pemodelannya dua dimensi dikembangkan pemodelannya ke dimensi – dimensi berikutnya dalam wujud *Building Information Modeling* (BIM). Menurut NBS National (2019), beberapa *platform* untuk pemodelan 3D sebagai penerapan BIM adalah Autodesk Revit, AutoCAD, Graphisoft ArchiCAD. Gambar 1.10 memperlihatkan persentase penggunaan teknologi BIM.



Gambar 1.10 Persentase Penggunaan Teknologi BIM (Sumber: Diolah kembali dari NBS National, 2019)

Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.10, Revit yang merupakan salah satu *software* BIM yang menjadi pilihan utama. Revit yang merupakan pengembangan BIM dapat mengurangi durasi perencanaan sebuah desain (Ferrandiz, dkk., 2017). Selain digunakannya pemodelan 3D, dibutuhkan kalkulasi volume untuk material sebagai pemodelan 5D. *Software* yang dapat digunakan untuk memodelkan dan

menghasilkan perhitungan volume konstruksi secara lebih akurat dan terstruktur adalah Cubicost *Take Off for Architecture and Structure* (TAS). Cubicost TAS merupakan salah satu *software* yang tergolong dalam sistem BIM (Umam., dkk., 2022). Cubicost TAS memiliki tujuan utama untuk melakukan *quantity take off* terhadap pekerjaan arsitektur (Ihza., dkk., 2023).

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, penelitian ini dilakukan sebagai evaluasi perbandingan *rating tools* untuk sertifikasi *green building* pada tahap *final assessment*. Pada pelaksanaan konstruksi Gedung X, *rating tool* yang digunakan untuk sertifikasi *green building* adalah *Greenship* pada tahap *design recognition*. *Rating tools* yang digunakan pada penelitian ini adalah LEED versi 4.1 pada fase *Building Design and Construction* (BD+C), *Greenship* versi 1.2 pada tahap *Final Assessment* (FA), dan EDGE versi 3.1 pada tahap *New Building*. Berdasarkan beberapa kategori yang ada, tinjauan utama adalah kategori material. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan perbedaan dari masing – masing *rating tools* terhadap kategori material dalam sertifikasi *green building*.

Penerapan BIM pada konstruksi Gedung X ini hanya sampai BIM 3D berupa pemodelan bangunan. Pada penelitian ini akan ditinjau lebih lanjut pada pengaplikasian BIM 5D untuk perolehan volume material bangunan. Peninjauan lebih lanjut mengenai kontribusi dan dampak penerapan BIM 5D pada konstruksi Gedung X. *Software* yang digunakan dalam pemodelan BIM 5D adalah *Cubicost Take Off for Architecture and Structure* (TAS).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbedaan kriteria antar *rating tools* pada kategori material sebagai instrumen sertifikasi bangunan hijau?
2. Bagaimana kontribusi penerapan BIM 3D dan 5D terhadap volume pada kategori material untuk masing – masing *rating tools* pada sertifikasi bangunan hijau?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, tujuan penelitian pada ini adalah sebagai berikut:

1. Teranalisis dan terevaluasi perbedaan *rating tools* LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1 pada kategori material sebagai instrumen sertifikasi bangunan hijau.
2. Teranalisis hasil kontribusi penerapan BIM 3D dan 5D terhadap volume pada kategori material untuk masing – masing *rating tools* pada sertifikasi bangunan hijau.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem penilaian bangunan hijau menggunakan LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1.
2. Kategori yang menjadi dasar penilaian di penelitian ini adalah kategori material tiap *rating tools*.
3. Proyek X yang menjadi objek penelitian ini adalah proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata yang berlokasi di Bukit Semarang Baru (BSB) *City* Semarang.
4. Proyek *green building* yang menggunakan LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1 memiliki luas bangunan minimal 2.500 m².
5. Penilaian kategori material dengan LEED versi 4.1 dilaksanakan pada tahap *Building Design and Construction* (BD+C), *Greenship* versi 1.2 dilaksanakan pada tahap *Final Assessment* (FA), dan EDGE versi 3.1 dilaksanakan pada tahap *New Building*.
6. *Software* yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:
   a. *Software* Autodesk Revit : Visualisasi bangunan (BIM 3D)
   b. *Software* Cubicost TAS : Analisis volume (BIM 5D)
7. Analisis biaya dalam proyek mengacu pada Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) berdasarkan nilai *Bill of Quantity*.

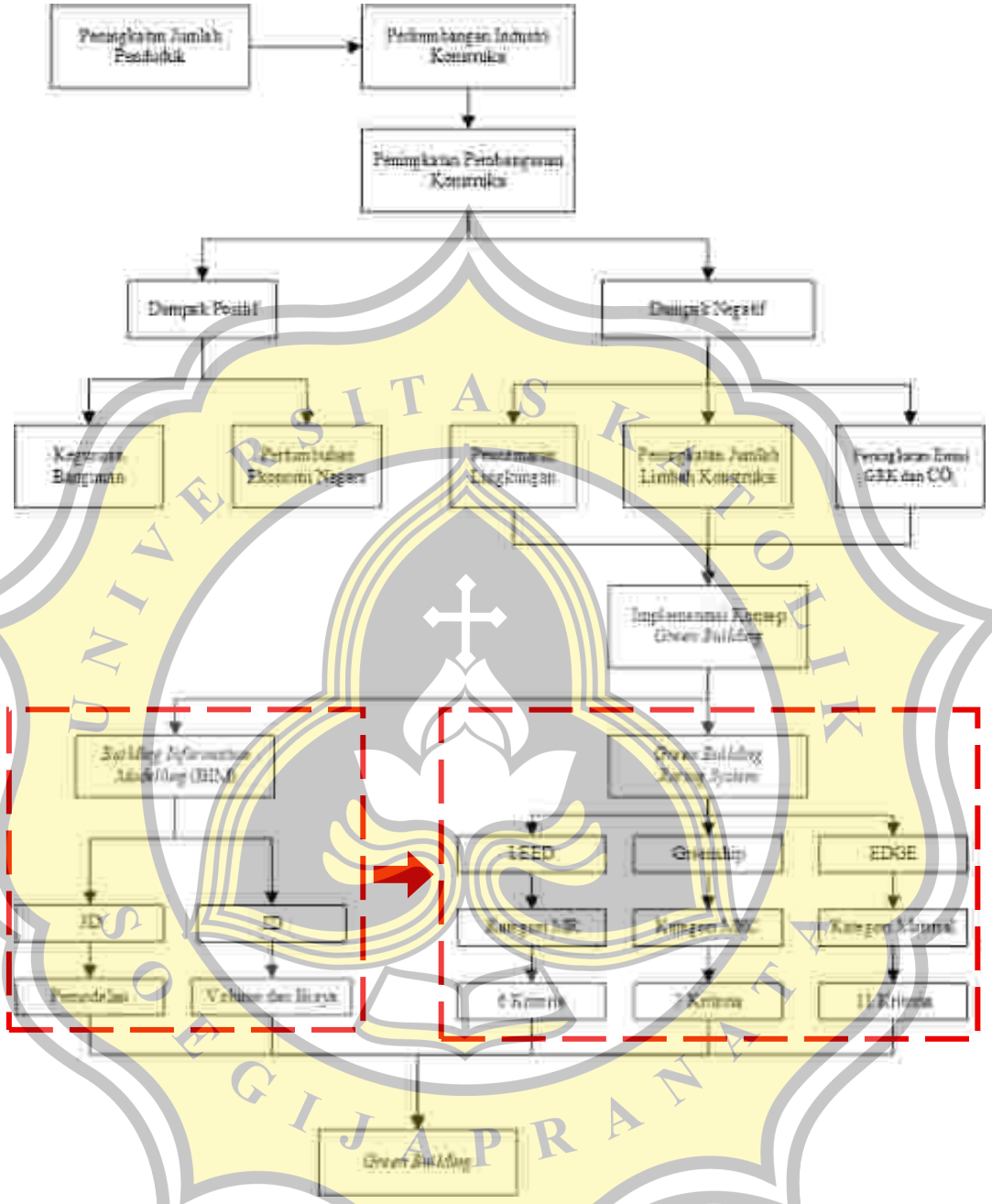
1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru mengenai manfaat penerapan *green building* di Indonesia.
2. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang jenis material konstruksi berdasarkan standar LEED Versi 4.1, *Greenship* Versi 1.2, dan EDGE Versi 3.1.
3. Penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dan referensi dari sisi material dalam menentukan pilihan sistem sertifikasi antara LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1.
4. Penelitian ini dapat memperluas wawasan mengenai implementasi *Building Information Modeling* (BIM) dalam proses penilaian akhir bangunan hijau.

1.6 Kerangka Pikir Penelitian

Penelitian ini didasari oleh pertumbuhan penduduk yang meningkat dari tahun ke tahun. Kondisi tersebut memicu pesatnya perkembangan industri konstruksi di Indonesia. Perkembangan ini membawa dua sisi yakni dampak positif dan dampak negatif. Dampak positifnya antara lain fungsi bangunan dan berkontribusi pada pertumbuhan ekonomi negara. Dampak negatif dari perkembangan industri konstruksi adalah kerusakan lingkungan, seperti meningkatnya emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dan karbon dioksida (CO_2), pencemaran lingkungan akibat eksploitasi sumber daya alam, serta bertambahnya limbah konstruksi. Kehadiran konsep *green building* diharapkan dapat menekan dampak negatif tersebut dengan menerapkan prinsip konstruksi berkelanjutan. Konstruksi berkelanjutan dapat memaksimalkan efisiensi sumber daya. Terdapat berbagai sistem penilaian *green building*, di antaranya LEED yang berlaku secara global, *Greenship* dan EDGE yang banyak digunakan di Indonesia. Setiap sistem memiliki beberapa kategori penilaian, namun penelitian ini difokuskan pada kategori material. Kerangka berpikir yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan pada latar belakang seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.11.



Gambar 1.11 Kerangka Pikir Penelitian

Berdasarkan Gambar 1.11, daerah yang ditandai dengan warna merah memperlihatkan kontribusi dari *Building Information Modeling* (BIM) terhadap sistem penilaian bangunan hijau. Peran utama BIM meliputi pemodelan 3D dan 5D yang dapat mempermudah gabungan BIM dan *green building rating system* ini menjadi dasar penting untuk penerapan *green building*.

1.7 Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan penelitian ini dijelaskan dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

Bab 1 Pendahuluan

Pendahuluan tugas akhir mencakup latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, manfaat penelitian, kerangka berpikir, serta sistematika penulisan.

Bab 2 Tinjauan Pustaka

Pada tinjauan pustaka yang relevan dengan penelitian ini, fokus permasalahan yang diteliti adalah evaluasi penilaian *rating tools* bangunan hijau antara LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1 dengan pendekatan berbasis BIM 3D dan 5D.

Bab 3 Metode Penelitian

Metode penelitian memaparkan secara rinci tahapan proses penelitian dan *output* yang dihasilkan. Metode penelitian yang diterapkan dalam penelitian ini dijelaskan pada Bab 3.

Bab 4 Data Penelitian dan Pengolahan Data

Data penelitian menyajikan dokumen yang kemudian diolah dan dianalisis sebagai bagian dari tahapan penelitian.

Bab 5 Analisis Data dan Pembahasan

Pada analisis data dan pembahasan, hasil analisis tersebut akan dijelaskan sebagai landasan penyusunan pembahasan yang relevan.

Bab 6 Penutup

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan menyajikan saran untuk penelitian berikutnya.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Green Building*

Pertambahan jumlah penduduk di Indonesia memberikan dampak terhadap peningkatan aktivitas dan pertumbuhan industri konstruksi. Peningkatan ini terjadi pada tahun 2024 Indonesia memiliki jumlah penduduk sebesar 281,6 juta jiwa (BPS, 2025). Pertambahan jumlah penduduk Indonesia, terutama di kawasan perkotaan, mendorong meningkatnya kebutuhan akan sarana dan prasarana dasar seperti perumahan, transportasi, layanan kesehatan, pendidikan, dan berbagai infrastruktur publik (Arsandi., dkk., 2017). Hal ini menyebabkan permintaan kebutuhan terhadap proyek konstruksi di sektor properti dan infrastruktur semakin tinggi.

Proses konstruksi terdiri dari beberapa tahap seperti perolehan material, pelaksanaan, dan pembongkaran. Perolehan *raw material* dalam industri konstruksi memberikan dampak negatif untuk lingkungan (Barbhuiya dan Das, 2023). Limbah konstruksi atau *waste* yang dihasilkan selama pelaksanaan konstruksi dan pembongkaran menjadi isu utama bagi lingkungan, seperti keluarnya zat berbahaya yang dapat meresap ke dalam tanah dan sistem perairan (Patil., dkk., 2024). Oleh karena itu, konstruksi keberlanjutan kini menjadi fokus utama dalam desain dan konstruksi, seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi, penggunaan berlebihan sumber daya yang tidak dapat diperbarui, dan dampak merugikan pada lingkungan akibat konstruksi. Salah satu contoh penerapan konsep bangunan hijau adalah 3R atau *reduce*, *reuse*, dan *recycle* yang dapat menurunkan penggunaan sumber daya dan energi serta mengurangi emisi karbon (Schützenhofer., dkk., 2022). Upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut, konsep bangunan hijau kemudian dikembangkan sebagai salah satu solusi alternatif yang berkelanjutan (Komurlu., dkk., 2024). Bangunan hijau merupakan penerapan konsep pembangunan yang berfokus pada penciptaan struktur yang berkelanjutan, efisien dalam penggunaan sumber daya, dan ramah lingkungan sepanjang seluruh siklus hidupnya (*United States Enviromental Protection Agency*, 2024).

Keuntungan dari penerapan konsep *green building* diperlihatkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Keuntungan Penerapan *Green Building* (Sumber: Diolah kembali dari Liu., dkk., 2022)

Berdasarkan Gambar 2.1, Liu., dkk., (2022) menyatakan bahwa *green building* memberikan beberapa keuntungan dalam aspek lingkungan, ekonomi, sosial, kesehatan dan keamanan. Salah satu aspek dari keuntungan penerapan *green building* adalah lingkungan untuk menghadapi ketidakpastian perubahan iklim. Perubahan iklim ini disebabkan oleh peningkatan konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca. Keterkaitan siklus hidup konstruksi dengan penggunaan energi dan emisi gas rumah kaca menunjukkan bahwa industri konstruksi sangat boros sumber daya. *Green building* dalam hal efisiensi energi dan air serta penurunan gas rumah kaca, berpotensi menghemat energi hingga sekitar 40% (Zuo dan Zhao, 2014).

Green building tidak hanya mengatasi masalah lingkungan, tetapi juga kendala ekonomi yang menghambat pembangunan berkelanjutan. Meskipun penerapan *green building* membutuhkan biaya inisiasi yang tinggi, namun dampak jangka panjang untuk biaya operasional lebih hemat dibandingkan bangunan yang tidak menerapkan *green building* (Doan dan Qin, 2023). *Green building* memberi kontribusi terhadap aspek sosial seperti perusahaan konstruksi dapat meningkatkan reputasi perusahaan dan menarik calon investor dengan lebih mudah, dan nilai aset meningkat (Liu., dkk., 2022). Aspek kesehatan dan keamanan terkait dengan peningkatan *Indoor Environmental Quality* (IEQ) yang berdampak baik terhadap kesehatan dan kepuasan penghuni. Menurut Newsham., dkk., (2013), *indoor environment* yang tinggi membuat penghuni memiliki kualitas tidur yang lebih baik.

2.2 *Green Building Rating System* (GBRS)

Berdasarkan pernyataan Hedaoo dan Khese (2016) *Green Building Rating System* (GBRS) adalah alat yang digunakan untuk menilai kinerja atau potensi kinerja suatu bangunan, lalu mengubah hasil penilaian tersebut menjadi skor atau peringkat yang bisa dibandingkan dengan bangunan lainnya. Agar sistem ini benar-benar bermanfaat dalam mendukung desain dan pengoperasian bangunan berkelanjutan, sistem tersebut perlu memiliki dasar penilaian yang jelas, konsisten, serta menilai aspek teknis yang penting dari desain ramah lingkungan tanpa membuat prosesnya menjadi semakin rumit. Setiap sistem pemeringkatan bangunan hijau menyediakan panduan atau *guide book* mengenai perancangan dan pembangunan yang ramah terhadap lingkungan. Sebagian besar sistem menawarkan sertifikasi yang memerlukan biaya, sedangkan sistem lainnya bersifat sukarela yang memungkinkan pelaku proyek menunjukkan komitmennya terhadap prinsip-prinsip keberlanjutan lingkungan.

Green Building Rating System (GBRS) bertujuan memberikan panduan dan evaluasi pada suatu proyek selama seluruh siklus hidupnya dari tahap awal perencanaan hingga tahap akhir. *Green Building Rating System* (GBRS) dirancang untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, sekaligus menjaga kesehatan dan kesejahteraan penghuni bangunan, dan mengurangi biaya operasional (Marchi., dkk., 2021). Setiap negara memiliki GBRS yang dirancang khusus sesuai dengan kondisi lingkungan, budaya, dan kebutuhan lokal negara tersebut. Tabel 2.1 memperlihatkan *rating tools green building* yang diterapkan pada beberapa negara.

Tabel 2.1 *Rating Tools Green Building* Untuk Beberapa Negara

Rating Tools	**Negara**	**Logo**	**Jumlah Gedung yang Tersertifikasi (Unit)**
Haute Qualite Environnementale (HQE)	Prancis		692.000

Tabel 2.1 *Rating Tools Green Building* Untuk Beberapa Negara (Lanjutan)

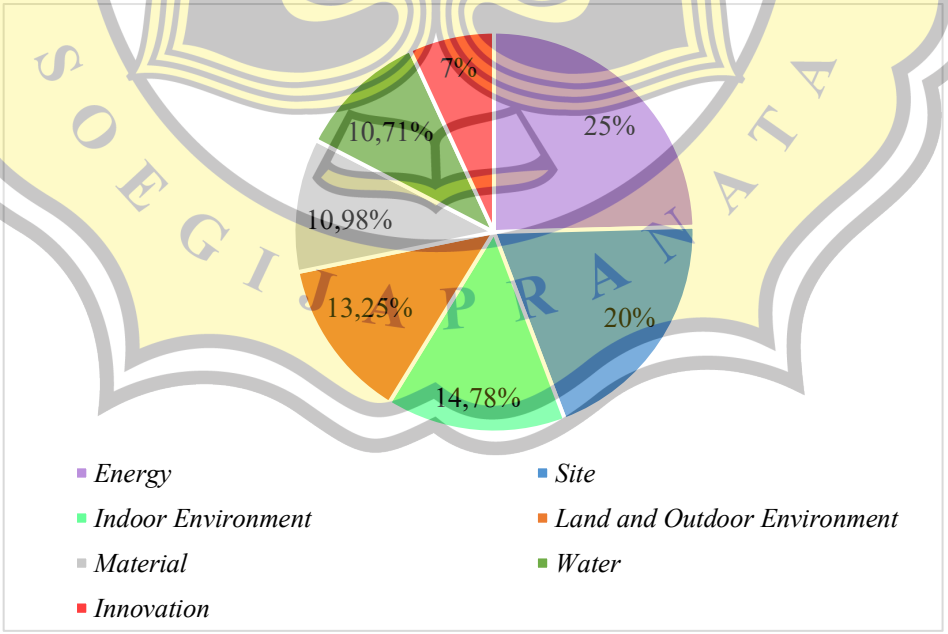
Rating Tools	**Negara**	**Logo**	**Jumlah Gedung yang Tersertifikasi (Unit)**
Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)	Inggris		610.000
Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)	Amerika Serikat		197.000
Estidama Pearl	Abu Dhabi		20.000
Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB)	Jerman		10.000
Green Globes	Amerika Utara		3.500
National Australian Built Environment Rating System (NABERS)	Australia		2.600
Green Mark	Singapura		2.590
Green Building Index (GBI)	Malaysia		753

Tabel 2.1 *Rating Tools Green Building* Untuk Beberapa Negara (Lanjutan)

Rating Tools	**Negara**	**Logo**	**Jumlah Gedung yang Tersertifikasi (Unit)**
Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (CASBEE)	Jepang		450
Greenship	Indonesia		140

(Sumber: Doan, dkk., 2017; Berawi, dkk., 2019; Nguyen dkk., 2024)

Berdasarkan Tabel 2.1, setiap negara memiliki *rating tool*-nya masing – masing sebagai langkah untuk mengupayakan *green building* pada industri konstruksinya. Setiap negara pada dasarnya mengembangkan sistem penilaian bangunan hijau sendiri sebagai instrumen pendukung tercapainya konstruksi yang berkelanjutan. Gambar 2.2 memperlihatkan tujuh kategori pokok yang menjadi elemen inti dari berbagai GBRS.



Gambar 2.2 Tujuh Kategori Utama GBRS (Sumber: Diolah kembali dari Shan dan Hwang, 2018)

Kategori energi berhubungan dengan penghematan konsumsi energi dan penurunan gas rumah kaca. *Indoor Environment* berkaitan dengan kualitas udara, suhu, dan kenyamanan penghuni. Pemilihan material rendah karbon merupakan aspek dalam konstruksi berkelanjutan, material tersebut memenuhi kriteria utama seperti potensi daur ulang tinggi, sumber daya alami, dan bebas bahan kimia yang merusak kesehatan manusia dan lingkungan. *Innovation* berhubungan dengan keterlibatan teknologi seperti BIM, *Site* berhubungan dengan lokasi strategis seperti akses menuju transportasi umum, pengelolaan air hujan, dan perlindungan ekosistem.

Land and Outdoor Environment berhubungan dengan pengelolaan lahan yang efektif dan efisien, tanpa merusak ekosistem lain. *Water* berhubungan dengan manajemen dan konservasi sumber daya air. Berdasarkan tujuh kategori utama tersebut, *rating tool* yang kategorinya cocok untuk diaplikasikan di negara Indonesia merupakan LEED, hal ini dikarenakan LEED telah diakui sebagai *rating tool* skala global dan 7 kategorinya memiliki kesamaan dengan *Greenship.* Selain LEED, EDGE juga menjadi *rating tool* yang ditujukan ke negara berkembang dan sertifikasinya sudah beberapa kali diaplikasikan di Indonesia. *Greenship* yang didirikan oleh *Green Building Council* Indonesia, merupakan *rating tool* yang umum digunakan di Negara Indonesia. Tabel 2.2 memperlihatkan tipologi *rating tools* dengan tiap kategorinya.

Tabel 2.2 Kategori Pada Setiap *Rating Tools*

No.	LEED	*Greenship*	EDGE
1	*Location and Transportation* (LT)	*Appropriate Site Development* (ASD)	-
2	*Sustainable Sites* (SS)		
3	*Water Efficiency* (WE)	*Water Conservation* (WAC)	*Water*
4	*Energy and Atmosphere* (EA)	*Energy Efficiency and Conservation* (EEC)	*Energy*
5	*Materials and Resources* (MR)	*Material and Resources Cycle* (MRC)	Material
6	*Indoor Environment Quality* (IEQ)	*Indoor Health and Comfort* (IHC)	-
7	*Innovation* (IN)	*Building Environment Management* (BEM)	
8	*Regional Priority* (RP)	-	

2.3 *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED)

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) merupakan sebuah program sertifikasi bangunan hijau yang dikembangkan oleh U.S. *Green Building Council* pada tahun 1998 sebagai standar internasional untuk menilai kelayakan bangunan dari sisi keberlanjutan (Amiri., dkk., 2019). *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) memiliki beberapa fase seperti *Building Design and Construction* (BD+C), *Interior Design and Construction* (ID+C), *Operations and Maintenance*, *Residential*, dan, *Cities and Communities*. Fase yang ditinjau dalam penelitian ini merupakan *Building Design and Construction* (BD+C). Fase BD+C ini meliputi penilaian bangunan baru maupun renovasi besar dengan tujuan memastikan efektivitas biaya jangka pendek dan panjang. Sistem ini berlaku untuk berbagai jenis bangunan seperti rumah sakit, kantor, pusat data, gedung manufaktur, apartemen, dan hotel. Klasifikasi sertifikasi *Building Design and Construction* (BD+C) terdiri dari beberapa tingkatan, yakni *Certified* dengan rentangan nilai sebesar 40 – 49 poin, *Silver* dengan rentangan nilai sebesar 50 – 59 poin, *Gold* dengan rentangan nilai sebesar 60 – 79 poin, dan *Platinum* dengan nilai minimal 80 poin. Skor maksimal adalah 110 poin.

Supaya kategori penilaian dapat tersertifikasi, berikut merupakan langkah – langkah yang diperlukan dalam perolehan sertifikasi LEED:

1. Tahap pertama adalah melakukan registrasi proyek. Registrasi proyek dilakukan dengan memilih *Building Design and Construction* LEED secara *online*, mengisi data proyek, dan menetapkan kredit yang ingin dicapai.
2. Tahap selanjutnya adalah pengumpulan dokumen. Pengumpulan dokumen dilakukan dengan menyiapkan paket dokumentasi untuk prakualifikasi dan kredit yang dipilih, mencakup perhitungan teknis, data lokasi, desain, data operasional, dan bukti verifikasi seperti pengujian, inspeksi, dan klaim kinerja.
3. Tahap selanjutnya merupakan pengajuan tinjauan dilakukan dengan mengunggah dokumentasi ke situs resmi LEED *online*. U.S. *Green Building Council* akan melakukan tinjauan sesuai panduan *Certification Guide* untuk proyek.

4. Setelah pengajuan tinjauan dilakukan, maka akan diberikan perolehan skor dan sertifikasi dengan skor maksimal sebesar 110 poin.
5. Tahap terakhir merupakan validasi dan publikasi yang dilakukan setelah sertifikasi, yaitu diumumkan sebagai proyek terkategori oleh LEED dan dilengkapi pemantauan berkelanjutan seperti *operational* dan *maintenance*.

2.3.1 *Location and Transportation* (LT)

United States Green Building Council (2025) menyatakan bahwa *Location and Transportation* atau lokasi dan transportasi bertujuan untuk memperluas akses terhadap transportasi umum, pejalan kaki, dan pesepeda. Hal ini dapat mendorong pilihan mobilitas berkelanjutan yang memberi dampak positif pada kesehatan penghuni dan kualitas lingkungan sekitar.

Adapun 8 kriteria dalam aspek *Location and Transportation*, yakni sebagai berikut:

1. *Neighborhood Development Location* merupakan kriteria yang memiliki tujuan menghindari pengembangan di situs yang tidak pantas, mengurangi jarak tempuh kendaraan, meningkatkan kualitas hidup dan kesehatan manusia dengan mendorong aktivitas fisik sehari-hari.
2. *Sensitive Land Protection* memiliki manfaat yakni menghindari pembangunan di lahan hijau dan menyediakan layanan ekosistem penting serta mengurangi dampak lingkungan dari lokasi suatu bangunan pada suatu situs.
3. *High-Priority Site and Equitable Development* bertujuan mendorong lokasi proyek di area yang memiliki pembatasan pembangunan, sambil mendukung kesehatan ekologi, budaya, dan komunitas sekitar, serta memahami kebutuhan, tujuan penduduk, dan pelaku usaha yang ada.
4. *Surrounding Density and Diverse Uses* bermanfaat dalam menjaga ketersediaan lahan dan melindungi lahan pertanian serta habitat satwa liar. Dukungan terhadap ekonomi lingkungan sekitar dan komunitas lokal dapat ditingkatkan melalui desain yang mendorong mobilitas berjalan kaki, sepeda, serta transportasi rendah atau *zero emission*, sehingga jarak tempuh kendaraan dapat berkurang secara keseluruhan.

5. *Access to Quality Transit* untuk mendorong proyek diarahkan ke area dengan infrastruktur yang sudah ada. Langkah ini sekaligus mendukung keberlanjutan lingkungan sekitar dan komunitas setempat, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan polusi udara yang disebabkan oleh penggunaan kendaraan bermotor.
6. *Bicycle Facilities* bertujuan agar mendorong promosi bersepeda dan alternatif transportasi yang rendah emisi.
7. *Reduced Parking Footprint* bermanfaat dalam mengurangi dampak lingkungan akibat fasilitas parkir seperti menjaga efisiensi penggunaan lahan melalui promosi alternatif transportasi dan mengurangi kebutuhan parkir berlebih.
8. *Electric Vehicles* untuk mengurangi polusi dengan mendorong penggunaan alternatif kendaraan konvensional berbasis bahan bakar fosil, diperlukan promosi pilihan transportasi yang lebih ramah lingkungan.

Berdasarkan uraian kriteria tersebut, Gambar 2.3 memperlihatkan penerapan kategori *Location and Transportation*.



Gambar 2.3 Contoh Penerapan Kategori *Location and Transportation* (Sumber: Diperoleh dari https://www.chaac-inc.com/leed-certification.)

2.3.2 *Sustainable Sites* (SS)

United States Green Building Council (2025) menyatakan bahwa *Sustainable Sites* dalam LEED memiliki fokus pada desain situs yang meminimalkan dampak lingkungan lokasi proyek, memaksimalkan konservasi sumber daya dan meningkatkan kualitas hidup penghuni. Hal tersebut dilakukan dengan pengelolaan lanskap, air hujan, dan perlindungan habitat alami.

Sustainable Sites memiliki 6 kriteria sebagai berikut:

1. *Site Assessment* bertujuan untuk menilai kondisi lokasi, isu lingkungan, serta faktor budaya dan sosial sebelum perancangan, guna mengevaluasi opsi-opsi berkelanjutan dan mendukung pengambilan keputusan terkait desain situs.
2. *Protect or Restore Habitat* memiliki manfaat dalam melestarikan kawasan alami yang tersisa dan memperbaiki area yang rusak agar menyediakan habitat serta mendukung keanekaragaman hayati.
3. *Open Space* adalah kriteria yang menciptakan ruang terbuka eksternal dengan mendorong interaksi terhadap lingkungan, interaksi sosial, rekreasi, serta aktivitas fisik.
4. *Rainwater Management* memiliki tujuan agar mengurangi volume limpasan, menjaga keseimbangan air situs berdasarkan kondisi historis, sebagai upaya untuk menghindari kontribusi terhadap banjir.
5. *Heat Island Reduction* bertujuan meminimalkan dampak tidak merata terhadap iklim mikro, manusia, dan habitat satwa liar dengan cara mengurangi panas.
6. *Light Pollution Reduction* memiliki tujuan meningkatkan visibilitas saat malam hari dan mengurangi dampak pembangunan terhadap satwa liar dan manusia.

Berdasarkan penjelasan kriteria tersebut, contoh penerapan kategori *Sustainable Sites* diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Contoh Penerapan Kategori *Sustainable Sites* (Sumber: Diperoleh dari https://www.usgbc.org/articles/green-infrastructure-exploring-solutions-leed-sites-and-parksmart)

2.3.3 *Water Efficiency* (WE)

United States Green Building Council (2025) menyatakan bahwa *Water Efficiency* menempatkan efisiensi air sebagai elemen penting operasional bangunan. Kredit utamanya meliputi pengurangan penggunaan air dalam bangunan melalui desain sanitasi yang hemat air, penerapan perangkat yang lebih efisien, serta pengelolaan air hujan dan limbah cair. Tujuan akhirnya adalah menurunkan konsumsi air bangunan dan meningkatkan ketahanan fluktuasi pasokan air dan biaya operasional.

Empat kriteria *Water Efficiency* meliputi:

1. *Outdoor Water Use Reduction* merupakan kriteria yang bertujuan mengurangi konsumsi air minum luar ruangan dan melestarikan sumber air minum yang terjangkau atau tanpa biaya.
2. *Indoor Water Use Reduction* bertujuan mengurangi konsumsi air minum dalam ruangan dan melestarikan sumber air minum yang hemat biaya.
3. *Optimize Process Water Use* bertujuan menjaga sumber air minum berbiaya rendah yang digunakan dalam proses mekanik sambil mereduksi korosi dan pembentukan kerak pada sistem air kondensor.
4. *Water Metering* bertujuan agar mempertahankan sumber air minum berbiaya rendah, mendukung manajemen air, dan mengidentifikasi peluang penghematan air tambahan melalui pelacakan konsumsi air.

Berdasarkan uraian kriteria tersebut, contoh penerapan kategori *Water Efficiency* diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Contoh Penerapan Kategori *Water Efficiencies* (Sumber: Diperoleh dari: https://www.chaac-inc.com/leed-certification.html)

2.3.4 *Energy and Atmosphere* (EA)

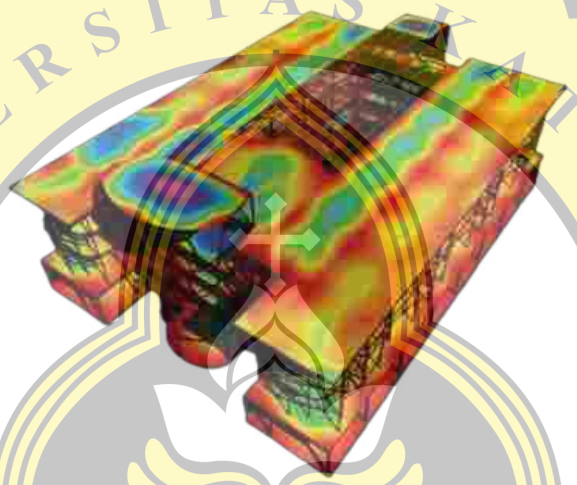
United States Green Building Council (2025) menyatakan bahwa *Energy and Atmosphere* berfokus pada upaya memenuhi efisiensi energi, menurunkan emisi gas rumah kaca, dan memastikan kualitas lingkungan dalam ruangan lewat pendekatan berkelanjutan sepanjang siklus hidup gedung. Kategori ini menuntut integrasi desain energi sejak awal, pemilihan material yang hemat energi, dan praktik operasional yang mendukung kinerja energi tanpa mengorbankan kenyamanan pengguna. *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) versi 4.1 mendorong peningkatan kinerja energi melalui analisis energi, pemodelan *eksisting*, simulasi kinerja, serta peningkatan efisiensi sistem HVAC, isolasi termal yang tepat, pengelolaan ventilasi, dan potensi penggunaan sumber energi terbarukan.

Adapun 6 kriteria dalam *Energy and Atmosphere* sebagai berikut:

1. *Enhanced Commissioning* memiliki tujuan mendukung desain, konstruksi, dan pengoperasian proyek yang memenuhi kebutuhan pemilik terkait energi, air, kualitas lingkungan dalam ruangan, dan ketahanan, diperlukan pendekatan terintegrasi sejak fase perencanaan hingga operasional.
2. *Optimize Energy Performance* bertujuan untuk mendorong pencapaian tingkat kinerja energi bangunan yang lebih tinggi dibandingkan dengan standar minimum yang ditetapkan dalam prasyarat, sehingga dapat menekan konsumsi energi yang tidak efisien, mengurangi dampak lingkungan akibat penggunaan energi berlebih, menurunkan emisi gas rumah kaca, dan menghasilkan penghematan biaya operasional bangunan secara berkelanjutan.
3. *Advanced Energy Metering* memiliki tujuan untuk mendukung manajemen energi dan mengidentifikasi peluang penghematan tambahan dengan memantau penggunaan energi pada tingkat bangunan maupun sistem.
4. *Grid Harmonization* memiliki tujuan untuk meningkatkan partisipasi dalam teknologi dan program respons permintaan (*demand response*) yang membuat sistem pembangkit dan distribusi energi lebih terjangkau dan efisien, meningkatkan keandalan jaringan, serta mengurangi emisi gas rumah kaca yang merugikan ekosistem.

5. *Renewable Energy* bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan dan biaya terkait penggunaan energi dengan meningkatkan pasokan energi terbarukan.
6. *Enhanced Refrigerant Management* memiliki tujuan mengurangi dampak lingkungan, biaya terkait dengan energi fosil dan, mengurangi emisi gas rumah kaca.

Berdasarkan uraian kriteria tersebut, contoh penerapan kategori *Energy and Atmosphere* diperlihatkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Contoh Penerapan Kategori *Energy And Atmosphere* (Sumber: Diperoleh dari: https://www.integrateddesigners.com/services/mep-fp-engineering/energy-modeling/)

2.3.5 *Materials and Resources* (MR)

United States Green Building Council (2025) menyatakan bahwa *Materials and Resources* memiliki fokus terhadap pemanfaatan bahan bangunan yang bertanggung jawab dan berkelanjutan sepanjang siklus hidup konstruksi. Sistem ini mendorong penggunaan material dari sumber yang bertanggung jawab melalui penilaian dokumen seperti *Environmental Product Declarations* (EPD) dan sertifikasi *Forest Stewardship Council* (FSC). Poin diberikan bagi yang memiliki informasi mengenai dampak siklus hidup dan sumber bahan yang bertanggung jawab, termasuk aspek keberlanjutan, misalnya penggunaan bahan daur ulang atau bahan yang diperoleh melalui pengelolaan sumber yang berkelanjutan.

Menurut *United States Green Building Council* (2025), terdapat 5 kriteria dalam *Materials and Resources* sebagai berikut:

1. *Building Life-Cycle Impact Reduction* bertujuan mendorong pemanfaatan ulang material dan meningkatkan efisiensi lingkungan dari penggunaan material.
2. *Environmental Product Declarations* memiliki tujuan agar mendorong penggunaan material yang memiliki informasi siklus hidup lengkap dan menunjukkan dampak lingkungan, ekonomi, serta sosial yang lebih baik. Kriteria ini juga memberikan penghargaan kepada tim proyek yang memilih produk dari produsen yang telah memverifikasi peningkatan kinerja lingkungan sepanjang siklus hidup material.
3. *Sourcing of Raw Materials* bertujuan agar mendorong penggunaan material yang memiliki informasi siklus hidup dan menunjukkan dampak yang lebih ramah lingkungan. Memberikan penghargaan kepada tim proyek yang memilih produk yang dipastikan telah diperoleh secara bertanggung jawab.
4. *Material Ingredients* bertujuan meningkatkan penggunaan material yang informasi *life cycle* sebuah produk lengkap.
5. *Construction and Demolition Waste Management* bertujuan mengurangi limbah konstruksi, pembongkaran yang dibuang ke tempat pembuangan akhir, dan mendaur ulang material.

Berdasarkan uraian kriteria tersebut, Gambar 2.7 memperlihatkan contoh penerapan kategori *Materials and Resources*.



Gambar 2.7 Contoh Penerapan Kategori *Materials And Resources* (Sumber: https://www.chaac-inc.com/leed-certification.html)

2.3.6 *Indoor Environmental Quality* (IEQ)

United States Green Building Council (2025) menyatakan bahwa kategori *Indoor Environmental Quality* berfokus pada upaya menciptakan kualitas udara dalam ruang yang bersih, nyaman, dan sehat bagi seluruh penghuni bangunan. Kategori ini bertujuan untuk memastikan bahwa kondisi lingkungan dalam ruangan dapat mendukung kesehatan, kenyamanan, dan produktivitas pengguna. Oleh karena itu, penerapan sistem pemantauan dan pengujian kualitas udara dilakukan secara berkala guna mengendalikan potensi pencemar serta menjaga kualitas udara dalam ruangan agar tetap optimal dan sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Adapun 9 kriteria dalam *Indoor Environmental Quality* sebagai berikut:

1. *Enhanced Indoor Air Quality Strategies* dengan tujuan meningkatkan kenyamanan, kesehatan, dan produktivitas penghuni melalui perbaikan kualitas udara dalam ruangan.
2. *Low-Emitting Materials* merupakan penggunaan material bangunan untuk menurunkan kadar zat kimia berbahaya yang dapat merusak kualitas udara dan lingkungan, serta menjaga kesehatan para pekerja maupun penghuni bangunan.
3. *Construction Indoor Air Quality Management Plan* memiliki tujuan untuk meningkatkan kesejahteraan pekerja konstruksi dan penghuni bangunan dengan cara mengurangi masalah kualitas udara dalam ruangan yang berkaitan dengan proses konstruksi dan renovasi.
4. *Indoor Air Quality Assessment* untuk menciptakan kualitas udara dalam ruangan yang lebih baik setelah proses konstruksi dan selama masa hunian untuk melindungi kesehatan, produktivitas, serta kesejahteraan penghuni.
5. *Thermal Comfort* memiliki tujuan untuk mendukung tingkat kenyamanan penghuni bangunan melalui penyediaan kondisi termal yang optimal dan berkualitas. Penerapan kriteria ini memastikan bahwa suhu, kelembapan, dan pergerakan udara di dalam ruangan dirancang serta dikendalikan secara tepat, sehingga dapat menciptakan lingkungan dalam ruang yang nyaman, mendukung kesehatan, serta meningkatkan produktivitas dan kesejahteraan pengguna bangunan secara berkelanjutan.

6. *Interior Lighting* untuk meningkatkan produktivitas, kenyamanan, dan kesejahteraan penghuni dengan menyediakan pencahayaan yang bermutu tinggi.
7. *Daylight* bertujuan untuk menghubungkan penghuni bangunan dengan alam luar, memperkuat jam biologis di dalam tubuh, dan mengurangi pemakaian pencahayaan listrik dengan memanfaatkan cahaya alami di dalam ruangan.
8. *Quality Views* bertujuan untuk memberikan penghuni bangunan hubungan dengan lingkungan alam luar melalui penyediaan pemandangan berkualitas.
9. *Acoustic Performance* bertujuan untuk menyediakan ruang kerja dan kelas yang mendukung kesejahteraan, produktivitas, dan komunikasi penghuni melalui desain akustik yang efektif.

Berdasarkan uraian kriteria tersebut, Gambar 2.8 memperlihatkan contoh penerapan *Indoor Environmental Quality*.



Gambar 2.8 Contoh Penerapan Kategori *Indoor Environmental Quality* (Sumber: Diperoleh dari: https://www.linkedin.com/pulse/indoor-environmental-quality-compliance-requirements-gctcc)

2.3.7 *Innovation* (IN)

Menurut *United States Green Building Council* (2025), kategori inovasi dalam sistem sertifikasi LEED berperan sebagai ruang khusus yang dirancang untuk mengakomodasi berbagai inovasi yang belum termasuk dalam kredit utama LEED. Kategori inovasi berfungsi sebagai bentuk penghargaan terhadap proyek-proyek yang berhasil menunjukkan penerapan konstruksi berkelanjutan yang inovatif.

Adapun 2 kriteria dalam *Innovation* sebagai berikut:

1. *Innovation* berfungsi untuk mendorong proyek mencapai kinerja inovatif yang berdampak positif bagi kesehatan manusia, lingkungan, dan kesetaraan. Bagian ini juga bertujuan memperkuat keahlian LEED di antara para profesional serta meningkatkan kolaborasi selama perancangan, konstruksi, dan operasional bangunan.
2. *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) *Accredited Professional* bertujuan untuk meningkatkan kolaborasi tim sesuai kebutuhan proyek LEED serta mempermudah alur pengajuan dan proses sertifikasinya. Sebagai ketentuan, minimal satu anggota kunci dalam tim proyek diwajibkan memiliki sertifikasi LEED *Accredited Professional* dengan bidang keahlian yang paling relevan terhadap karakteristik dan jenis proyek konstruksi berkelanjutan yang sedang dikerjakan.

Pendekatan ini mendorong pengembangan dan adopsi solusi berkelanjutan yang lebih efektif dan efisien, tetapi juga membantu meningkatkan kualitas keseluruhan dari proses dan hasil konstruksi yang ramah lingkungan. Gambar 2.9 memperlihatkan contoh gedung yang menerapkan kategori *innovation* pada sertifikasi LEED versi 4.1.



Gambar 2.9 Penerapan Kategori *Innovation* pada Gedung *One Central Park Sydney* (Sumber: https://pertanto.com/en/the-evolucion-of-leed-transforming-architecture-through-sustainable-innovation/)

2.3.8 *Regional Priority* (RP)

Berdasarkan pernyataan *United States Green Building Council* (2025) kategori *Regional Priority* dirancang untuk memberi poin tambahan pada proyek yang mengatasi isu-isu lingkungan pada lokasi spesifik. Proyek yang memenuhi kualifikasi ini akan mendapatkan poin bonus antara 2 sampai 4 poin. Akses mengenai daftar kredit *Regional Priority* beserta penerapannya di tiap wilayah diperlihatkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Daftar Kredit *Regional Priority* (Sumber: www.usgbc.org/rpc)

Proyek yang mendaftar setelah 8 Mei 2016, penentuan kredit *Regional Priority* didasarkan pada lokasi geografis proyek. Pencantuman kode pos atau nama kota seperti yang tertera sebelumnya tidak selalu menghasilkan informasi yang tepat. Proyek yang terdaftar sebelum tanggal tersebut wajib mencantumkan kode pos untuk mengidentifikasi kredit *Regional Priority* yang berlaku.

2.4 *Greenship*

Green Building Council Indonesia (GBCI) didirikan sebagai organisasi mandiri yang bersifat nirlaba dan tidak berada di bawah pemerintah. Organisasi ini memiliki dedikasi tinggi dalam mengedukasi masyarakat tentang pelaksanaan konstruksi berkelanjutan (*Green Building Council Indonesia*, 2013). *Green Building Council*

Indonesia memiliki tujuan dalam melakukan sertifikasi bangunan hijau dengan *output* berupa *greenship*. Adapun peringkat sertifikasi dalam *Greenship* seperti *bronze*, *silver*, *gold*, dan *platinum*. Sertifikasi *Greenship* dilakukan pada dua tahap, yakni *Design Recognition* (DR) yang dilakukan pada masa perencanaan. Skor maksimal yang dapat diperoleh adalah 77 poin. Tahap berikutnya adalah *Final Assessment* (FA) yang dilakukan pada tahap akhir untuk meninjau aspek desain dan kinerja bangunan. Skor maksimal yang dapat diperoleh adalah 101 poin. Tabel 2.3 memperlihatkan peringkat *Greenship* berdasarkan tahapnya.

Tabel 2.3 Peringkat *Greenship* Berdasarkan Tahapnya

Peringkat	**Persentase (%)**	**Nilai Minimum *Design Recognition* (DR)**	**Nilai Minimum *Final Assessment* (FA)**
Platinum	73	56	74
Gold	57	43	58
Silver	46	35	46
Bronze	35	27	35

(Sumber: *Green Building Council Indonesia*, 2013)

Adapun perbedaan jumlah nilai berdasarkan kategorinya di tahap DR dan FA yang diperlihatkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Jumlah Nilai Tahap DR Dan FA

No.	**Kategori**	**Jumlah Nilai untuk DR**			**Jumlah Nilai untuk FA**		
		Prasyarat	**Kredit**	**Bonus**	**Prasyarat**	**Kredit**	**Bonus**
1	*Appropriate Site Development* (ASD)	-	17	-	-	17	-
2	*Energy Efficiency Conservation* (EEC)	-	26	5	-	26	5
3	*Water Conservation* (WAC)	-	21	-	-	21	-
4	*Material Resources and Cycle* (MRC)	-	2	-	-	14	-
5	*Indoor Health and Comfort* (IHC)	-	5	-	-	10	-

Tabel 2.4 Jumlah Nilai Tahap DR Dan FA (Lanjutan)

No.	Kategori	Jumlah Nilai untuk DR			Jumlah Nilai untuk FA		
		Prasyarat	Kredit	Bonus	Prasyarat	Kredit	Bonus
6	*Building Enviroment Management* (BEM)	-	6	-	-	13	-
Jumlah Kredit		-	77	5	-	101	5

(Sumber: *Green Building Council Indonesia*, 2013)

Menurut *Green Building Council Indonesia* (2013), dalam upaya memenuhi seluruh kategori pada sertifikasi *Greenship*, terdapat persyaratan yang wajib dipenuhi tergantung pada jenis bangunan tersebut.

Pada *new building* dibutuhkan persyaratan sebagai berikut:

1. Luasan bangunan minimal 2.500 m^2.
2. Ketersediaan dan kelengkapan data bangunan yang dapat diakses oleh *Green Building Council Indonesia* untuk keperluan sertifikasi.
3. Fungsi bangunan harus sesuai dengan peruntukan lahan berdasarkan tata ruang wilayah (RT/RW) setempat.
4. Memiliki dokumen AMDAL dan/atau rencana Upaya Pengelolaan Lingkungan (UKL) serta Upaya Pemantauan Lingkungan (UPL).
5. Bangunan telah sesuai terhadap standar keselamatan kebakaran yang berlaku.
6. Bangunan telah sesuai terhadap standar ketahanan gempa yang telah ditetapkan.
7. Bangunan telah sesuai standar aksesibilitas bagi penyandang disabilitas.

Pada *existing building* dibutuhkan persyaratan sebagai berikut:

1. Luasan bangunan minimal 250 m^2.
2. Pernyataan kesediaan untuk memberikan izin kepada *Green Building Council* Indonesia untuk mengkaji seluruh data bangunan dalam rangka studi kasus.
3. Memiliki dokumen Upaya Pengelolaan Lingkungan (UKL) dan Upaya Pemantauan Lingkungan (UPL).
4. Bangunan wajib dilengkapi dengan Sertifikat Laik Fungsi (SLF) yang diterbitkan oleh instansi Pemerintah Daerah.

2.4.1 *Appropriate Site Development* (ASD)

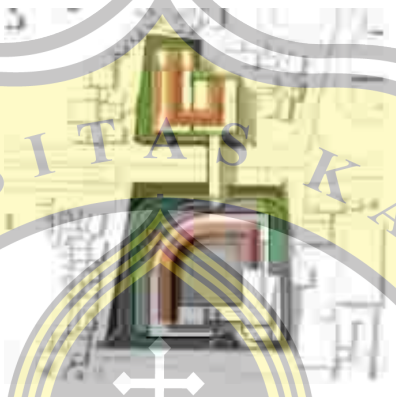
Green Building Council Indonesia (2013) menyatakan bahwa *Appropriate Site Development* (ASD) merupakan salah satu kategori penilaian dalam *Greenship* versi 1.2. Kategori ini berfokus pada pengelolaan tata guna lahan secara optimal.

Appropriate Site Development memiliki beberapa kriteria sebagai berikut:

1. Area Dasar Hijau (*Basic Green Area*) bertujuan menjaga atau memperluas area hijau di perkotaan yang memiliki peran penting dalam meningkatkan kualitas iklim mikro, mengurangi konsentrasi CO_2 dan polutan berbahaya, mencegah erosi tanah, mengurangi beban pada sistem drainase, serta menjaga keseimbangan antara pasokan air bersih dan cadangan air tanah.
2. Pemilihan Tapak (*Site Selection*) memiliki tujuan menghindari pembangunan di lahan hijau yang belum terjamah dan mencegah pembukaan area lahan baru.
3. Aksesibilitas Komunitas (*Community Accesibility*) bertujuan mendorong pembangunan di lokasi yang sudah memiliki jaringan konektivitas yang baik, meningkatkan pemanfaatan gedung sehingga memudahkan aktivitas sehari-hari dan mengurangi ketergantungan masyarakat pada kendaraan bermotor.
4. Transportasi Umum (*Public Transportation*) memiliki tujuan mendorong penghuni gedung agar lebih memilih menggunakan transportasi umum massal dan mengurangi pemakaian kendaraan pribadi.
5. Fasilitas Pengguna Sepeda (*Bicycle Facility*) memiliki tujuan mendorong pengguna gedung agar bersepeda dengan menyediakan fasilitas yang memadai sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada kendaraan bermotor.
6. Lansekap pada Lahan (*Site Landscaping*) memiliki tujuan menjaga dan memperluas ruang hijau di kota agar meningkatkan kondisi iklim mikro, mengurangi emisi karbon dioksida dan zat pencemar lainnya, mencegah terjadinya erosi tanah, meringankan beban sistem drainase, dan menjaga keseimbangan antara penyediaan air bersih dan sistem air tanah.
7. Iklim Mikro (*Micro Climate*) berfokus pada upaya memperbaiki kondisi lingkungan di area sekitar bangunan sehingga tercipta suasana yang lebih nyaman dan sehat.

8. Manajemen Air Limpasan Hujan (*Stormwater Management*) memiliki tujuan mengurangi beban sistem drainase lingkungan dari kuantitas limpasan air hujan dengan sistem manajemen air hujan secara terpadu.

Mengacu pada kriteria yang telah dijelaskan, Gambar 2.11 memperlihatkan contoh penerapan kategori *Appropriate Site Development*.



Gambar 2.11 Contoh Penerapan Kategori *Appropriate Site Development* (Sumber: Pambudi dan Winarto, 2024)

2.4.2 *Energy Efficiency and Conservation* (EEC)

Green Building Council Indonesia (2013) menyatakan bahwa *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) menekankan pada penghematan konsumsi energi. Hal ini dilakukan melalui penerapan langkah efisiensi penggunaan energi secara terukur.

Energi Efficiency and Conservation memiliki beberapa kriteria sebagai berikut:

1. Pemasangan Sub-Meter (*Electrical Sub Metering*) bertujuan agar pengawasan terhadap konsumsi energi dilakukan agar menjadi dasar bagi pelaksanaan pengelolaan energi yang lebih optimal.
2. Perhitungan OTTV (OTTV *Calculation*) berkaitan dengan pentingnya selubung bangunan gedung sebagai upaya untuk meningkatkan penghematan energi.
3. Langkah Penghematan Energi (*Energy Efficiency Measures*) mendorong pengurangan konsumsi energi dengan menerapkan berbagai tindakan efisiensi energi secara sistematis dan terencana.
4. Pencahayaan Alami (*Natural Lighting*) mendorong pemanfaatan pencahayaan alami secara maksimal untuk mengurangi penggunaan energi sekaligus

mendukung rancangan bangunan yang memungkinkan masuknya cahaya alami secara optimal.

5. Ventilasi (*Ventilation*) mendorong penerapan ventilasi yang hemat energi di area publik (*non nett lettable area*) guna menekan konsumsi daya listrik.
6. Pengaruh Perubahan Iklim (*Climate Change Impact*) memberikan pemahaman bahwa pola konsumsi energi yang berlebihan dapat memberikan dampak signifikan terhadap perubahan iklim.
7. Energi Terbarukan Dalam Tapak (*On Site Renewable Energy*) mendorong pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan yang bersumber langsung dari lokasi tapak bangunan untuk mendukung keberlanjutan energi.

Berdasarkan uraian kriteria tersebut, Gambar 2.12 memperlihatkan contoh penerapan kategori *Energy Efficiency and Conservation*.



Gambar 2.12 Contoh Penerapan Kategori *Energy Efficiency And Conservation*
(Sumber: Diperoleh dari https://www.lismartenergychoices.org/energy-efficiency-overview)

2.4.3 *Water Conservation* (WAC)

Green Building Council Indonesia (2013) menyatakan bahwa *Water Conservation* (WAC) dalam *Greenship* versi 1.2 merupakan kategori yang menitikberatkan pada pengelolaan air secara efisien dan berkelanjutan. Kategori ini dimulai dari tahap perencanaan hingga operasional jangka panjang penggunaan air pada bangunan.

Beberapa kriteria yang dimiliki oleh *Water Conservation* adalah sebagai berikut:

1. Meteran Air (*Water Metering*) bertujuan melakukan pemantauan terhadap konsumsi air agar menjadi landasan bagi pelaksanaan pengelolaan air.

2. Perhitungan Penggunaan Air (*Water Calculation*) memiliki manfaat agar menerapkan *worksheet* perhitungan air yang disediakan oleh GBCI untuk memperoleh simulasi penggunaan air selama fase operasional gedung.
3. Pengurangan Penggunaan Air (*Water Use Reduction*) bertujuan mendukung peningkatan efisiensi penggunaan air bersih yang bertujuan untuk mengurangi beban konsumsi air bersih dan menurunkan jumlah air limbah yang dihasilkan.
4. Fitur Air (*Water Fixtures*) mendorong penerapan langkah penghematan air melalui penggunaan fitur air dengan tingkat efisiensi tinggi dan tepat guna serta pengelolaan konsumsi air yang terukur serta terdokumentasi dengan baik.
5. Daur Ulang Air (*Water Recycling*) bertujuan menyediakan air dengan memanfaatkan sumber daur ulang dari air limbah gedung guna menurunkan kebutuhan air yang berasal dari sumber utama.
6. Sumber Air Alternatif (*Alternative Water Resources*) bertujuan memanfaatkan sumber air alternatif yang telah diolah sehingga menghasilkan air bersih guna mengurangi ketergantungan pada sumber air utama.
7. Penampungan Air Hujan (*Rainwater Harvesting*) mendorong pemanfaatan air hujan atau limpasan air hujan sebagai salah satu alternatif sumber air.
8. Efisiensi Penggunaan Air Lansekap (*Water Efficiency Landscaping*) mengurangi penggunaan air bersih yang berasal dari air tanah dan PDAM untuk kebutuhan irigasi lansekap dengan sumber air alternatif lainnya.

Berdasarkan ketentuan kriteria yang berlaku, Gambar 2.13 memperlihatkan contoh penerapan kategori *Water Conservation*.



Gambar 2.13 Contoh Penerapan Kategori *Water Conservation* (Sumber: https://byjus.com/biology/rainwater-harvesting/)

2.4.4 *Material Resources and Cycle* (MRC)

Green Building Council Indonesia (2013) menyatakan bahwa *Material Resources and Cycle* (MRC) merupakan salah satu kategori penilaian yang menitikberatkan pada penggunaan material ramah lingkungan secara menyeluruh, mulai dari tahap perolehan dan proses produksi bahan, distribusi, hingga penerapannya dalam konstruksi. Kategori ini bertujuan untuk mendorong efisiensi pemanfaatan sumber daya, mengurangi dampak lingkungan sepanjang siklus hidup material, dan mendukung penerapan prinsip keberlanjutan dalam industri konstruksi.

Adapun beberapa kriteria dari *Material Resources and Cycle* yang digunakan dalam penilaian sertifikasi *Greenship* sebagai berikut:

1. Refrigeran Fundamental (*Fundamental Refrigerant*) bertujuan mencegah penggunaan bahan refrigeran yang berpotensi merusak lapisan ozon dan berdampak buruk bagi lingkungan.
2. Penggunaan Gedung dan Material Bekas (*Building and Material Reuse*) bertujuan menurunkan efek ekologis akibat proses pengambilan sumber daya alam dan proses manufaktur bahan.
3. Material Ramah Lingkungan (*Environmentally Friendly Material*) menurunkan beban ekologis akibat aktivitas perolehan bahan mentah dan proses manufaktur material.
4. Penggunaan Refrigeran tanpa ODP (Non ODS *Usage*) memiliki makna menggunakan zat yang tidak menimbulkan kerusakan pada lapisan ozon atau *Ozone Depleting Potential* (ODP).
5. Kayu Bersertifikat (*Certified Wood*) merupakan kriteria yang memanfaatkan kayu bersumber legal dan terverifikasi guna menjaga kelestarian hutan secara berkelanjutan.
6. Material Prafabrikasi (*Prefab Material*) mendorong penggunaan bahan bangunan secara efisien untuk meminimalkan *waste* konstruksi.
7. Material Regional (*Regional Material*) bertujuan dalam mengurangi *carbon footprint* dari sistem transportasi logistik sambil mendukung perkembangan ekonomi domestik.

Berdasarkan uraian kriteria tersebut, Gambar 2.14 memperlihatkan contoh penerapan kategori *Material Resources and Cycle*.



Gambar 2.14 Contoh Penerapan Kategori *Material Resources And Cycle* (Sumber: https://www.autodesk.com/blogs/construction/top-sustainable-construction-materials/)

2.4.5 *Indoor Health and Comfort* (IHC)

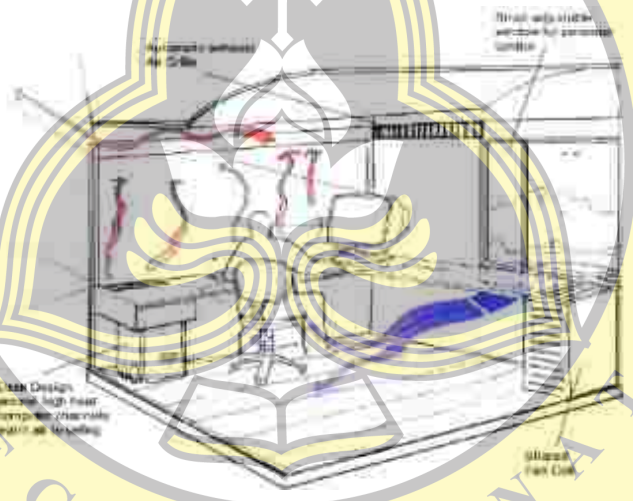
Green Building Council Indonesia (2013) menyatakan bahwa kategori IHC berfokus pada upaya menciptakan lingkungan dalam ruang yang nyaman. Hal ini bertujuan untuk mendukung aktivitas serta produktivitas pengguna bangunan.

Kriteria yang dimiliki oleh *Indoor Health and Comfort* adalah sebagai berikut:

1. Introduksi Udara Luar (*Outdoor Air Introduction*) bertujuan memastikan kualitas udara dalam ruang tetap baik dengan meningkatkan masuknya udara segar dari luar sesuai kebutuhan ventilasi.
2. Pemantauan Kadar CO_2 (CO_2 *Monitoring*) memiliki tujuan melakukan pemantauan terhadap tingkat CO_2 guna mengatur ventilasi udara segar agar kualitas udara tetap mendukung kesehatan pengguna.
3. Kendali Asap Rokok di Lingkungan (*Environmental Tobacco Smoke Control*) bertujuan membatasi penyebaran asap rokok di area dalam bangunan untuk melindungi pengguna dan material interior dari dampak pencemaran udara.
4. Polutan Kimia (*Chemical Pollutant*) bertujuan mengendalikan emisi dari bahan bangunan agar tidak mencemari udara di dalam gedung.

5. Pemandangan ke luar Gedung (*Outside View*) bertujuan meminimalkan kelelahan mata dengan menghadirkan pandangan ke area luar dan menyediakan akses visual ke lingkungan sekitar bangunan.
6. Kenyamanan Visual (*Visual Comfort*) bertujuan mencegah ketidaknyamanan visual akibat pencahayaan berlebih atau kurang dari batas kemampuan mata.
7. Kenyamanan Termal (*Thermal Comfort*) bertujuan mempertahankan kestabilan suhu dan kelembapan udara dalam ruang guna menciptakan kenyamanan yang mendukung produktivitas penghuni bangunan.
8. Tingkat Kebisingan (*Acoustic Level*) bertujuan mengendalikan tingkat kebisingan ruangan agar tetap pada batas yang nyaman bagi para penghuni.

Berdasarkan uraian kriteria tersebut, Gambar 2.15 memperlihatkan contoh penerapan kategori *Indoor Health and Comfort*.



Gambar 2.15 Contoh Penerapan Kategori *Indoor Health And Comfort* (Sumber: https://saman3230.wordpress.com/2012/10/16/thermal-comfort/)

2.4.6 *Building Environment Management* (BEM)

Green Building Council Indonesia (2013) kategori *Building Environment Management* (BEM) menitikberatkan pada pentingnya penerapan pengelolaan bangunan yang berkelanjutan pada fase operasi dan pemeliharaan setelah proses serah terima bangunan. Penerapan kategori ini merupakan kerangka pengelolaan yang dirancang untuk menjaga dan meningkatkan kinerja lingkungan bangunan

secara menyeluruh, mencakup tiga dimensi utama yang saling berkaitan: efisiensi penggunaan sumber daya, kualitas lingkungan dalam ruang, serta dampak bangunan terhadap lingkungan sekitarnya. Kategori ini bertujuan memastikan seluruh aspek kinerja lingkungan dapat dipertahankan secara optimal.

Adapun beberapa kriteria dari *Building Environment Management* yang digunakan dalam penilaian sertifikasi *Greenship* sebagai berikut:

1. Dasar Pengelolaan Sampah (*Basic Waste Management*) bertujuan menumbuhkan kebiasaan memilah sampah sejak awal dengan metode sederhana untuk memperlancar proses daur ulang.
2. GP Sebagai Anggota Tim Proyek (GP *as a Member of Project Team*) bertujuan menetapkan strategi perancangan bangunan hijau sejak tahap awal agar proses desain lebih terarah dan memenuhi kriteria penilaian.
3. Polusi dari Aktivitas Konstruksi (*Pollution of Construction Activity*) adalah peningkatan upaya pengurangan volume limbah yang dikirim ke TPA serta menekan pencemaran yang dihasilkan selama kegiatan konstruksi.
4. Pengelolaan Sampah Tingkat Lanjut (*Advanced Waste Management*) bertujuan mengoptimalkan sistem pengelolaan kebersihan dan sampah terpadu guna menekan volume limbah yang dibuang ke TPA.
5. Sistem Komisioning yang Baik dan Benar (*Proper Commisioning*) bertujuan melakukan proses komisioning secara tepat dan menyeluruh untuk memastikan kinerja bangunan sesuai dengan rancangan awal.
6. Penyerahan Data *Green Building* (*Green Building Submission Data*) bertujuan mengembangkan *database* implementasi *green building* sebagai dasar peningkatan standar dan sumber kajian ilmiah.
7. Kesepakatan dalam Melakukan Aktivitas *Fit Out* (*Fit Out Agreement*) bertujuan mengintegrasikan prinsip-prinsip *green building* dalam proses penataan dan pemasangan elemen interior bangunan.
8. Survei Pengguna Gedung (*Occupant Survey*) bertujuan mengevaluasi kenyamanan penghuni gedung menggunakan instrumen survei yang baku untuk mengkaji hubungan antara desain dan sistem operasional.

Berdasarkan uraian kriteria tersebut, Gambar 2.16 memperlihatkan contoh penerapan kategori *Building Environment Management*.



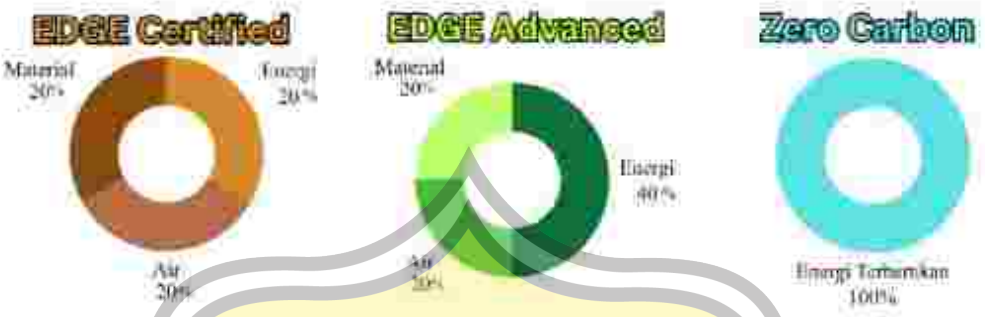
Gambar 2.16 Contoh Penerapan Kategori *Building Environment Management*
(Sumber: https://jendela360.com/green-building-di-indonesia/)

2.5 *Excellence in Design for Greater Efficiencies* (EDGE)

Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE) merupakan sebuah *software* berbasis *cloud* yang dapat diakses secara gratis, sekaligus menjadi standar dan sistem sertifikasi bangunan hijau berskala internasional untuk negara berkembang. Program ini dikembangkan oleh *International Finance Corporation* (IFC) sebagai upaya untuk membuktikan nilai ekonomi bangunan ramah lingkungan sekaligus mendorong investasi di industri konstruksi. Menurut *United States Green Building Council* (2025), EDGE membantu perencana dan kontraktor dalam menentukan strategi guna menekan konsumsi energi, penggunaan air, dan energi dalam material bangunan. Strategi yang diterapkan pada desain proyek tersebut kemudian diverifikasi oleh auditor EDGE dan memperoleh sertifikasi resmi dari *Green Business Certification Inc* (GBCI).

Penggunaan EDGE dapat disesuaikan dengan berbagai tipe bangunan. Bangunan yang dapat disertifikasi oleh EDGE antara lain seperti perumahan, apartemen, hotel, resor, rumah susun, mall, bangunan industri, gudang, perkantoran, fasilitas kesehatan, pendidikan, olahraga, bangunan serbaguna. Sistem penilaian EDGE menawarkan tiga tingkatan sertifikasi sesuai dengan karakteristik tiap proyek.

Adapun level sertifikasi EDGE diperlihatkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Level Sertifikasi EDGE (Sumber: Diolah kembali dari https://edgebuildings.com/certify/certification/)

Penjelasan detail level capaian sertifikasi EDGE diperlihatkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Level Sertifikasi EDGE

Level Sertifikasi	Persyaratan	Waktu	Pembaruan	Biaya
Zero Carbon	EDGE *Advanced* dicapai dengan penggunaan 100% energi terbarukan, baik yang dihasilkan di lokasi atau diperoleh dari luar lokasi, atau membeli *offset* karbon untuk mencapai 100%. Seluruh jenis energi, termasuk tenaga surya dan LPG, harus diperhitungkan.	Minimal satu tahun setelah memperoleh sertifikasi final EDGE dan tingkat hunian mencapai 75%, data operasional wajib diserahkan.	Setiap 4 tahun pakai 100% energi terbarukan, setiap 2 tahun beli offset.	Sekitar $1.000, tergantung pada mitra sertifikasi (selain biaya pendaftaran dan sertifikasi).
EDGE *Advanced*	Memperoleh tingkat efisiensi energi di lokasi mencapai minimal 40%.	Tahap sertifikasi awal dan akhir.	Tidak dibutuhkan.	Biaya pendaftaran dan sertifikasi.
EDGE *Certified*	Efisiensi energi minimal 20%, konsumsi air, serta energi tersimpan dalam material.	Tahap sertifikasi awal dan akhir.	Tidak dibutuhkan.	Biaya pendaftaran dan sertifikasi.

(Sumber: Diolah kembali dari https://edgebuildings.com/certify/certification/)

Berdasarkan uraian pada gambar dan tabel sebelumnya, penilaian EDGE bergantung pada kinerja bangunan yang dinilai.. Penilaian melalui sistem EDGE mencakup tiga aspek utama, yaitu efisiensi energi, penggunaan air, dan material.

2.5.1 *Energy*

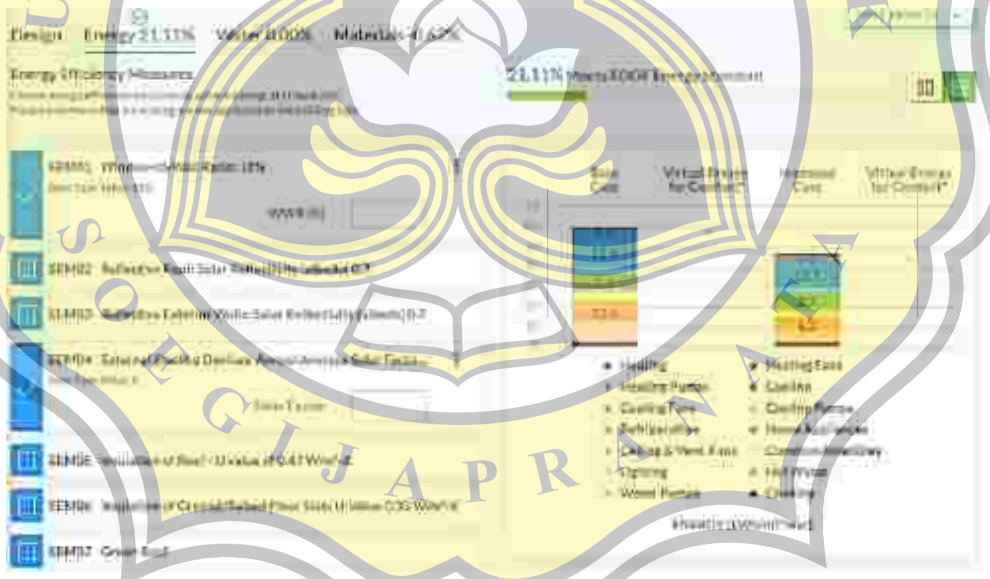
Energi menampilkan perincian konsumsi energi akhir pada bangunan dengan satuan kWh/m²/tahun yang mencakup seluruh penggunaan energi selama periode tersebut. Nilai tersebut mencakup seluruh sumber energi, seperti listrik, gas alam, dan solar, yang telah dikonversi menjadi satuan kilowatt- jam untuk menunjukkan total peng gunaan energi secara keseluruhan (https://edgebuildings.com/wp content/uploads/ 2024/11/Part 3 User Guide Energy Measures Rev-1.pdf?). Adapun kriteria energi dalam kategori tersebut yang diperlihatkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Kriteria Energi Pada EDGE

No	Kriteria	No	Kriteria
1	*Window To Wall Ratio*	18	*Domestic Hot Water System*
2	*Reflective Roof*	19	*Domestic Hot Water Preheating System*
3	*Reflective Exterior Walls*	20	*Economizers*
4	*External Shading Devices*	21	*Demand Control Ventilation Using CO_2 Sensors*
5	*Insulation of Roof*	22	*Efficient Lightning for Internal Areas*
6	*Insulation of Ground/ Raise Floor Slab*	23	*Efficient Lightning for External Areas*
7	*Green Roof*	24	*Lightning Controls*
8	*Insulation of Exterior Walls*	25	*Skylights*
9	*Efficiency of Glass*	26	*Demand Control Ventilation for Parking Using CO_2 Sensors*
10	*Air Infiltration of Envelope*	27	*Insulation for Cold Storage Envelope*
11	*Natural Ventilation*	28	*Efficient Refrigeration for Cold Storage*
12	*Ceiling Fans*	29	*Efficient Refrigeration and Clothes Washing Machines*
13	*Cooling System Efficiency*	30	*Submeters for Heating/ Cooling System*
14	*Variable Speed Drives*	31	*Smart Meters for Energy*
15	*Fresh Air Pre-Conditioning System*	32	*Power Factor Corrections*
16	*Space Heating System Efficiency*	33	*Onsite Renewable Energy*
17	*Room Heating Controls With Thermostatic Valves*	34	*Other Energy Saving Measures*

(Sumber: Diolah kembali dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

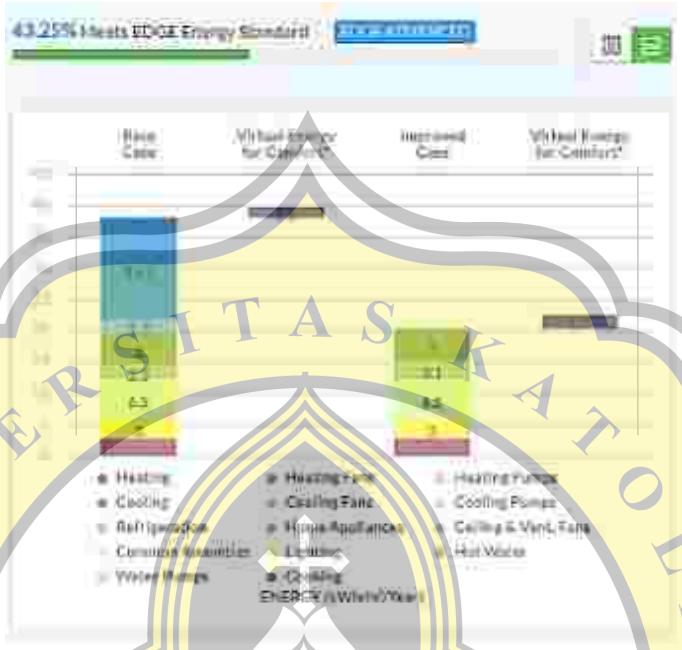
Konsep utama dalam EDGE adalah penggunaan energi virtual. Jika suatu gedung belum memiliki rencana pemasangan sistem *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* (HVAC) saat proses sertifikasi, EDGE akan memperkirakan jumlah energi yang dibutuhkan. Pendekatan ini memberikan estimasi kebutuhan energi yang akurat tanpa terikat dengan detail teknis yang belum tersedia. Perhitungan ini didasarkan pada anggapan apabila desain bangunan tidak dapat menjaga suhu ruangan agar tetap nyaman. Menurut ISO 52000-1:2017, energi virtual diartikan sebagai sistem yang diasumsikan. Meskipun energi ini tidak muncul dalam tagihan operasional, EDGE tetap menggunakannya untuk menilai peningkatan efisiensi energi sebesar 20% sesuai ketentuan. Oleh karena itu, pengurangan energi virtual perlu dilakukan dengan pendekatan yang setara dan konsisten dengan cara pengurangan energi nyata yang diterapkan dalam operasional bangunan. *Output* penilaian kategori *energy* berupa grafik diperlihatkan pada Gambar 2.18 dan Gambar 2.19.



Gambar 2.18 *Output* Penilaian Kategori Energi Pada EDGE *Certified* (Sumber: https://edgebuildings.com/wp content/uploads/2022/04/211026 EDGE User Guide-for-All-Building-Types-Version-3.0.A.pdf)

Berdasarkan Gambar 2.18, persentase yang berhasil dicapai telah melampaui ambang batas minimum sebesar 20% yang menjadi persyaratan untuk memperoleh sertifikasi EDGE *Certified*, dengan nilai yang tercatat sebesar 21,11%.

Gambar 2.19 memperlihatkan persentase yang dicapai telah melampaui batas minimum untuk memperoleh EDGE *Advanced* sebesar 40%, dengan nilai 43,25%.



Gambar 2.19 *Output* Penilaian Kategori Energi Pada EDGE *Advanced* (Sumber: https://edgebuildings.com/wp content/uploads/2022/04/211026 EDGE User Guide-for-All-Building-Types-Version-3.0.A.pdf)

2.5.2 *Water*

Water menunjukkan rincian pemakaian akhir dalam m³/hari (https://edgebuildings.com/wp content/uploads/2022/04/211026 EDGE User Guide for All Building Types-Version-3.0.A.pdf). Pemakaian *water* pada EDGE minimal 20% dibandingkan bangunan biasa, sehingga hemat sumber daya air dan biaya operasional. (Rahmasari., dkk., 2024). Adapun kriteria yang termasuk dalam kategori tersebut diperlihatkan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Kriteria *Water* Pada EDGE

No.	Kriteria
1	*Water Efficient Showerheads*
2	*Water Efficient Faucets for All Bathrooms*
3	*Efficient Water Closets for All Bathrooms*

No.	Kriteria
4	*Water Efficient Bidet*
5	*Water Efficient Urinals*
6	*Water Efficient Faucets for Kitchen Sinks*

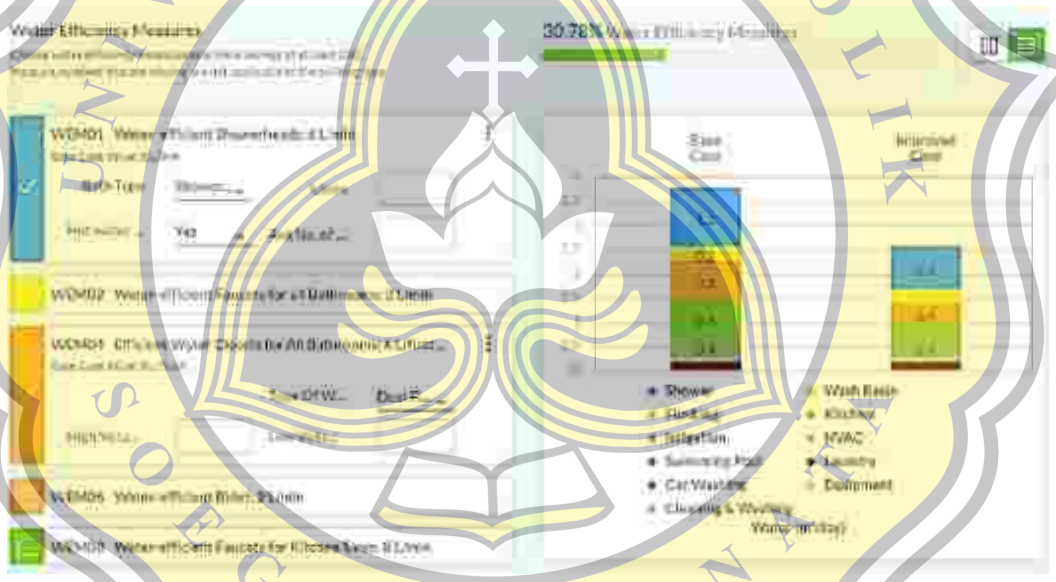
Tabel 2.7 Kriteria *Water* Pada EDGE (Lanjutan)

No.	Kriteria
7	*Water Efficient Dishwashers*
8	*Water Efficient Pre-rinse Spray Valves for Kitchen*
9	*Water Efficient Washing Machines*
10	*Swimming Pool Covers*
11	*Water Efficient Landscape Irrigation System*

No.	Kriteria
12	*Rainwater Harvesting System*
13	*Waste Water Treatment and Recycling System*
14	*Condensate Water Recovery*
15	*Smart Meters for Water*

(Sumber: Diolah kembali dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

Output penilaian kategori *water* berupa grafik pada penilaian EDGE *certified* diperlihatkan pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 *Output* Penilaian Kategori *Water* Pada EDGE *Certified* (Sumber: https://edgebuil ings.com/wp content/uploads/2022/04/211026 EDGE User Guide for-All-Building-Types-Version-3.0.A.pdf)

Gambar 2.20 mengilustrasikan bahwa tingkat penghematan yang dicapai telah melampaui ambang batas minimum yang ditetapkan untuk mendapatkan sertifikasi EDGE *Certified*, yaitu minimal 20%. Hasil evaluasi mengungkapkan bahwa persentase penghematan energi atau sumber daya mencapai 30,78%. Angka ini menandakan bahwa performa efisiensi proyek tidak sekadar mencukupi, melainkan melampaui persyaratan standar minimum yang telah ditetapkan oleh EDGE.

2.5.3 *Material*

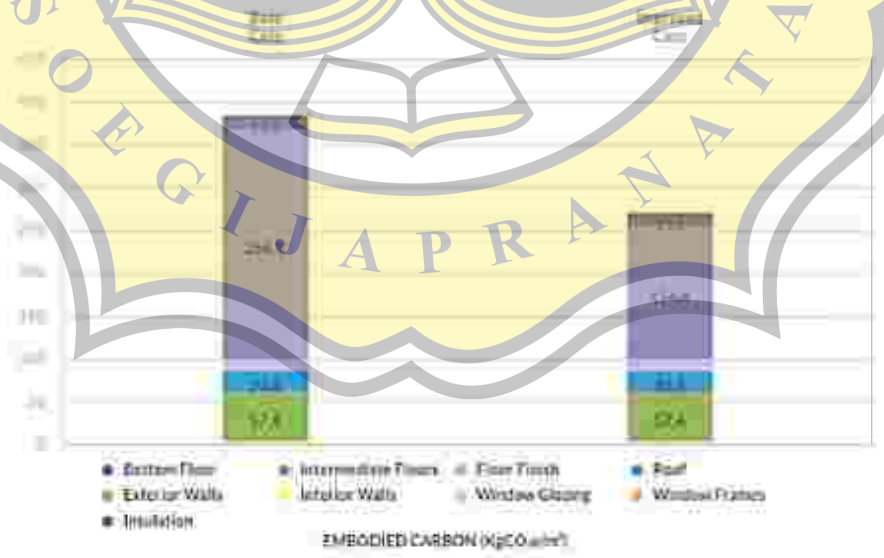
Berdasarkan EDGE *User Guide* (2024) EDGE kini mengganti metode perhitungan efisiensi materialnya, dari sebelumnya berbasis *embodied energy* (EDGE Versi 2.0) menjadi *embodied carbon* (EDGE Versi 3.1). Perubahan bertujuan menekan emisi karbon secara keseluruhan, tidak hanya dari operasional energi bangunan. Aplikasi EDGE menghitung jumlah *embodied carbon* dengan menilai *Global Warming Potential* (GWP) material, satuan kilogram setara CO_2 (kg CO_2eq). Adapun kriteria yang termasuk dalam kategori tersebut diperlihatkan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Kriteria Material Pada EDGE

No.	Kriteria	No.	Kriteria
1	*Bottom Floor Construction*	7	*Window Frames*
2	*Intermediate Floor Construction*	8	*Window Glazing*
3	*Floor Finish*	9	*Roof Insulation*
4	*Roof Construction*	10	*Wall Insulation*
5	*Exterior Walls*	11	*Floor Insulation*
6	*Interior Walls*		

(Sumber: Diolah kembali dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

Output penilaian kategori material berupa grafik diperlihatkan pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21 *Output* Penilaian Kategori Material Pada EDGE Berupa *Embodied Carbon* (Sumber: EDGE *User Guide* Material *Measures Part* 5 *Version* 3, 2024)

2.6 Tolok Ukur Kategori Material Pada LEED Versi 4.1, *Greenship* Versi 1.2, dan EDGE Versi 3.1

Tolok ukur dalam kategori material pada tiga sistem sertifikasi bangunan hijau LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1 memiliki pendekatan yang berbeda namun berbagi tujuan yang sama, yaitu menekan dampak lingkungan dari penggunaan material konstruksi. *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) versi 4.1, kategori *Materials and Resources* (MR) berfokus pada transparansi asal-usul material dan analisis siklus hidupnya atau *Life Cycle Assessment* (LCA). Penilaian mencakup elemen seperti *Environmental Product Declaration* (EPD), *Sourcing of Raw Materials*, dan *Material Ingredients* untuk memastikan material yang digunakan memiliki jejak lingkungan yang terukur dan bersumber secara bertanggung jawab. Berbeda dengan itu, EDGE versi 3.1 menitikberatkan pada efisiensi sumber daya dengan pendekatan kuantitatif. Kategori *Materials* dalam EDGE menilai pengurangan emisi karbon dan konsumsi energi melalui pemilihan bahan bangunan rendah karbon, seperti beton pracetak, baja daur ulang, atau kayu bersertifikat. *Greenship* versi 1.2 menyoroti prinsip pengurangan, penggunaan kembali, dan daur ulang material dalam kategori *Material Resources and Cycle* (MRC). Aspek yang dinilai meliputi penggunaan bahan lokal, material dengan kandungan daur ulang, dan pengelolaan limbah konstruksi. Secara keseluruhan, ketiga sistem ini berupaya mewujudkan praktik konstruksi yang berkelanjutan. *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) menonjol dalam aspek transparansi dan analisis LCA, EDGE pada penghitungan efisiensi energi dan emisi, sedangkan *Greenship* mengedepankan penerapan lokal dan siklus material yang berkelanjutan.

2.6.1 Kategori *Materials and Resources* pada LEED versi 4.1

Kategori *Materials and Resources* (MR) berperan penting dalam mewujudkan bangunan yang berkelanjutan dengan menekankan penggunaan material secara efisien dan bertanggung jawab. Menurut Gurgun., dkk., (2015), penggunaan material yang baik dalam proyek berkelanjutan memiliki pengaruh yang besar

terhadap kondisi lingkungan. Tujuan utamanya adalah meminimalkan dampak lingkungan yang timbul dari proses pengambilan bahan mentah, pembuatan, pengiriman, hingga pembuangan material bangunan. Pendekatan ini berlandaskan pada tiga prinsip utama, yaitu transparansi informasi material, analisis siklus hidup, dan efisiensi sumber daya. Hasil akhir evaluasi kategori ini dapat dihitung menggunakan rumus yang berfungsi untuk menentukan persentase kategori tersebut. Berdasarkan jumlah nilai kredit yang didapat dari proses penilaian, nilai persentase diperlihatkan pada Persamaan 2.1.

$$\%\ \textit{Materials and Resources} = \frac{\text{Biaya Kriteria } \textit{Materials and Resources}}{\sum \text{Biaya Material Keseluruhan}} \text{ x } 100\% \quad ....(2.1)$$

(Sumber: *United States Green Building Council*, 2025)

Keterangan:

% Materials and Resources	:	Persentase biaya kriteria *Materials and Resources*
Biaya kriteria *Materials and Resources*	:	Biaya kriteria *Materials and Resources*
∑ Biaya Material Keseluruhan	:	Total biaya material keseluruhan

Berdasarkan kategori ini, adapun kriteria *Building Design and Construction* yang menjadi prasyarat yakni *Storage and Collection of Recyclables*. Kriteria ini bertujuan memastikan bahwa sistem pengelolaan limbah telah dipertimbangkan sejak tahap desain dengan menghadirkan ruang penyimpanan (TPS 3R) yang mudah dijangkau oleh pengguna maupun petugas kebersihan.

Selain kriteria tersebut, *Building Life Cycle Impact Reduction* dengan skor yang dapat diperoleh sebesar 5 poin. Metode agar memperoleh poin dapat dilakukan dengan aspek *Building and Material Reuse*. Metode ini menerapkan konsep menggunakan kembali elemem dinding, atap, lantai, dan eksterior gedung. Selain penggunaan elemen tersebut, komponen interior juga dapat dihitung sebagai 1 poin dengan minimal penggunaan 30% dari keseluruhan bangunan. Alternatif perolehan poin *building life cycle impact reduction* adalah mengevaluasi *Life Cycle Assessment* dari keseluruhan bangunan dengan skor maksimal sebesar 4 poin.

Kriteria ketiga adalah *Environmental Product Declarations* (EPD) dengan skor yang dapat dicapai sebesar 2 poin. Upaya yang dapat dilakukan dalam pencapaian 1 poin adalah penggunaan minimal 20 jenis produk berbeda yang terpasang secara permanen, berasal dari sedikitnya lima produsen yang berbeda, dan lolos dari salah satu persyaratan sebagai berikut:

1. Produk yang memiliki penilaian siklus hidup (*Life-Cycle Assessment*) yang tersedia secara publik dan telah melalui proses tinjauan kritis sesuai dengan standar ISO 14044 dan mencakup ruang lingkup minimal dari hulu ke hilir, dihitung sebagai satu produk penuh dalam perolehan kredit penilaian.
2. EPD tipe III spesifik produk. Produk yang memiliki *Life-Cycle Assessment* (LCA) yang telah ditinjau secara menyeluruh sesuai dengan standar yang ditetapkan pada ISO 14071, dan memiliki *Environmental Product Declaration* (EPD) spesifik produk yang mengikuti ketentuan dari ISO 14025 dan standar EN 15804 atau ISO 21930.
3. EPD tipe III skala industri. Produk yang memiliki sertifikasi pihak ketiga (Tipe III) dengan verifikasi eksternal. Produsen secara resmi diakui sebagai peserta oleh operator program. Produk dengan *Environmental Product Declaration* (EPD) tingkat industri yang memenuhi standar ISO 14025 serta EN 15804 atau ISO 21930.

Upaya lain agar memperoleh satu poin sisanya dapat dicapai dengan pemilihan produk yang dilengkapi dengan laporan atau rencana aksi pengurangan karbon (*embodied carbon*) yang telah memenuhi ketentuan dan disusun secara terpisah dari *Life Cycle Assessment* (LCA) atau *Environmental Product Declaration* (EPD).

Kriteria keempat adalah *Sourcing of Raw Materials*, kriteria ini bertujuan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan masyarakat akibat kegiatan perolehan serta pengolahan bahan mentah. Skor maksimal yang dapat diperoleh adalah sebesar 2 poin. Poin dapat diperoleh apabila proyek menggunakan produk material yang bersumber dari minimal tiga produsen berbeda, produk tersebut harus memenuhi setidaknya satu kriteria terkait sumber material yang telah ditetapkan. Total persentase biaya material yang memenuhi kriteria tersebut harus mencapai

minimal 15% untuk 1 poin, atau minimal 30% untuk 2 poin, dari keseluruhan biaya material bangunan yang terpasang secara permanen dalam proyek.

Penjelasan pencapaian poin lebih detail dijelaskan sebagai berikut:

1. *Extended producer responsibility* merupakan barang yang diperoleh produsen yang terlibat dalam program yang memiliki tanggung jawab langsung dalam pelaksanaannya. Dalam perhitungan pencapaian kredit, produk yang memenuhi persyaratan hanya diperhitungkan sebesar 50% dari total nilai biayanya.
2. *Bio-based materials* berupa material berbasis hayati selain kayu yang harus melalui pengujian menggunakan metode ASTM D6866 atau ISO 16620-2. Alternatifnya, produk dapat memiliki sertifikasi dari U.S. *Department of Agriculture* (USDA) *BioPreferred Voluntary Labeling Initiative* yang mencakup verifikasi melalui pengujian ASTM 6866. Produk berbahan kulit, termasuk kulit hewan dan material sejenis, tidak termasuk dalam kategori ini.
3. *Wood products* memiliki tujuan produk kayu harus memiliki sertifikasi dari *Forest Stewardship Council* (FSC) atau lembaga lain yang setara dan disetujui oleh *United States Green Building Council*. Produk yang memenuhi kriteria sertifikasi kayu tersebut akan dihitung 100% dari nilai biayanya dalam proses perhitungan pencapaian kredit.
4. *Materials reuse* merupakan penggunaan kembali mencakup produk yang diselamatkan, diperbarui, atau dimanfaatkan ulang. Produk yang memenuhi kriteria penggunaan kembali material akan dihitung sebesar 200% dari nilai biayanya dalam proses perhitungan pencapaian kredit.
5. *Recycled content* adalah produk yang memenuhi kriteria kandungan daur ulang yang akan diperhitungkan sebesar 100% dari nilai biayanya dalam proses perhitungan pencapaian kredit.

Kriteria kelima merupakan *Material Ingredients*. *Material Ingredients* berfokus pada transparansi dan tanggung jawab dalam pemilihan bahan bangunan dengan menelusuri komposisi kimia dan dampaknya terhadap kesehatan manusia maupun lingkungan. Tujuannya adalah untuk mendorong penggunaan material yang lebih aman, sehat, dan memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah sepanjang siklus

hidupnya. Skor maksimal yang dapat dicapai adalah 2 poin. Perolehan 1 poin dapat dilakukan dengan metode *material ingredient reporting*. Metode ini menilai produsen mengungkapkan kandungan bahan dalam produknya melalui pendekatan berbasis deklarasi dan optimasi seperti:

1. *Health product declaration* berisi dokumen yang menjelaskan komposisi kimia produk dan potensi dampaknya terhadap kesehatan.
2. *Cradle to cradle certified* merupakan sertifikasi yang menilai keamanan, tingkat sirkulasi, dan keberlanjutan bahan.
3. *Declare label* merupakan sistem pelabelan transparan yang menampilkan bahan penyusun, sumber, dan kepatuhan terhadap daftar bahan berbahaya (*red list*)
4. *Manufacturer Inventory* yang berisi daftar internal dari produsen yang menunjukkan bahan penyusun hingga tingkat 0,1% (1000 ppm).

Perolehan 1 poin lainnya dapat dilakukan dengan *material ingredient optimization*. *Material ingredient optimization* menggunakan produk yang memiliki laporan atau rencana tindakan bahan material, setidaknya memilih lima produk yang terpasang secara permanen dan berasal dari minimal tiga produsen yang berbeda.

Kriteria keenam adalah *Construction and Demolition Waste Management*, bertujuan untuk mengurangi limbah konstruksi dan pembongkaran yang dikirim ke tempat pembuangan akhir. Pendekatan ini mendorong bangunan untuk menerapkan strategi pengelolaan limbah yang berkelanjutan. Skor maksimal yang diperoleh dari kriteria ini sebesar 2 poin. Poin pertama diperoleh dengan *waste diversion*. *Waste diversion* merupakan aspek yang mengharuskan proyek dapat menunjukkan bahwa minimal 50% limbah berhasil dialihkan dari tempat pembuangan dan dikelompokkan ke dalam sedikitnya tiga jenis material berbeda seperti beton, kayu, logam, atau gipsum. Poin kedua diperoleh dengan *waste prevention*. *Waste prevention* merupakan pencegahan meningkatnya limbah melalui penerapan strategi desain yang mencakup pemanfaatan kembali material dan pengurangan limbah sejak sumbernya. Paling sedikit 50% dari material hasil pembongkaran harus dikumpulkan untuk didaur ulang dan terapkan perencanaan konstruksi yang efektif dalam meminimalkan sisa material pada pekerjaan bangunan baru.

Berdasarkan penjabaran kriteria pada LEED versi 4.1. Ringkasan indikator penilaian LEED kriteria *Materials and Resources* diperlihatkan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Ringkasan Tolok Ukur Kategori *Materials and Resources*

0	**0**	**0**	***Materials and Resources***		**13**
Y	?	N	*Prereq*	*Storage and Collection of Recyclables*	*Required*
			Credit	*Building Life-Cycle Impact Reduction*	5
			Credit	*Environmental Product Declarations*	2
			Credit	*Sourcing of Raw Materials*	2
			Credit	*Material Ingredients*	2
			Credit	*Construction and Demolition Waste Management*	2

(Sumber: *United States Green Building Council*, 2025)

Keterangan:

= *Yes* (Persyaratan/kredit telah terpenuhi)

= ? atau *Uncertain* (Status belum jelas / perlu verifikasi)

= *No* (Persyaratan/kredit tidak terpenuhi)

2.6.2 Kategori *Material Resources and Cycle* (MRC) pada *Greenship* versi 1.2

Bangunan hijau dirancang dengan menerapkan prinsip keberlanjutan dan penggunaan material yang ramah terhadap ekosistem (Felly., dkk., 2024). Kategori *Material Resources Cycle* (MRC) dalam *Greenship* versi 1.2 merupakan elemen penilaian bangunan hijau pada optimalisasi penggunaan material sepanjang siklus hidup bangunan. Tujuan dari kategori ini adalah mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh kegiatan konstruksi, mulai dari tahap pengambilan bahan mentah, proses produksi, distribusi, pemakaian, hingga pengelolaan limbah material. MRC menekankan penerapan prinsip *reduce, reuse, recycle* serta mendorong penggunaan bahan bangunan lokal, ramah lingkungan, dan memiliki sertifikasi keberlanjutan seperti *Environmental Product Declaration* (EPD). Hasil akhir evaluasi material pada kategori *Material Resources And Cycle* dapat dihitung menggunakan rumus yang berfungsi untuk menentukan persentase kategori tersebut.

Berdasarkan jumlah nilai kredit yang didapat dari proses penilaian, nilai persentase diperlihatkan pada Persamaan 2.2.

$$\%\ \textit{Material Resources and Cycle} = \frac{\text{Biaya Kriteria } \textit{Material Resources and Cycle}}{\sum \text{Biaya Keseluruhan Material}} \text{x}100\% \quad ....(2.2)$$

(Sumber: GBCI, 2013)

Keterangan:

% *Material Resources and Cycle*	:	Persentase biaya kriteria *Material Resources and Cycle*
Biaya Kriteria *Material Resources and Cycle*	:	Biaya kriteria *Material Resources and Cycle*
∑ Biaya Keseluruhan Material	:	Total biaya keseluruhan material

Adapun kriteria dalam MRC yang menjadi prasyarat adalah Refrigeran Fundamental atau *Fundamental Refrigerant*. Kriteria ini berisi tentang pencegahan penggunaan bahan yang memiliki potensi tinggi dalam merusak lapisan ozon merupakan bagian penting dari strategi pembangunan berkelanjutan. Tindakan ini bertujuan untuk mengurangi pelepasan senyawa kimia berbahaya, seperti *chlorofluorocarbon* (CFC) dan *hydrochlorofluorocarbon* (HCFC), yang diketahui berperan besar dalam proses pengurangan ozon di atmosfer. Melalui pemilihan material yang ramah lingkungan dan memiliki kadar zat perusak ozon yang rendah, kegiatan konstruksi dapat berkontribusi terhadap upaya mitigasi perubahan iklim dan pelestarian kualitas udara global.

Kriteria lainnya adalah Penggunaan Gedung dan Material Bekas atau *Building and Material Reuse*. Kriteria ini merupakan pemanfaatan kembali material dari bangunan lama maupun dari sumber lain sebagai upaya strategis untuk menekan kebutuhan terhadap bahan mentah baru (*Green Building Council Indonesia*, 2013). Pendekatan ini tidak hanya membantu mengurangi volume limbah yang berakhir di tempat pembuangan akhir, tetapi juga berperan dalam memperpanjang umur pakai material konstruksi. Skor maksimal yang dapat diperoleh adalah 2 poin. Cara untuk mendapatkan 1 poin dilakukan dengan pemanfaatan material daur ulang dari

bangunan lama maupun dari lokasi lain, seperti fasad, plafon, lantai, partisi, kusen, dan dinding, setidaknya sebesar 10% dari total anggaran biaya material. Apabila dilakukan setidaknya sebesar 20% dari total anggaran biaya material, maka diperoleh 2 poin. Contoh penerapan kriteria *Building and Material Reuse* diperlihatkan pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22 Material Bekas Sebagai Fasad Bangunan (Sumber: https://duniarsitekturhijau.wordpress.com/2015/10/15/25/)

Kriteria berikutnya merupakan Material Ramah Lingkungan atau *Environmentally Friendly*. Hal ini bertujuan untuk menekan dampak ekologis yang ditimbulkan dari kegiatan pengambilan sumber daya alam dan proses pembuatan material konstruksi. Pengurangan intensitas perolehan bahan mentah dan meminimalkan efek lingkungan dari tahapan produksi. Kriteria ini memiliki skor maksimal 3 poin. Cara yang dapat dilakukan dalam memperoleh 1 poin adalah menggunakan material dengan memiliki sertifikasi sistem manajemen lingkungan, proporsi minimal mencapai 30% dari total biaya keseluruhan material. Sertifikasi tersebut dianggap valid apabila masih aktif dan berlaku pada periode pelaksanaan pembelian material selama proses konstruksi berlangsung. Cara lain untuk mendapatkan 1 poin adalah penggunaan material hasil daur ulang dengan proporsi sekurang – kurangnya 5% dari total anggaran biaya material. Alternatif lain merupakan pemanfaatan material yang berasal dari bahan baku utama berbasis sumber daya terbarukan dengan siklus panen relatif singkat, yaitu kurang dari sepuluh tahun, dilakukan setidaknya sebesar 2% dari total keseluruhan biaya material.

Kriteria berikutnya merupakan Penggunaan Refrigeran tanpa ODP atau Non ODS *Usage*. Tujuannya adalah menggunakan material yang bebas dari kandungan zat yang berpotensi menimbulkan kerusakan pada lapisan ozon. Skor maksimal yang dapat dicapai sebesar 2 poin. Cara untuk memperoleh 2 poin ini dilakukan dengan merancang bangunan dengan seluruh sistem pendingin tanpa menggunakan bahan yang berpotensi merusak lapisan ozon. Contoh beberapa tipe refrigeran dengan nilai ODP (*Ozone Depletion Potential*) diperlihatkan pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Tipe Refrigeran Dengan Nilai ODP

Tipe Refrigeran		**Nilai ODP**
Chloro Fluoro Carbons (CFC)	11	1
	12	1
	115	0,6
Bromide of Methyl		0,6
Hydro Chloro Fluoro Carbons (HCFC)		0,05
Hydro Fluoro Carbons (HFC)		0
Perfluorinated Compound (PFC)		0
Sulfur Hexafluoride (SF6)		0
Ammonia		0

(Sumber: Dib dan Benzaoui, 2012)

Kriteria lain merupakan Kayu Bersertifikat atau *Certified Wood*, bertujuan agar menggunakan kayu yang asal-usulnya dapat diverifikasi dan dikelola secara bertanggung jawab sebagai upaya menjaga kelestarian hutan. Skor yang dapat diperoleh dalam kriteria ini sebesar 2 poin. Poin pertama dapat dicapai dengan memanfaatkan material kayu yang memiliki sertifikasi legal sesuai dengan ketentuan pemerintah mengenai asal-usul kayu. Contoh sertifikasi legal sesuai dengan ketentuan pemerintah adalah Faktur Angkutan Kayu Olahan (FAKO), sertifikat perusahaan, dokumen pendukung, dan memastikan 100% biaya material kayu berasal dari sumber yang bebas dari praktik perdagangan kayu ilegal. Alternatif lain dalam memperoleh poin adalah menggunakan 30% dari material kayu dengan sertifikasi resmi dari Lembaga Ekolabel Indonesia (LEI) atau *Forest Stewardship Council* (FSC).

Adapun *prefab material* yang tujuannya mendorong peningkatan efisiensi pemakaian material dan meminimalkan limbah konstruksi. Skor maksimal yang dapat dicapai sebesar 3 poin. Cara untuk mendapatkan poin ini adalah perancangan bangunan yang memanfaatkan material modular atau prafabrikasi namun tidak termasuk peralatan, setidaknya mencakup 30% dari total biaya material yang digunakan dalam proyek.

Kriteria terakhir merupakan Material Regional yang bertujuan menekan emisi karbon yang dihasilkan dari kegiatan transportasi distribusi. Skor maksimal yang dapat dicapai adalah 2 poin. Cara untuk mendapatkan poin adalah memanfaatkan material yang sumber bahan baku utama dan proses produksinya berlokasi dalam jarak maksimal 1.000 kilometer dari area proyek, dengan nilai penggunaan minimal 50% dari total biaya material. Alternatifnya adalah memanfaatkan material yang sumber bahan baku utama dan proses produksinya berasal dari dalam wilayah Republik Indonesia, dengan proporsi mencapai 80% dari total biaya material.

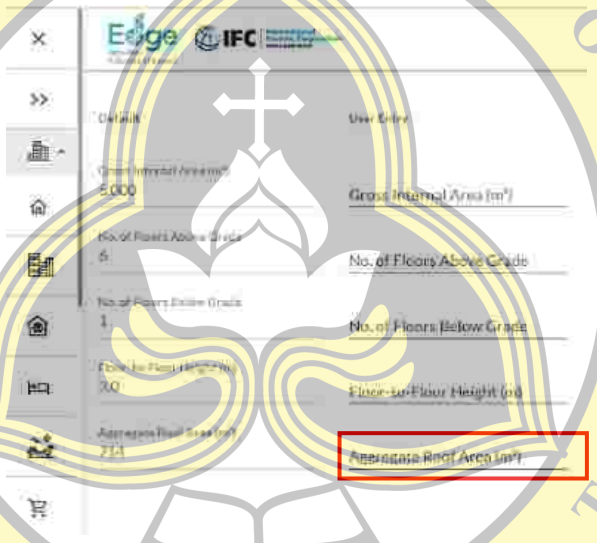
2.6.3 Kategori *Material* pada EDGE versi 3.1

Dokumen *User Guide Material Measures* memberikan petunjuk lengkap mengenai persyaratan, tujuan utama, serta metodologi umum yang digunakan untuk menilai dampak dari setiap ukuran material (*International Finance Corporation*, 2024). Kategori *material* menjadi salah satu aspek utama yang dinilai untuk menentukan tingkat keberlanjutan sebuah bangunan. Adapun kriteria yang dimiliki oleh *Material* yakni *Bottom Floor Construction*. *Bottom Floor Construction* memiliki tujuan untuk menurunkan jejak karbon yang terkandung dalam bangunan dengan memilih jenis lantai yang memiliki kadar *embodied carbon* lebih rendah dibandingkan pelat lantai konvensional.

Kriteria berikutnya merupakan *Intermediate Floor Construction*. Kriteria ini memiliki tujuan agar menurunkan jejak karbon yang terkandung dalam bangunan dengan memilih jenis lantai yang memiliki kandungan karbon lebih rendah dibandingkan dengan pelat lantai konvensional.

Floor Finish menjadi kriteria yang mendukung konstruksi berkelanjutan dalam kategori *Material*. Tujuan dari kriteria ini adalah untuk menekan jumlah karbon tersimpan dalam bangunan dengan menetapkan jenis penutup lantai yang memiliki kadar karbon lebih rendah dibandingkan penutup lantai pada umumnya.

Kriteria berikutnya adalah *Roof Construction*, *Roof Construction* bertujuan mengurangi kadar karbon yang terdapat di dalam bangunan. Hal ini dapat dilakukan dengan menentukan jenis atap yang memiliki kandungan karbon lebih rendah dibandingkan dengan pelat atap yang sering digunakan. Uraian yang lebih mendetail mengenai proses atau tahapan pengisian data pada bagian *roof construction* di aplikasi EDGE diperlihatkan pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23 Luas Atap Total (Sumber: https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

Kriteria berikutnya merupakan *Interior Walls*. *Interior Walls* memiliki tujuan menekan jumlah karbon tersimpan dalam bangunan dengan menentukan jenis dinding interior yang memiliki kandungan karbon lebih rendah dibandingkan dengan dinding interior pada umumnya.

Kriteria berikutnya merupakan *Window Frames*. *Window Frames* memiliki tujuan untuk menurunkan karbon tersimpan dalam bangunan dengan memilih jenis rangka jendela yang memiliki kandungan karbon lebih rendah dibandingkan dengan rangka jendela konvensional.

Kriteria berikutnya merupakan *Window Glazing*. *Window Glazing* merupakan kriteria yang tujuannya adalah untuk menurunkan jumlah karbon tersimpan dalam bangunan dengan menetapkan jenis kaca jendela yang memiliki kandungan karbon relatif lebih rendah.

Kriteria berikutnya merupakan *Roof Insulation* yang merupakan upaya mengurangi jumlah karbon dalam bangunan, dengan memilih material insulasi atap yang memiliki kandungan karbon relatif lebih rendah. Apabila terdapat beberapa spesifikasi, maka spesifikasi yang paling dominan harus dipilih sebagai jenis insulasi utama. Contoh pengaplikasian *roof insulation* diperlihatkan pada Gambar 2.24.



Gambar 2.24 *Roof Insulation* (Sumber: https://www.expertinsulation.com/homeowners-fiberglass-insulation/)

Kriteria berikutnya merupakan *Wall Insulation*, *Wall Insulation* memiliki tujuan untuk menekan jumlah karbon tersimpan dalam bangunan dengan menetapkan jenis insulasi dinding yang kandungan karbon relatif lebih rendah. Spesifikasi yang dipilih adalah insulasi dinding dengan paling mendekati jenis insulasi dinding luar.

Jika terdapat lebih dari satu spesifikasi insulasi, maka spesifikasi yang paling banyak digunakan harus dipilih sebagai jenis utama. Jenis insulasi tambahan dapat dicantumkan dengan menyebutkan persentase luas area (%) yang diwakilinya. Jenis kedua hanya perlu dicatat apabila menutupi lebih dari 10% dari total area, sementara area yang lebih kecil dari 10% bersifat opsional. Apabila digunakan lebih dari dua

jenis insulasi, area dengan proporsi yang lebih kecil dapat dimodelkan sebagai salah satu dari dua jenis utama yang paling mendekati karakteristiknya. Contoh pengaplikasian *wall insulation* diperlihatkan pada Gambar 2.25.



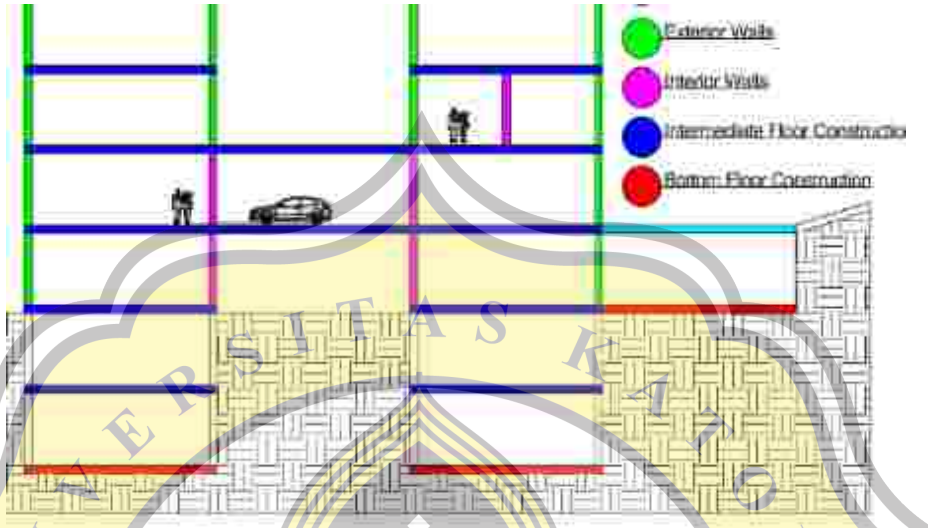
Gambar 2.25 *Wall Insulation* (Sumber: https://app.edgebuildings.com/swatchesimages/642F4241 EDC8 4EBA 8803 A84F0051A951/1.jpg)

Kriteria terakhir merupakan *Floor Insulation*, *Floor Insulation* mengurangi kadar karbon tersimpan pada bangunan dengan insulasi lantai yang memiliki tingkat kandungan karbon lebih rendah dibandingkan material konvensional. Kandungan karbon dikalkulasi berdasarkan luasan material yang digunakan tiap lantai. Contoh pengaplikasian *floor insulation* diperlihatkan pada Gambar 2.26.



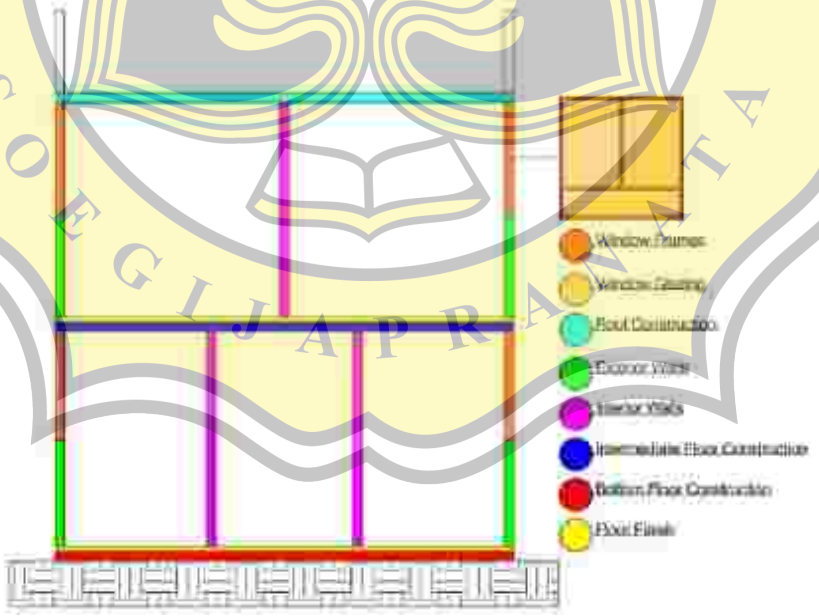
Gambar 2.26 *Floor Insulation* (Sumber: https://www.forbes.com/home improvement/flooring/types-of-insulation-between-floors/)

Agar lebih mudah memahami bagian yang tergolong kategori material pada EDGE, visualisasi *macro layout* kategori material diperlihatkan pada Gambar 2.27.



Gambar 2.27 Visualisasi *Macro Layout* Kategori Material Pada EDGE (Sumber: Diolah kembali dari https://app.edgebuildings.com/swatchesimages//03572143 D454 45BF 8FCB BED75F7F4803/DSM2%201.jpg)

Adapun visualisasi *micro layout* kategori material pada EDGE diperlihatkan pada Gambar 2.28.

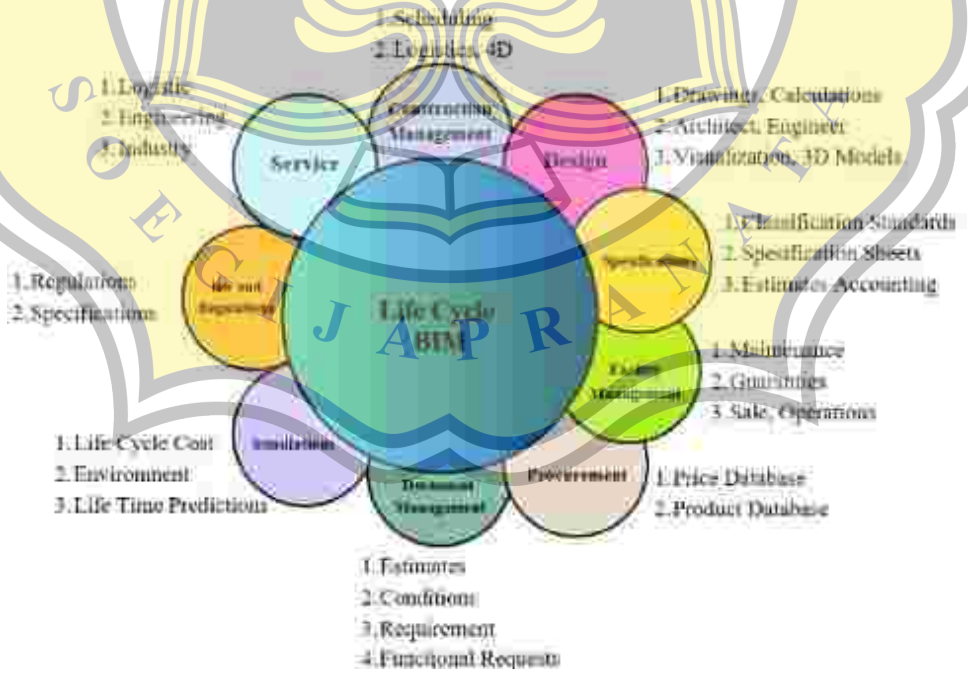


Gambar 2.28 Visualisasi *Micro Layout* Kategori Material Pada EDGE (Sumber: Diolah kembali dari https://app.edgebuildings.com/swatchesimages/D238C 2C60 25270078040E9/DS M007%201.jpg)

2.7 *Building Information Modeling* (BIM)

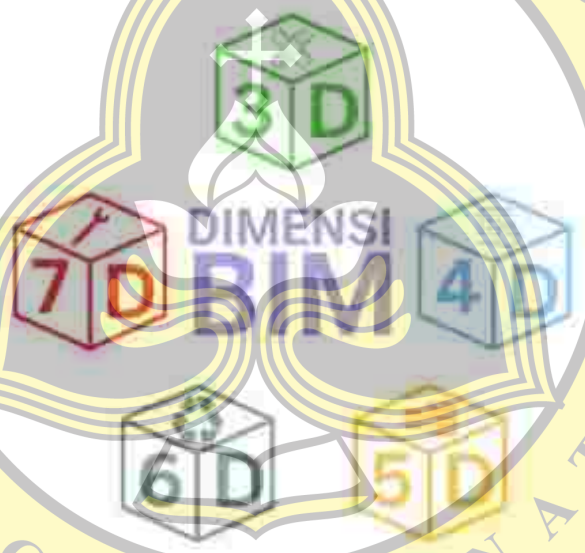
Menurut Azhar (2011), *Building Information Modeling* (BIM) merupakan inovasi terbarukan yang membawa perubahan besar dalam dunia arsitektur, teknik, dan konstruksi. Melalui penerapan teknologi ini, sebuah representasi digital bangunan dapat dibuat secara presisi. Model digital yang disebut model informasi bangunan, dimanfaatkan dalam berbagai tahap proyek mulai dari perencanaan, perancangan, pembangunan, hingga pengelolaan fasilitas. BIM memfasilitasi kolaborasi antara arsitek, insinyur, dan kontraktor dengan menyediakan simulasi virtual yang memungkinkan *engineer* mengantisipasi serta menyelesaikan potensi kendala desain, pelaksanaan, maupun operasional sebelum proses konstruksi nyata dimulai.

BIM mencakup seluruh tahapan kehidupan sebuah bangunan, dari perencanaan awal hingga saat bangunan tidak lagi digunakan. Teknologi ini mengintegrasikan proses desain, pembangunan, dan pengelolaan dalam satu sistem digital yang terhubung dengan baik, sehingga setiap tahap dapat dikelola dengan lebih efisien dan keputusan dapat diambil secara lebih akurat (https://www.jesbim.com/knowledge-bank/the-bim-lifecycle). *Life cycle* dalam BIM diperlihatkan pada Gambar 2.29.



Gambar 2.29 *Life Cycle* BIM (Sumber: Diolah kembali dari Ustinovičiusa., dkk., 2015)

Berdasarkan Kementerian PU (2024) *Building Information Modeling* (BIM) terdapat beberapa dimensi yang menggambarkan ruang lingkup pekerjaan. Setiap dimensi BIM berfungsi sebagai penanda perkembangan serta penambahan informasi pada bentuk geometris sesuai dengan fungsinya. Dimensi-dimensi ini tidak berkaitan dengan, tingkat kematangan penerapan BIM. Pada implementasinya, pemilihan dimensi yang digunakan sebagai keluaran disesuaikan dengan kebutuhan pihak pemberi tugas. Secara umum, penerapan BIM dalam proyek infrastruktur mencakup tujuh dimensi utama, yaitu dimensi ke-3 (model geometris), ke-4 (manajemen waktu), ke-5 (kuantitas dan manajemen biaya), ke-6 (keberlanjutan dan efisiensi energi), dan ke-7 (manajemen fasilitas). Gambar 2.30 memperlihatkan dimensi yang terdapat pada BIM.

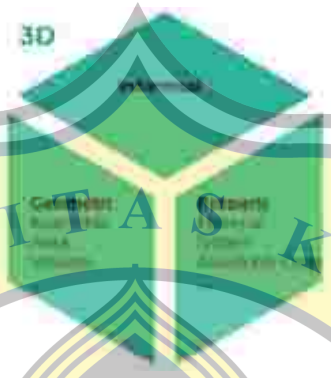


Gambar 2.30 Dimensi BIM (Sumber: Diolah kembali dari Kementerian Pekerjaan Umum, 2024)

2.7.1 *Building Information Modeling* (BIM) 3D

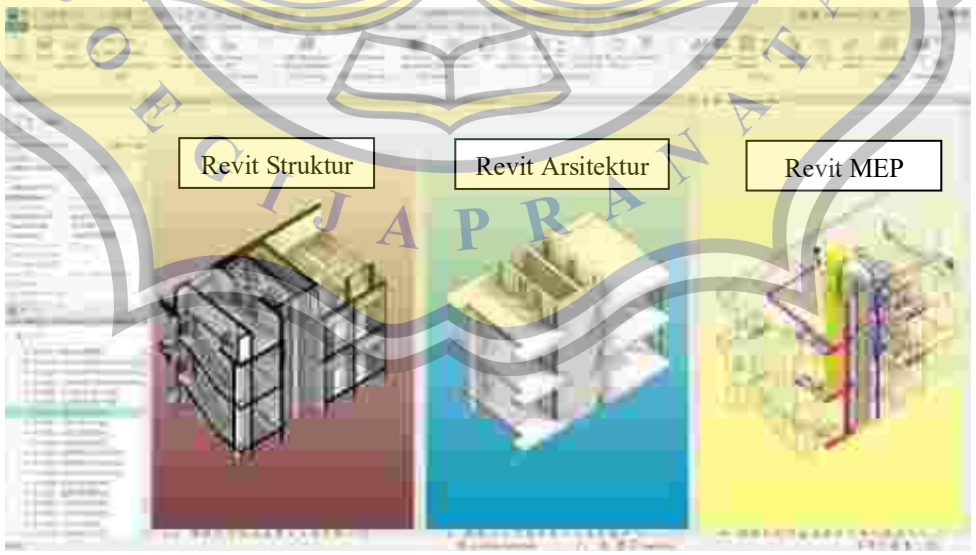
Dalam penerapan BIM, dimensi paling dasar dimulai dari 3D, yaitu model dengan tiga dimensi yang berisi informasi utama tentang bentuk (geometri), jenis dan sifat material, serta data tambahan dalam bentuk angka dan teks. Dimensi ketiga ini menggambarkan objek secara ruang tiga dimensi dengan koordinat x, y, dan z, termasuk aspek geospasialnya. Model 3D juga memuat informasi visual seperti

luas, volume, jumlah elemen, serta informasi non-visual lain yang diatur dalam *Employer's Information Requirements* (EIR) dan BIM *Execution Plan* (BEP) (Kementrian PU, 2024). Rincian mengenai dimensi 3D dalam BIM diperlihatkan pada Gambar 2.31.



Gambar 2.31 Rincian Dimensi 3D Dalam BIM (Sumber: Kementrian PU, 2024)

Berdasarkan pernyataan Akbar., dkk., (2025) salah satu *software* yang berperan penting dalam proses perancangan, simulasi, visualisasi, hingga pembangunan bangunan secara efisien adalah Autodesk Revit. Revit merupakan perangkat lunak pemodelan 3D yang dapat digunakan untuk berbagai bidang desain, termasuk mekanikal, elektrikal, *plumbing* dan disiplin teknik lainnya. Gambar 2.32 menampilkan tampilan kerja dari *software* Autodesk Revit.



Gambar 2.32 Tampilan Kerja *Software* Autodesk Revit (Sumber: https://www.autodesk.com/in/products/revit/features)

2.7.2 *Building Information Modeling* (BIM) 5D

Dimensi 5D pada BIM menggambarkan model 3D yang dilengkapi dengan data volume untuk setiap elemen di dalamnya. Informasi volume tersebut dapat disusun dan disesuaikan sesuai kebutuhan proyek. Atribut biaya yang terpasang perlu dipastikan tercantum dalam *Asset Information Model* (AIM) sebagai representasi dari biaya aktual barang atau peralatan yang telah dipasang (Kementrian PU, 2024). Menurut Immanuel dan Bangun (2023), dalam berbagai dimensi BIM, BIM 5D berperan dalam proses *quantity take-off* hingga penyusunan *Bill of Quantity* (BQ). Metode BQ digunakan untuk memecah bangunan menjadi beberapa komponen yang dikelompokkan berdasarkan karakteristik dan jenis pekerjaan konstruksi yang sejenis. Untuk setiap jenis pekerjaan, ditetapkan kondisi serta biaya satuan yang mencakup unsur tenaga kerja, material, dan peralatan. Setiap elemen proyek diidentifikasi secara rinci, sehingga memungkinkan perhitungan biaya satuan yang menyeluruh, dan total volume atau kuantitas dari berbagai *item* dalam kelompok BQ yang sama dapat dijumlahkan secara akurat. Berdasarkan pernyataan Ustinovičius., dkk., (2015) proses perhitungan anggaran menjadi lebih otomatis dan konsisten, sehingga dapat mengurangi potensi kesalahan manusia yang biasanya terjadi saat penyusunan estimasi secara manual. Rincian mengenai dimensi 5D dalam BIM diperlihatkan pada Gambar 2.33.



Gambar 2.33 Rincian Dimensi 5D Dalam BIM (Sumber: Kementrian PU, 2024)

Glodon Cubicost merupakan salah satu *software* yang mengintegrasikan teknologi BIM, sistem otomatisasi, serta standar pengukuran yang sesuai dengan regulasi. Kombinasi ini membuat proses estimasi menjadi lebih cepat, akurat, dan konsisten, sekaligus membantu meningkatkan daya saing dalam pelaksanaan proyek konstruksi (https://asia.glodon.com/blog/quantity-takeoff:-why-bim-is-replacing-manual-methods). Glodon Cubicost terdiri dari beberapa modul yang saling terintegrasi sesuai bidang pekerjaan. Berikut adalah salah satu produk utama dalam seri Glodon Cubicost yakni TAS (*Take-off for Architecture and Structure*). TAS berfungsi untuk menghitung volume pekerjaan arsitektur dan struktur bangunan berdasarkan gambar 2D maupun model 3D. Sistem ini dapat mengidentifikasi elemen konstruksi seperti dinding, balok, kolom, pelat sehingga proses *quantity take-off* menjadi lebih cepat dan hasil perhitungannya lebih presisi. Gambar 2.34 memperlihatkan tampilan kerja dari *software* TAS.

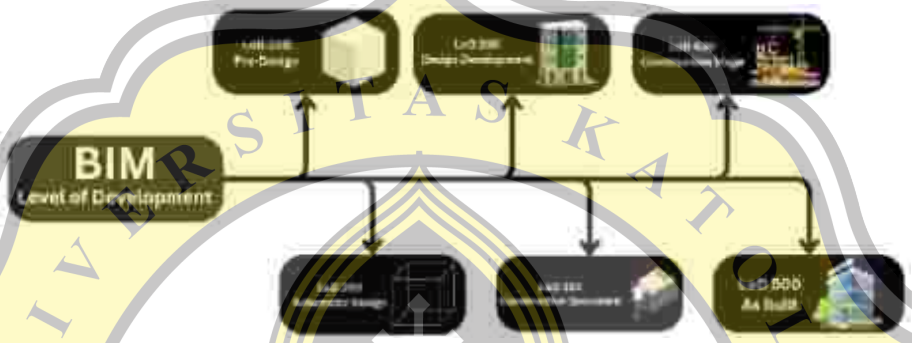


Gambar 2.34 Tampilan Kerja Dari *Software* TAS (Sumber: https://asia.glodon.com/app/admin/upload/files/20240806/66b1fd6ebb4a.png)

2.7.3 *Level of Development* (LoD)

Berdasarkan Kementrian PU (2024) dalam sebuah proyek yang melibatkan lebih dari satu BIM *modeller*, diperlukan kejelasan mengenai tanggung jawab setiap pihak serta model yang dihasilkan, termasuk tingkat *Level of Development* (LoD). LoD menggambarkan sejauh mana pengembangan model 3D dilakukan, semakin

tinggi tingkat LoD maka model tersebut semakin akurat dan mendekati kondisi sebenarnya. LoD memiliki peran penting dalam seluruh siklus hidup *Building Information Modeling* (BIM). Secara sederhana, LoD adalah ukuran yang menunjukkan sejauh mana bentuk dan informasi suatu elemen telah dikembangkan, sekaligus mencerminkan tahap kemajuan proyek secara keseluruhan. *Level of Development* terbagi dalam beberapa fase yang diperlihatkan pada Gambar 2.35.



Gambar 2.35 *Level of Development* Pada BIM (Sumber: Diolah kembali dari Kementerian Pekerjaan Umum, 2024)

Menurut Kementerian PU (2024), berikut merupakan penjelasan terkait dengan *Level of Development* pada BIM:

1. LoD 100

   LoD 100 adalah tahap awal yang bersifat konseptual, model BIM masih berupa gambaran umum dalam bentuk model 3D sederhana tanpa rincian detail. Hasil dari tahap ini biasanya menampilkan batas area, zonasi, panjang, tinggi, serta posisi dari aset atau bangunan yang direncanakan untuk di konstruksi.

2. LoD 200

   LoD 200 merupakan tahap pengembangan konsep yang lebih detail, informasi seperti jumlah lantai, luas area, dimensi panjang, serta pembagian denah bangunan, stasiun, dan ruang sudah mulai ditentukan dan divisualisasikan dalam bentuk model 3D yang lebih terstruktur.

3. LoD 300

   LoD 300 adalah tahap model sudah mencakup detail konstruksi, serta informasi teknis yang lebih akurat, termasuk dimensi yang presisi. Model pada level ini digunakan dalam tahap pengembangan desain untuk melakukan analisis,

simulasi, dan perhitungan biaya. LoD 300 berisi data yang diperlukan untuk pelaksanaan pekerjaan, dengan pemodelan yang didasarkan pada hasil survei, data dasar, dan rancangan arsitektur.

4. LoD 350

   LoD 350 adalah tahap pemodelan konstruksi yang berfungsi sebagai acuan dalam proses pelaksanaan di lapangan. Pada level ini, model digunakan untuk menyediakan informasi detail yang dibutuhkan selama tahap konstruksi dan menghasilkan keluaran berupa gambar kerja atau *shop drawing* yang siap digunakan sebagai panduan pembangunan.

5. LoD 400

   LoD 400 adalah tahap pemodelan konstruksi yang berfungsi sebagai acuan dalam proses pelaksanaan yang melibatkan kegiatan fabrikasi menggunakan peralatan atau mesin otomatis. Pada level ini, model BIM telah memiliki standar komponen yang cukup rinci dan presisi sehingga dapat langsung digunakan dalam proses produksi atau perakitan dengan mesin khusus.

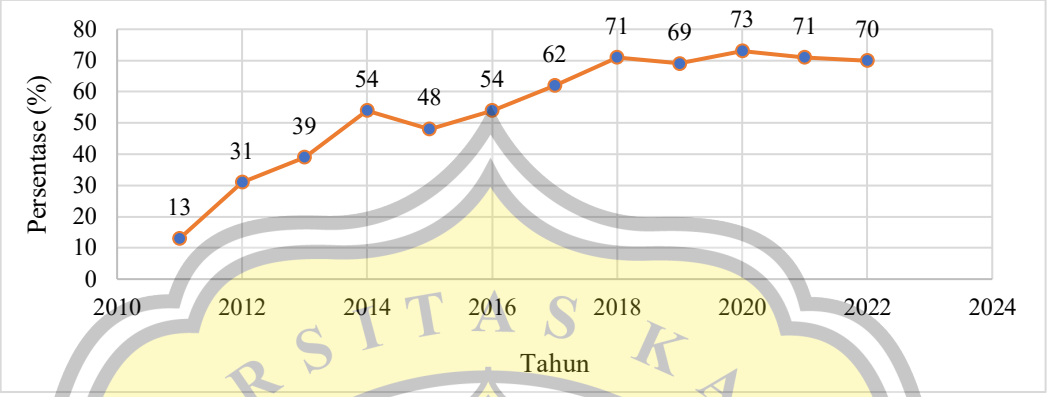
6. LoD 500

   LoD 500 merupakan tahap yang menggambarkan kondisi *as-built* atau hasil akhir dari infrastruktur yang telah dibangun. Model pada level ini menjadi keluaran utama saat proses serah terima proyek, berisi informasi yang diperlukan untuk kegiatan manajemen aset dan operasional. Pemodelan LoD 500 didasarkan pada *as-built drawing* serta kondisi aktual di lapangan setelah konstruksi selesai.

2.8 Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) pada *Green Building*

Melalui integrasi BIM, memungkinkan analisis mendalam terhadap efisiensi energi, penggunaan material, dan potensi dampak lingkungan sejak tahap awal perencanaan. Respon terhadap kebutuhan akan penerapan bangunan berkelanjutan di bidang *Architecture*, *Engineer*, dan *Construction* (AEC), penggunaan BIM serta sertifikasi bangunan hijau menjadi semakin penting, dengan tujuan utama untuk memperkuat strategi desain yang ramah lingkungan dan berkelanjutan (Gaetano., dkk., 2023). Sebagian pihak berpartisipasi aktif sebagai pengguna BIM yang

meningkat jumlahnya seiring berjalannya waktu (Doumbouya, dkk., 2016). Peningkatan kecenderungan pengguna BIM diperlihatkan pada Gambar 2.36.



Gambar 2.36 Jumlah Penggunaan BIM setiap Tahun (Sumber: Diolah kembali dari NBS National, 2023)

Berdasarkan survei yang dilakukan oleh NBS National, penggunaan BIM di kalangan konstruksi meningkat seiring berjalannya waktu. Jumlah penggunaan BIM terendah berada di tahun 2011 dengan nilai 13% dan jumlah penggunaan BIM tertinggi berada di tahun 2020 dengan nilai 70%. Pemanfaatan BIM dapat diaplikasikan pada konstruksi *green building*. *Building Information Modeling* (BIM) dapat digunakan untuk menilai kinerja bangunan hijau dengan cara melakukan digitalisasi dan evaluasi menyeluruh terhadap bangunan sejak tahap perencanaan dan pengembangannya (Solla., dkk., 2022). Tidak semua *software* BIM memiliki kemampuan yang sesuai untuk penerapan *green building*. Walaupun beberapa aplikasi BIM dapat membantu dalam proses perancangan dan pengelolaan data bangunan, hanya beberapa yang menyediakan fitur untuk mendukung keberlanjutan. Tabel 2.11 memperlihatkan *software* BIM dengan *green rating tools*.

Tabel 2.11 *Software* BIM Pada *Green Rating Tools*

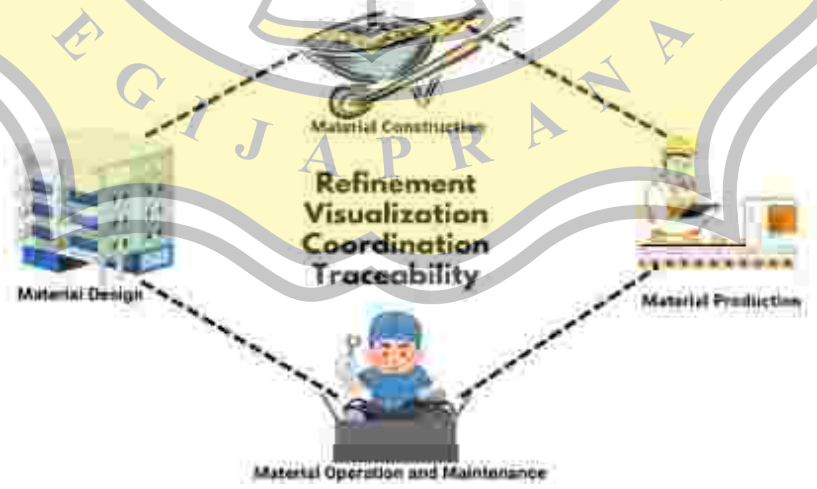
Software	***Green Rating Tools***
AECOsim	–
ArchiCAD	–
Autodesk *Green Building Studio*	–
Autodesk Revit (*Light Analysis* Revit)	LEED (IEQc8.1 2009) dan LEED Versi 4 (EQc7 opt2)

Tabel 2.11 *Software* BIM Pada *Green Rating Tools* (Lanjutan)

Software	***Green Rating Tools***
Bentley Hevacomp	–
DesignBuilder *Simulation*	–
DOE2	–
eQUEST	–
EnergyPlus	–
FloVENT	–
HEED	–
Integrated Environmental Solutions (*Virtual Environment Navigator*)	LEED (*Thermal comfort*, *daylight*, *and quality* views *of Indoor Environment Quality*)
	BRREAM (*mangement*, *health*, *wellbeing*, *and energy credits*)
Navisworks	–
ODEON *Room Acoustics Software*	–
One Click LCA	–
TRNSYS	–

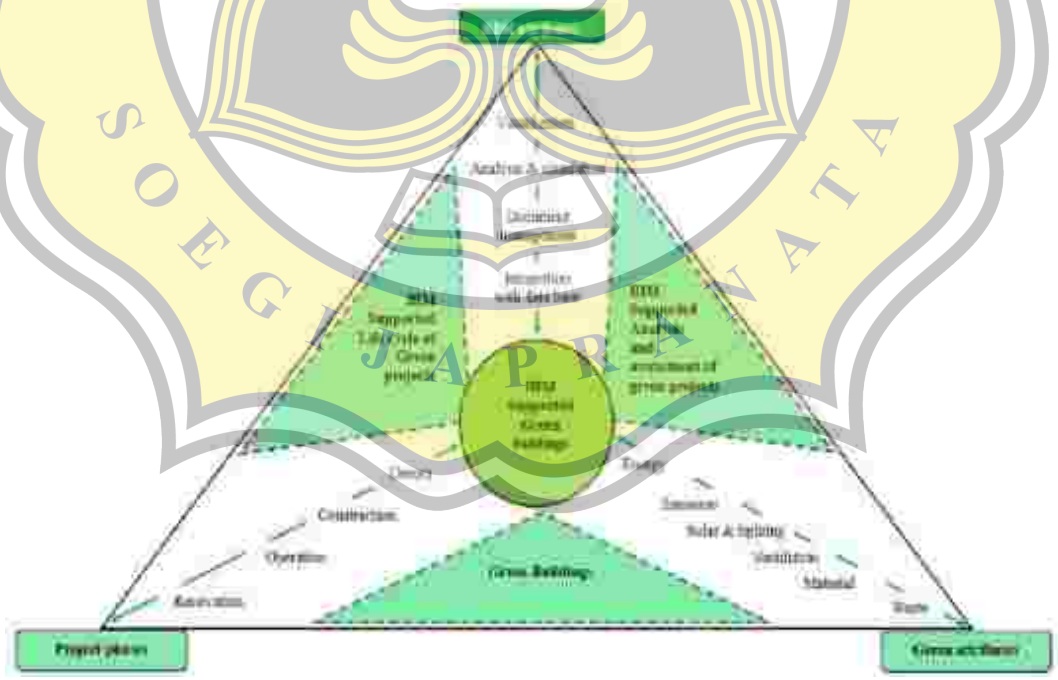
(Sumber: Ansah., dkk., 2019)

Gambar 2.37 memperlihatkan manfaat penggunaan BIM terhadap material dalam *green building*.



Gambar 2.37 Manfaat BIM Terhadap Material Dalam *Green Building* (Sumber: Diolah kembali dari Na., dkk., 2021)

Berdasarkan Gambar 2.37, keuntungan dari penggunaan BIM terhadap material dalam *green building* adalah *visualization*, *refinement*, *coordination*, dan *traceability* (Na., dkk., 2021). Aspek *visualization* pada BIM berfungsi untuk mengoptimalkan konfigurasi dan manajemen material agar lebih terpadu dan teratur. Aspek *refinement* merupakan pengelolaan material *green building* yang berbasis BIM mendokumentasikan seluruh informasi material, melakukan penyimpanan, dan pencadangan data untuk memastikan keamanan serta kelengkapan informasi tersebut. Aspek *coordination* bertujuan agar saat mengimplementasikan konstruksi berkelanjutan, pemilik proyek, tim perencana, pelaksana konstruksi, dan produsen material ramah lingkungan bekerja sama dalam mengelola seluruh material bangunan, sehingga rantai industri yang saling terhubung. Aspek *traceability* bertujuan memanfaatkan BIM untuk membangun basis data pengelolaan material *green building*, menghubungkan berbagai departemen melalui jaringan sehingga pertukaran informasi dapat lebih mudah. Adapun kontribusi *green building* dan BIM pada tahapan konstruksi diperlihatkan pada Gambar 2.38.



Gambar 2.38 Kontribusi *Green Building* dan BIM Pada Tahapan Konstruksi
(Sumber: Lu., dkk., 2017)

Gambar 2.38 menjelaskan keterkaitan antara *Building Information Modeling* (BIM) pada tahapan proyek konstruksi dan atribut bangunan hijau dalam mendukung terciptanya bangunan hijau berbasis BIM. Diagram ini menegaskan bahwa BIM menjadi penghubung utama antara seluruh fase proyek. Mulai dari desain, konstruksi, operasi, hingga renovasi dengan aspek keberlanjutan seperti efisiensi energi, pengurangan emisi karbon, pemanfaatan pencahayaan alami, ventilasi, material ramah lingkungan, dan pengelolaan limbah.

Pada bagian atas diagram, atribut utama BIM seperti visualisasi, analisis dan simulasi, manajemen dokumen, serta integrasi basis data memperkuat proses perencanaan dan evaluasi proyek. Inti diagram, BIM *Supported Green Buildings*, mencerminkan integrasi antara teknologi BIM dan prinsip pembangunan berkelanjutan untuk menciptakan proyek yang efisien dan ramah lingkungan.

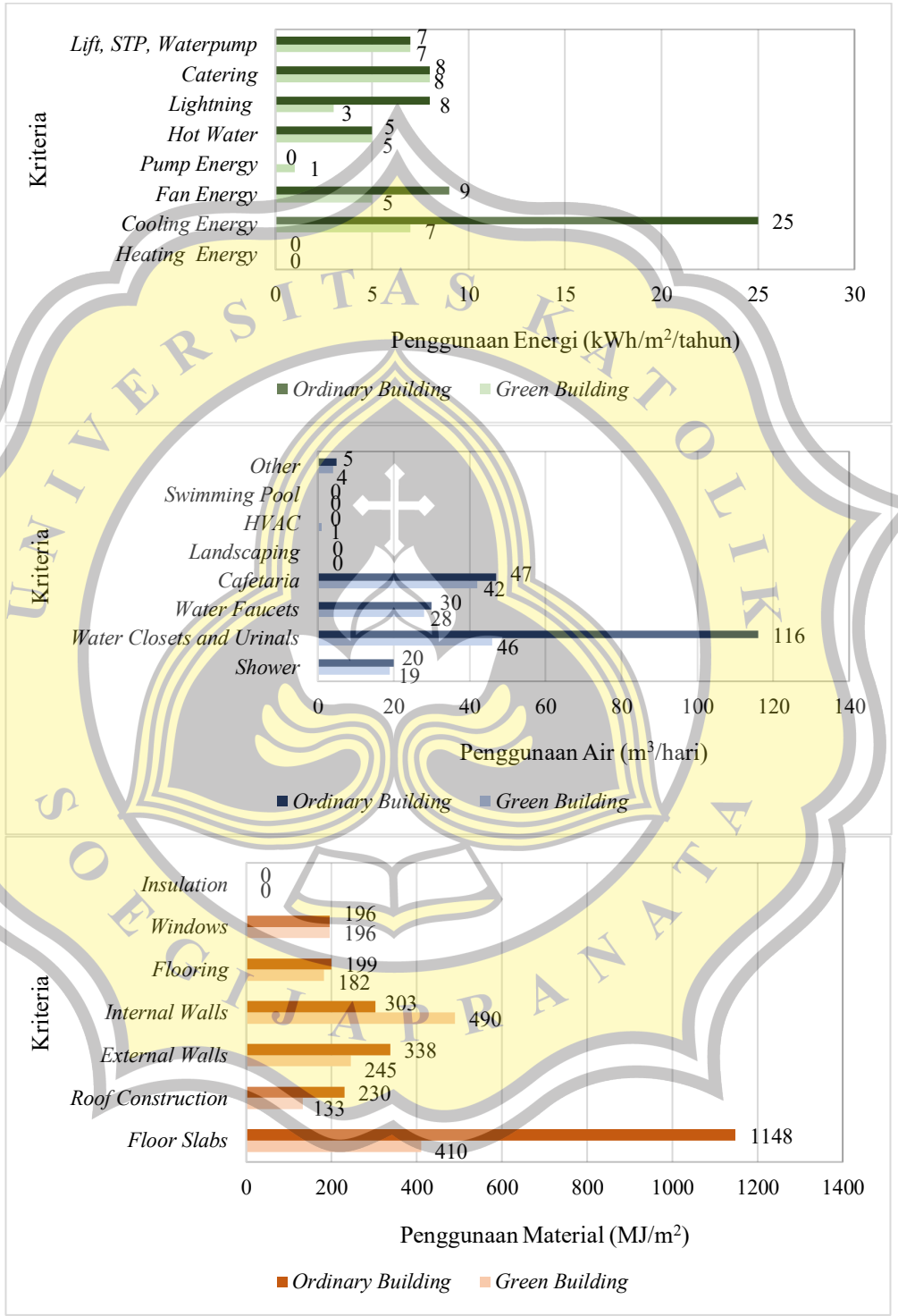
2.9 Penelitian Terdahulu

Pada tahap awal pengembangan penelitian ini, langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan tinjauan pustaka terhadap berbagai penelitian terdahulu yang memiliki kesamaan tema. Kajian terhadap penelitian sebelumnya berperan penting sebagai acuan dan sumber masukan dalam merancang serta melaksanakan penelitian yang sedang dilakukan. Melalui proses tersebut, diperoleh berbagai studi yang membahas tentang *green rating tools* seperti LEED, EDGE, dan *Greenship* sebagai dasar dalam menerapkan konstruksi berkelanjutan serta penggunaan alat bantu BIM terhadap *green building* agar implementasinya menjadi lebih mudah.

Berikut merupakan hasil penelitian sebelumnya terkait dengan *green rating tools*:

1. Aplikasi *green building* berdasarkan metode EDGE (Putra., dkk., 2021)
   Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan konsep *green building* dalam pembangunan gedung. Metode yang diterapkan adalah membandingkan efektivitas antara gedung konvensional dan gedung yang menerapkan sistem *green building* dengan analisis data kuantitatif melalui berbagai indikator. Variabel yang ditinjau meliputi penggunaan energi, penggunaan material dan, penggunaan air. Analisis data pada dilakukan dengan

perangkat lunak berupa EDGE, Gambar 2.39 memperlihatkan perbandingan analisis untuk tiap kriteria.



Gambar 2.39 Perbandingan Analisis Untuk Tiap Kriteria (Sumber: Diolah kembali dari Putra., dkk., 2021)

2. Komparasi alat penilaian sertifikasi bangunan hijau *Greenship* dan LEED, studi kasus Gedung Kuliah B Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Lampung (Stiowati dan Ifadianto, 2025)

   Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perbedaan antara dua *rating tools* bangunan hijau, yaitu *greenship* versi 1.1 pada tahap *Existing Building* dari Indonesia dan LEED pada tahap *Building Design and Construction* (BD+C) dari Amerika Serikat, sekaligus mengevaluasi penerapan *rating tools* tersebut pada Gedung Kuliah B Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung. Tabel 2.12 memperlihatkan perbandingan kategori penilaian LEED dan *Greenship*.

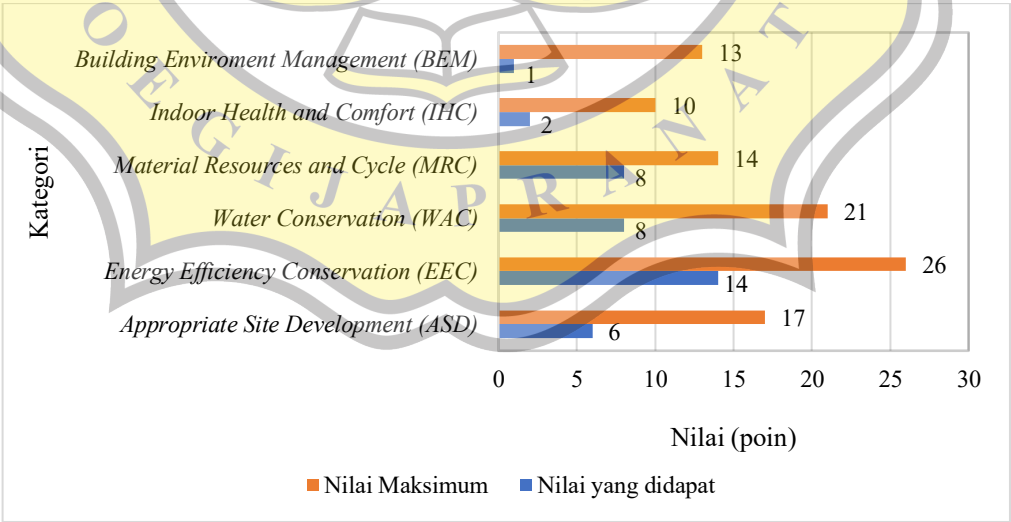
Tabel 2.12 Perbandingan Kategori Penilaian LEED dan *Greenship*

No.	Kategori	*Greenship*	LEED
1	Efisiensi Energi	Fokus pada penghematan energi dengan efisiensi pendingin udara, lampu LED, ventilasi alami, pemantauan IKE, serta audit energi secara berkala.	Teknologi efisiensi energi dengan pemanfaatan lampu LED dan sistem pendingin VRF (*Variable Refrigerant Flow*).
2	Manajemen Air	Sistem konservasi air mencakup pemasangan sub-meter air, kontrol kebocoran, pemanfaatan air daur ulang dan air hujan, serta pengawasan neraca dan kualitas air.	Belum sepenuhnya diterapkan sistem pemanenan air hujan, air daur ulang, atau penggunaan keran hemat air.
3	Kualitas Udara dalam Ruangan	Fokus pada ventilasi udara luar sesuai standar SNI, penerapan larangan merokok, serta pemantauan kadar CO_2 dan CO.	Fokus utama adalah menjaga kualitas udara sesuai standar minimum, mengendalikan asap rokok, dan memastikan kenyamanan termal.
4	Seleksi Material	Fokus pada kebijakan pembelian material yang ramah lingkungan.	Menitikberatkan pada siklus hidup material dan pengelolaan limbah konstruksi.
5	Lingkungan	Ruang terbuka hijau disediakan minimal 30% dari luas lahan dengan tanaman lokal.	Fokus pada ruang terbuka, pengelolaan limpasan air hujan, dan pengurangan efek pulau panas.
6	Inovasi dan Keunggulan Lokal	Pendekatan lokal seperti penggunaan material daerah dan edukasi lingkungan masyarakat juga diutamakan.	Penyediaan kredit untuk inovasi dan prioritas regional yang sesuai dengan isu lingkungan lokal.

(Sumber: Stiowati dan Ifadianto, 2025)

3. Implementasi *final assessment* bangunan hijau berdasarkan *rating tools Green Building Council* Indonesia, studi kasus Gedung *Innovative Program Cluster* (Ongkowijaya dan Alexander, 2023)

   Penelitian ini membahas mengenai *green building* sebagai konsep pembangunan berkelanjutan yang mulai diadopsi secara bertahap di Indonesia, meskipun jumlah bangunan yang telah memperoleh sertifikasi *green building* masih relatif sedikit dibandingkan dengan potensi yang ada. Sebagai salah satu dukungan implementasi konsep tersebut di Kota Semarang, gedung *Innovative Program Cluster* (IPC) Universitas Katolik Soegijapranata mendaftar sertifikasi *green building* melalui sistem *Greenship* versi 1.2. *Greenship* membagi penilaian menjadi enam kategori dengan metode *self-assessment*. Gedung ini memperoleh nilai pada tiap kategori, di antaranya 6 poin untuk *Appropriate Site Development* (ASD), 14 poin untuk *Energy Efficiency and Conservation* (EEC), 8 poin untuk *Water Conservation* (WAC), 8 poin untuk *Material Resources and Cycle* (MRC), 2 poin untuk *Indoor Health and Comfort* (IHC), dan 1 poin untuk *Building Environment Management* (BEM). Total poin yang didapat adalah 39, yang cukup untuk meraih peringkat *bronze*, meskipun jauh dari nilai maksimal yang mungkin diperoleh. Gambar 2.40 memperlihatkan rekap nilai tiap kategori yang didapatkan oleh gedung IPC.



Gambar 2.40 Rekap Nilai Tiap Kategori Gedung IPC (Sumber: Diolah kembali Ongkowijaya dan Alexander, 2023)

Selain penelitian terdahulu yang sudah diuraikan secara umum, terdapat beberapa penelitian terdahulu yang dijelaskan secara lebih ringkas lewat tabel. Penelitian terdahulu terkait dengan *green rating tools* diperlihatkan pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Penelitian Terdahulu *Green Rating Tools*

No.	Judul Penelitian	Topik Bahasan	Keterbatasan atau Saran Penelitian Lanjutan
1	*Embodied emissions of buildings - a forgotten factor in green building certificates* (Amiri., dkk., 2021)	Penelitian ini mengevaluasi kecocokan LEED dalam membantu mengurangi emisi karbon. Penelitian ini meninjau jumlah poin LEED yang membantu pemilihan material konstruksi dengan emisi karbon yang rendah.	Penelitian ini mengusulkan agar sertifikat bangunan hijau memberikan penekanan pada penggunaan material konstruksi yang berkelanjutan, mengingat pentingnya emisi yang terkandung dalam bahan bangunan menjadi perhatian
2	Analisis penerapan *green building* pada bangunan Gedung Klinik Universitas Pahlawan (Adeswastoto., dkk., 2023)	Studi tentang penerapan *green building* di Gedung Klinik Universitas Pahlawan menggunakan standar *Greenship Existing Building* 1.1, yang mencakup enam aspek: penggunaan lahan, efisiensi energi, pengelolaan air, siklus material, kualitas udara dalam ruangan, dan manajemen lingkungan. Hasilnya menunjukkan penerapan *green building* belum optimal karena keterbatasan tolok ukur.	Rekomendasi meliputi penggunaan bahan ramah lingkungan, sistem penghematan energi yang lebih baik, teknologi pengelolaan air modern, dan peningkatan pengelolaan limbah.
3	*Review of the* LEED *category in materials and resources for developing countries* (Gurgun., dkk., 2015)	Penelitian ini meninjau pentingnya pemilihan material berkelanjutan dalam proyek konstruksi dan mengevaluasi bagaimana kategori *Materials and Resources* dalam LEED diterapkan di negara berkembang.	Penelitian ini diharapkan dapat diterapkan pada negara berkembang lainnya selain India dan Abu Dhabi.
4	*An Investigation into the Benefits of* EDGE *Residential Estates in Terms of Real-World Savings* (Al-Abkhas, dkk., 2025)	Penelitian ini menilai keberlanjutan tanaman *ketakong* yang digunakan sebagai material bangunan berdasarkan kategori MRC dalam *Greenship* versi 1.2. Meskipun belum sepenuhnya memenuhi kriteria, ketakong memiliki potensi berkelanjutan.	Penelitian ini diharapkan agar material *ketakong* dapat ditinjau berdasarkan metode *Life Cycle Assessment* agar memiliki nilai tambah sebagai kontributor material berkelanjutan.

Tabel 2.13 Penelitian Terdahulu *Green Rating Tools* (Lanjutan)

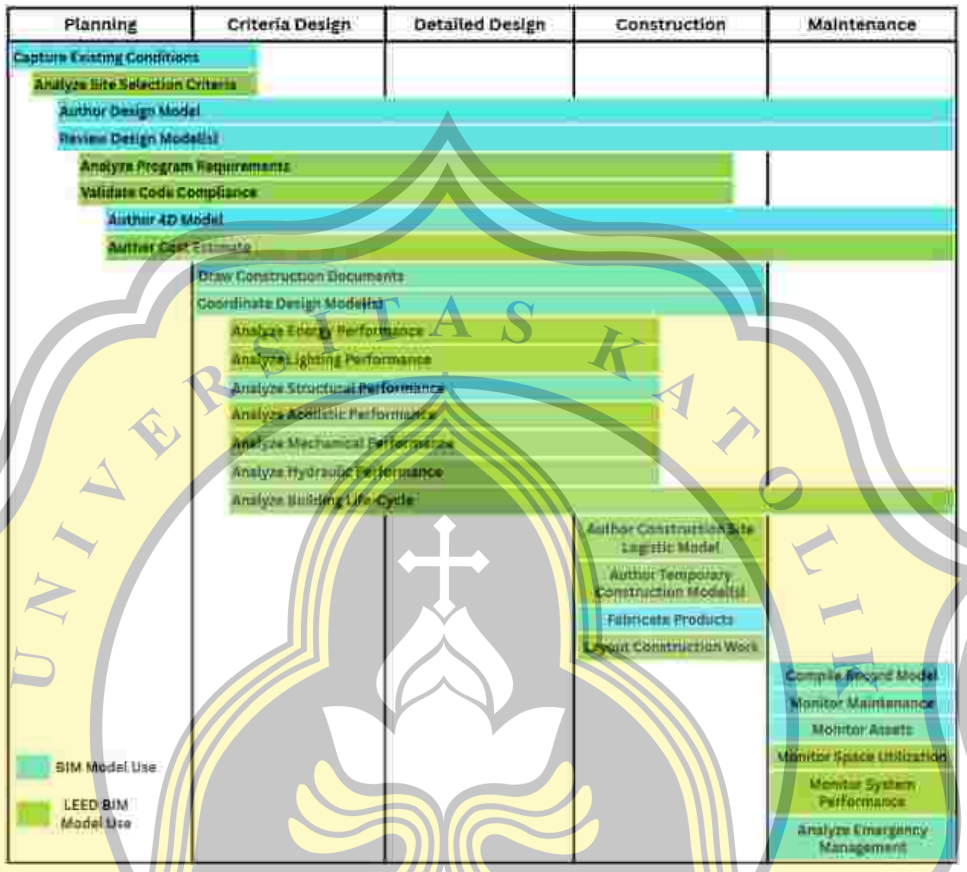
No.	Judul Penelitian	Topik Bahasan	Keterbatasan atau Saran Penelitian Lanjutan
5	*An investigation into the benefits of EDGE residential estates in terms of real-world savings* (Wyk., dkk., 2025)	Studi ini mengkaji pengaruh penerapan sertifikasi EDGE pada perumahan ramah lingkungan di Afrika Selatan, khususnya wilayah Gauteng, terhadap efisiensi penggunaan listrik. Hasil penelitian menegaskan bahwa sertifikasi EDGE tidak hanya mendukung aspek keberlanjutan lingkungan, tetapi juga memberikan nilai tambah ekonomi bagi pemilik properti di pasar perumahan Afrika Selatan.	Salah satu keterbatasan penelitian ini adalah tidak tersedianya data mentah mengenai konsumsi listrik pada bangunan yang tidak bersertifikat EDGE. Penelitian di masa mendatang dapat ditingkatkan dengan menggunakan *matched sampling* agar dapat membedakan secara lebih akurat antara kinerja bangunan secara aktual dan pengaruh penghuninya.

Selain penelitian terdahulu yang berkaitan dengan *green rating tools*, terdapat sejumlah penelitian sebelumnya yang membahas penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dalam konteks sertifikasi *green building*, yang dijabarkan sebagai berikut:

Integrating BIM *processes with* LEED *certification*: *a comprehensive framework for sustainable building design* (Gaetano, dkk., 2023)

Penelitian ini meneliti integrasi *Building Information Modeling* (BIM) dengan sistem sertifikasi *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) untuk menerapkan konstruksi berkelanjutan. Fokusnya memahami sinergi BIM dan LEED serta untuk mengembangkan cara baru yang memungkinkan kedua komponen penting ini dapat terintegrasi dengan lebih mudah dan menyatu dengan baik. Studi memiliki empat fase utama yakni: pertama, pembuatan lembar kerja LEED-BIM yang membantu perumusan strategi berkelanjutan. Kedua, diagram penggunaan BIM dalam fase proyek yang memperjelas hubungan antar pelaku. Ketiga, peta proses *Liv1* yang mengaitkan peran pelaku dan penggunaan BIM dalam tahap pelaksanaan. dan keempat, peta proses *Liv2* yang menghubungkan BIM dengan kredit sertifikasi LEED secara spesifik. Penelitian memberikan wawasan bagi praktisi dan peneliti dalam menggabungkan transformasi digital terhadap praktik konstruksi berkelanjutan.

Gambar 2.41 memperlihatkan penggunaan BIM dan LEED pada tahapan proyek konstruksi.



Gambar 2.41 Penggunaan BIM dan LEED Pada Tahapan Proyek Konstruksi (Sumber: Gaetano, dkk., 2023)

Tabel 2.14 memperlihatkan beberapa penelitian terdahulu terkait penerapan BIM terhadap *green building*.

Tabel 2.14 Penelitian Terdahulu Penerapan BIM terhadap *Green Building*

No.	Judul Penelitian	Topik Bahasan	Keterbatasan atau Saran Penelitian Lanjutan
1	*Urban Heat Island Mitigation by* LEED *and* BIM *integration—a review* (Rehman., dkk., 2025)	Kajian ini memadukan implementasi teknologi *Building Information Modeling* (BIM) ke dalam penilaian sertifikasi *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) sebagai upaya sistematis guna mengatasi *Urban Heat Island* (UHI).	Harapan penelitian berikutnya lebih banyak tenaga profesional yang menguasai persyaratan sertifikasi LEED dan pemodelan BIM. Integrasi lebih lanjut pada BIM seperti interoperabilitas terhadap sertifikasi LEED.

Tabel 2.14 Penelitian Terdahulu Penerapan BIM terhadap *Green Building* (Lanjutan)

No.	Judul Penelitian	Topik Bahasan	Keterbatasan atau Saran Penelitian Lanjutan
2	Analisis Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) pada Perancangan Bangunan Hijau Berdasarkan *Rating Tools Green Building Council* Indonesia (Studi Kasus: Gedung Fakultas Kedokteran Unika Soegijapranata BSB City) (Adyatma dan Pratama, 2024)	Studi mengenai penerapan BIM dalam *green building* menghasilkan identifikasi potensi kontribusi. Pada kategori ASD, BIM berkontribusi sebesar 88,46%, dengan pencapaian 23 dari 26 indikator yang terdiri dari 8 kriteria. Untuk kategori EEC, persentase kontribusi BIM tercatat 83,33%, memenuhi 10 dari 12 indikator di 7 kriteria. Kategori WAC, kontribusi BIM lebih rendah, yakni 41,17%, yang berarti terwujud 7 dari 17 indikator pada 8 kriteria.	Penelitian ini diharapkan dapat mengalami perkembangan dengan adanya simulasi berdasarkan BIM *tools* dan praktisi yang ahli dalam penggunaan BIM untuk penerapan *green building*.
3	*BIM-based building performance assessment of green buildings - A Case Study from* China (Liu., dkk., 2025)	Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem evaluasi *green building* dengan teknologi *Building Information Modeling* (BIM), dengan penekanan utama ke bangunan publik. Pemanfaatan BIM tidak hanya terfokus ke bangunan publik, tetapi juga dapat diperluas untuk berbagai jenis bangunan lainnya, seperti rumah, bangunan komersial, dan fasilitas pendidikan.	Studi kasus ini berfokus pada satu wilayah saja. Padahal China memiliki lima zona iklim berbeda, sehingga evaluasi *green building* tergantung variasi suhu dan kelembapan tiap wilayah.
4	BIM-*based energy analysis and design tools for* LEED *certification* (Seyis., dkk., 2021)	Penelitian ini menunjukkan analisis energi berbasis BIM dan *tools* desain dapat membantu meraih sertifikasi LEED untuk gedung hunian. Empat diagram alur keputusan juga disajikan untuk mendukung penggunaan BIM–LEED v4 secara terpadu dalam desain gedung hunian. Diagram pertama membantu tim pelaksana dengan fokus pada tugas struktural dan mekanikal.	Saran penelitian ini meliputi Pembuatan model 3D berdasarkan gambar kerja 2D struktural dan arsitektur tanpa gambar MEP, serta tidak mempertimbangkan skor kredit LEED. Cakupan penelitian terbatas pada kategori "*Sustainable Sites*" dan "*Indoor Environmental Quality*" karena tidak adanya gambar MEP pada bangunan studi kasus.

Tabel 2.14 Penelitian Terdahulu Penerapan BIM terhadap *Green Building* (Lanjutan)

No.	Judul Penelitian	Topik Bahasan	Keterbatasan atau Saran Penelitian Lanjutan
4	BIM-*based energy analysis and design tools for* LEED *certification* (Seyis., dkk., 2021)	Diagram kedua membantu perencana memodelkan ventilasi pembakaran secara 3D. Diagram ketiga membantu tim MEP dalam pemasangan komponen mekanikal untuk sertifikasi LEED. Diagram keempat membantu konsultan/asesor dalam mengukur efisiensi energi dan menghitung biaya terkait dengan bantuan BIM.	Pekerjaan di masa depan bisa mencakup pembuatan diagram alur pengambilan keputusan tambahan untuk versi LEED yang baru dan sistem *rating* lain, serta tipe bangunan berbeda. Arah lain yang bisa ditempuh adalah memasukkan aspek biaya dalam lingkup penelitian ini.

Meskipun penerapan BIM dalam pembangunan gedung hijau masih menghadapi sejumlah tantangan, khususnya terkait dengan integrasi data dan kolaborasi antar disiplin, pengembangan penggunaan teknologi BIM. Terutama penggunaan BIM versi 3D dan 5D harus terus didorong. BIM 3D memungkinkan representasi visual yang lebih detail dan akurat terhadap desain bangunan ramah lingkungan, sementara BIM 5D menambahkan dimensi biaya yang terintegrasi untuk memudahkan pengelolaan anggaran selama proses pembangunan. Adapun *Research Gap* yang teridentifikasi dari berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sebagian besar studi yang telah dilakukan belum memberikan fokus khusus pada analisis komparatif antara *green rating tools* LEED, EDGE, dan *Greenship*, terutama pada kategori material. Belum banyak penelitian yang mengkaji perbandingan ketiga *green rating tools* tersebut dengan memanfaatkan dukungan *Building Information Modeling* (BIM) sebagai alat bantu analisis. Berdasarkan hal tersebut, masih terdapat ruang penelitian yang signifikan untuk mengeksplorasi topik tersebut secara lebih mendalam.

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Uraian Umum

Penelitian merupakan suatu proses yang dilakukan secara sistematis untuk memahami lebih dalam suatu fenomena atau permasalahan. Dalam pelaksanaannya, penelitian menggunakan metode ilmiah yang terstruktur dengan tujuan mengumpulkan data, menganalisis informasi, dan menghasilkan pengetahuan baru. Melalui penelitian, peneliti berupaya mengungkap fakta dan menjawab rumusan masalah. Proses ini mencakup tahapan pengumpulan, pengolahan, analisis data, hingga penarikan kesimpulan dengan teknik tertentu. Berdasarkan hal tersebut, penelitian berfungsi sebagai sarana untuk memecahkan masalah sekaligus memperluas wawasan mengenai suatu topik tertentu (Aslam, 2023).

Menurut Sugiyono (2013), metode penelitian pada dasarnya adalah cara ilmiah yang digunakan untuk memperoleh data dengan tujuan dan manfaat tertentu. Dalam hal ini terdapat empat kata kunci yang penting, yaitu cara ilmiah, data, tujuan, dan kegunaan. Cara ilmiah berarti penelitian dilakukan berdasarkan prinsip keilmuan, yang mencakup sifat rasional, empiris, dan sistematis. Rasional menunjukkan bahwa penelitian dilaksanakan dengan langkah-langkah yang masuk akal dan dapat dipahami melalui penalaran manusia. Empiris berarti metode yang digunakan dapat diamati dengan indra, sehingga orang lain juga bisa melihat dan menilai proses yang dilakukan. Sistematis berarti penelitian dilakukan dengan mengikuti tahapan tertentu dengan metode yang logis dan teratur.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi perbedaan *rating tools* LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1, serta menganalisis hasil penerapan *Building Information Modeling* (BIM) 3D dan 5D terhadap volume kategori material. Tinjauan pustaka berperan sebagai dasar teori dalam penelitian ini, dengan mengkaji berbagai sumber literatur relevan mengenai *rating tools green building* dan BIM. *Output* tahapan ini adalah tersusunnya penelitian yang diajukan pada seminar tugas akhir.

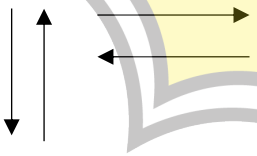
3.2 *Flowchart*

Flowchart merupakan representasi grafik yang menampilkan langkah-langkah serta urutan prosedur dalam suatu program (Zalukhu., dkk., 2023). Menurut Malabay (2016), terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan pada saat pembuatan *flowchart* sebagai berikut:

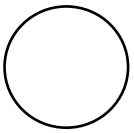
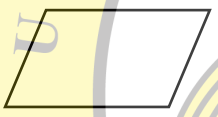
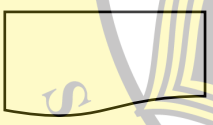
1. Alur diagram dibuat dari bagian atas ke bawah atau kiri ke kanan.
2. Kegiatan yang tergambar dapat dipahami pengguna.
3. Awal dan akhir alur digambarkan dengan jelas.
4. Setiap tahapan dijabarkan menggunakan kata kerja.
5. Langkah-langkah harus tersusun sesuai urutan.
6. Cakupan aktivitas yang berlangsung perlu ditelaah secara cermat agar seluruh unsur di dalamnya dapat dipahami dengan tepat.
7. Simbol resmi *flowchart* sebaiknya digunakan.

Dalam penggambaran detail diagram tahapan penelitian maka standar yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) 6th. Pengertian simbol yang digunakan pada *flowchart* menurut Rosaly dan Prasetyo (2018) dibagi ke dalam 3 kategori yang diperlihatkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Simbol *Flowchart*

Simbol Arus		
Simbol	**Nama**	**Fungsi**
	*Flow direction symbol / connecting line*	Mengaitkan satu simbol dengan simbol lainnya untuk menunjukkan aliran atau jalannya suatu proses.
Simbol Proses		
Simbol	**Nama**	**Fungsi**
	*Processing*	Menggambarkan proses pengolahan yang akan dijalankan oleh komputer.

Tabel 3.1 Simbol *Flowchart* (Lanjutan)

Simbol Proses		
Simbol	**Nama**	**Fungsi**
	*Connector*	Menghubungkan antar bagian alur yang terputus atau berada di lokasi berbeda.
	*Predefined process*	Menyiapkan media penyimpanan yang sedang atau akan dipakai untuk memberikan nilai awal.
	*Terminal*	Menandai awal maupun akhir dari sebuah program.
Simbol *Input-Output*		
Simbol	**Nama**	**Fungsi**
	*Input/ output*	Menunjukkan *input* dan *output* tanpa memperhatikan jenisnya.
	*Document*	Menunjukkan *input* dan *output* yang bersumber dari dokumen.

(Sumber: Diolah kembali dari Rosaly dan Prasetyo, 2018)

3.3 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini terbagi menjadi lima tahap penelitian. Penjabaran tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini:

1. Tahap I adalah tahap permulaan dari penelitian. Tahap ini meliputi pencarian referensi serta mengkaji literatur yang relevan dengan topik penelitian, dengan kata kunci seperti *green building*, *green building rating system,* LEED, *Greenship*, EDGE, tolok ukur dalam penilaian kategori material pada sistem sertifikasi bangunan hijau seperti LEED, *Greenship*, dan EDGE, peran BIM dalam *green building*. Hasil *output* pada Tahap I adalah ujian proposal.

2. Tahap II adalah tahapan lanjutan setelah ujian proposal. Tahap ini berfokus pada pengumpulan data proyek, data kategori, dan kriteria terkait LEED, *Greenship*, dan EDGE yang menjadi instrumen penelitian. Berdasarkan data yang diperoleh dari proyek dan buku panduan LEED, *Greenship*, dan EDGE, selanjutnya data tersebut akan diolah untuk menjadi acuan tahap selanjutnya. Hasil *output* Tahap II adalah diperolehnya data proyek sebagai bahan olahan untuk Tahap III.

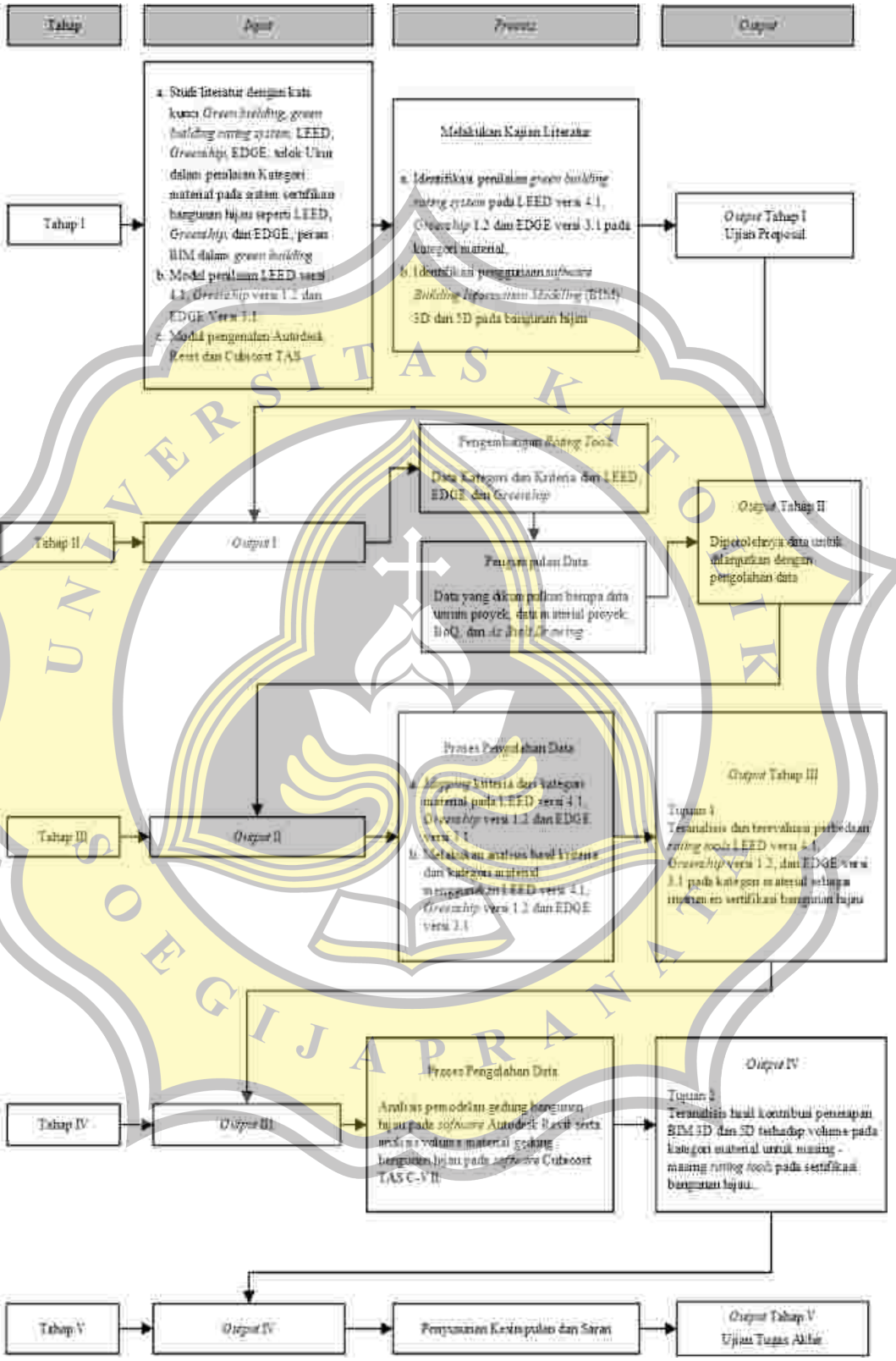
3. Tahap III adalah tahap pengolahan data yang terdiri dari 3 tahapan, antara lain:
   a. *Mapping* perbandingan kategori mengenai data *rating tools* antara LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2 dan EDGE versi 3.1.
   b. Perbandingan kriteria dari kategori material pada LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2 dan EDGE versi 3.1. Kriteria penilaian yang digunakan adalah kriteria *Material and Resources* (MR) pada LEED versi 4.1, kemudian kriteria *Material Resources and Cycle* (MRC) pada *Greenship* versi 1.2 dan yang terakhir kriteria *Material* pada EDGE versi 3.1
   c. Perbandingan hasil kriteria dari kategori material dari tiap *rating tools* LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2 dan EDGE versi 3.1.

   Hasil *output* pada Tahap III dijadikan bahan untuk analisis pada Tahap IV.

4. Tahap IV adalah tahap analisis terhadap data yang telah diolah pada Tahap III. Analisis yang dimaksud adalah sebagai berikut:
   a. Analisis pemodelan gedung bangunan hijau pada *software* Autodesk Revit
   b. Analisis volume gedung bangunan hijau pada *software* Cubicost TAS C-VII.

5. Tahap V adalah tahapan terakhir dari penelitian. Tahap ini berfokus pada penyusunan bagian akhir penelitian yang mencakup kesimpulan dan saran. Kesimpulan dirumuskan berdasarkan analisis yang dilakukan sehingga dapat memberikan jawaban terhadap rumusan masalah dan tujuan penelitian. Saran disusun sebagai rekomendasi yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya. *Output* dari Tahap V ini berupa ujian tugas akhir.

Berdasarkan penjabaran tahapan penelitian di atas maka tahapan penelitian yang dilakukan diperlihatkan dengan diagram pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

3.4 Tahap I

Tahap I ini berfokus dengan beberapa kegiatan seperti membaca dan mengumpulkan sumber pustaka dengan topik yang relevan, kemudian dilanjutkan dengan penyusunan kajian pustaka dari topik yang akan dibahas pada penelitian ini. Sumber pustaka dikumpulkan dari beberapa jurnal internasional maupun nasional yang berkaitan dengan sistem penilaian *green building* menggunakan *Green Building Rating System* (GBRS). Pengumpulan data mencakup *green building*, *green building rating system,* LEED, *Greenship*, EDGE, tolok ukur dalam penilaian kategori material pada sistem sertifikasi bangunan hijau seperti LEED, *Greenship*, dan EDGE serta peran BIM dalam *green building*.

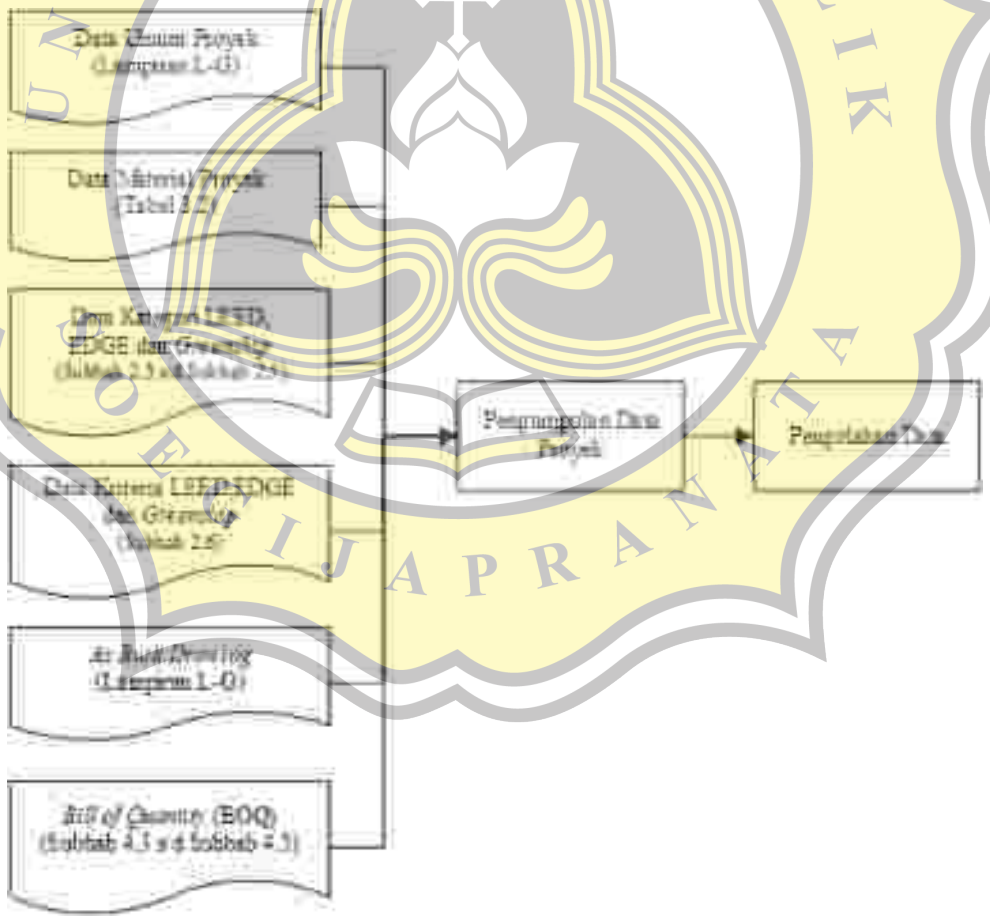
Penelitian ini difokuskan pada upaya analisis hasil evaluasi perbandingan *rating tools* kategori material bangunan hijau antara LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2 dan EDGE versi 3.1 serta Kontribusi BIM 3D dan 5D dalam *assessment* bangunan hijau. Kegiatan studi literatur menunjukkan adanya berbagai isu global yang tengah berlangsung. Salah satu faktor pemicu isu global tersebut adalah kegiatan konstruksi, yang sering kali menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Banyak studi terdahulu membuktikan bahwa dengan adanya instrumen penilaian bangunan hijau dapat mengurangi dampak lingkungan tersebut. Uraian mengenai instrumen penilaian bangunan hijau beserta ruang lingkup penelitian telah disampaikan pada Bab 1 dan Bab 2.

Penelitian ini menggunakan kategori material dari ketiga *rating tools* sebagai acuan penilaian. Indikator material berfungsi sebagai instrumen pengelolaan material konstruksi pada bangunan hijau, dengan tujuan mengatasi permasalahan eksploitasi sumber daya alam untuk produksi material, sekaligus mengurangi peningkatan limbah polusi yang ditimbulkan oleh material konstruksi.

Peran BIM 3D dan 5D dalam penelitian ini adalah sebagai alat bantu dalam pemodelan visual tiga dimensi dan perhitungan volume konstruksi bangunan hijau. BIM 3D digunakan untuk menghasilkan pemodelan dari struktur bangunan, sedangkan BIM 5D memungkinkan integrasi data volume kerja. Hasil *output* pada Tahap I adalah Ujian Proposal.

3.5 Tahap II

Tahap II merupakan tahapan lanjutan dari tahap I yang berfokus untuk mendapatkan data dengan ke proyek konstruksi. Menurut Sugiyono (2013), Sumber sekunder diperoleh secara tidak langsung oleh peneliti melalui perantara, seperti pihak lain atau dokumen. Penelitian ini sepenuhnya bersumber pada data sekunder sebagai landasan utama dalam proses pengumpulan data, sehingga tidak melibatkan penggunaan data primer dalam pelaksanaannya. Data sekunder yang dikumpulkan dalam penelitian ini berupa data umum proyek, *as built drawing* dan *Bill of Quantity* (BOQ). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Waruwu., dkk., (2025) metode penelitian kuantitatif adalah pendekatan penelitian yang berfokus pada menjawab rumusan masalah melalui analisis berbasis angka dan perhitungan statistik. Tahapan proses pengumpulan data diperlihatkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Tahapan Proses Pengumpulan Data

Untuk mempermudah pelaksanaan penelitian dan memastikan data yang diperoleh sesuai dengan tujuan penelitian, dilakukan pengumpulan data melalui tahapan identifikasi kebutuhan data. Rincian identifikasi data diperlihatkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Rincian Identifikasi Data

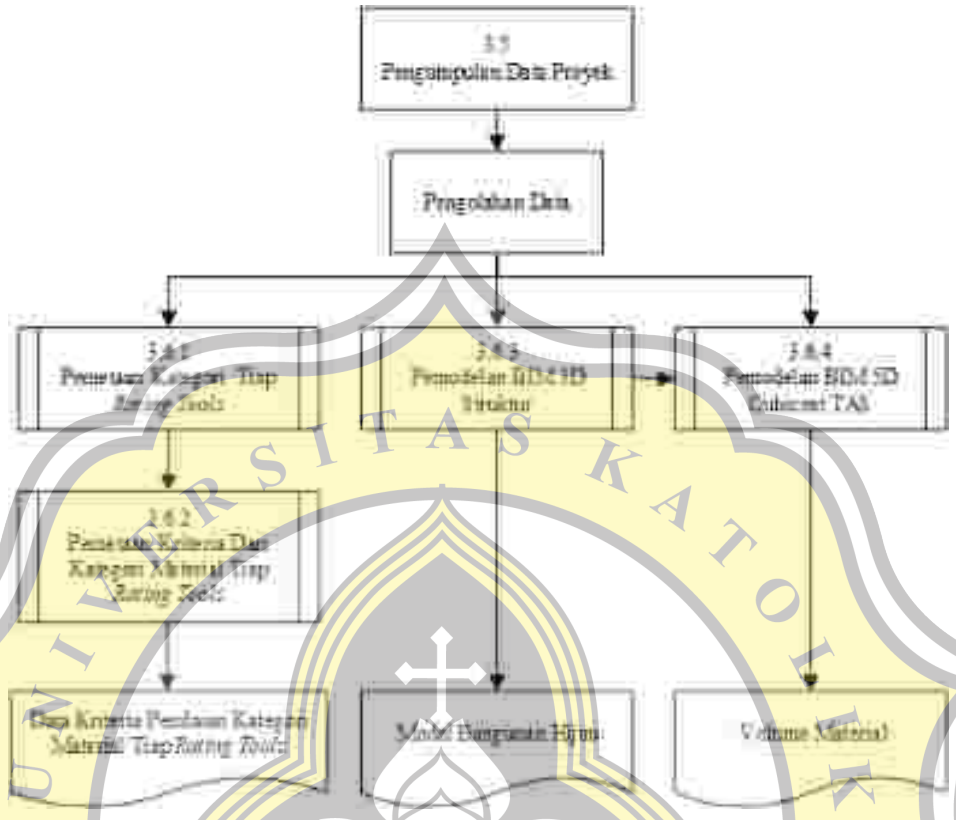
No	Data	Keterangan
1	Data Umum Proyek	a. Nama proyek b. Lokasi proyek c. Luas bangunan d. Waktu pelaksanaan e. Jumlah lantai f. Identitas Perusahaan Pemilik Proyek g. Identitas Perusahaan Pelaksana Konstruksi h. Konsultan *services* i. Fungsi bangunan
2	Data Material Proyek	a. Data LEED: a.1 Kontainer atau tampungan daur ulang untuk limbah konstruksi. a.2 Jumlah material *reuse* yang berasal dari bangunan *existing*. a.3 Jenis material yang lolos *Life Cycle Assessment* (LCA) dan terhindar dari minimal 3 dari 6 kategori yakni: *Ozone Depletion Potential* (ODP) kg CO_2e, *Global Warming Potential* (GWP) dalam satuan kg CFC-11e, *Acidification* air dalam satuan molekul H^+ atau kg SO_2e, *eutrophication* dalam satuan kg nitrogen eq atau kg *phosphate* eq, *tropospheric ozone* dalam satuan kg NOx, kg O3 eq, atau kg ethene, dan *depletion* sumber energi tak terbarukan dalam satuan MJ dengan CML atau *depletion* bahan bakar fosil. a.4 Jenis material minimal 20 produk dipasang permanen dari minimal lima produsen berbeda yang memenuhi salah satu kriteria *Life Cycle Assessment* (LCA) sebagai acuan untuk pemenuhan kriteria. a.5 Jenis material dari minimal 3 produsen berbeda, mencakup 15% dari total nilai biaya bahan bangunan permanen dalam proyek, dan lolos minimal 1 aspek dari 5 aspek yakni: *Extended Producer Responsibility* (EPR), *bio-based materials, wood products*, *reused materials*, dan *recycled contents.* a.6 Jenis material berasal dari minimal 5 produsen berbeda, mencakup 30% dari total nilai biaya bahan bangunan permanen dalam proyek, dan lolos minimal 1 aspek dari 5 aspek yakni: *Extended Producer Responsibility* (EPR), *bio-based materials, wood products*, *reused materials*, dan *recycled contents.*

Tabel 3.2 Rincian Identifikasi Data (Lanjutan)

No	Data	Keterangan
		a.7 Jenis material yang tersertifikasi *green product* atau *green label*. a.8 Berat limbah pembongkaran yang dicegah atau direduksi minimal 50% dari total biaya material. b. Data *Greenship* b.1 Total biaya material yang dipakai dalam proyek. b.2 Bahan pendingin udara bebas *Chloro Fluoro Carbon* (CFC) dan bahan pemadam api tanpa kandungan *halon*. b.3 Material bersertifikasi Sistem Manajemen Lingkungan (SML) minimal 30% dari total biaya material. b.4 Jenis bahan pada sistem pendingin gedung dengan nilai *Ozone Depletion Potential* (ODP) sebesar nol (0). b.5 Seluruh bahan kayu bersertifikat sah sesuai Peraturan Pemerintah, minimal 100% dari total biaya kayu yang memakai Faktur Angkutan Kayu Bulat (FAKB) atau Faktur Angkutan Kayu Olahan (FAKO). b.6 Jenis material prafabrikasi atau modular yang setara minimal 30% dari total seluruh biaya material. b.7 Bahan lokal dengan sumber dan lokasi produksi dalam jarak 1.000 km, minimal 50% dari seluruh biaya material. b.8 Material domestik dengan bahan baku dan pabrik di wilayah Republik Indonesia, setara minimal 80% dari total pengeluaran material. c. Data EDGE: c.1 Rasio luas lantai terhadap jumlah lantai dan ketebalan lantai. c.2 Luas dan ketebalan atap. c.3 Ketebalan dan rasio jendela terhadap dinding interior. c.4 Ketebalan dan rasio jendela terhadap dinding eksterior. c.5 Jenis dan ketebalan insulasi atap. c.6 Jenis dan ketebalan insulasi dinding. c.7 Jenis dan ketebalan insulasi lantai.
3	*As Built Drawing*	Mencakup seluruh *As Built Drawing*
4	*Bill of Quantity* (BoQ)	Mencakup BoQ berbagai item pekerjaan untuk perhitungan volume pekerjaan

3.6 Tahap III

Tahap III adalah kelanjutan dari Tahap II. Pada tahap ini berisi pengolahan data berdasarkan data proyek pada tahap sebelumnya. Pengembangan pengolahan data dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pengembangan Tahap Pengolahan Data

Penjabaran *flowchart* mengenai pengembangan tahap pengolahan data yang diperlihatkan pada Gambar 3.3 dijelaskan sebagai berikut:

1. Tahap pertama adalah tahap pengumpulan data proyek X. Data ini mencakup data umum proyek, data material proyek, *as built drawing* dan BoQ pekerjaan.
2. Tahap kedua adalah tahap pengolahan data dari beberapa data yang sudah didapatkan dari proyek X. Pengolahan data ini terbagi menjadi 4 tahap yakni pemetaan kategori tiap *rating tools* kemudian dilanjutkan dengan pemetaan kriteria dari kategori material dari setiap *rating tools*. Setelah pemetaan *rating tools* selesai dilanjutkan dengan pemodelan BIM 3D dengan fokus pemodelan bangunan. Langkah terakhir adalah pemodelan BIM 5D dengan fokus perhitungan volume berdasarkan AHSP.
3. Tahap ketiga adalah hasil yang didapatkan dari pengolahan data yang telah dilakukan. *Output* dari pengolahan data berupa perbandingan kategori material, pemodelan bangunan hijau, dan volume material pada proyek X.

3.6.1 Pemetaan kategori tiap *rating tools*

Dalam penelitian ini, kategori *rating tools* yang dijadikan acuan utama terdiri dari LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1. Tahapan analisis ini secara khusus dirancang untuk melakukan perbandingan mendalam guna mencapai tujuan pertama dari penelitian, yakni membandingkan secara komprehensif *rating tools* tersebut, yaitu LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1.

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) versi 4.1, kategori penilaian yang diterapkan mencakup *location and transportation* yang menekankan pemilihan lokasi strategis dan transportasi, *sustainable sites* untuk pengelolaan lahan yang ramah lingkungan, *water efficiency* dalam penggunaan air yang efisien, *energy and atmosphere* guna optimalisasi energi, *materials and resources* yang berfokus pada bahan dan sumber daya berkelanjutan, *indoor environmental quality* untuk kualitas lingkungan dalam ruangan, *innovation* dalam inovasi desain, serta *regional priority* yang disesuaikan dengan prioritas wilayah setempat.

Greenship versi 1.2 menerapkan kategori penilaian yang meliputi *appropriate site development* untuk pengembangan situs yang tepat, *energy efficiency and conservation* dalam penghematan dan konservasi energi, *water conservation* untuk konservasi air, *material resources and cycle* yang menyoroti sumber daya material dan siklusnya, *indoor health and comfort* guna kesehatan dan kenyamanan dalam ruangan, serta *building environment management* untuk pengelolaan lingkungan bangunan secara keseluruhan.

Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE) versi 3.1 yang menggunakan kategori penilaian yang lebih ringkas, yaitu material untuk pemilihan bahan ramah lingkungan, *water* untuk penghematan air, dan *energy* untuk meningkatkan efisiensi energi

3.6.2 Pemetaan kriteria dari kategori material tiap *rating tools*

Berdasarkan beberapa kategori *rating tools*, penelitian ini difokuskan pada kategori material. Evaluasi material dilakukan berdasarkan standar LEED versi 4.1,

Greenship versi 1.2, dan EDGE versi 3.1. Berikut merupakan penjabaran beberapa kriteria *rating tools* pada kategori material:

1. *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) versi 4.1

   Aspek penilaian pada LEED versi 4.1 kategori material terbagi menjadi 6 sub penilaian. Tabel 3.3 memperlihatkan sub penilaian kategori material pada LEED.

Tabel 3.3 Kriteria Pada Kategori *Materials and Resources*

No	Kriteria	Nilai *Maximum*
1	*Storage and Collection of Recyclables*	P
2	*Building Life-Cycle Impact Reduction*	5
3	*Environmental Product Declarations*	2
4	*Sourcing of Raw Materials*	2
5	*Material Ingredients*	2
6	*Construction and Demolition Waste Management*	2
	Total Nilai Kategori *Materials and Resources*	13

(Sumber: *United States Green Building Council*, 2019)

Kriteria dalam kategori *Materials and Resources* memiliki bobot maksimum yang berbeda satu sama lain, karena masing-masing dirancang berdasarkan kinerja dan tolok ukurnya. Proyek *green building* yang menjadi objek penelitian ini akan memperoleh nilai maksimum apabila seluruh tolok ukur pada setiap kriteria *Materials and Resources* terpenuhi. Setiap komponen penilaian pada kategori *Materials and Resources* dihitung terlebih dahulu menurut ketentuan yang berlaku, kemudian seluruh skor individual tersebut digabungkan menghasilkan total nilai kategori *Materials and Resources* sebesar 13 poin. Jumlah nilai kredit pada tahap *Building Design and Construction* (BD+C) untuk tiap kategori LEED versi 4.1 diperlihatkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Jumlah Nilai Kredit LEED Versi 4.1 Pada Tahap BD+C

No	Kriteria	Nilai Maximum
1	*Location and Transportation*	16
2	*Sustainable Sites*	10
3	*Water Efficiency*	11

Tabel 3.4 Jumlah Nilai Kredit LEED Versi 4.1 Pada Tahap BD+C (Lanjutan)

No	Kriteria	Nilai Maximum
4	*Energy And Atmosphere*	33
5	***Materials And Resources***	**13**
6	*Indoor Enviromental Quality*	16
7	*Innovation*	6
8	*Regional Priority*	4
Jumlah Kredit		110

(Sumber: *United States Green Building Council*, 2019)

2. *Greenship* versi 1.2

Aspek penilaian kategori material yang digunakan pada *Greenship* versi 1.2 terbagi menjadi 7 kriteria penilaian. Tabel 3.5 memperlihatkan beberapa kriteria pada kategori *material resources and cycle*.

Tabel 3.5 Kriteria Pada Kategori *Material Resources And Cycle*

No	Kriteria	Nilai *Maximum*	Keterangan per Kategori
MRC P	*Fundamental Refrigerant*	P	1 kriteria prasyarat; 6 kriteria
MRC 1	*Building and Material Reuse*	2	
MRC 2	*Enviromentally Friendly Material*	3	
MRC 3	Non ODS *Usage*	2	
MRC 4	*Certified Wood*	2	
MRC 5	*Prefab Material*	3	
MRC 6	*Regional Material*	2	
Total Nilai Kategori *Material Resources And Cycle*		14	

(Sumber: *Green Building Council* Indonesia, 2024)

Kriteria pada kategori *Material Resources And Cycle* (MRC) pada *Greenship* versi 1.2 memiliki bobot maksimum yang berbeda-beda. Nilai maksimum tercapai jika semua tolok ukur yang ada pada setiap kriteria MRC terpenuhi. Setiap komponen penilaian pada kategori MRC dihitung terlebih dahulu, kemudian seluruh skor digabungkan menghasilkan total nilai sebesar 14 poin atau setara 13,9% dari total keseluruhan nilai kredit seluruh kategori. Penilaian kategori MRC akan dijumlahkan dengan kategori lainnya.

Nilai kredit pada tahap *Final Assessment* untuk tiap kategori yang digunakan pada *Greenship* versi 1.2 diperlihatkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Jumlah Nilai Kredit *Greenship* Versi 1.2 Pada Tahap *Final Assessment*

No	Kategori	Nilai *Maximum*		
		Prasyarat	Kredit	Bonus
1	*Appropriate Site Development* (ASD)	-	17	-
2	*Energy Efficiency Conservation* (EEC)	-	26	5
3	*Water Conservation* (WAC)	-	21	-
4	***Material Resources and Cycle* (MRC)**	**-**	**14**	**-**
5	*Indoor Health and Comfort* (IHC)	-	10	-
6	*Building Enviroment Management* (BEM)	-	13	-
Jumlah Kredit		-	101	5

(Sumber: *Green Building Council Indonesia*, 2024)

3. EDGE versi 3.1

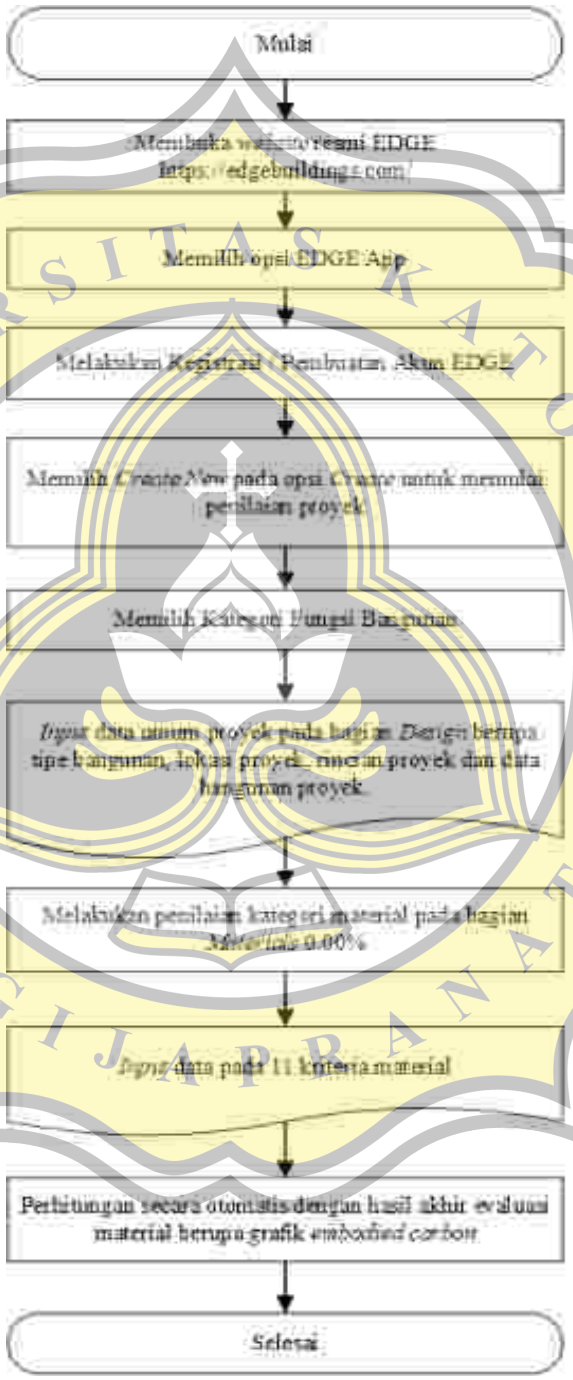
Dalam EDGE versi 3.1, komponen penilaian kategori material dibagi ke dalam 11 kriteria. Tabel 3.7 memperlihatkan kriteria penilaian kategori material pada EDGE versi 3.1.

Tabel 3.7 Kriteria Penilaian Kategori Material Pada EDGE Versi 3.1

No	Kriteria
MEM01	*Bottom Floor Construction*
MEM02	*Intermediate Floor Construction*
MEM03	*Floor Finish*
MEM04	*Roof Construction*
MEM05	*Exterior Walls*
MEM06	*Interior Walls*
MEM07	*Window Frames*
MEM08	*Window Glazing*
MEM09	*Roof Insulation*
MEM10	*Wall Insulation*
MEM11	*Floor Insulation*

(Sumber: *International Finance Corporation*, 2024)

EDGE versi 3.1 dimanfaatkan untuk melakukan *self-assessment* tanpa memerlukan biaya. Tahapan yang perlu dilakukan dalam menilai material konstruksi menggunakan EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 *Flowchart* Tahapan Penilaian Kategori Material Menggunakan EDGE Versi 3.1

Uraian terkait tahapan penilaian kategori material EDGE versi 3.1 yang diperlihatkan pada Gambar 3.4 dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Membuka *website resmi* EDGE

Pada tahap ini dimulai dengan membuka *website* resmi EDGE melalui https://edgebuildings.com/. Tampilan awal *website* EDGE diperlihatkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Tampilan Awal *Website* EDGE (Sumber: Diperoleh dari https://edgebuildings.com/)

b. Memilih Opsi EDGE APP

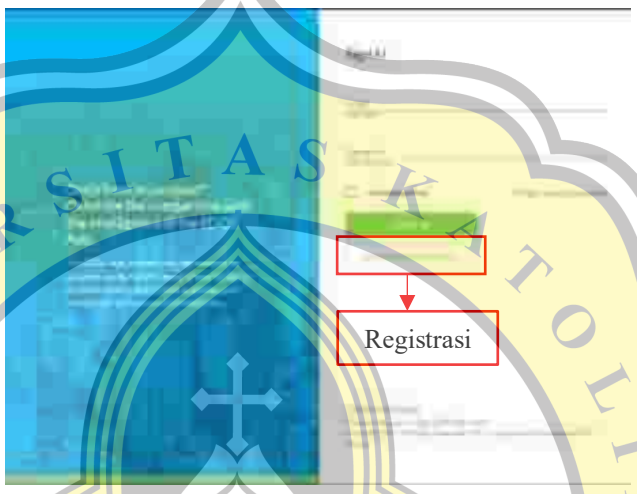
Opsi EDGE APP pada tampilan awal *website* EDGE terletak pada posisi kanan atas halaman *website* yang diperlihatkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Letak Opsi EDGE Pada Tampilan Awal *Website* EDGE (Sumber: Diperoleh dari https://edgebuildings.com/)

c. Melakukan registrasi/ pembuatan akun EDGE

Tahap ini berfokus pada proses membuat akun EDGE dengan cara mendaftar terlebih dahulu secara gratis. Pengguna juga dapat *login* sebagai tamu tanpa buat akun, namun hanya bisa mengisi data tanpa menyimpannya. Gambar 3.7 memperlihatkan ikon registrasi pada halaman *website* EDGE APP.



Gambar 3.7 Ikon Registrasi Pada Halaman *Website* EDGE APP
(Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/user/login)

d. Memilih *create new* pada bagian *create*

Tahapan ini merupakan tahapan awal untuk memulai penilaian proyek *green building*. Ikon *create* dan *create new* pada halaman *website* EDGE APP diperlihatkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Ikon *Create* dan *Create New* pada halaman EDGE APP
(Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/dashboard/developer)

e. Memilih kategori fungsi bangunan

Tahapan ini merupakan tahapan untuk menentukan jenis bangunan yang akan ditinjau dengan EDGE APP. Ikon fungsi bangunan pada halaman *website* EDGE APP diperlihatkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Ikon Fungsi Bangunan Pada Halaman EDGE APP (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

f. *Input* data umum proyek pada bagian *design*

Tahapan ini bertujuan untuk memasukkan data umum proyek sebagai *input* pada bagian *design*. Gambar 3.10 memperlihatkan ikon *design* pada halaman EDGE APP.



Gambar 3.10 Ikon *Design* Pada Halaman EDGE APP (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

g. Pemilihan kategori *materials* 0,00%

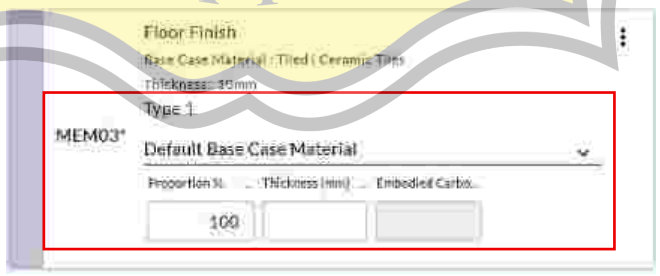
Tahapan ini merupakan pemilihan ikon *materials* 0,00% sesuai dengan tujuan penelitian pada halaman EDGE APP. Gambar 3.11 memperlihatkan ikon *materials* 0,00% pada halaman EDGE APP.



Gambar 3.11 Ikon *Materials* 0,00% Pada Halaman EDGE APP (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

h. *Input* data pada 11 kriteria

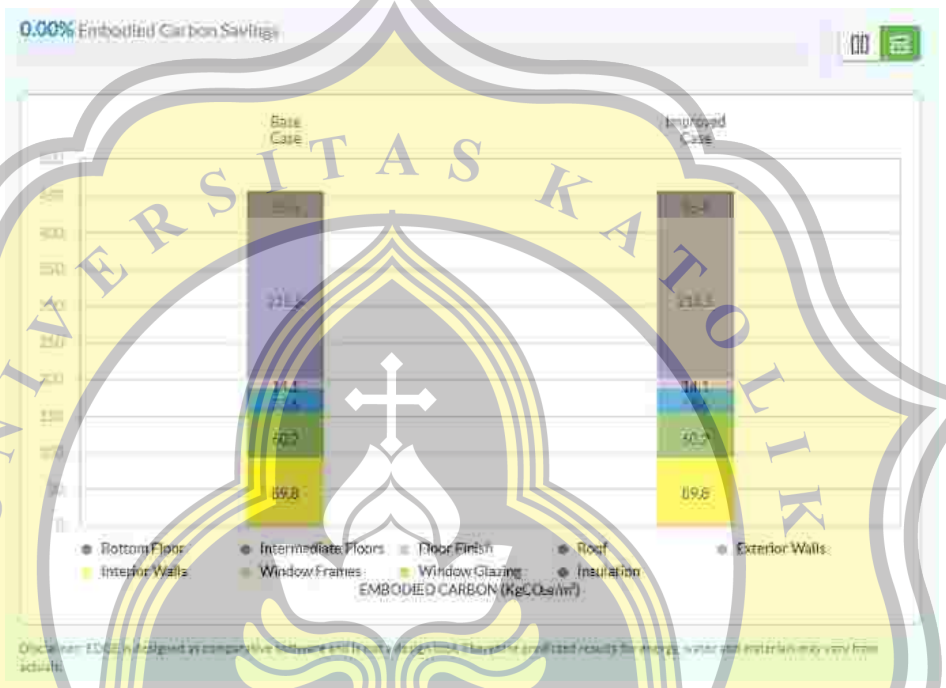
Pengisian data pada kriteria material dilakukan dengan memasukkan data yang diperlukan, seperti jenis bahan, proporsi penggunaan bahan, dan ketebalan elemen bangunan pada tiap kriteria. Contoh penerapan salah satu kriteria yang memerlukan data spesifikasi tersebut diperlihatkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Data Spesifikasi Kriteria *Bottom Floor Construction* (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

i. Hasil akhir evaluasi berupa grafik *embodied carbon*

Data yang telah dimasukkan dalam EDGE versi 3.1 akan terhitung secara otomatis hingga menghasilkan hasil akhir evaluasi material berupa grafik *embodied carbon*. Grafik *embodied carbon* yang dikeluarkan pada EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Gambar 3.13.



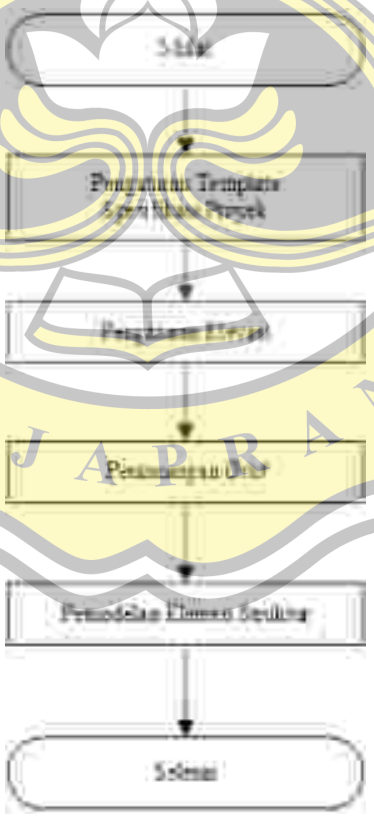
Gambar 3.13 Contoh Grafik *Embodied Carbon* Pada EDGE (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/projects/allBuildings)

Berdasarkan Gambar 3.13 terdapat dua jenis *embodied carbon* yang dikeluarkan EDGE versi 3.1, yakni grafik *base case* dan *improved case*. *Base case* menggambarkan kondisi standar pelaksanaan konstruksi selama tiga tahun terakhir berdasarkan ketentuan evaluasi EDGE versi 3.1. *Improved case* menunjukkan hasil perhitungan dari proyek bangunan yang diajukan pengguna EDGE untuk memperoleh sertifikasi EDGE *Certified* dengan efisiensi material minimal 20%. Grafik tersebut juga menampilkan nilai *embodied carbon* pada setiap kriteria. Hasil akhir penilaian material disajikan dalam bentuk persentase efisiensi material dan nilai *embodied carbon* akhir.

3.6.3 Autodesk Revit

Autodesk Revit merupakan *software* yang berfungsi untuk membuat model tiga dimensi yang digunakan sebagai acuan dalam proses *As Built drawing*. Model 3D yang digunakan dalam Autodesk Revit didasarkan pada gambar yang telah disiapkan pada Tahap II, yaitu tahap perencanaan pekerjaan. Melalui pemodelan ini, setiap elemen bangunan dapat divisualisasikan secara detail dalam bentuk tiga dimensi.

Penerapan teknologi *Building Information Modeling* (BIM) 3D pada Autodesk Revit memungkinkan pengguna untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai desain dan hubungan antar elemen bangunan. Visualisasi 3D membuat analisis pemodelan bangunan dapat dilakukan dengan lebih akurat dan efisien. Hasil pemodelan ini menjadi dasar dalam perhitungan kebutuhan material pada BIM 5D. Proses tahapan pemodelan menggunakan Autodesk Revit diperlihatkan pada Gambar 3.14.

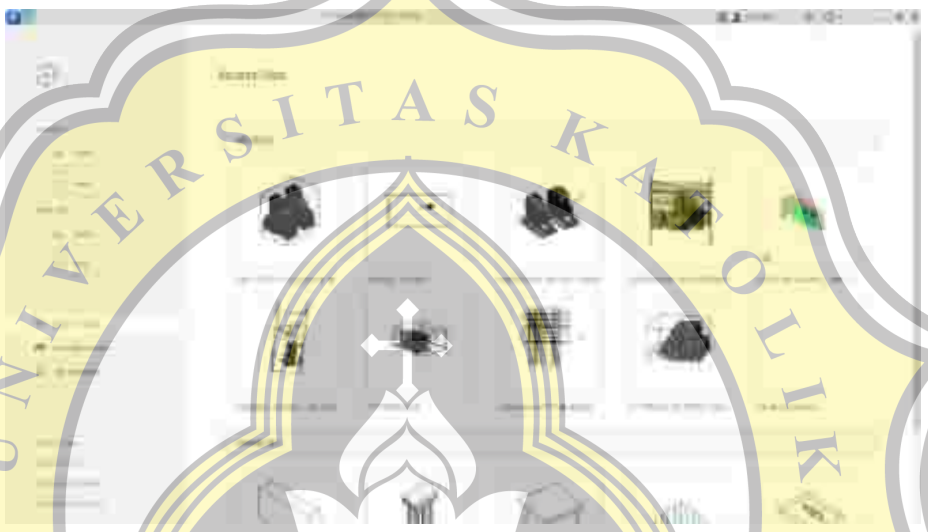


Gambar 3.14 *Flowchart* Pemodelan Autodesk Revit

Uraian mengenai proses pemodelan 3D dengan Autodesk Revit yang diperlihatkan pada Gambar 3.14 dijelaskan sebagai berikut:

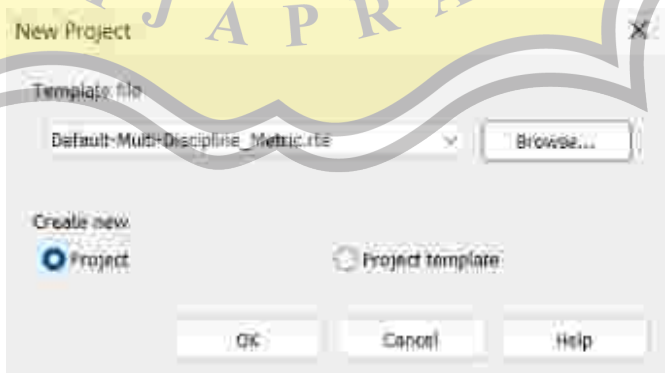
1. Pengaturan *template* spesifikasi proyek

   Pengaturan ini memungkinkan Revit untuk menampilkan, dan mengelola data model sesuai keperluan, baik itu dalam bidang arsitektur, struktur, maupun MEP. Tampilan awal dari pengaturan tersebut diperlihatkan pada Gambar 3.15.



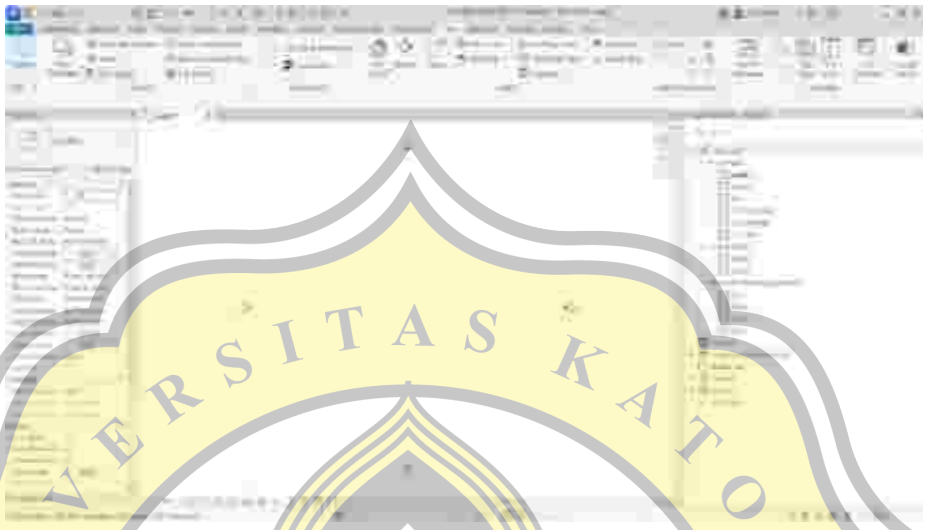
Gambar 3.15 Tampilan Awal Autodesk Revit

Selanjutnya dilakukan pembuatan model proyek baru melalui menu *New Models*, dengan menetapkan *template file* sesuai jenis pekerjaan yang akan dilakukan. Penelitian ini difokuskan pada bidang struktur dan arsitektur, maka digunakan *template* "Default Multi Discipline Metric.rte". Proses pemilihan *template* pada Autodesk Revit diperlihatkan pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Tampilan Pembuatan *New Project*

Setelah membuat proyek baru, Autodesk Revit akan menampilkan halaman kerja yang diperlihatkan pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Halaman Kerja Pada Autodesk Revit

2. Pengaturan elevasi

   Pada halaman kerja, pilih bagian *elevations* untuk pengaturan elevasi bangunan. Setelah tampak bangunan dipilih, Autodesk Revit akan menampilkan tampilan elevasi yang selanjutnya menjadi dasar untuk proses perencanaan elevasi bangunan. Langkah menentukan elevasi lantai pada Autodesk Revit diperlihatkan pada Gambar 3.18.



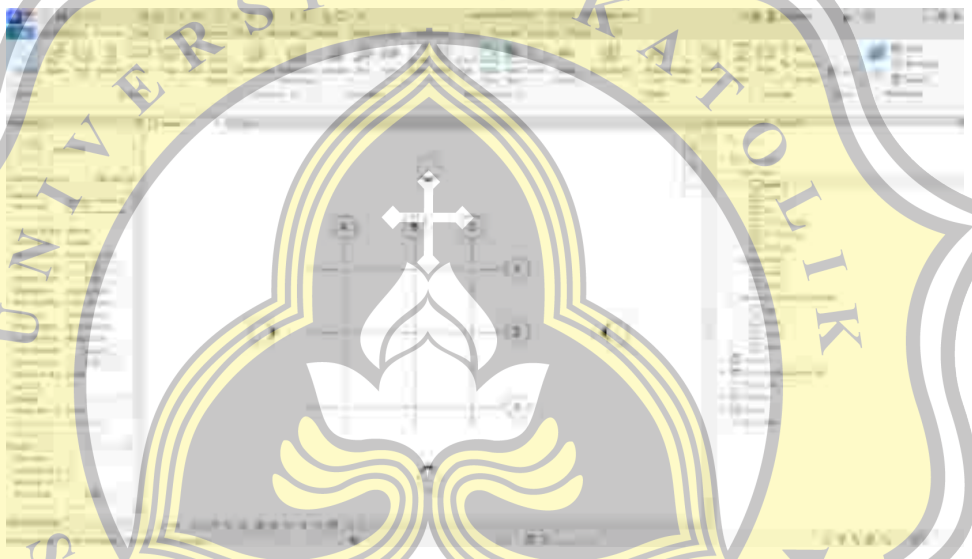
Gambar 3.18 Pengaturan Elevasi Pada Autodesk Revit

3. Perancangan *grid*

   Penyusunan *grid* dilakukan berdasarkan koordinat kolom yang sudah tersedia. Proses perancangan dan hasil *grid* pada Autodesk Revit diperlihatkan pada Gambar 3.19 dan Gambar 3.20.



Gambar 3.19 Ikon *Grid* Pada Autodesk Revit



Gambar 3.20 Visualisasi Hasil Perancangan *Grid* Pada Autodesk Revit

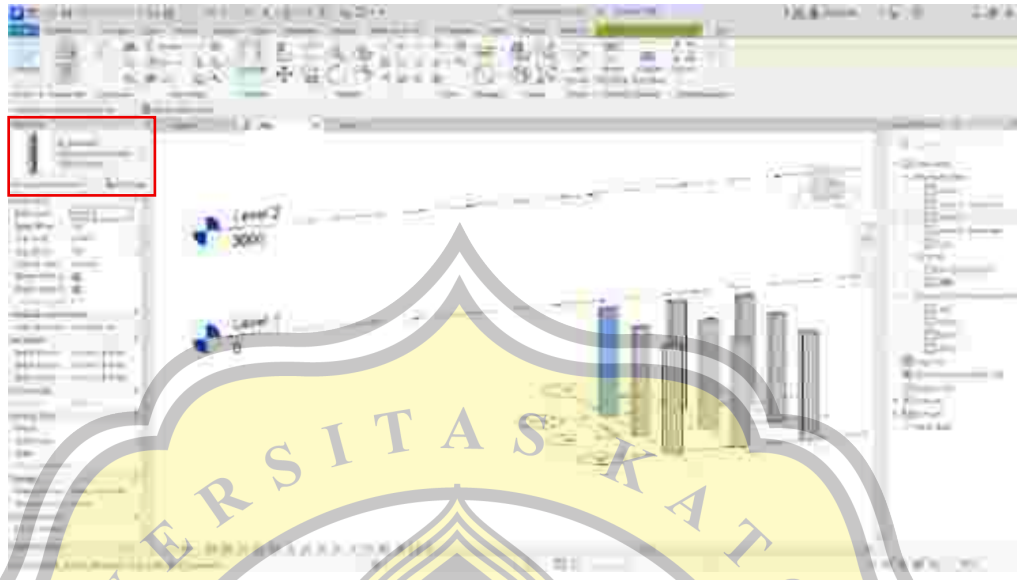
4. Pemodelan kolom

   Pemodelan pertama diawali dengan pemodelan elemen kolom. Ikon pembuatan elemen struktur kolom pada Autodesk Revit diperlihatkan pada Gambar 3.21.



Gambar 3.21 Ikon Pembuatan Struktur Kolom Pada Autodesk Revit

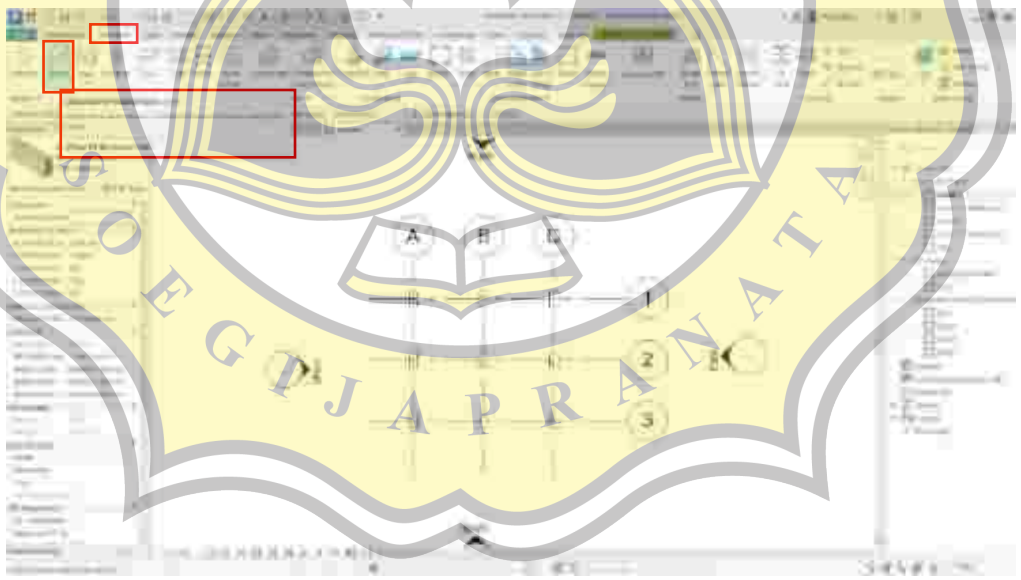
   Penggambaran ulang kolom berdasarkan spesifikasi detail kolom di gambar kerja. Ukuran kolom dapat diubah pada bagian *edit type*. Contoh pemodelan elemen kolom pada Autodesk Revit diperlihatkan pada Gambar 3.22.



Gambar 3.22 Penggambaran Ulang Kolom Pada Autodesk Revit

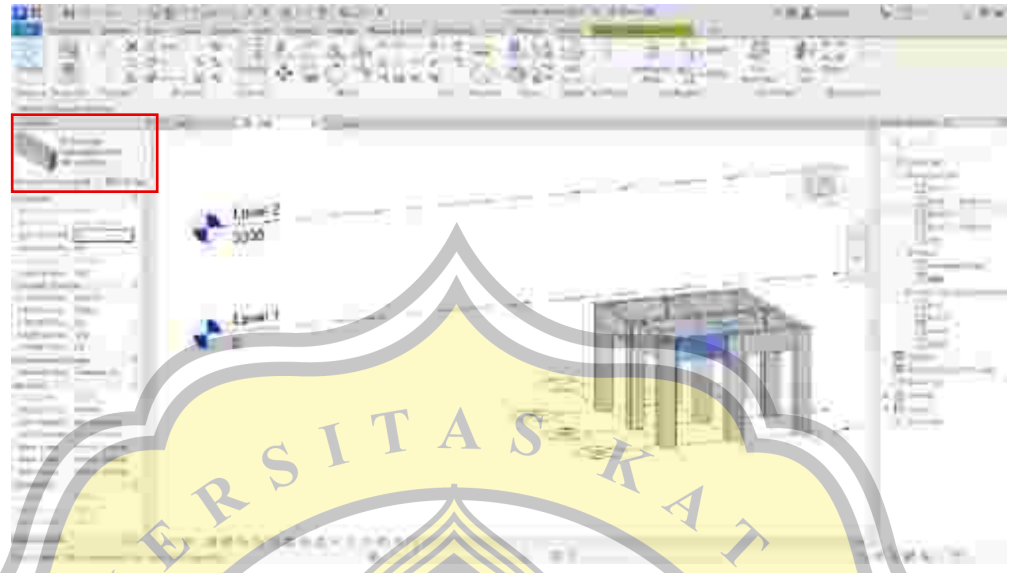
5. Pemodelan balok

Setelah pembuatan kolom, dilanjutkan dengan pembuatan elemen balok. Ikon pembuatan elemen balok pada Autodesk Revit diperlihatkan pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23 Ikon Pembuatan Struktur Balok Pada Autodesk Revit

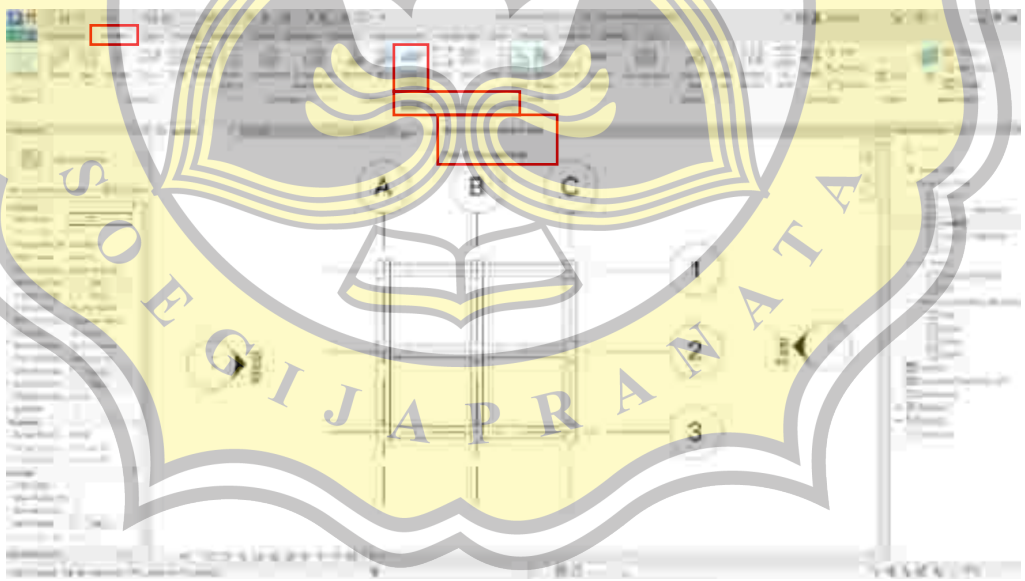
Penggambaran ulang balok berdasarkan spesifikasi detail balok di gambar kerja. Ukuran balok dapat diubah pada bagian *edit type*. Contoh pemodelan elemen balok pada Autodesk Revit diperlihatkan pada Gambar 3.24.



Gambar 3.24 Penggambaran Ulang Balok Pada Autodesk Revit

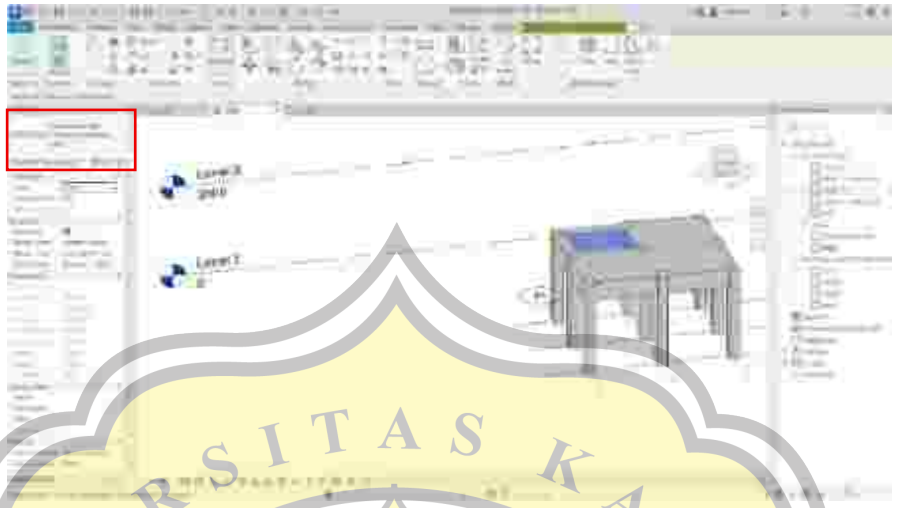
6. Pemodelan pelat

Setelah pemodelan kolom dan balok, selanjutnya dilakukan pemodelan pelat. Ikon pembuatan elemen struktur pelat diperlihatkan pada Gambar 3.25.



Gambar 3.25 Ikon Pembuatan Struktur Pelat Pada Autodesk Revit

Penggambaran ulang pelat berdasarkan spesifikasi detail pelat di gambar kerja. Ukuran ketebalan pelat dapat diubah pada bagian *edit type*. Contoh pemodelan elemen pelat pada Autodesk Revit diperlihatkan pada Gambar 3.26.



Gambar 3.26 Penggambaran Ulang Pelat Pada Autodesk Revit

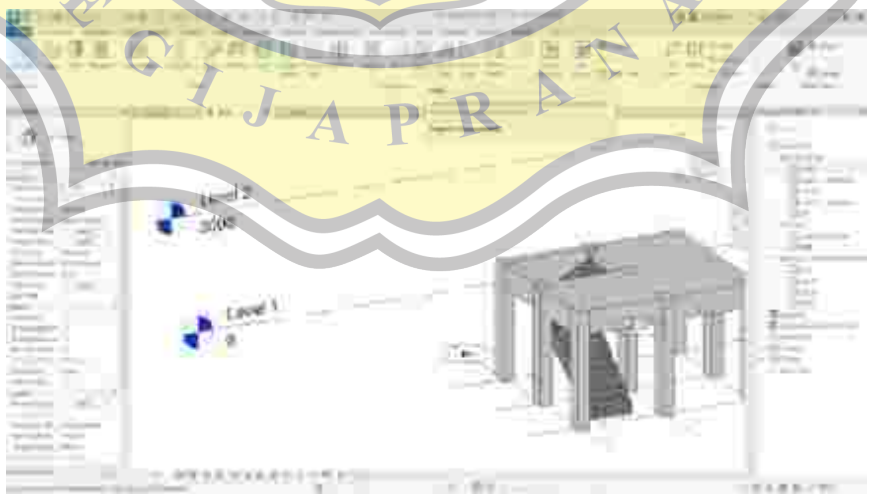
7. Pemodelan tangga

Langkah terakhir yang dilakukan adalah pemodelan elemen tangga. Ikon pembuatan tangga pada Autodesk Revit diperlihatkan pada Gambar 3.27.



Gambar 3.27 Ikon Pembuatan Tangga Pada Autodesk Revit

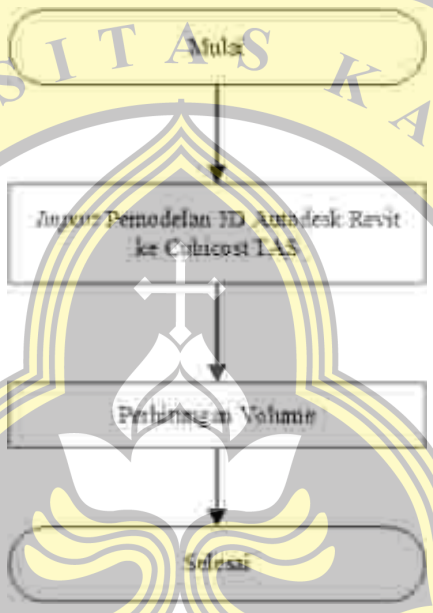
Penggambaran ulang tangga berdasarkan spesifikasi tangga pada gambar kerja. Gambar 3.28 memperlihatkan pemodelan tangga pada Autodesk Revit.



Gambar 3.28 Penggambaran Ulang Tangga Pada Autodesk Revit

3.6.4 Cubicost TAS

Pemodelan volume pekerjaan struktur utama bangunan dilakukan menggunakan perangkat lunak Cubicost TAS sebagai alat analisis volume konstruksi yang menerapkan konsep BIM 5D. Tahapan ini merupakan kelanjutan dari proses pemodelan BIM 3D yang sebelumnya dibuat dengan Autodesk Revit dan kemudian diintegrasikan dengan perhitungan volume pekerjaan melalui Cubicost TAS. Proses lengkap pemodelan menggunakan Cubicost TAS diperlihatkan pada Gambar 3.29.



Gambar 3.29 *Flowchart* Pemodelan Cubicost TAS

Berikut merupakan proses pemodelan elemen struktur serta analisis volume yang dilakukan dengan menggunakan *software* Cubicost TAS:

1. *Import* pemodelan 3D Autodesk Revit

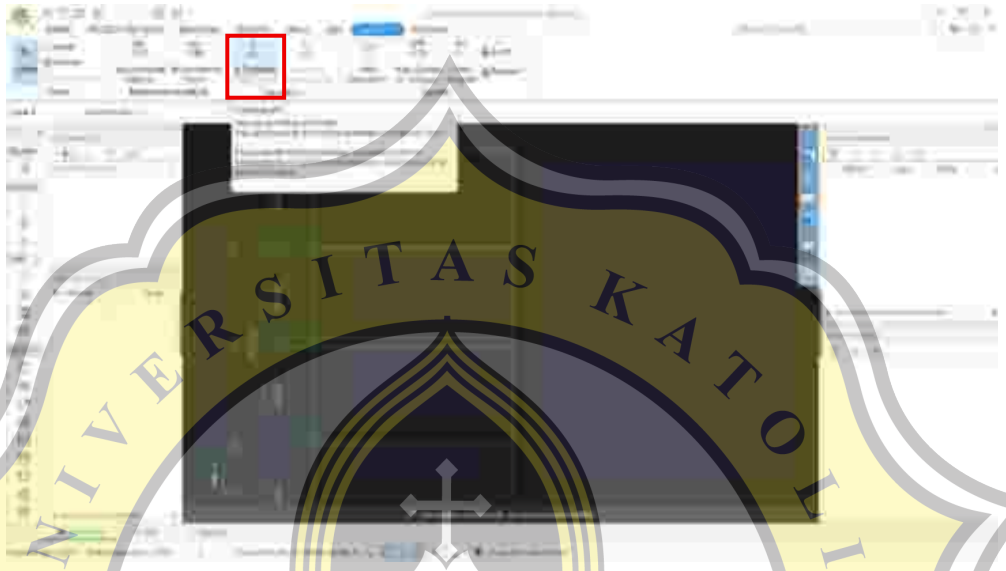
   Input model merupakan langkah awal dalam proses analisis volume pada perangkat lunak TAS C-VII. Prosedurnya dilakukan dengan membuka menu *BIM Model*, kemudian memilih opsi *Import* IFC *File*. Tampilan menu untuk mengimpor berkas IFC dapat dilihat pada Gambar 3.30.



Gambar 3.30 Menu *Import* IFC *File*

2. Perhitungan volume

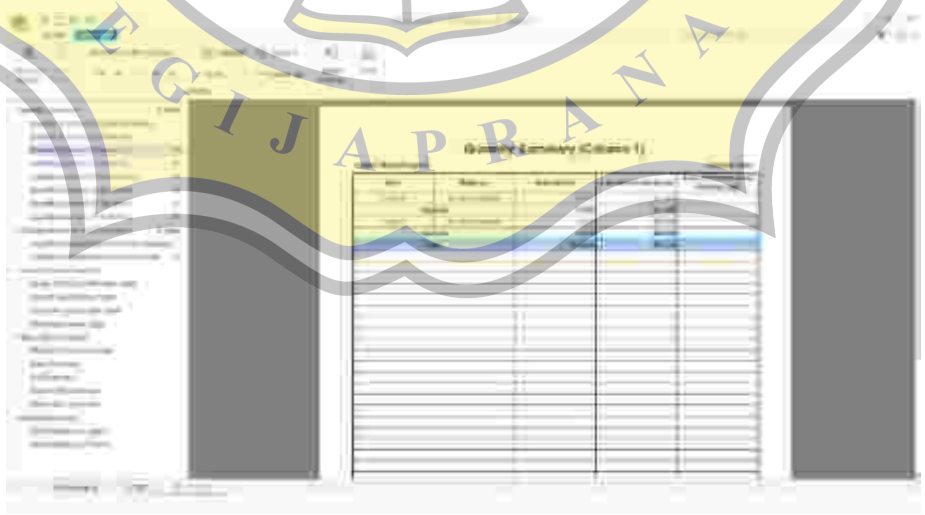
   File yang telah diimpor akan dianalisis volume dan luasan bangunan dengan memilih menu *calculate*. Gambar 3.31 memperlihatkan menu *calculate*.



Gambar 3.31 *Menu Calculate*

3. Analisis volume

   Software akan melakukan kalkulasi secara otomatis dan deduksi atau pengurangan volume pada elemen yang saling tumpang tindih pada pemodelan 3D. Proses ini mengurangi kesalahan perhitungan dengan *traceability* ke model asli. Gambar 3.32 memperlihatkan tampilan hasil analisis volume.



Gambar 3.32 Tampilan Hasil Analisis Volume

3.7 Tahap IV

Tahap IV adalah tahap yang berfokus pada pelaksanaan proses analisis. Proses analisis data dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian utama. Analisis dilakukan berdasarkan data yang telah diolah pada Tahap III.

Ketiga kegiatan dalam proses analisis data tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. Analisis hasil perbandingan kategori dan kriteria material terkait *rating tools* antara LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2 dan EDGE versi 3.1.

   Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap aspek-aspek penilaian yang termasuk dalam kategori dan kriteria material dari ketiga *rating tools*. Setiap *rating tool* memiliki kriteria penilaian tersendiri pada kategori tersebut, yang kemudian akan dibandingkan dengan *rating tool* yang digunakan pada proyek X untuk memperoleh sertifikasi bangunan hijau.
2. Analisis pemodelan gedung bangunan hijau pada *software* Autodesk Revit serta analisis volume *software* Cubicost TAS C-VII.

   Pada tahap ini dilakukan analisis terkait kontribusi *Building Information Modeling* (BIM) dalam mendukung proses sertifikasi bangunan hijau serta dalam perhitungan volume. Karena proyek X belum sepenuhnya menerapkan BIM, analisis ini mencakup pengembangan penerapan BIM dalam implementasi bangunan hijau. Model BIM 3D digunakan untuk membantu proses pemodelan dan visualisasi bangunan, sedangkan BIM 5D dimanfaatkan dalam perhitungan volume.

3.8 Tahap V

Tahap V merupakan tahap penyusunan kesimpulan yang didasarkan pada hasil analisis yang telah dilakukan. Pada bagian ini disusun kesimpulan serta saran yang berasal dari hasil pengolahan data, analisis, dan pembahasan. Kesimpulan berfungsi sebagai jawaban atas pertanyaan-pertanyaan dalam rumusan masalah maupun tujuan penelitian. Disertakan pula saran berupa rekomendasi bagi peneliti berikutnya untuk pengembangan ilmu yang berkaitan dengan *green building*. Hasil akhir dari tahap ini adalah pelaksanaan seminar tugas akhir.

BAB 4
DATA PENELITIAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 *Overview* Data Penelitian dan Pengolahan Data

Subbab ini berfokus pada pengumpulan dan pengolahan data untuk menilai penerapan tiga *rating tools* sertifikasi bangunan hijau yaitu LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1 pada kategori material. Berdasarkan data tiap *rating tools* tersebut dilanjutkan dengan untuk mengidentifikasi kontribusi BIM 3D dan 5D terhadap volume pada kategori material untuk tiap *rating tools* pada sertifikasi bangunan hijau. Penelitian ini dibatasi oleh ruang lingkup penelitian yang mengacu pada ketentuan yang telah diuraikan pada Subbab 1.4. Berdasarkan Gambar 3.2, data yang diperlukan dalam penelitian ini untuk mendukung proses analisis dan pencapaian tujuan penelitian. Data proyek konstruksi diperoleh dari Manajemen Konstruksi Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang.

Penjabaran data yang dibutuhkan untuk penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Data Umum Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang.
2. Data Material Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang. (Tabel 3.2)
3. Data Kategori dan Kriteria Material LEED Versi 4.1, *Greenship* Versi 1.2, dan EDGE Versi 3.1. (Subbab 2.3 s/d Subbab 2.5)
4. *As Built Drawing* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang. (Lampiran G)
5. *Bill of Quantity* (BoQ) Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang. (Subbab 4.3 s/d Subbab 4.5)

Data Umum Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata yang berlokasi di BSB City Semarang merupakan informasi mendasar yang digunakan sebagai landasan untuk memberikan gambaran secara menyeluruh mengenai proyek yang menjadi dasar objek penelitian. Proyek Gedung

Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang dirancang sebagai fasilitas perkuliahan Fakultas Kedokteran (FK). Secara geografis, lokasi proyek menggambarkan posisi proyek terhadap wilayah sekitarnya yang diperlihatkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Lokasi Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang (Sumber diperoleh dari: https://www.google.com/maps/search/Fakultas+Kedokteran+Soegijapranata+Catholic+University/)

Batas-batas wilayah Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang berdasarkan Gambar 4.1 adalah sebagai berikut:

1. Batas Utara : Perumahan Beranda Bali
2. Batas Selatan : IPC Unika Soegijapranata
3. Batas Timur : Uptown Mall BSB *City*
4. Batas Barat : Jl. H. Subeno

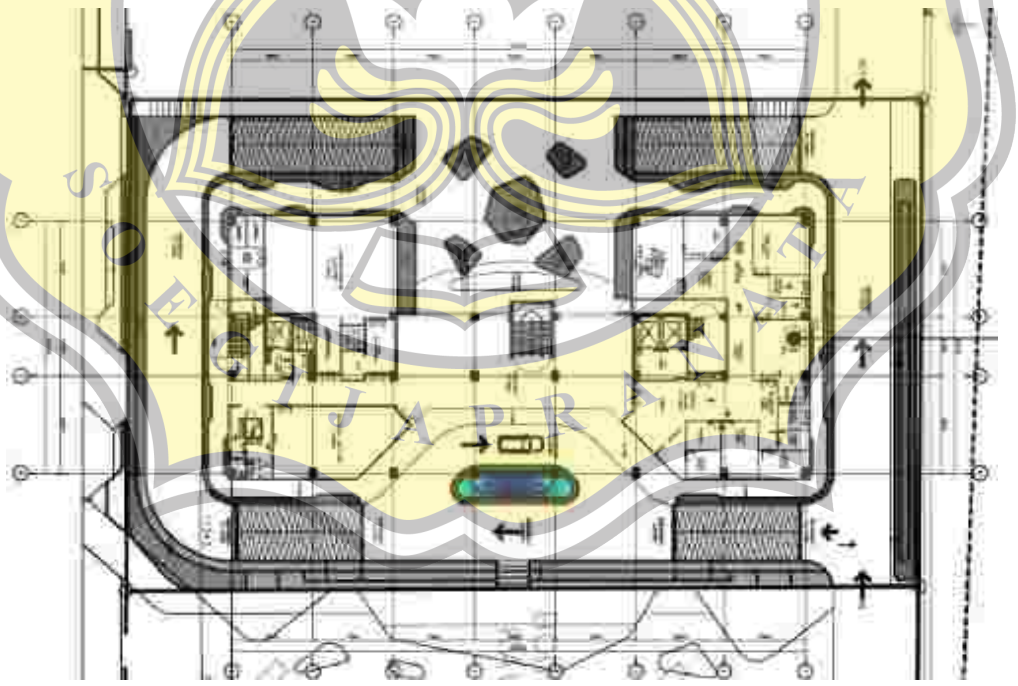
Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang memiliki 8 lantai dan 1 lantai *basement*. Setiap lantai pada Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang tersebut memiliki fungsi yang berbeda. Rincian fungsi, luas setiap dan elevasi tiap lantai pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Elevasi, Fungsi dan Luas Setiap Lantai pada Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang

Lantai	Elevasi (m)	Fungsi	Luas Lantai (m^2)
Basement	- 3,25	Tempat Parkir	1.776
Ground floor	+ 0,75	Lobby dan laboratorium	1.073
Lantai 1	+ 6,95	Laboratorium	1.128
Lantai 2	+ 11,25	Laboratorium	1.162
Lantai 3	+ 15,35	Ruang *Skill* Lab	928
Lantai 4	+ 19,55	Ruang Tutorial	928
Lantai 5	+ 23,75	Ruang Dosen dan Administrasi	928
Lantai 6	+ 30,11	Kelas Auditorium dan Ruang Meeting	1.110
Roof floor	+ 34,31	*Rooftop*	59

(Sumber: Diolah kembali dari *As Built Drawing Site Plan* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata Semarang)

Site plan Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang berupa *as built drawing* diperlihatkan pada Gambar 4.2 dan versi lebih jelas diperlihatkan pada Lampiran LG – 01 dan LG – 02.

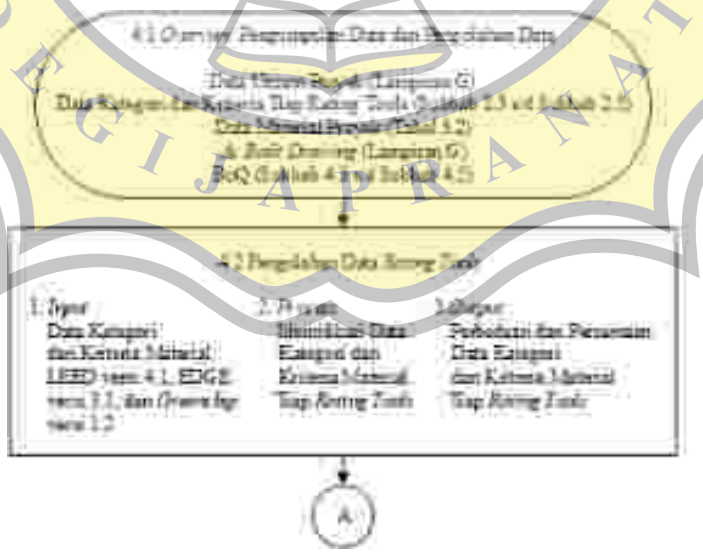


Gambar 4.2 *Site Plan* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang (Sumber: Dokumen *As Built Drawing* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang)

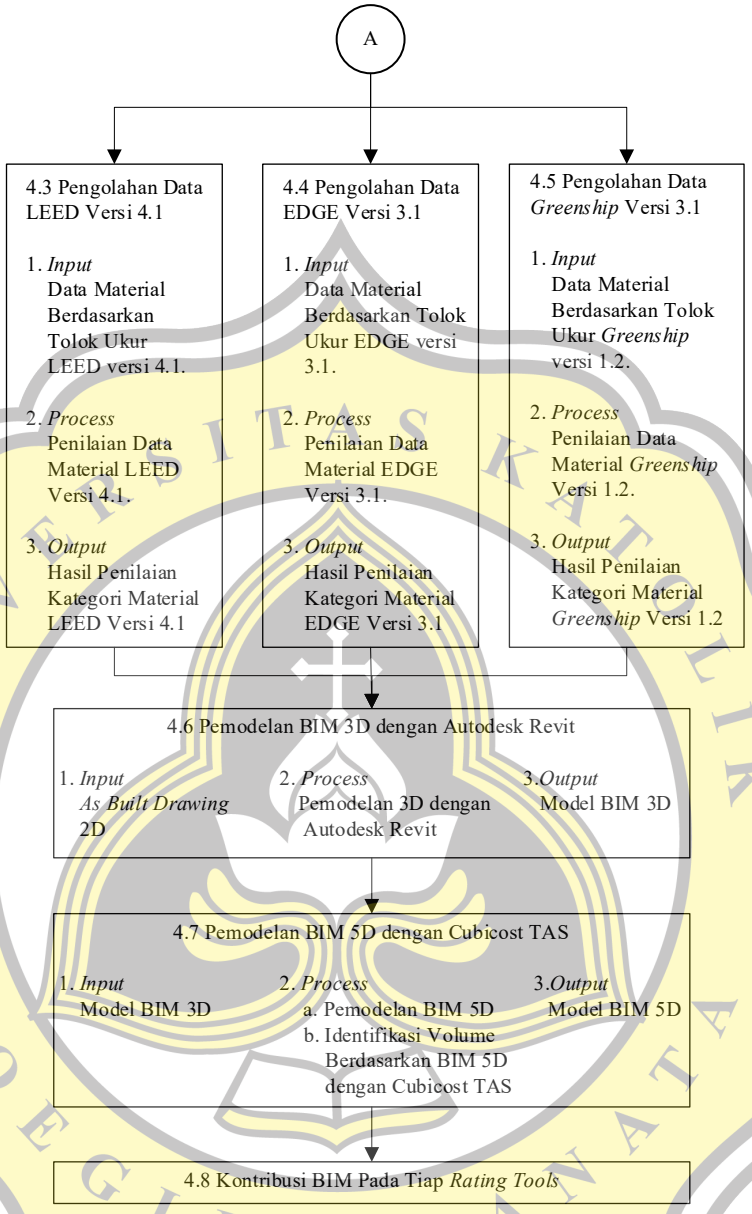
Data umum Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Nama Proyek : Pembangunan Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata
2. Lokasi Proyek : Jl. Rm. Hadisoebeno Sosro Wardoyo, Jatibarang, Kecamatan Mijen, Kota Semarang.
3. Luas Bangunan : 9.505 m^2
4. Jumlah Lantai : 8 lantai dan 1 *basement*
5. *Owner* : Yayasan Sandjojo Unika Soegijapranata
6. Konsultan Perencana : PT. Global Rancang Selaras
7. Konsultan MK : PT. Rekajasa Cipta Mahakarya
8. Kontraktor Fondasi : PT. Paton Buana Semesta
9. Kontraktor SA : PT. Wijaya Kusuma Contractors
10. Kontraktor MEP : PT. Alkonusa Teknik Inti
11. Kontraktor STP : PT. Global Sukses Persada
12. Kontraktor *Lift* : PT. Kone Indo Elevator

Dalam merinci tahapan pada Bab 4 menggunakan alur pada *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK 6th). *Overview* data penelitian dan pengolahan data diperlihatkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 *Overview* Data Penelitian dan Pengolahan Data



Gambar 4.3 *Overview* Data Penelitian dan Pengolahan Data (Lanjutan)

4.2 Pengolahan Data *Rating Tools*

Rating Tools LEED Versi 4.1, *Greenship* Versi 1.2, dan EDGE Versi 3.1 merupakan tiga *rating tools* utama yang digunakan dalam penelitian ini, yang dipilih berdasarkan kesesuaian tipologi penilaian sistem sertifikasi pada kategori material. Data umum terkait ketiga *rating tools* tersebut diperlihatkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Umum *Rating Tools*

No	Data Umum	LEED Versi 4.1	*Greenship* Versi 1.2	EDGE Versi 3.1
1	Tahun terbit	2019	2013	2025
2	Organisasi pengelola	*United State Green Building Council* (USGBC)	*Green Building Council Indonesia* (GBCI)	*International Finance Corporation* (IFC)
3	Siklus hidup bangunan	1. *Building Design and Construction* (BD+C) 2. *Interior Design and Construction* (ID+C) 3. *Operations and Maintenance* 4. *Neighborhood Development* 5. *Homes*	1. *New Building* 2. *Existing Building* 3. *Interior Space* 4. *Neighborhood*	1. *New Building* (*Post Construction*) 2. *Existing Building* 3. *Retrofit*
4	Luas minimum bangunan	1. Luas minimum 93 m^2 (BD+C) 2. Luas minimum 22 m^2 (ID+C)	2500 m^2	Tidak Ada
5	Peringkat sertifikasi	1. *Platinum* 2. *Gold* 3. *Bronze* 4. *Certified*	1. *Platinum* 2. *Gold* 3. *Silver* 4. *Bronze*	1. *Zero Carbon* 2. EDGE *Advanced* 3. EDGE *Certified*
6	Pihak evaluator	*Green Business Certification Inc* (GBCI)	1. PT. Sertifikasi Bangunan Hijau 2. PT. Sucofindo	*Green Business Certification Inc* (GBCI)
7	Contoh Bangunan tersertifikasi	1. *Apple Park,* California (USA) 2. *One Central Park,* Sydney (Australia) 3. Sequis Tower, Jakarta (Indonesia)	1. GRHA DSN, Jakarta (Indonesia) 2. Menara BRILiaN, Jakarta (Indonesia) 3. Landmark BSI, Aceh (Indonesia)	1. *Bonifacio City,* Taguig (Filipina) 2. *Ufficio* BJX, Bajio (Mexico) 3. *Ecoloft* Jababeka, Cikarang (Indonesia)
8	Informasi sertifikasi	LEED v4.1 BD+C *Guide*	*Guide Book Greenship* versi 1.2	EDGE *User Guide*: *Material Measures*

(Sumber: Diolah kembali dari https://www.usgbc.org/leed/v41; https://gbcindonesia.org/web ; https://edgebuildings.com/)

Berdasarkan Tabel 4.2, LEED, EDGE dan *Greenship* berbeda luasan, tingkatan sertifikasi, dan siklus hidup bangunan. Adapun kesamaan antara sistem sertifikasi LEED dan EDGE pada pihak evaluator yang terlibat dalam penilaian sertifikasi.

4.2.1 Data kategori dan kriteria LEED versi 4.1

Kategori yang digunakan pada penelitian ini ditandai dengan label berwarna abu – abu. Tabel 4.3 memperlihatkan data kategori dan kriteria LEED Versi 4.1.

Tabel 4.3 Data Kategori dan Kriteria LEED Versi 4.1

No	Kategori	Kriteria
1	*Location and Transportation*	LT 01 *Neighborhood Development Location* LT 02 *Sensitive Land Protection* LT 03 *High-Priority Site and Equitable Development* LT 04 *Surrounding Density and Diverse Uses* LT 05 *Access to Quality Transit* LT 06 *Bicycle Facilities* LT 07 *Reduced Parking Footprint* LT 08 *Electric Vehicles*
2	*Sustainable Sites*	SS P *Construction Activity Pollution Prevention* SS 01 *Site Assessment* SS 02 *Protect or Restore Habitat* SS 03 *Open Space* SS 04 *Rainwater Management* SS 05 *Heat Island Reduction* SS 06 *Light Pollution Reduction*
3	*Water Efficiency*	WE P1 *Outdoor Water Use Reduction* WE P2 *Indoor Water Use Reduction* WE P3 *Building Level Water Metering* WE 01 *Indoor Water Use Reduction* WE 02 *Optimize Process Water Use* WE 03 *Water Metering*
4	*Energy and Atmosphere*	EA P1 *Fundamental Commisioning and Verification* EA P2 *Minimum Energy Performance* EA P3 *Building Level Energy Metering* EA P4 *Fundamental Refrigerant Management* EA 01 *Enhanced Commissioning* EA 02 *Optimize Energy Performance* EA 03 *Advanced Energy Metering* EA 04 *Grid Harmonization* EA 05 *Renewable Energy* EA 06 *Enhanced Refrigerant Management*

Tabel 4.3 Data Kategori dan Kriteria LEED Versi 4.1 (Lanjutan)

No	Kategori	Kriteria
5	*Materials and Resources*	MR P *Storage and Collection of Recyclables* MR 01 *Building Life-Cycle Impact Reduction* MR 02 *Environmental Product Declarations* MR 03 *Sourcing of Raw Materials* MR 04 *Material Ingredients* MR 05 *Construction and Demolition Waste Management*
6	*Indoor Environment Quality*	IEQ P1 *Minimum Indoor Air Quality Performance* IEQ P2 *Enviromental Tobacco Smoke Control* IEQ 01 *Enchanced Indoor Air Quality Strategies* IEQ 02 *Low-Emitting Materials* IEQ 03 *Construction Indoor Air Quality Management Plan* IEQ 04 *Indoor Air Quality Assessment* IEQ 05 *Thermal Comfort* IEQ 06 *Interior Lighting* IEQ 07 *Daylight* IEQ 08 *Quality Views* IEQ 09 *Acoustic Performance*
7	*Innovation*	IN 01 *Innovation* IN 02 LEED *Accredited Professional*
8	*Regional Priority*	*Regional Priority*

(Sumber: Diolah kembali dari USGBC, 2025)

4.2.2 Data kategori dan kriteria *Greenship* versi 1.2

Setiap sistem sertifikasi menerapkan kategori dan kriteria penilaian yang berbeda sesuai dengan standar yang ditetapkan. Kategori yang digunakan pada penelitian ini ditandai dengan label berwarna abu – abu. Tabel 4.4 memperlihatkan kategori dan kriteria penilaian yang digunakan dalam sistem sertifikasi *Greenship* Versi 1.2.

Tabel 4.4 Data Kategori dan Kriteria *Greenship* Versi 1.2

No	Kategori	Kriteria
1	*Appropriate Site Development*	ASD P *Basic Green Area* ASD 01 *Site Selection* ASD 02 *Community Accesibility* ASD 03 *Public Transportation* ASD 04 *Bicycle Facility* ASD 05 *Site Landscaping* ASD 06 *Micro Climate* ASD 07 *Stormwater Management*

Tabel 4.4 Data Kategori dan Kriteria *Greenship* Versi 1.2 (Lanjutan)

No	Kategori	Kriteria
2	*Energy Efficiency and Conservation*	EEC P1 *Electrical Sub Metering* EEC P2 OTTV *Calculation* EEC 01 *Energy Efficiency Measures* EEC 02 *Natural Lightning* EEC 03 *Ventilation* EEC 04 *Climate Change Impact* EEC 05 *On Site Renewable Energy*
3	*Water Conservation*	WAC P1 *Water Metering* WAC P2 *Water Calculation* WAC 01 *Water Use Reduction* WAC 02 *Water Fixtures* WAC 03 *Water Recycling* WAC 04 *Alternative Water Resources* WAC 05 *Rainwater Harvesting* WAC 06 *Water Efficiency Landscaping*
4	*Material Resources and Cycle*	MRC P *Fundamental Refrigerant* MRC 01 *Building and Material Reuse* MRC 02 *Enviromentally Friendly Material* MRC 03 Non ODS *Usage* MRC 04 *Certified Wood* MRC 05 *Prefab Material* MRC 06 *Regional Material*
5	*Indoor Health and Comfort*	IHC P *Outdoor Air Introduction* IHC 01 CO_2 *Monitoring* IHC 02 *Enviromental Tobaco Smoke Control* IHC 03 *Chemical Pollutant* IHC 04 *Outside View* IHC 05 *Visual Comfort* IHC 06 *Thermal Comfort* IHC 07 *Acoustic Level*
6	*Building Environment Management*	BEM P *Basic Waste Management* BEM 01 GP as a *Member of Project Team* BEM 02 *Pollution of Construction Activity* BEM 03 *Advanced Waste Management* BEM 04 *Proper Commisioning* BEM 05 *Green Building Submission Data* BEM 06 *Fit Out Aggrement* BEM 07 *Occupant Survey*

(Sumber: Diolah kembali dari GBCI, 2013)

4.2.3 Data kategori dan kriteria EDGE versi 3.1

Setiap sistem sertifikasi memiliki kategori dan kriteria penilaian yang berbeda sesuai dengan standar yang ditetapkan. Kategori yang digunakan pada penelitian ini ditandai dengan label berwarna abu – abu. Tabel 4.5 memperlihatkan kategori dan kriteria penilaian yang digunakan dalam sistem sertifikasi EDGE Versi 3.1.

Tabel 4.5 Data Kategori dan Kriteria EDGE Versi 3.1

No	Kategori	Kriteria
1	*Energy*	EEM 01 *Window To Wall Ratio* EEM 02 *Reflective Roof* EEM 03 *Reflective Exterior Walls* EEM 04 *External Shading Devices* EEM 05 *Insulation of Roof* EEM 06 *Insulation of Ground/ Raise Floor Slab* EEM 07 *Green Roof* EEM 08 *Insulation of Exterior Walls* EEM 09 *Efficiency of Glass* EEM 10 *Air Infiltration of Envelope* EEM 11 *Natural Ventilation* EEM 12 *Ceiling Fans* EEM 13 *Cooling System Efficiency* EEM 14 *Variable Speed Drives* EEM 15 *Fresh Air Pre-Conditioning System* EEM 16 *Space Heating System Efficiency* EEM 17 *Room Heating Controls With Thermostatic Valves* EEM 18 *Domestic Hot Water System* EEM 19 *Domestic Hot Water Preheating System* EEM 20 *Economizers* EEM 21 *Demand Control Ventilation Using* CO_2 *Sensors* EEM 22 *Efficient Lightning for Internal Areas* EEM 23 *Efficient Lightning for External Areas* EEM 24 *Lightning Controls* EEM 25 *Skylights* EEM 26 *Demand Control Ventilation for Parking Using* CO_2 *Sensors* EEM 27 *Insulation for Cold Storage Envelope* EEM 28 *Efficient Refrigeration for Cold Storage* EEM 29 *Efficient Refrigeration and Clothes Washing Machines* EEM 30 *Submeters for Heating/ Cooling System* EEM 31 *Smart Meters for Energi* EEM 32 *Power Factor Corrections* EEM 33 *Onsite Renewable Energy* EEM 34 *Other Energy Saving Measures*

Tabel 4.5 Data Kategori dan Kriteria EDGE Versi 3.1 (Lanjutan)

No	Kategori	Kriteria
2	*Material*	MEM 01 *Bottom Floor Construction* MEM 02 *Intermediate Floor Construction* MEM 03 *Floor Finish* MEM 04 *Roof Construction* MEM 05 *Exterior Walls* MEM 06 *Interior Walls* MEM 07 *Window Frames* MEM 08 *Window Glazing* MEM 09 *Roof Insulation* MEM 10 *Wall Insulation* MEM 11 *Floor Insulation*
3	*Water*	WEM 01 *Water Efficient Showerheads* WEM 02 *Water Efficient Faucets for All Bathrooms* WEM 03 *Efficient Water Closets for All Bathrooms* WEM 04 *Water Efficient Bidet* WEM 05 *Water Efficient Urinals* WEM 06 *Water Efficient Faucets for Kitchen Sinks* WEM 07 *Water Efficient Dishwashers* WEM 08 *Water Efficient Pre-rinse Spray Valves for Kitchen* WEM 09 *Water Efficient Washing Machines* WEM 10 *Swimming Pool Covers* WEM 11 *Water Efficient Landscape Irrigation System* WEM 12 *Rainwater Harvesting System* WEM 13 *Waste Water Treatment and Recycling System* WEM 14 *Condensate Water Recovery* WEM 15 *Smart Meter for Water*

(Sumber: Diolah kembali dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

Berdasarkan Tabel 4.3 hingga Tabel 4.5, Melalui analisis komparatif terhadap berbagai *rating tools* sertifikasi bangunan hijau, dapat diketahui bahwa terdapat sejumlah persamaan sekaligus perbedaan yang cukup mendasar dalam kriteria penilaian antara LEED Versi 4.1, *Greenship* Versi 1.2, dan EDGE Versi 3.1, baik dari segi kategori penilaian, bobot kredit, maupun cakupan aspek keberlanjutan yang menjadi acuan dalam proses sertifikasi. Persamaan dan perbedaan tersebut menunjukkan prioritas yang berbeda dari tiap *rating tools* dalam menerapkan konsep bangunan hijau. Perbandingan kriteria kategori material pada LEED Versi 4.1, *Greenship* Versi 1.2 dan EDGE Versi 3.1 diperlihatkan pada Tabel 4.6.

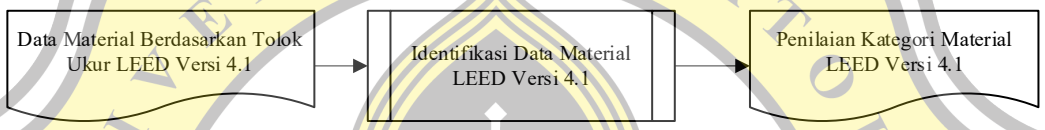
Tabel 4.6 Perbandingan Kriteria Kategori Material Pada LEED Versi 4.1, *Greenship* Versi 1.2 dan EDGE Versi 3.1

LEED Versi 4.1	***Greenship* Versi 1.2**	**EDGE Versi 3.1**
Kategori *Materials and Resources*	**Kategori *Materials Resources and Cycle***	**Kategori *Material***
MR P *Storage and Collection of Recyclables* MR 01 *Building Life-Cycle Impact Reduction* MR 02 *Environmental Product Declarations* MR 03 *Sourcing of Raw Materials* MR 04 *Material Ingredients* MR 05 *Construction and Demolition Waste Management*	MRC P *Fundamental Refrigerant* MRC 01 *Building and Material Reuse* MRC 02 *Enviromentally Friendly Material* MRC 03 Non ODS *Usage* MRC 04 *Certified Wood* MRC 05 *Prefab Material* MRC 06 *Regional Material*	MEM 01 *Bottom Floor Construction* MEM 02 *Intermediate Floor Construction* MEM 03 *Floor Finish* MEM 04 *Roof Construction* MEM 05 *Exterior Walls* MEM 06 *Interior Walls* MEM 07 *Window Frames* MEM 08 *Window Glazing* MEM 09 *Roof Insulation* MEM 10 *Wall Insulation* MEM 11 *Floor Insulation*

(Sumber: Diolah kembali dari USGBC, 2025; GBCI, 2013; https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

4.3 Pengolahan Data LEED Versi 4.1

Tahapan pengolahan data pada LEED versi 4.1 diawali dengan pengumpulan data berupa informasi material yang disusun berdasarkan tolok ukur LEED versi 4.1. Data tersebut memuat rincian berbagai jenis material yang relevan sesuai dengan kriteria penilaian LEED versi 4.1. Selanjutnya, data yang telah dikumpulkan digunakan sebagai dasar dalam proses analisis untuk mengidentifikasi kategori material menurut LEED versi 4.1, sehingga menghasilkan *output* berupa penilaian kategori material berdasarkan standar LEED versi 4.1. Alur pemodelan pengolahan data LEED versi 4.1 diperlihatkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Alur Pemodelan Pengolahan Data LEED Versi 4.1

Data material yang digunakan dalam Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata Semarang untuk keperluan penilaian berdasarkan LEED versi 4.1, khususnya pada kategori *materials and resources* dijelaskan sebagai berikut:

1. *Storage and Collection of Recyclables* (P)

   Storage and Collection of Recyclables merupakan salah satu prasyarat dalam kategori *Materials and Resources* yang pelaksanaannya pada tahap *operation and maintenance*. Kriteria ini wajib dipenuhi terlebih dahulu sebelum proses penilaian kriteria lainnya dilakukan. Adapun tolok ukur dari kriteria ini adalah bangunan harus menyediakan area khusus yang dapat diakses oleh petugas pengangkut sampah dan pengguna gedung, untuk kegiatan pengumpulan dan penyimpanan material yang dapat didaur ulang. Area pengumpulan dan penyimpanan tersebut dapat berada pada lokasi yang terpisah. Jenis material daur ulang yang disediakan meliputi kertas, kardus, kaca, plastik, dan logam. Bangunan juga perlu menyediakan pengelolaan yang aman terhadap minimal dua jenis limbah, yaitu baterai, lampu yang mengandung merkuri, dan limbah elektronik, mulai dari tahap pengumpulan hingga pembuangan. Berdasarkan

data material yang digunakan dalam Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang tidak ditemukan data untuk kriteria ini karena melibatkan pihak ketiga dalam proses pengelolaannya.

2. *Building Life-Cycle Impact Reduction* (5 Poin)

   Building Life-Cycle Impact Reduction merupakan kriteria yang bertujuan untuk meningkatkan penggunaan kembali secara adaptif dan mengoptimalkan dampak lingkungan bahan serta produk pada tahap konstruksi. Kriteria ini memiliki tolok ukur dengan perolehan maksimal 5 poin melalui penggunaan kembali material *existing* seperti dinding, atap, lantai dan selubung bangunan. Poin *reuse* komponen bangunan *existing* diperlihatkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Poin Berdasarkan *Reuse* Komponen Bangunan *Existing*

Persentase *Reuse* Dinding, Lantai, dan Atap Bangunan *Existing* (%)	**Poin**
15	1
30	2
45	3
60	4
75	5

(Sumber: *United States Green Building Council*, 2025)

Pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang tidak menggunakan kembali material *existing* sehingga tidak ada poin yang dapat diperoleh pada kriteria ini.

3. *Environmental Product Declarations* (2 Poin)

   Environmental Product Declarations memiliki tujuan untuk mendorong penggunaan material yang dapat menggambarkan daur hidup atau menggunakan *Life Cycle Assessment*. Kriteria ini memiliki tolok ukur untuk memperoleh 1 poin dengan menggunakan minimal 20 jenis produk dan berasal dari 5 produsen yang berbeda serta memiliki *Life Cycle Assessment* atau *Environmental Product Declaration*. Opsi lain untuk memperoleh 1 poin adalah laporan *embodied carbon* paling sedikit 5 jenis produk dari minimal 3 produsen yang berbeda. Data yang dibutuhkan pada kriteria ini berdasarkan data Proyek Gedung Fakultas

Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang diperlihatkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Data Kriteria EPD

No.	Jenis Material	Vendor	Lampiran
1	Insulasi *aircell insulbreak* 40 FFR	Kingspan	LB - 01
2	*Public lift* kapasitas 1.150 kg	Kone	LB - 02
3	*Fire lift* kapasitas 1.150 kg	Gunung Raja Paksi	LB - 03
4	Profil WF 350.175.9.11		
5	Profil WF 300.150.6,5.9		
6	Profil WF 250.125.6.9		
7	*End plate* tebal 12 mm		
8	*End plate* tebal 10 mm		
9	*Base plate* tebal 10 mm		
10	Angkur M16 x 300 x 100		
11	Angkur M16 x 200 x 100		
12	Profil C 125.50.20.2		
13	Penahan gording		
14	Ikatan angin		
15	*Sag rod*		
16	*Stiffener*		
17	Baut		
18	Tiang pancang diameter 450 mm K-500	Wijaya Karya	LB - 04
19	Lath 4" *Walnut Brown*	Conwood	LB - 05
20	Atap colourbond kliplock 0.45 BMT zincalume	Bluescope	LB - 06

4. *Sourcing of Raw Materials* (2 Poin)

Sourcing of Raw Materials mendorong perolehan bahan baku yang terencana, terstandarisasi, dan berorientasi pada keberlanjutan. Tolok ukur kriteria ini merupakan penggunaan produk minimal 15% dari total biaya material dengan minimal 3 produsen berbeda untuk 1 poin atau 30% dari keseluruhan biaya material dengan paling sedikit 5 produsen yang berbeda untuk 2 poin. Kedua tolok ukur wajib memenuhi satu syarat seperti produsen tergabung dalam *Extended Producer Responsibility* (EPR), Bersertifikat USDA *BioPreferred* dengan verifikasi ASTM D6866, produk kayu yang bersertifikat dari *Forest*

Stewardship Council (FSC), penggunaan kembali material, penggunaan material daur ulang. Data yang dibutuhkan pada kriteria ini diperlihatkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Data Kriteria *Sourcing of Raw Materials*

No.	Jenis Material	Vendor	Lampiran	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga Sub Total (Rp)
1	Pintu Kayu	Woodone	LC - 01	Unit	165	21.034.886	3.470.756.347
2	Wallpaper *Plywood*	Greenlam	LC - 02	Unit	178	21.947.700	3.906.690.600
3	Lift	KONE	LC - 03	Unit	3,00	855.000.000	2.565.000.000
4	Pipa Refrigeran	Armacell	LC - 04	m'	3.603	145.645	524.762.079
Total Biaya *Sourcing of Raw Materials*							10.467.209.026

(Sumber: Diolah Kembali dari *Bill Of Quantity* Dokumen Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang)

Perhitungan persentase dari perbandingan antara total biaya material pada produk yang memenuhi salah satu persyaratan kriteria terhadap biaya material keseluruhan. Data *Sourcing of Raw Materials* didasarkan pada Tabel 4.9. Perhitungan berdasarkan Persamaan 2.1 dijelaskan sebagai berikut:

Biaya Material Keseluruhan = Rp 85.531.932.181
(Sumber: *Bill Of Quantity* Dokumen Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang)

$$\text{Persentase } \textit{Sourcing of Raw Materials} = \frac{\sum \text{Biaya } \textit{Sourcing of Raw Materials}}{\sum \text{Biaya Material Keseluruhan}} \times 100\%$$

$$= \frac{\text{Rp } 10.467.209.026}{\text{Rp } 85.531.932.181} \times 100\%$$

$$= 12{,}24\%$$

5. *Material Ingredients* (2 Poin)

Material Ingredients memiliki tujuan agar adanya pelaporan bahan kimia dari material pada tahap konstruksi dan operasional. Tolok ukur perolehan 1 poin kriteria ini adalah menggunakan minimal 20 produk permanen yang dipasang minimal 5 produsen berbeda dengan memenuhi salah satu syarat antara lain

Deklarasi bahan bebas *red list,* bersertifikat *Global Green Tag,* bersertifikat *cradle to cradle,* dan *Health Product Declaration*. Tolok ukur perolehan 1 poin lainnya dapat diperoleh melalui pemanfaatan produk dengan *material ingredient report* atau *action plan*. Sebanyak minimal 5 produk terpasang permanen bersumber dari setidaknya 3 produsen yang berbeda. Data yang dibutuhkan diperlihatkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Data Kriteria *Material Ingredients*

No.	Jenis Material	Vendor	Lampiran
1	Sikagard 63	Sika	LD - 01
2	Sikagard 720 Epocem		
2	Kabel komunikasi 3 x 2,5 mm^2	Rehau	LD - 02
3	Lift Kapasitas 1.150 kg	KONE	LD - 03
4	Cat Dinding *Exterior*	Jotun	LD - 04
5	Cat dinding *Interior*		
6	Cat *plafond Interior*		
7	Cat *plafond Exterior*		
8	*Gypsum* tebal 9 mm	Knauf	LD - 05
9	*Gypsum* tebal 9 mm *Water Resistance*		
10	*Gypsum* tebal 12 mm		

6. *Construction and Demolition Waste Management* (2 Poin)

   Kriteria ini memiliki tujuan mengurangi limbah konstruksi, pembongkaran yang dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Tujuan lain ialah untuk menunda pembangunan TPA baru yang ditempatkan di komunitas terdampak langsung. Kriteria ini memiliki tolok ukur dengan mengalihkan 50% dari limbah material proyek untuk perolehan 1 poin. Opsi kedua adalah mengalihkan 50% limbah material proyek sekaligus menghasilkan kurang dari 50 kg/m^2 material limbah dari seluruh aktivitas konstruksi baru untuk perolehan 2 poin. Pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang tidak dilakukan manajemen limbah sehingga tidak ada poin yang dapat diperoleh pada kriteria ini.

Berdasarkan penjabaran data di atas, maka Tabel 4.11 memperlihatkan rekapitulasi hasil penilaian *materials and resources* berdasarkan LEED versi 4.1.

Tabel 4.11 Hasil Penilaian Kategori *Materials and Resources* Berdasarkan LEED Versi 4.1

Kriteria		Tolok Ukur	Dokumen Yang Diperlukan	Poin Maksimum	Poin Tercapai
Storage and Collection of Recyclables				P	P
Storage and Collection of Recyclables (MR P)	P	Menyediakan zona khusus yang dapat dijangkau oleh petugas pengangkut sampah dan penghuni gedung, untuk pengumpulan dan penyimpanan bahan daur ulang.	1. *Site plan* lokasi pengumpulan sampah. 2. Foto terkait fasilitas pengumpulan sampah.	P	P
Building Life-Cycle Impact Reduction				5	0
Building Life-Cycle Impact Reduction (MR 01)	1	Menggunakan kembali material *existing* seperti dinding, atap, lantai dan selubung bangunan minimal 15% dari luasan terpakai.	1. *As built drawing* area yang menggunakan material *reuse*. 2. Foto area kondisi *existing*.	1	0
	2	Menggunakan kembali material *existing* seperti dinding, atap, lantai dan selubung bangunan minimal 30% dari luasan terpakai.		1	0
	3	Menggunakan kembali material *existing* seperti dinding, atap, lantai dan selubung bangunan minimal 45% dari luasan terpakai.		1	0
	4	Menggunakan kembali material *existing* seperti dinding, atap, lantai dan selubung bangunan minimal 60% dari luasan terpakai.		1	0
	5	Menggunakan kembali material *existing* seperti dinding, atap, lantai dan selubung bangunan minimal 75% dari luasan terpakai.		1	0
Environmental Product Declarations				2	1
Environmental Product Declaration (MR02)	1	Menggunakan minimal 20 jenis produk dan berasal dari 5 produsen yang berbeda serta memiliki *Life Cycle Assessment* atau *Environmental Product Declaration* (EPD).	1. Salinan EPD atau *Life Cycle Assessment* yang masih berlaku. 2. Spesifikasi teknis produk yang terpasang permanen di proyek	1	1

Tabel 4.11 Hasil Penilaian Kategori *Materials and Resources* Berdasarkan LEED Versi 4.1 (Lanjutan)

Kriteria		Tolok Ukur	Dokumen Yang Diperlukan	Poin Maksimum	Poin Tercapai
Environmental Product Declaration (MR02)	2	Memiliki laporan *embodied carbon* paling sedikit 5 jenis produk dari minimal 3 produsen yang berbeda	1. Salinan laporan *embodied carbon* yang masih berlaku. 2. Spesifikasi teknis produk yang terpasang permanen di proyek.	1	0
Sourcing of Raw Materials				2	0
Sourcing of Raw Materials (MR 03)	1	Menggunakan produk minimal 15% dari total biaya material dengan paling sedikit tiga produsen berbeda dengan memenuhi salah satu persyaratan dari: *Extended Producer Responsibility* (EPR), bersertifikat USDA *BioPreferred* dengan verifikasi ASTM D6866, produk kayu yang bersertifikat dari *Forest Stewardship Council* (FSC) atau setara yang disetujui USGBC, penggunaan kembali material, dan penggunaan material daur ulang.	1. Dokumen perhitungan material yang memenuhi kriteria berdasarkan total biaya material keseluruhan. 2. Bukti sertifikasi produk yang memenuhi salah satu persyaratan kriteria.	1	0
	2	Menggunakan produk minimal 30% dari keseluruhan biaya material dengan paling sedikit lima produsen yang berbeda dengan memenuhi salah satu persyaratan dari: *Extended Producer Responsibility* (EPR), bersertifikat USDA *BioPreferred* dengan verifikasi ASTM D6866, produk kayu yang bersertifikat dari *Forest Stewardship Council* (FSC), penggunaan kembali material, dan penggunaan material daur ulang.	1. Dokumen perhitungan material yang memenuhi kriteria berdasarkan total biaya material keseluruhan. 2. Bukti sertifikasi produk yang memenuhi salah satu persyaratan kriteria.	1	0
Material Ingredients				2	0
Material Ingredients (MR 04)	1	Menggunakan minimal 20 produk permanen yang dipasang minimal lima produsen berbeda yang memenuhi syarat seperti: deklarasi bahan bebas *red list*, bersertifikat *Global Green Tag*, bersertifikat *cradle to cradle*, dan *Health Product Declaration*.	Laporan produk material yang memenuhi salah satu persyaratan kriteria.	1	0

Tabel 4.11 Hasil Penilaian Kategori *Materials and Resources* Berdasarkan LEED Versi 4.1 (Lanjutan)

Kriteria		Tolok Ukur	Dokumen Yang Diperlukan	Poin Maksimum	Poin Tercapai
Material Ingredients (MR 04)	2	Pemanfaatan produk yang dilengkapi dengan *material ingredient report* atau *action plan* minimal lima produk yang dipasang secara permanen harus bersumber dari setidaknya tiga produsen yang berbeda.	Laporan produk material yang memenuhi salah satu persyaratan kriteria dengan menyertakan *action plan* oleh produsen material.	1	0
Construction and Demolition Waste Management				2	0
Construction and Demolition Waste Management (MR 05)	1	Menerapkan 50% daur ulang dari material proyek sebelumnya.	*Construction and Demolition Waste Management Plan* (WMP)	1	0
	2	Menerapkan 50% daur ulang dari material proyek sebelumnya sekaligus menghasilkan kurang dari 50 kg/m² material limbah dari seluruh aktivitas konstruksi baru.	1. *Construction and Demolition Waste Management Plan* (WMP) yang berisi target pengurangan limbah, material yang akan dipilah, material pengelolaan, lokasi fasilitas pengolahan limbah, dan penanggung jawab pelaksanaan 2. Catatan timbangan limbah yang berisi tanggal, jenis material, berat, dan tujuan akhir limbah.	1	0
Total Penilaian Kategori *Materials and Resources*				13	1

4.4 Pengolahan Data *Greenship* Versi 1.2

Tahapan pengolahan data pada *Greenship* versi 1.2 diawali dengan pengumpulan data berupa informasi material yang disusun berdasarkan tolok ukur *Greenship* versi 1.2. Data tersebut memuat rincian berbagai jenis material yang relevan sesuai dengan kriteria penilaian *Greenship* versi 1.2. Selanjutnya, data yang telah dikumpulkan digunakan sebagai dasar dalam proses analisis untuk mengidentifikasi kategori material menurut *Greenship* versi 1.2, sehingga menghasilkan *output* berupa penilaian kategori material berdasarkan standar *Greenship* versi 1.2. Alur pemodelan pengolahan data *Greenship* versi 1.2 diperlihatkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Alur Pemodelan Pengolahan Data *Greenship* Versi 1.2

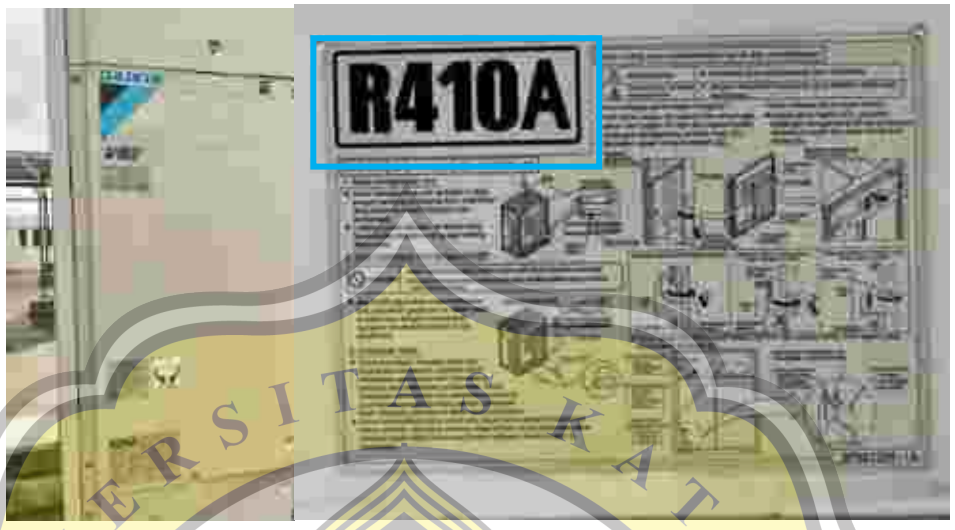
Menurut GBCI (2013), yang dimaksud dengan material adalah bahan yang tidak termasuk sebagai peralatan atau bahan yang berfungsi hanya sebagai penunjang kegiatan konstruksi. Adapun contoh peralatan atau bahan penunjang kegiatan konstruksi meliputi unit AC, unit *lift*, unit eskalator, unit *exhaust fan*, unit *sprinkle*, unit alarm, unit lampu, unit *fire extinguisher*, unit kotak kontak, unit MCB, unit meteran air, unit meteran listrik, unit pompa dan unit sensor.

Data material yang digunakan dalam Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang untuk penilaian sertifikasi, khususnya pada kategori *Material Resources and Cycle* (MRC) dijelaskan sebagai berikut:

1. *Fundamental Refrigerant*

   Kriteria prasyarat berupa jenis bahan refrigeran yang tidak mengandung *chloro fluoro carbon* (CFC) adalah refigeran HFC R410-A yang digunakan pada *Air Conditioner* (AC). *Air Conditioner* (AC) yang digunakan pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang ini terdiri dari 2 tipe yakni *wall mount* dan *ceiling cassette*. Kedua tipe *Air Conditioner* (AC) tersebut menggunakan refigeran HFC R410-A.

Refigeran HFC 410-A pada AC diperlihatkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 HFC R410A

Alat Pemadam Api Ringan yang digunakan pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang, menggunakan bahan refigeran yang tidak mengandung *chloro fluoro carbon* (CFC) berupa *Dry Chemical Powder* dan *Carbon Dioxide*. Kandungan *Dry Chemical Powder* dan *carbon dioxide* pada APAR diperlihatkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 *Dry Chemical Powder* dan *Carbon Dioxide*

2. *Building and Material Reuse*

   Kriteria pertama berkaitan dengan pemanfaatan gedung dan material bekas. Pada Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata Semarang, kriteria ini tidak dapat dianalisis lebih lanjut karena dalam tahap pelaksanaannya tidak terdapat penerapan penggunaan kembali gedung sebelumnya maupun material bekas.

3. *Enviromentally Friendly Material*

   Kriteria kedua berkaitan dengan jenis material yang memiliki Sertifikat Sistem Manajemen Lingkungan (SML) harus mencapai setidaknya 30% dari total biaya keseluruhan material proyek. Sertifikat SML dianggap valid apabila masih berlaku pada saat proses pembelian material selama tahapan pelaksanaan konstruksi. Material bersifat Sertifikat Manajemen Lingkungan yang digunakan pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang diperlihatkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Data Material Bersertifikasi SML

No	Jenis Material	Batas Akhir Berlaku Sertifikat	Lampiran	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga Sub Total (Rp)
1	Baja tulangan *deform*	7 November 2026	LE - 01	kg	915.136,27	14.528	13.295.922.420
2	Fondasi tiang pancang	31 Juli 2026	LE - 02	Unit	351	12.820.512	4.500.000.000
3	Bata Ringan	18 Desember 2025	LE - 03	m^2	5.761,47	169.174	974.688.744
4	*Aluminium Composite Panel* (ACP)	25 Mei 2025	LE - 04	m^2	976,25	881.864	860.919.794
5	*Sun control* (kisi-kisi aluminium *extrude*)	18 Desember 2024	LE - 05	m'	2.954,92	1.491.208	4.406.400.000
6	*Expanded Metal*			m^2	513,50	1.912.125	981.876.000

Tabel 4.12 Data Material Bersertifikasi SML (Lanjutan)

No	Jenis Material	Batas Akhir Berlaku Sertifikat	Lampiran	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga Sub Total (Rp)
7	*Readymix* Beton K-350	30 November 2024	LE - 06	m^3	640,40	1.054.677	675.414.830
8	*Cubicle* Toilet Sakura	12 Januari 2024	LE - 07	m^2	167,29	2.450.707	409.978.800
Total Biaya Material SML							26.105.200.590

(Sumber: Diolah Kembali dari Dokumen *Bill of Quantity* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang)

Perhitungan persentase dari perbandingan antara total biaya material pada produk yang produksinya memiliki SML terhadap biaya material keseluruhan. Data material SML didasarkan pada Tabel 4.12. Perhitungan dapat menggunakan Persamaan 2.2 dengan perhitungan sebagai berikut:

Biaya Material Keseluruhan = Rp 85.531.932.181
(Sumber: *Bill of Quantity* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang)

$$\text{Persentase Material SML} = \frac{\sum \text{Biaya Material SML}}{\sum \text{Biaya Material Keseluruhan}} \times 100\%$$

$$= \frac{\text{Rp } 26.105.200.590}{\text{Rp } 85.531.932.181} \times 100\%$$

$$= 30{,}52\%$$

4. Non ODS *Usage*

Kriteria ketiga berkaitan dengan seluruh pendingin gedung tidak menggunakan bahan yang berpotensi merusak ozon pada seluruh sistem pendingin gedung. Kriteria ini merupakan bagian dari upaya mendukung konstruksi berkelanjutan dan meminimalisir pemanasan global. Pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata Semarang, unit *Air Conditioner* (AC) yang dipakai mencakup dua jenis, yaitu tipe *wall mount* dan *ceiling cassette*. Kedua jenis ini memanfaatkan refrigeran jenis *Hydro Fluoro Carbons* (HFC) R410-A yang nilai *Ozone Depletion Potential* (ODP) sebesar 0.

5. *Certified Wood*

Kriteria keempat berkaitan dengan material kayu yang digunakan harus memiliki sertifikat legalitas sesuai dengan Peraturan Pemerintah, dengan ketentuan bahwa 100% dari total biaya seluruh material kayu berasal dari sumber yang bersertifikat. Sertifikat legal ini meliputi sertifikat legalitas kayu. Material kayu yang bersertifikat legal diperlihatkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Data Material Kayu Bersertifikat Legal

No	Jenis Material Kayu	Legalitas Kayu	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga Sub Total (Rp)
1	Bekisting (Multiplek tebal 12 mm)	LF - 01	m^2	30.392,55	90.119	2.738.965.686
2	*Wallpaper Plywood*	LF - 02	Unit	178	21.947.700	3.906.690.600
3	Pintu Kayu	LF - 03	Unit	165	21.034.886	3.470.756.347
Total Biaya Material Kayu Bersertifikat Legal						10.116.412.633

(Sumber: Diolah Kembali dari Dokumen *Bill of Quantity* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang)

Perhitungan persentase dari perbandingan antara total biaya material kayu bersertifikasi terhadap biaya material keseluruhan. Data material kayu bersertifikasi didasarkan pada Tabel 4.13. Perhitungan dapat menggunakan Persamaan 2.2 dengan perhitungan sebagai berikut:

Biaya Kayu Keseluruhan = Rp 10.116.412.633

$$\text{Persentase Kayu Bersertifikat} = \frac{\sum \text{Biaya Kayu Bersertifikat Legal}}{\sum \text{Biaya Kayu Keseluruhan}} \times 100\%$$

$$= \frac{\text{Rp } 10.116.412.633}{\text{Rp } 10.116.412.633} \times 100\%$$

$$= 100\%$$

Tolok ukur pertama pada *certified wood* terpenuhi, maka dilanjutkan pada tolok ukur kedua. Penilaian tolok ukur kedua berisi tentang 30% dari tolok ukur

pertama menggunakan kayu bersertifikasi dari pihak Lembaga Ekolabel Indonesia (LEI) atau *Forest Stewardship Council* (FSC). Berdasarkan Tabel 4.13, harga pintu telah mencapai 30% dari jumlah total persentase kayu bersertifikasi dan memiliki sertifikasi FSC. Perhitungan persentase dari perbandingan antara biaya 30% kayu yang memiliki sertifikasi FSC terhadap total biaya material kayu bersertifikasi. Perhitungan dapat menggunakan Persamaan 2.2 dengan perhitungan sebagai berikut:

Biaya Kayu Keseluruhan = Rp 10.116.412.633

$$\text{Persentase Kayu Bersertifikasi} = \frac{\sum \text{Biaya Kayu Bersertifikasi}}{\sum \text{Biaya Kayu Keseluruhan}} \times 100\%$$

$$= \frac{\text{Rp } 3.470.756.347}{\text{Rp } 10.116.412.633} \times 100\%$$

$$= 34{,}31\%$$

6. *Prefab Material*

Kriteria kelima berkaitan dengan desain bangunan memanfaatkan material prafabrikasi dengan proporsi minimal 30% dari total biaya keseluruhan material. Material prafabrikasi merupakan material yang proses fabrikasinya dilakukan di pabrik yang berada di luar lokasi proyek (*off site*). Tujuan utama dari kriteria ini adalah langkah mengurangi perakitan di dalam lokasi proyek (*on site*). Beberapa material yang tidak tergolong dalam prafabrikasi meliputi produk unit saniter, unit aksesoris kamar mandi, unit armatur lampu, unit *iron mongary*, keramik lantai, lantai granit, papan untuk plafon, genteng dan besi beton. Material prafabrikasi yang digunakan diperlihatkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Data Material Prafabrikasi

No	Jenis Material Prafabrikasi	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga Sub Total (Rp)
A	**Material Struktur**				
1	BAJA WF	kg	1.790,80	25.200	45.128.160
2	Pelat Baja	kg	9.854,36	23.500	231.577.460
3	*Gording* Profil C	kg	2.264,14	20.213	45.764.309
4	Angkur	unit	300,00	93.900	28.170.000

Tabel 4.14 Data Material Prafabrikasi (Lanjutan)

No	Jenis Material Prafabrikasi	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga Sub Total (Rp)
5	Penahan *Gording*, Ikatan Angin, *Sag Rod*, *Stiffener*, Baut	kg	1.788,97	19.850	35.511.054
6	Fondasi Tiang Pancang	unit	351,00	12.820.512	4.500.000.000
B	**Material Arsitektur**				
1	Pintu Kayu	unit	165	21.034.887	3.470.756.347
2	Pintu Aluminium	unit	9	6.694.967	60.254.700
3	Pintu Baja	unit	61	14.414.646	879.293.400
4	Jendela	unit	257	12.680.305	3.233.477.851
5	Aluminium *Extrude* 10 x 40 cm	m'	2.954,92	1.491.208	4.406.400.000
6	*Signage Acrylic*	unit	1,00	28.800.000	28.800.000
7	*Handrail* diameter 2"	m'	179,60	280.801	50.431.944
8	*Handrail* dan *Railling* pipa besi diameter 2"	m'	199,00	431.701	85.908.544
9	*Handrail* pipa besi diameter 2"	m'	229,50	185.935	42.671.980
10	*Alumunium Composit Panel Alloy* (ACP)	m^2	976,25	881.864	860.919.794
11	Dinding *precast*	m^2	2.022,60	555.909	1.124.382.008
12	Dinding Partisi *Cubicle* Toilet	m^2	137,03	2.450.707	409.978.800
13	Dinding Partisi *double Gypsum* 12 mm	m^2	752,45	352.903	265.542.225
14	Dinding Partisi *double Gypsum* 12 mm Boven	m^2	1.331,35	789.550	1.051.167.717
15	*Expanded Metal*, lebar 1125 mm	m^2	513,50	1.912.125	981.876.000
16	Insulasi *AirCell Insulbreak* 40 FFR	m^2	871,20	160.521	139.845.596

Tabel 4.14 Data Material Prafabrikasi (Lanjutan)

No	Jenis Material Prafabrikasi	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga Sub Total (Rp)
B	**Material Arsitektur**				
17	Atap Colourbond kliplock 0,45 BMT Zincalume	m^2	871,20	253.577	220.916.696
18	*Shadowline* Aluminium	m'	4.475,68	29.413	131.643.270
19	*Walltreatment*	unit	178	21.947.700	3.906.690.600
Total Biaya Material Prafabrikasi					26.270.494.124

(Sumber: Diolah Kembali dari Dokumen *Bill of Quantity* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang)

Perhitungan persentase dari perbandingan antara total biaya material prafabrikasi terhadap biaya material keseluruhan. Data material prafabrikasi didasarkan pada Tabel 4.14. Perhitungan dapat menggunakan Persamaan 2.2 dengan perhitungan sebagai berikut:

Biaya Material Keseluruhan = Rp 85.531.932.181
(Sumber: *Bill of Quantity* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang)

$$\text{Persentase Material Prafabrikasi} = \frac{\sum \text{Biaya Material Prafabrikasi}}{\sum \text{Biaya Material Keseluruhan}} \times 100\%$$

$$= \frac{\text{Rp } 26.270.494.124}{\text{Rp } 85.531.932.181} \times 100\%$$

$$= 30{,}71\%$$

7. *Regional Material*

Regional material dibedakan menjadi dua jenis, yaitu material yang memiliki sumber bahan baku utama dan pabrikasi dalam radius 1.000 km minimal 50% dari total biaya material serta material yang sumber bahan baku dan pabrikasinya berada di dalam wilayah nasional Republik Indonesia, minimal 80% dari total biaya material. Data kriteria *material regional* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang diperlihatkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Data Kriteria *Material Regional*

No.	Jenis Material Regional	Lokasi Pabrikasi	Bukti Jarak Dalam Radius < 1.000 km	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga Sub Total (Rp)
1	Beton K-350	Kota Semarang	LH-01	m^3	336,44	1.442.743	485.396.571
2	Beton K-300	Kota Semarang	LH-02	m^3	4.637,73	1.380.055	6.400.322.402
3	Beton K-175	Kabupaten Kendal	LH-03	m^3	219,69	910.867	200.108.288
4	Baja Tulangan *Deformed*	Kota Jakarta	LH-04	kg	1.126.989 ,32	11.798	13.295.922.421
5	Pintu Kayu	Kota Sidoarjo	LH-05	Unit	165	21.034.887	3.470.756.347
6	Pintu Baja	Kabupaten Sleman	LH-06	Unit	61	14.414.646	879.293.400
7	Jendela	Kota Sidoarjo	LH-07	Unit	255	12.680.305	3.233.477.852
8	*Sun Control*	Kota Semarang	LH-08	m'	2.954,92	1.491.208	4.406.400.000
9	*Expanded Metal*			m^2	513,50	1.912.125	981.876.000
10	Baja	Kota Bekasi	LH-09	kg	15.698,27	22.804	357.980.984
11	Dinding *Precast*	Kabupaten Karanganyar	LH-10	m^2	2.022,60	555.909	1.124.382.009
12	Bata Ringan	Kabupaten Mojokerto	LH-11	m^2	5.761,47	169.174	974.688.744,66
13	*Roof Walling*	Kota Cilegon	LH-12	m^2	871,20	253.577	220.916.696
14	Fondasi Tiang Pancang	Kabupaten Boyolali	LH-13	Unit	351	12.820.513	4.500.000.000
15	*Wiremesh*	Kabupaten Bekasi	LH-14	m^2	552,61	118.258	65.350.330
16	*Cubicle Toilet*	Kabupaten Tangerang	LH-15	m^2	167,29	2.450.707	409.978.800
17	*Gypsum*	Kota Cilegon	LH-16	m^2	2.083,80	631.879	1.316.709.943
18	*Kansteen*	Kota Semarang	LH-17	m'	58,24	104.946	6.112.036

Tabel 4.15 Data Kriteria *Material Regional* (Lanjutan)

No.	Jenis Material Regional	Lokasi Pabrikasi	Bukti Jarak Dalam Radius < 1.000 km	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga Sub Total (Rp)
19	*Aluminium Composite Panel* (ACP)	Kota Jakarta	LH-18	m^2	976,25	881.864	860.919.794
20	*Homogenous Tile*	Kota Cikampek	LH-19	m^2	4.851,36	76.027	368.835.326
Total Biaya *Material Regional*							43.559.427.944

(Sumber: Diolah Kembali dari Dokumen *Bill of Quantity* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang)

Tabel 4.15 menunjukkan bahwa seluruh lokasi manufaktur material yang digunakan dalam Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang berjarak kurang dari 1.000 km dari lokasi proyek, yang dibuktikan menggunakan *Google Maps* dan dirinci pada Lampiran LH-01 hingga LH-19.

Perhitungan persentase dari perbandingan antara total biaya material regional terhadap biaya material keseluruhan. Data *material regional* didasarkan pada Tabel 4.15. Perhitungan dapat menggunakan Persamaan 2.2 dengan perhitungan sebagai berikut:

Biaya Material Keseluruhan = Rp 85.531.932.181
(Sumber: *Bill of Quantity* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang)

$$\text{Persentase Material Prafabrikasi} = \frac{\sum \text{Biaya Material Regional}}{\sum \text{Biaya Material Keseluruhan}} \times 100\%$$

$$= \frac{\text{Rp } 43.559.427.944}{\text{Rp } 85.531.932.181} \times 100\%$$

$$= 50{,}93\%$$

Berdasarkan penjabaran data di atas, maka Tabel 4.16 memperlihatkan rekapitulasi hasil penilaian *material resources and cycle* berdasarkan *Greenship* versi 1.2.

Tabel 4.16 Hasil Penilaian Kategori *Material Resources and Cycle* Berdasarkan *Greenship* Versi 1.2

Kriteria		Tolok Ukur	Dokumen Yang Diperlukan	Poin Maksimum	Poin Tercapai
Fundamental Refrigerant				P	P
Fundamental Refrigerant (MRC P)	P	Pencegahan penggunaan bahan dengan potensi merusak ozon tinggi.	RKS yang menyatakan bahwa dalam proyek ini tidak menggunakan *chloro fluoro carbon* (CFC) sebagai *refrigerant* dan halon sebagai pendingin ruangan dan bahan pemadam kebakaran.	P	P
Builiding and Material Reuse				2	0
Builiding and Material Reuse (MRC 01)	1	Menggunakan kembali material bekas, baik dari bangunan lama maupun tempat lain, berupa bahan struktur utama, fasad, *plafond*, lantai, partisi, kusen dan dinding, serta minimal 10% dari total biaya material.	1. *As built drawing* bagian material bekas yang digunakan beserta volumenya. 2. Bukti fotografis lokasi penggunaan material bekas *on site* pada saat sebelum, sedang dan sesudah aktivitas konstruksi berlangsung. 3. Dokumen perhitungan volume material bekas yang digunakan. 4. Surat pengantar barang yang menunjukkan pembelian material bekas *off site* untuk digunakan pada gedung proyek.	1	0
	2	Menggunakan kembali material bekas, baik dari bangunan lama maupun tempat lain, berupa bahan struktur utama, fasad, *plafond*, lantai, partisi, kusen dan dinding, serta minimal 20% dari total biaya material.		1	0
Enviromentally Friendly Material				3	1
Enviromentally Friendly Material (MRC 02)	1	Menggunakan material yang memiliki SML pada proses produksinya minimal bernilai 30% dari total biaya material. Sertifikat dinilai sah apabila masih berlaku pada rentang waktu proses pembelian dalam konstruksi berjalan.	1. Dokumen dan salinan perhitungan material yang proses produksinya memiliki SML. 2. Surat pengantar barang tentang tipe dan kuantitas pembelian material yang proses produksinya memiliki SML.	1	1

Tabel 4.16 Hasil Penilaian Kategori *Material Resources and Cycle* Berdasarkan *Greenship* Versi 1.2 (Lanjutan)

Kriteria		Tolok Ukur	Dokumen Yang Diperlukan	Poin Maksimum	Poin Tercapai
Enviromentally Friendly Material				3	1
Enviromentally Friendly Material (MRC 02)	2	Menggunakan material yang merupakan hasil proses daur ulang minimal bernilai 2% dari total biaya material.	1. Dokumen perhitungan material yang berasal dari proses daur ulang. 2. Spesifikasi teknis dari pihak produsen yang menunjukkan bahwa material berasal dari proses daur ulang. 3. Surat pengantar barang tentang tipe dan kuantitas pembelian material yang berasal dari proses daur ulang.	1	0
	3	Menggunakan material yang bahan baku utamanya berasal dari sumber daya terbarukan dengan masa panen jangka pendek (<10 tahun) minimal bernilai 2% dari total biaya material.	1. Dokumen perhitungan material yang berasal dari sumber yang terbarukan dengan masa panen ≤ 10 tahun. 2. Spesifikasi teknis dari pihak produsen yang menunjukkan bahwa material berasal dari sumber yang terbarukan dengan masa panen ≤ 10 tahun. 3. Surat pengantar barang tentang tipe dan kuantitas pembelian material yang berasal dari sumber yang terbarukan dengan masa panen ≤ 10 tahun.	1	0
Non ODS *Usage*				2	2
Non ODS *Usage* (MRC 03)	1	Pencegahan penggunaan bahan dengan potensi merusak ozon tinggi.	Rencana Kerja dan Syarat Syarat yang menyatakan bahwa dalam proyek ini tidak menggunakan *chloro fluoro carbon* (CFC) sebagai *refrigerant* dan halon sebagai pendingin ruangan dan bahan pemadam api.	2	2

Tabel 4.16 Hasil Penilaian Kategori *Material Resources and Cycle* Berdasarkan *Greenship* Versi 1.2 (Lanjutan)

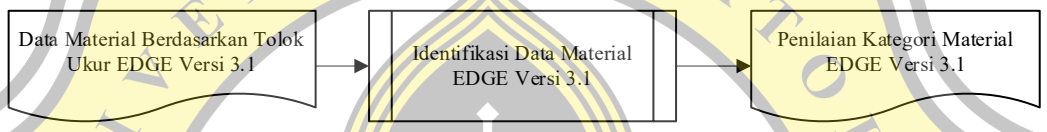
Kriteria		Tolok Ukur	Dokumen Yang Diperlukan	Poin Maksimum	Poin Tercapai
Certified Wood				2	2
Certified Wood (MRC 04)	1	Menggunakan bahan material kayu yang bersertifikat legal sesuai dengan Peraturan Pemerintah tentang asal kayu (faktur angkutan kayu olahan/ FAKO, sertifikat perusahaan) dan sah terbebas dari perdagangan kayu illegal sebesar 100% biaya total material kayu	1. *As built drawing* lokasi penggunaan material kayu secara keseluruhan. 2. Dokumen perhitungan material kayu. 3. Dokumen FAKO/ FAKB seluruh material kayu dalam proyek dari pihak vendor. 4. Surat pengantar barang yang menunjukkan tipe dan kuantitas pembelian material kayu.	1	1
	2	Jika 30% dari butir di atas menggunakan kayu bersertifikasi dari pihak Lembaga Ekolabel Indonesia (LEI) atau *Forest Stewardship Council* (FSC).	1. *As built drawing* lokasi material kayu yang memiliki sertifikat LEI/ FSC. 2. Dokumen perhitungan material kayu. 3. Dokumen LEI/ FSC seluruh material kayu yang digunakan dalam proyek. 4. Surat pengantar barang yang menunjukkan tipe dan kuantitas pembelian material kayu yang memiliki sertifikat LEI/ FSC.	1	1
Prefab Material				3	3
Prefab Material (MRC 05)	1	Desain yang menggunakan material prafabrikasi sebesar 30% dari total biaya material.	1. Dokumen perhitungan biaya material prafabrikasi. 2. *As built drawing* lokasi penggunaan material prafabrikasi. 3. Dokumen spesifikasi dari pihak produsen material prafabrikasi. 4. Surat pengantar barang kuantitas material prafabrikasi.	3	3

Tabel 4.16 Hasil Penilaian Kategori *Material Resources and Cycle* Berdasarkan *Greenship* Versi 1.2 (Lanjutan)

Kriteria		Tolok Ukur	Dokumen Yang Diperlukan	Poin Maksimum	Poin Tercapai
Regional Material				2	1
Regional Material (MRC 06)	1	Menggunakan material yang lokasi asal bahan baku utama dan pabrikasinya berada di dalam radius 1.000 km dari lokasi proyek minimal bernilai 50% dari total biaya material.	Dokumen perhitungan material lokal yang asal bahan baku dan lokasi manufaktur berjarak 1000 km dari lokasi proyek	1	1
	2	Menggunakan material yang lokasi asal bahan baku utama dan pabrikasinya berada dalam wilayah Republik Indonesia bernilai minimal 80% dari total biaya material.	Dokumen perhitungan material lokal yang asal bahan baku dan lokasi manufaktur berada dalam wilayah Republik Indonesia	1	0
Total Penilaian Kategori *Material Resources and Cycle*				14	9

4.5 Pengolahan Data EDGE versi 3.1

Tahapan pengolahan data pada EDGE versi 3.1 diawali dengan pengumpulan data berupa informasi material yang disusun berdasarkan tolok ukur EDGE versi 3.1. Data tersebut memuat rincian berbagai jenis material yang relevan sesuai dengan kriteria penilaian EDGE versi 3.1. Selanjutnya, data yang telah dikumpulkan digunakan sebagai dasar dalam proses analisis untuk mengidentifikasi kategori material menurut EDGE versi 3.1, sehingga menghasilkan *output* berupa penilaian kategori material berdasarkan standar EDGE versi 3.1. Alur pemodelan pengolahan data EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Gambar 4.8.



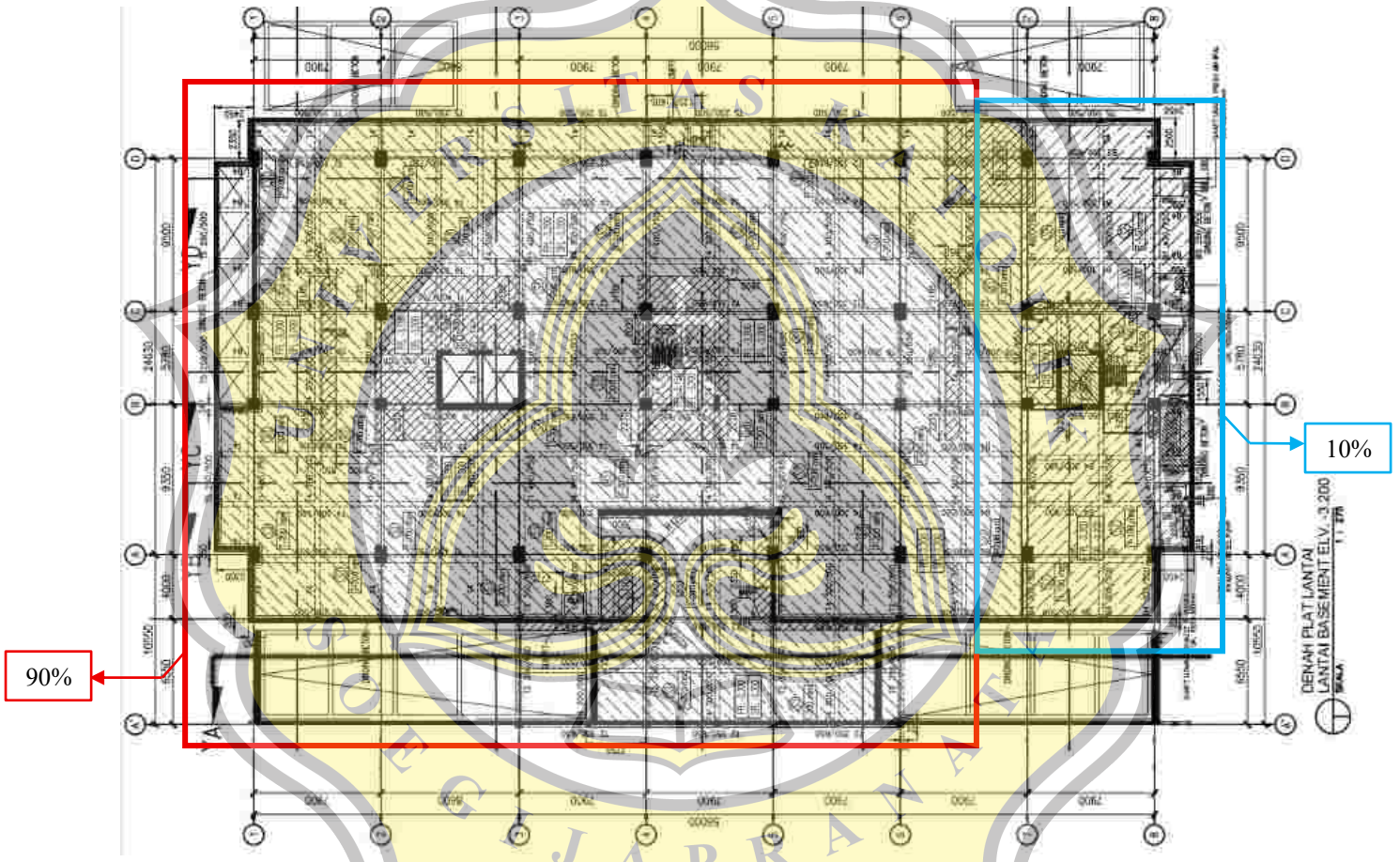
Gambar 4.8 Alur Pemodelan Pengolahan Data EDGE Versi 3.1

Data material yang digunakan pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang dikumpulkan dan dianalisis sebagai dasar dalam proses penilaian menggunakan *rating tool* EDGE versi 3.1, khususnya pada kategori material. Data tersebut mencakup jenis material utama yang digunakan dalam pekerjaan konstruksi, baik pada elemen struktur maupun arsitektural, yang selanjutnya disesuaikan dengan kriteria penilaian EDGE. Seluruh informasi material ini digunakan untuk mendukung proses evaluasi kinerja bangunan terhadap aspek material yang ditinjau dalam sistem penilaian EDGE.

Uraian data material yang digunakan pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang untuk EDGE versi 3.1 dijelaskan sebagai berikut:

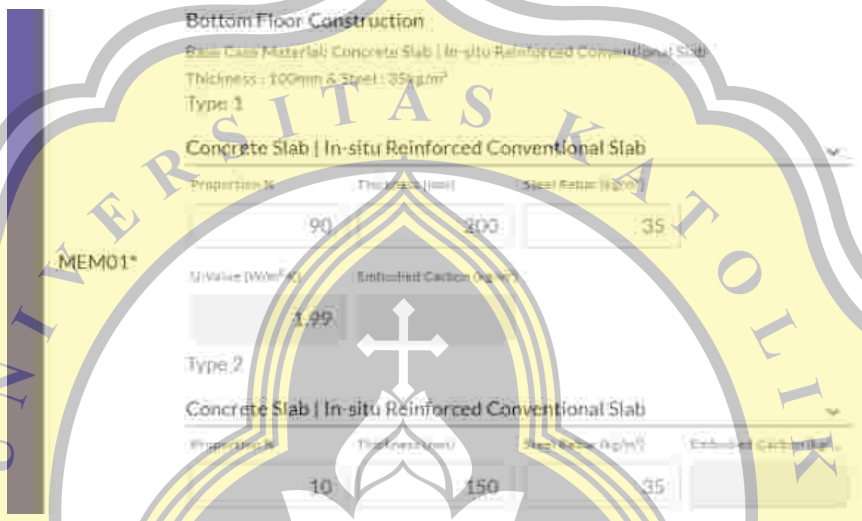
1. *Bottom floor construction* (MEM02)

   Data yang diperlukan pada kriteria *bottom floor construction* berupa *as built drawing* denah pelat lantai *basement* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang. Denah pelat lantai *basement* diperlihatkan pada Gambar 4.9 dan versi lebih jelas diperlihatkan pada Lampiran LG – 03.



Gambar 4.9 Denah Pelat Lantai *Basement* (Sumber: Diperoleh dari Dokumen *As Built Drawing* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang)

Berdasarkan Gambar 4.9 diperlihatkan bahwa pada proyek ini untuk *bottom floor construction* terbagi menjadi 2 bagian. Daerah yang bertanda merah memiliki tebal 200 mm dengan proporsi luasan sebesar 90%, sementara untuk daerah yang bertanda biru memiliki tebal 150 mm dengan proporsi luasan sebesar 10%. Pengaplikasian *bottom floor construction* pada EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Gambar 4.10.

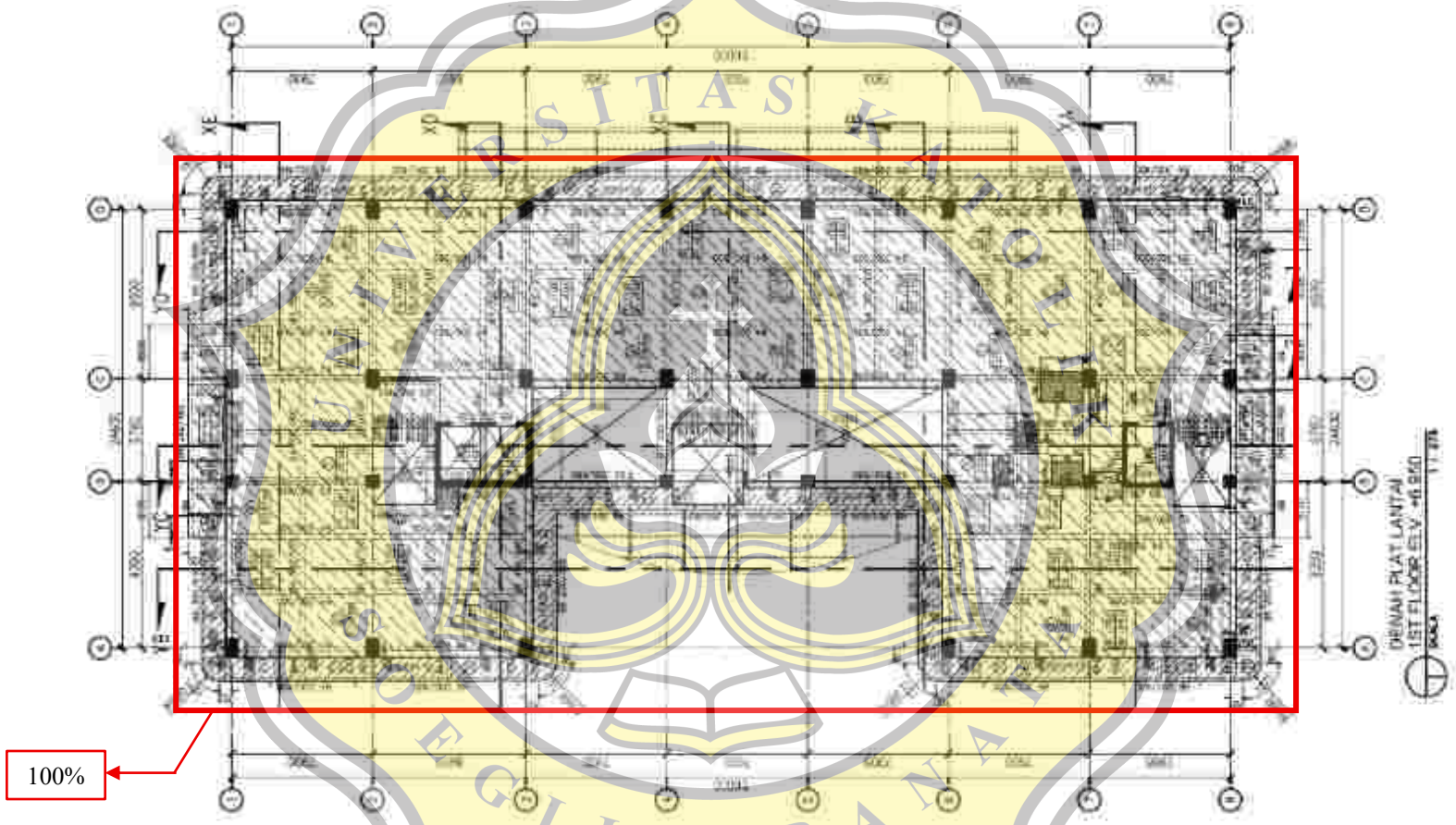


Gambar 4.10 Pengaplikasian *Bottom Floor Construction* EDGE Versi 3.1 (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

Berdasarkan Gambar 4.10, hal yang perlu diisi meliputi tipe, *proportion*, *thickness*, dan *steel rebar*. Nilai *embodied carbon* dan nilai U-*Value* merupakan nilai *default* dari EDGE Versi 3.1. Nilai U-*Value* menunjukkan efektivitas material bangunan seperti dinding, jendela, dan atap dalam menghambat perpindahan panas dalam satuan W/m²K (https:edgebuilding.com).

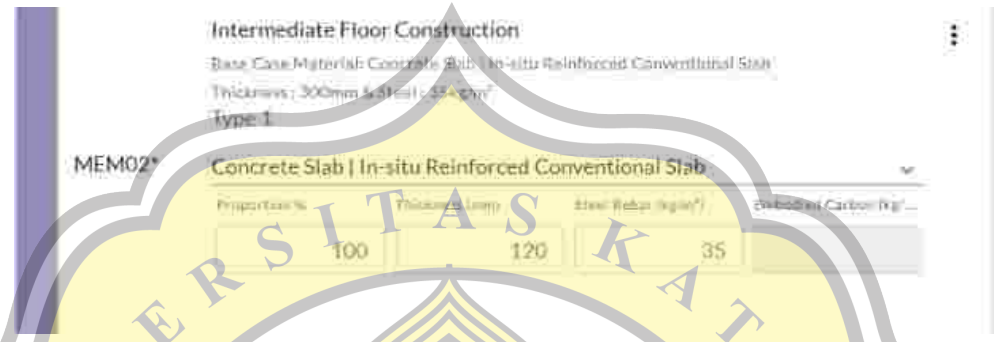
2. *Intermediate floor construction* (MEM02)

   Data yang diperlukan pada kriteria *intermediate floor construction* berupa *as built drawing* denah pelat lantai *ground floor* hingga lantai 6 Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB City Semarang. Denah pelat lantai 1 diperlihatkan pada Gambar 4.11 dan versi lebih jelas dengan gambar denah pelat lantai *ground floor* hingga lantai 6 diperlihatkan pada Lampiran LG – 04 hingga LG – 11.



Gambar 4.11 Denah Pelat Lantai 1 (Sumber: Diperoleh dari Dokumen *As Built Drawing* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang)

Berdasarkan Gambar 4.11, hal yang perlu diisi meliputi tipe, *proportion*, *thickness* dan *steel rebar*. Tipe pelat yang digunakan adalah *conrete in situ slab.* Pelat lantai *ground floor* hingga lantai 6 bentuk yang tipikal maka untuk *prorpotion* dan *thickness* berisikan sama yang diperlihatkan pada Gambar 4.12.

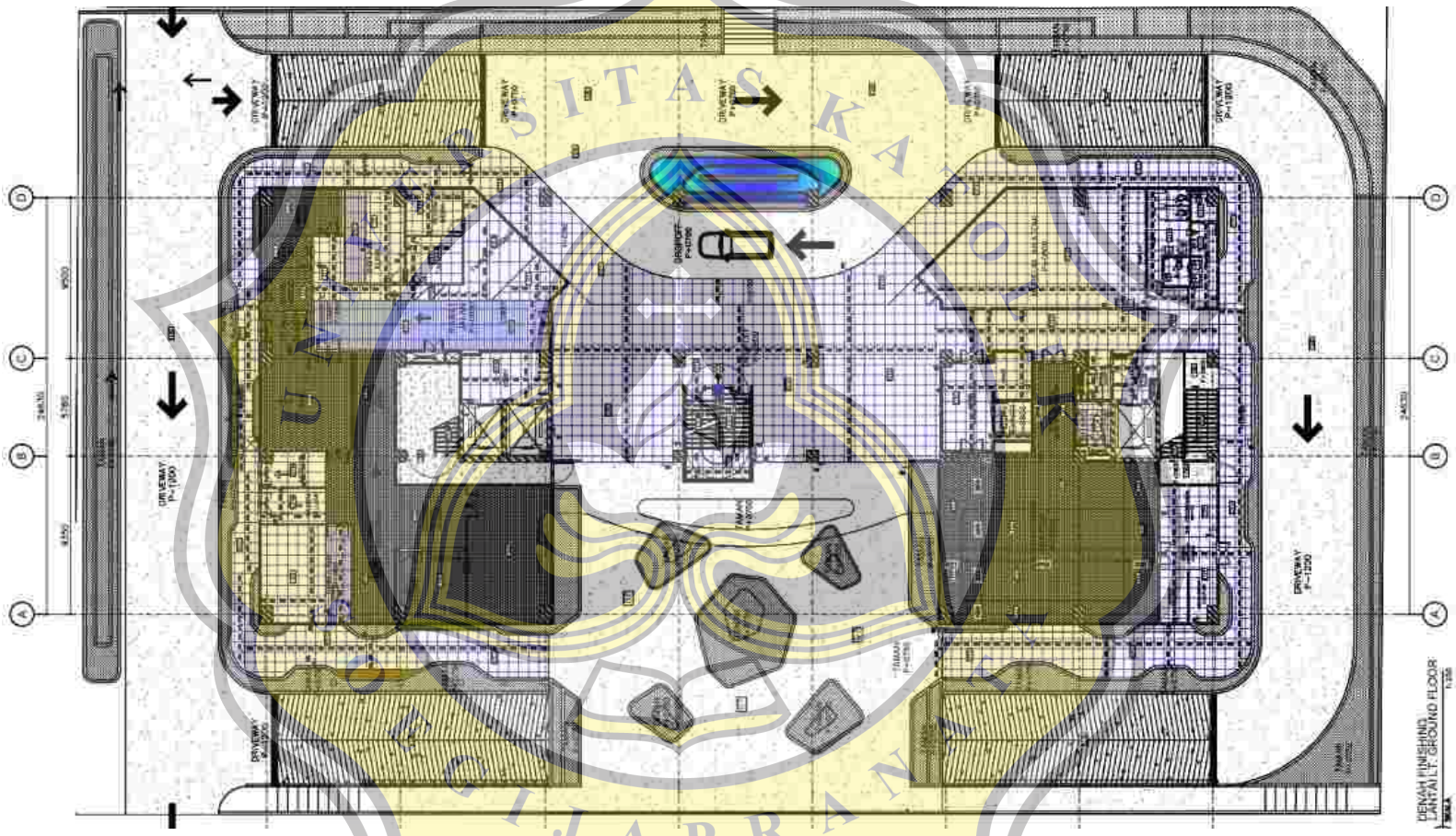


Gambar 4.12 Pengaplikasian *Intermediate Floor Construction* EDGE Versi 3.1 (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

Berdasarkan Gambar 4.12, hal yang perlu diisi meliputi tipe, *proportion*, *thickness*, dan *steel rebar*. Nilai *embodied carbon* merupakan nilai *default* dari EDGE Versi 3.1 yang akan terisi secara otomatis. Nilai *embodied carbon* menunjukkan besarnya jejak karbon material bangunan per satuan luas bangunan dengan satuan $kgCO_2e/m^2$. Tipe pelat yang digunakan adalah *conrete in situ slab*. *Proportion* berkaitan dengan rasio luasan yang ditinjau. Nilai *steel rebar* merupakan *default* dari EDGE Versi 3.1 sebesar 35 kg/m^2.

3. *Floor finish* (MEM03)

   Penilaian *floor finish* mencakup lapisan material *finishing* paling atas serta *screed*. Namun, dalam proses penilaian, data yang perlu dilaporkan hanya ketebalan material *finishing* lantai, sedangkan ketebalan *screed* tidak termasuk dalam perhitungan. Data yang diperlukan pada kriteria *floor finish* berupa *as built drawing* denah *finishing* lantai *basement* hingga lantai 6 Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang. Denah *finishing* lantai *ground floor* diperlihatkan pada Gambar 4.13 dan versi lebih jelas diperlihatkan pada Lampiran LG – 12 hingga Lampiran LG – 19. Pengaplikasian *floor finish* pada proyek diperlihatkan pada Tabel 4.17.



Gambar 4.13 Denah *Finishing Ground Floor* (Sumber: Diperoleh dari Dokumen *As Built Drawing* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang)

Tabel 4.17 Pengaplikasian *Floor Finish*

No	***Floor Finish***	**Dokumentasi**	**Lokasi**
1	*Homogeneous tile* ukuran 600 × 600 mm		Koridor *ground floor*
2	*Homogeneous tile* ukuran 600 × 600 mm		Koridor Lantai 1-4 dan Lantai 6

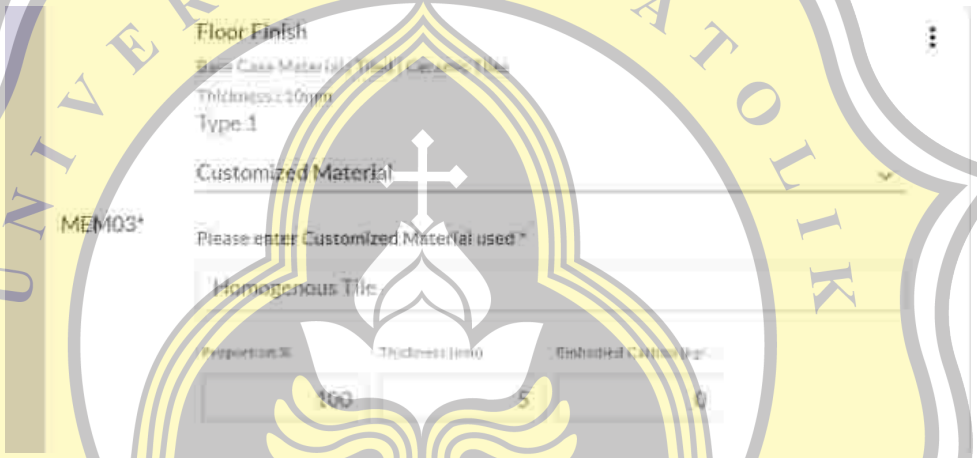
Tabel 4.17 Pengaplikasian *Floor Finish* (Lanjutan)

No	*Floor Finish*	Dokumentasi	Lokasi
3	*Homogeneous tile* ukuran 600 × 1500 mm		Bordes Tangga
4	*Homogeneous tile* ukuran 600 × 600 mm		Kamar Mandi

Tabel 4.17 Pengaplikasian *Floor Finish* (Lanjutan)

No	***Floor Finish***	**Dokumentasi**	**Lokasi**
5	*Homogeneous tile* ukuran 300 × 300 mm		Ruang SDP *Ground Floor* - Lantai 6
6	*Homogeneous tile* ukuran 600 × 1500 mm		*Basement*

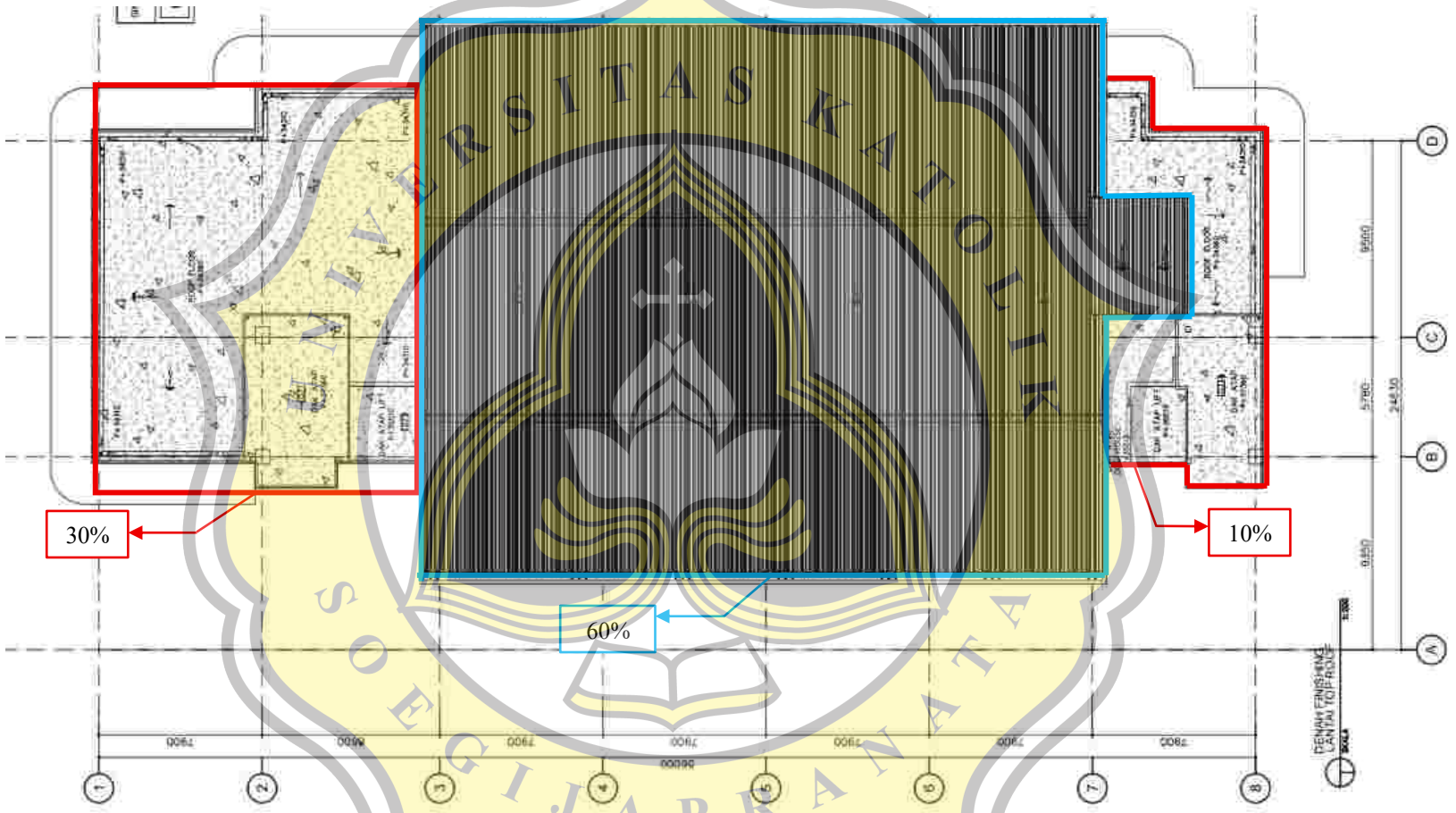
Berdasarkan Tabel 4.17 diperlihatkan bahwa *floor finish* yang digunakan merupakan *Homogenous Tile* dengan ketebalan 5 mm. Hal yang perlu diisi meliputi tipe, *proportion*, dan *thickness*. *Proportion* pada EDGE berkaitan dengan rasio luasan yang ditinjau berdasarkan *as built drawing* denah *finishing* lantai *ground floor* hingga lantai 6. *Finishing* lantai *ground floor* hingga lantai 6 bersifat tipikal maka untuk *proportion* dan *thickness* berisikan sama. Nilai *embodied carbon* merupakan *default* dari EDGE Versi 3.1 sebesar 0 kg/m^2. Pengaplikasian berdasarkan data *floor finish* pada EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Pengaplikasian *Floor Finish* EDGE Versi 3.1 (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

4. *Roof construction* (MEM04)

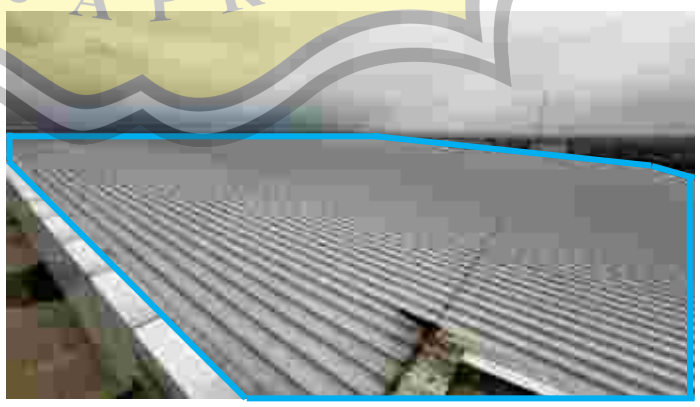
Penilaian *roof construction* menekankan pemilihan material dan desain penutup atap yang meminimalkan energi terkandung (*embodied energy*) sambil mengoptimalkan isolasi termal bangunan. Sistem ini dievaluasi melalui pemilihan struktur rangka, lapisan pelindung, dan insulasi guna menekan beban pendingin interior serta mengurangi konsumsi energi harian. Data yang diperlukan pada kriteria *roof construction* berupa *as built drawing* denah *finishing* lantai *top floor* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB City Semarang. Denah *finishing* lantai *top floor* diperlihatkan pada Gambar 4.15 dan versi lebih jelas diperlihatkan pada Lampiran LG – 20.



Gambar 4.15 Denah *Finishing Roof floor* (Sumber: Diperoleh dari Dokumen *As Built Drawing* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang)

Berdasarkan Gambar 4.15, pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang menggunakan 2 jenis *roof construction* yang terdiri dari *concrete slab in-situ* (berwarna merah) dan *metal roof* (berwarna biru). Pengaplikasian *roof construction* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang diperlihatkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Pengaplikasian *Roof Construction*

No	***Roof Construction***	**Dokumentasi**
1	*Concrete Slab In-Situ*	
2	*Metal Roof*	

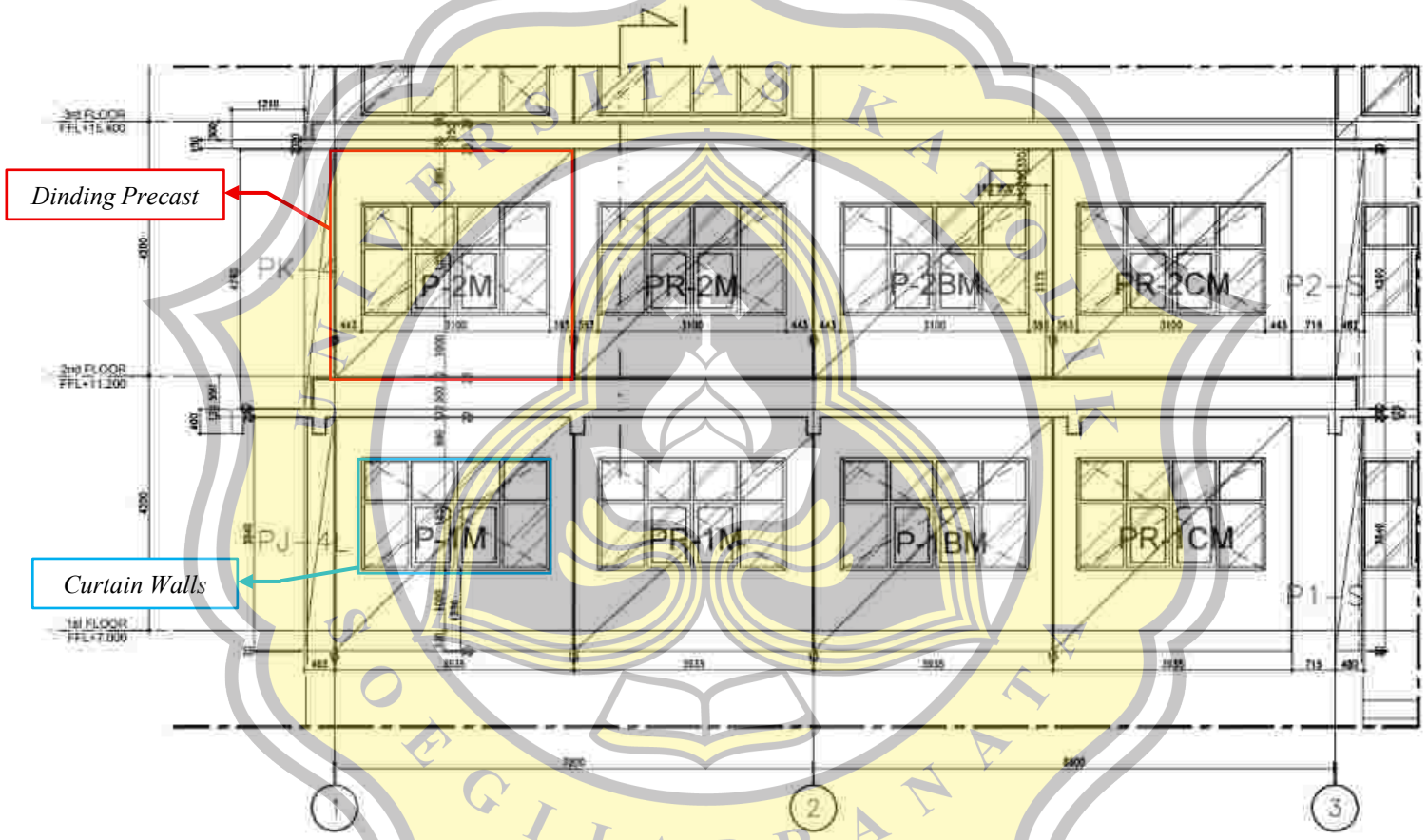
Berdasarkan Tabel 4.18 diperlihatkan bahwa *roof construction* yang digunakan merupakan *concrete slab in-situ* dan *metal roof*. Hal yang perlu diisi meliputi tipe, *proportion*, dan *thickness*. *Proportion* pada EDGE berkaitan dengan rasio luasan yang ditinjau berdasarkan *as built drawing* denah *finishing top floor*. Nilai *embodied carbon* dan nilai U-*Value* merupakan nilai *default* dari EDGE Versi 3.1 sebesar 0 kg/m^2 yang akan terisi secara otomatis. Nilai *steel rebar* merupakan *default* dari EDGE Versi 3.1 sebesar 35 kg/m^2. Pengaplikasian *roof construction* berdasarkan data pada EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Gambar 4.16.



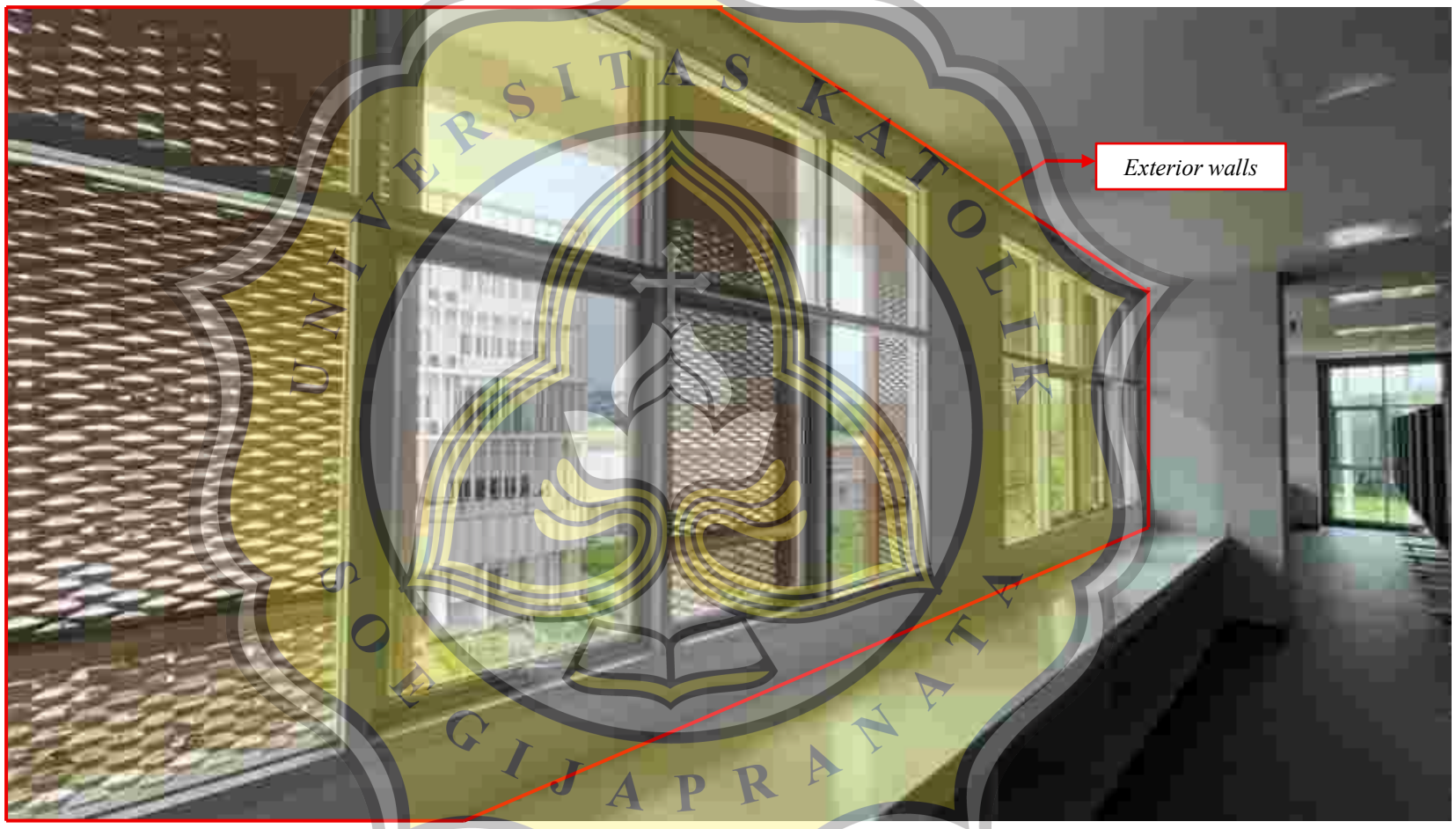
Gambar 4.16 Pengaplikasian *Roof Construction* EDGE Versi 3.1 (Sumber: Di peroleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

5. *Exterior walls* (MEM05)

   Pada EDGE versi 3.1 data yang diperlukan untuk penilain kriteria *exterior walls* berupa *as built drawing* denah *precast* as (koordinat kolom) area barat, denah *precast* area timur, denah *precast* area selatan dan denah *precast* area utara. Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang. Denah *precast* tampak barat as 1-3/A diperlihatkan pada Gambar 4.17 dan versi lebih jelas diperlihatkan pada Lampiran LG – 21 hingga Lampiran LG – 29. Pengaplikasian *exterior walls* pada proyek diperlihatkan pada Gambar 4.18.

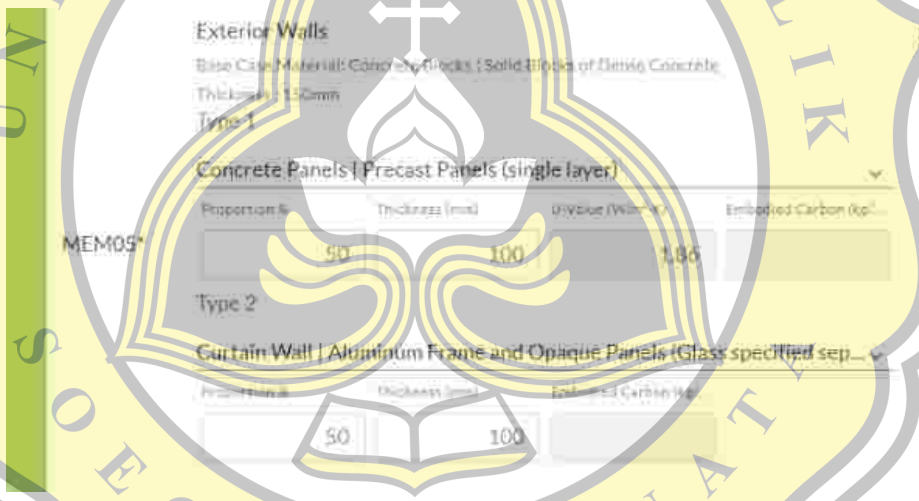


Gambar 4.17 Denah *Precast* Area Barat As 1-3/A (Sumber: Diperoleh dari Dokumen *As Built Drawing* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang)



Gambar 4.18 Pengaplikasian *Exterior Walls*

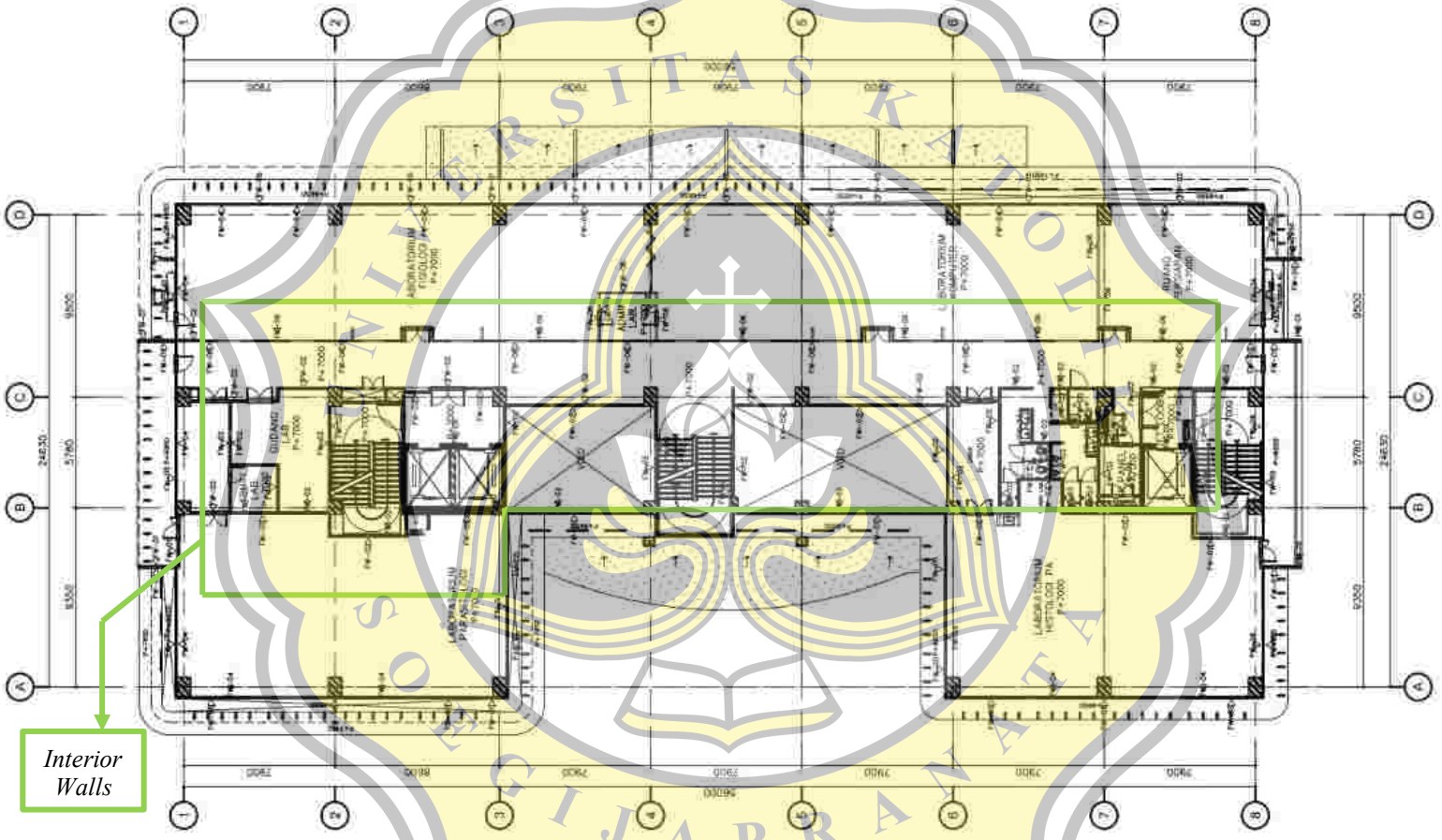
Berdasarkan Gambar 4.17, Pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang menggunakan dinding *precast* dengan tebal 100 mm dan *curtain wall* setebal 100 mm. Hal yang perlu diisi meliputi tipe, *proportion*, dan *thickness*. *Proportion* pada EDGE berkaitan dengan rasio luasan yang ditinjau berdasarkan *as built drawing* denah *precast* area barat, timur, selatan dan utara berdasarkan as (koordinat kolom). Denah *Precast* bersifat tipikal maka untuk *proportion* dan *thickness* berisikan sama. Nilai *embodied carbon* menunjukkan besarnya jejak karbon material bangunan per satuan luas bangunan dengan satuan $kgCO_2e/m^2$. Nilai *embodied carbon* merupakan *default* dari EDGE Versi 3.1 sebesar 0 kg/m^2 yang akan terisi secara otomatis. Pengaplikasian berdasarkan data *exterior walls* pada EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Pengaplikasian *Exterior Walls* EDGE Versi 3.1 (Sumber: Diper oleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

6. *Interior walls* (MEM06)

Data yang diperlukan pada kriteria *interior walls* berupa *as built drawing* denah *finishing* dinding Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB City Semarang. Denah *finishing* dinding lantai 1 diperlihatkan pada Gambar 4.20 dan versi lebih jelas diperlihatkan pada Lampiran LG – 30 hingga Lampiran LG – 38. Pengaplikasian *interor walls* pada proyek diperlihatkan pada Tabel 4.19.

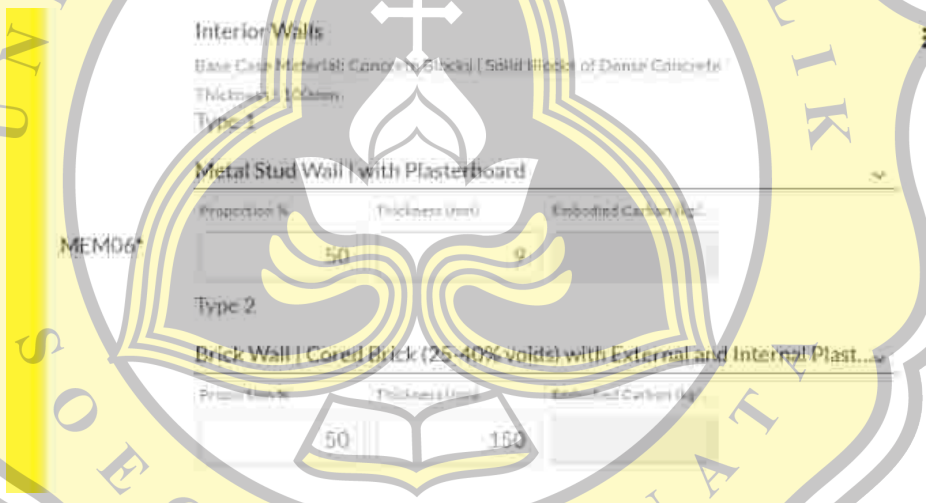


Gambar 4.20 Denah *Finishing* Dinding (Sumber: Diperoleh dari Dokumen *As Built Drawing* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang)

Tabel 4.19 Pengaplikasian *Interior Walls*

No	***Floor Finish***	**Dokumentasi**
1	Bata Ringan	
2	*Metal Stud Wall*	

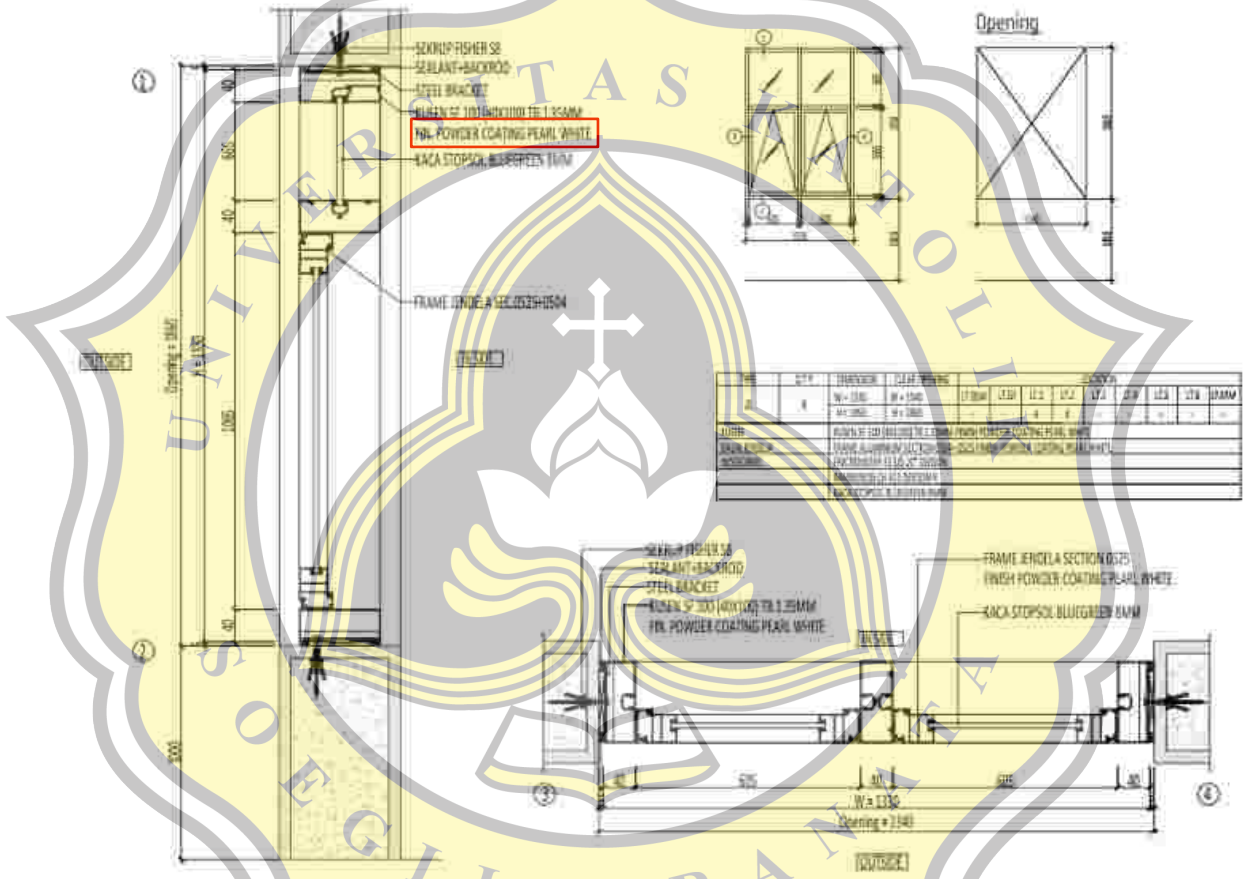
Berdasarkan Tabel 4.19 diperlihatkan bahwa *interior walls* yang digunakan merupakan gabungan antara dinding bata ringan dengan tebal 150 mm dan *metal stud wall* dengan tebal 9 mm. Hal yang perlu diisi meliputi tipe, *proportion*, dan *thickness*. *Proportion* pada EDGE berkaitan dengan rasio luasan yang ditinjau berdasarkan *as built drawing* denah *finishing* dinding *ground floor* hingga lantai 6. *Finishing* dinding *ground floor* hingga lantai 6 bersifat tipikal maka untuk *proportion* dan *thickness* berisikan sama. Nilai *embodied carbon* menunjukkan besarnya jejak karbon material bangunan per satuan luas bangunan dengan satuan $kgCO_2e/m^2$. Nilai *embodied carbon* merupakan *default* dari EDGE Versi 3.1 sebesar 0 kg/m^2 yang akan terisi secara otomatis. Pengaplikasian berdasarkan data *interior walls* pada EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Pengaplikasian *Interior Walls* EDGE Versi 3.1 (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuilding.com/projectallBuildings)

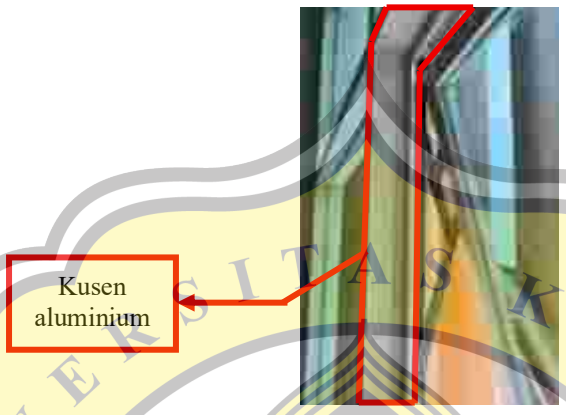
7. *Window frames* (MEM07)

Pada EDGE versi 3.1 data yang diperlukan untuk kriteria *window frames* berupa *as built drawing* detail pintu dan jendela yang digunakan pada seluruh Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang. Detail jendela yang digunakan diperlihatkan pada Gambar 4.22 dan versi lebih jelas diperlihatkan pada Lampiran LG – 39 hingga Lampiran LG – 58.



Gambar 4.22 Detail Jendela J2 (Sumber: Diperoleh dari Dokumen *As Built Drawing* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang)

Berdasarkan Gambar 4.22 diperlihatkan kusen jendela yang digunakan berbahan aluminium. Pengaplikasian kusen aluminium pada proyek diperlihatkan pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Pengaplikasian *Window Frames*

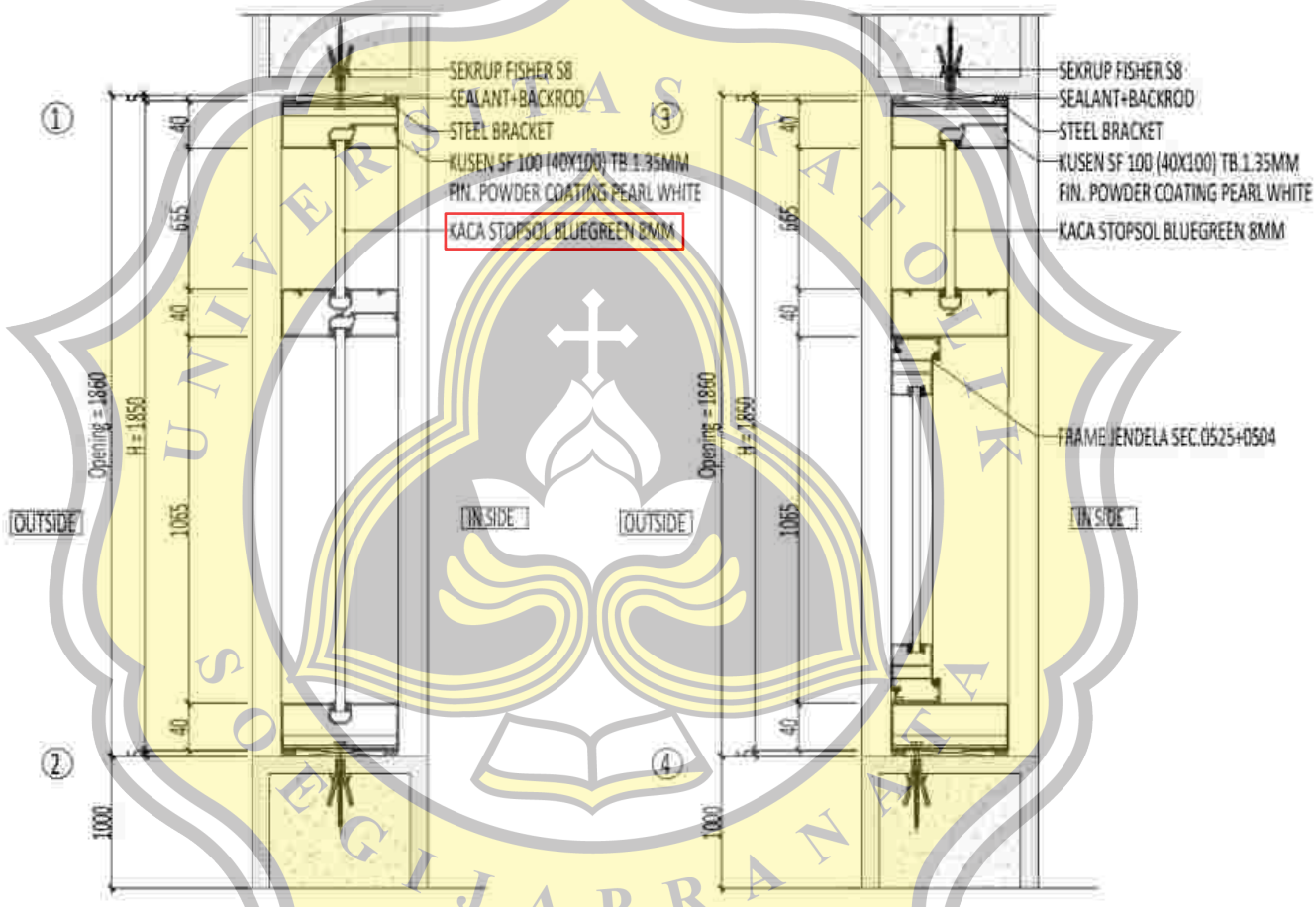
Bagian yang diisi pada EDGE versi 3.1 pada bagian tipe saja. Detail pintu dan jendela lantai 1 hingga lantai 6 bersifat tipikal maka untuk tipe kusen jendela berisikan sama. Nilai *embodied carbon* merupakan *default* dari EDGE Versi 3.1 sebesar 0 kg/m^2 yang akan terisi secara otomatis. Pengaplikasian *window frames* pada EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Pengaplikasian *Window Frames* Pada EDGE Versi 3.1 (Sumber: Diperoleh dari https:/app.edgebuildings.com/projectallBuilding)

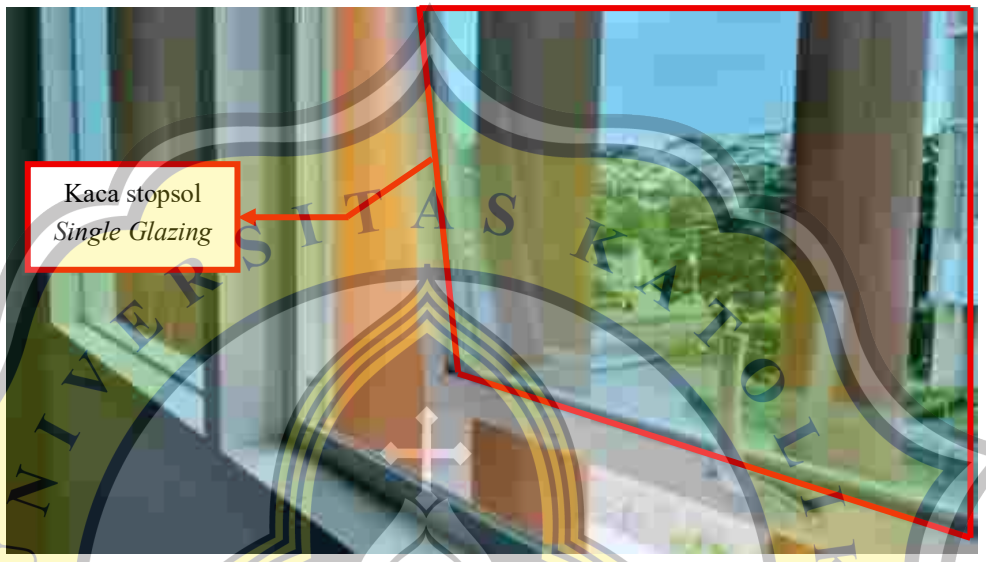
8. *Window glazing* (MEM08)

Data yang diperlukan pada kriteria *window glazing* berupa *as built drawing* detail pintu dan jendela Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang. Detail jendela diperlihatkan pada Gambar 4.25 dan versi lebih jelas diperlihatkan pada Lampiran LG – 39 hingga Lampiran LG – 58.



Gambar 4.25 Detail Jendela J1 (Sumber: Diperoleh dari Dokumen *As Built Drawing* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata Semarang)

Berdasarkan Gambar 4.25 diperlihatkan kaca jendela yang digunakan stopsol dengan tebal 8 mm. Pengaplikasian kaca jendela pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang diperlihatkan pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26 Pengaplikasian *Window Glazing*

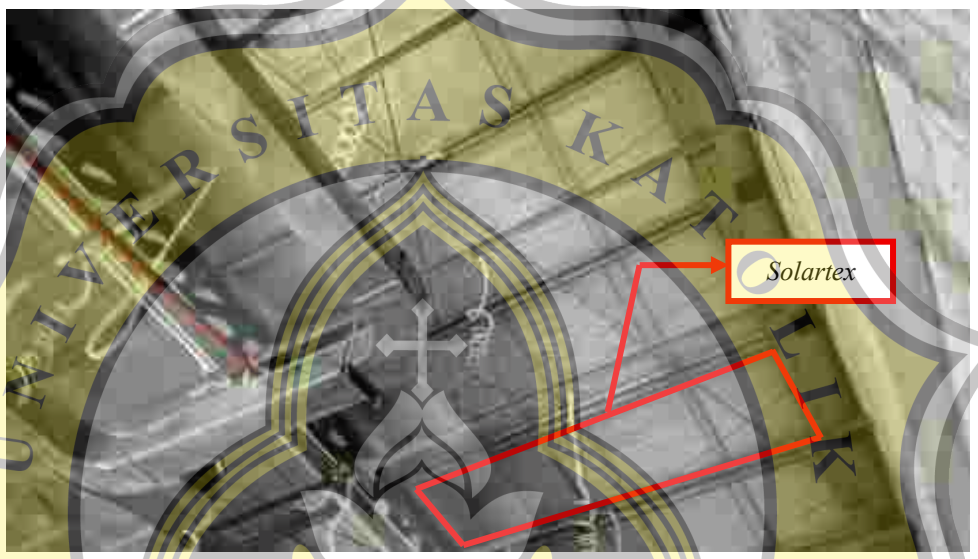
Pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata Semarang menggunakan kaca dengan tipe *single glazing* dengan ketebalan 8 mm. *Window glazing* adalah elemen kaca yang dipasang pada rangka jendela atau pintu, yang dapat berupa kaca tunggal, kaca ganda atau rangkap tiga (https:edgebuilding.com). *Window glazing* yang digunakan hanya 1 lapis. Pengaplikasian *window glazing* pada EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Pengaplikasian *Window Glazing* Pada EDGE Versi 3.1 (Sumber: Diperoleh dari https:/app.edgebuilding.com/project/allBuilding)

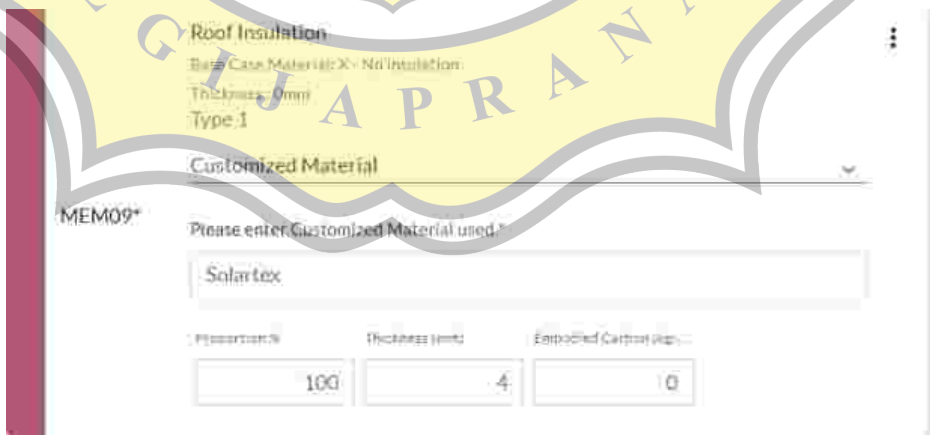
9. *Roof insulation* (MEM09)

Data yang diperlukan pada kriteria *roof insulation* berupa pengamatan langsung pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang. Pengaplikasian *roof insulation* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang diperlihatkan pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28 Pengaplikasian *Roof Insulation*

Berdasarkan Gambar 4.28, *roof insulation* menggunakan insulasi atap berupa *solartex* dengan tebal 4 mm. Pengaplikasian *roof insulation* pada EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29 Pengaplikasian *Roof Insulation* Pada EDGE Versi 3.1 (Sumber: Diperoleh dari https:/app.edgebuilding.com/project/allBuilding)

10. *Wall insulation* (MEM10)

    Pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang menggunakan tidak menggunakan insulasi dinding. Pengaplikasian *wall insulation* pada EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Gambar 4.30.



Gambar 4.30 Pengaplikasian *Wall Insulation* Pada EDGE Versi 3.1 (Sumber: Diperoleh dari https:/app.edgebuilding.com/project/allBuilding)

11. *Floor insulation* (MEM11)

    Pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata Semarang tidak menggunakan insulasi lantai. Pengaplikasian *floor insulation* pada EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Gambar 4.31.



Gambar 4.31 Pengaplikasian *Floor Insulation* Pada EDGE Versi 3.1 (Sumber: Diperoleh dari https:/app.edgebuilding.com/project/allBuilding)

Perhitungan *Material* pada EDGE versi 3.1 terkakulasi secara otomatis dengan *output embodied carbon* dengan satuan $kgCO_2e/m^2$. Tidak hanya perhitungan *embodied carbon*, namun juga emisi *final* operasi CO_2 tiap tahunnya, nilai *emobodied carbon* untuk tiap meter perseginya, dan *embodied carbon savings*. Hasil penilaian kategori material pada EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Tabel 4.20. Bagian tipe yang berlabel warna abu – abu adalah material yang digunakan pada penelitian ini dalam hasil penilaian kategori *Material* pada EDGE versi 3.1

Tabel 4.20 Hasil Penilaian Kategori *Material* Berdasarkan EDGE Versi 3.1

Kriteria	**Dokumen Yang Diperlukan**	**Fokus Pekerjaan**	**Tipe**
Bottom Floor Construction (MEM01)	1. Luasan *bottom floor construction* berupa *as built drawing* denah pelat lantai *basement* 2. Tipe dan ketebalan *bottom floor construction*	Struktur	1. *X- Reuse of Existing Floorslab* 2. *Concrete Slab | In- situ Reinforced Conventional Slab* 3. *Concrete Slab | In- situ Reinforced Slab with < 25% GGBS* 4. *Concrete Slab | In- situ Reinforced Slab with >30% PFA* 5. *Concrete Slab | Filler Slab* 6. *Concrete Slab | Filler Slab with polystyrene blocks* 7. *Concrete Slab | In Situ Trough Slab* 8. *Concrete Slab | In Situ Waffle Slab* 9. *Composite Slab | In Situ Concrete over RC Planks and Joist System* 10. *Composite Slab | In Situ Concrete on Precast slim deck with Embedded I- beam* 11. *Composite Slab | In Situ Concrete on Corrugated Steel Deck over I-beam* 12. *Composite Slab | In Situ Concrete over thin precast concrete deck* 13. *Concrete Precast | Double Tee Units* 14. *Timber Floor | Timberland or Chipboard on Timber Joists* 15. *Steel Floor | Light – gauge Steel Floor Cassette* 16. *Customized Material*
Intermediate Floor Construction (MEM02)	1. Luasan *Intermediate floor construction* berupa *as built drawing* denah pelat lantai *ground floor* hingga lantai 6 2. Tipe dan ketebalan *Intermediate floor construction*		
Roof Construction (MEM04)	1. Luasan *Roof construction* berupa *as built drawing* denah *finishing* lantai *top floor* 2. Tipe dan ketebalan *finishing* lantai *top floor*		1. *X- Reuse of Existing Roof* 2. *Concrete Slab | In- situ Reinforced Conventional Slab* 3. *Concrete Slab | In- situ Reinforced Slab with < 25% GGBS* 4. *Concrete Slab | In- situ Reinforced Slab with >30% PFA* 5. *Concrete Slab | Filler Slab* 6. *Concrete Slab | Filler slab with polystyrene blocks* 7. *Concrete Slab | In situ Trough Slab* 8. *Concrete Slab | Ins situ Waffle Slab*

Tabel 4.20 Hasil Penilaian Kategori *Material* Berdasarkan EDGE Versi 3.1 (Lanjutan)

Kriteria	Dokumen Yang Diperlukan	Fokus Pekerjaan	Tipe
Roof Construction (MEM04)	1. Luasan *Roof construction* berupa *as built drawing* denah *finishing* lantai *top floor* 2. Tipe dan ketebalan *finishing* lantai *top floor*	Struktur	9. *Concrete Precast | Hollow Core Slab* 10. *Composite Slab | In Situ concrete on precast slim deck with embedded i-beam* 11. *Composite Slab | In Situ concrete on corrugated steel deck over I-beam* 12. *Concrete Precast | Double Tee Units* 13. *Composite Slab | In Situ Concrete over thin precast concrete* 14. *Brick Panel Roofing system* 15. *Ferrocement Roof | Ferrocement Roofing Channels* 16. *Tiled Roof | Clay roofingtiles on steel rafters* 17. *Tiled Roof | Clay roofingtiles on timber rafters* 18. *Tiled Roof | Micro concrete tiles on steel rafters* 19. *Tiled Roof | Micro concrete tiles on timber rafters* 20. *Metal Roof | Steel sheets on steel rafters* 21. *Metal Roof | Steel sheets on timber rafters* 22. *Metal Roof | Alumunium Sheets on Steel Rafters* 23. *Metal Roof | Alumunium Sheets on Timber Rafters* 24. *Metal Roof | Copper Sheets on Steel Rafters* 25. *Metal Roof | Copper Sheets on Timber Rafters* 26. *Tiled Roof | Asphalt Shingles on Steel Rafters* 27. *Tiled Roof | Asphalt Shingles on Timber Rafters* 28. *Metal Roof | Alumunium clad Sandwich Panel* 29. *Metal Roof | Steel clad Sandwich Panel* 30. *Customized Roof*
Exterior Walls (MEM05)	1. Luasan *Exterior walls* berupa *as built drawing precast* as (koordinat kolom) area barat, timur, selatan dan utara 2. Tipe dan ketebalan *exterior walls*	Arsitektur	1. *Brick Wall | Solid Brick* (0-25% *voids*) *with External & Internal Plaster* 2. *Concrete Blocks | Hollow Blocks of Medium Weight* 3. *Concrete Blocks | Solid Blocks of Dense Concrete*

Tabel 4.20 Hasil Penilaian Kategori *Material* Berdasarkan EDGE Versi 3.1 (Lanjutan)

Kriteria	Dokumen Yang Diperlukan	Fokus Pekerjaan	Tipe
Exterior Walls (MEM05)	1. Luasan *Exterior walls* berupa *as built drawing precast* as (koordinat kolom) area barat, timur, selatan dan utara 2. Tipe dan ketebalan *exterior walls*	Arsitektur	4. *Brick Wall | Cored (25-40% voids) with External & Internal Plaster* 5. *Brick Wall | Honeycomb Blocks (40-60%) with External & Internal Plaster* 6. *Concrete Blocks | Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Blocks* 7. *Soil Blocks | Fly-Ash Stabilized Soil Blocks* 8. *Soil Blocks | Compressed Stabilized Earth Blocks* 9. *Soil Blocks | GGBS Stabilized Soil Blocks* 10. *Soil Blocks | Rammed Earth Blocks/Walls* 11. *Concrete Panels | Precast Panels (single layer)* 12. *Straw Bale Blocks* 13. *Timber Stud Wall |with Brick Facing* 14. *Timber Stud Wall |Phosphogypsum Panel* 15. *Ferrocement Wall Pane* 16. *Concrete In-Situ| Reinforced Concrete Wall* 17. *Concrete Blocks | Cellular Light-Weight Concrete Blocks* 18. *Stone Blocks | Stone Blocks Machine-cut Polished or Unpolished* 19. *FaLG Blocks |Fly Ash-Lime-gypsum Blocks* 20. *Metal Wall | Steel Profile Cladding on Steel Frame* 21. *Metal Wall | Aluminum Profile Cladding on Steel Frame* 22. *Brick Wall | Solid Brick (0-25% voids) Exposed with Internal Plaster only* 23. *Brick Wall | Cored Brick (25-40%) Exposed with Internal Plaster only* 24. *Concrete Blocks | Hollow Blocks with Brick Facing* 25. *Concrete Blocks | Solid Blocks with Brick Facing* 26. *Concrete Blocks | Hollow Blocks with Polymeric Render*

Tabel 4.20 Hasil Penilaian Kategori *Material* Berdasarkan EDGE Versi 3.1 (Lanjutan)

Kriteria	Dokumen Yang Diperlukan	Fokus Pekerjaan	Tipe
Exterior Walls (MEM05)	1. Luasan *Exterior walls* berupa *as built drawing precast* as (koordinat kolom) area barat, timur, selatan dan utara 2. Tipe dan ketebalan *exterior walls*	Arsitektur	27. *Brick Wall | Solid Brick (0-25%) with Polymeric render* 28. *Concrete Panels | Precast Sandwich Panels (2 layers of concrete)* 29. *Concrete Panels | Precast Sandwich Panels with Brick Facing* 30. *Concrete Panels | Precast Sandwich Panels with Stone Facing* 31. *GFRC Panels | Glass fiber Reinforced Concrete Cladding Panels* 32. *Stone Profile Cladding* 33. *Metal Stud Wall | with Cement Fiber Boards* 34. *Timber Stud Wall | with Cement Fiber Boards* 35. *Timber Stud Wall | with Timber Weatherboard* 36. *Timber Stud Wall | with UPVC Weatherboard* 37. *Metal Stud Wall | with Clay tiles Cladding (or 'Terracotta Rainscreen Cladding')* 38. *Timber Stud Wall | with Plasterboard* 39. *Metal Stud Wall | with Plasterboard* 40. *Curtain Wall | Aluminum Frame and Opaque panels* 41. *Shotcrete Wall |3-D Wire Panel with Shotcrete on Both Sides* 42. *Metal Wall | Aluminum-clad Sandwich Panel* 43. *Metal Wall | Steel-clad Sandwich Panel* 44. *X - Re-use of existing wall* 45. *Stone Blocks | Hand-cut*
Interior Walls (MEM06)	1. Luasan *Interior walls* berupa *as built drawing* denah *finishing dinding* 2. Tipe dan ketebalan *Interior walls*		1. *Brick Wall | Solid Brick* (0-25% *voids*) *with External & Internal Plaster* 2. *Brick Wall | Cored* (25-40% *voids*) *with External & Internal Plaster* 3. *Concrete Blocks | Hollow Blocks of Medium Weight* 4. *Concrete Blocks | Solid Blocks of Dense Concrete*

Tabel 4.20 Hasil Penilaian Kategori *Material* Berdasarkan EDGE Versi 3.1 (Lanjutan)

Kriteria	Dokumen Yang Diperlukan	Fokus Pekerjaan	Tipe
Interior Walls (MEM06)	1. Luasan *Interior walls* berupa *as built drawing* denah *finishing dinding* 2. Tipe dan ketebalan *Interior walls*	Arsitektur	5. *Brick Wall | Honeycomb Blocks (40-60%) with External & Internal Plaster* 6. *Concrete Blocks | Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Blocks* 7. *Soil Blocks | Fly-Ash Stabilized Soil Blocks* 8. *Soil Blocks | Compressed Stabilized Earth Blocks* 9. *Soil Blocks | GGBS Stabilized Soil Blocks* 10. *Soil Blocks | Rammed Earth Blocks/Walls* 11. *Concrete Panels | Precast Panels (single layer)* 12. *Straw Bale Blocks* 13. *Ferrocement Wall Panel* 14. *Concrete In-Situ| Reinforced Concrete Wall* 15. *Concrete Blocks | Cellular Light-Weight Concrete Blocks* 16. *Stone Blocks | Machine-cut Polished or Unpolished* 17. *FaLG Blocks |Fly Ash-Lime-gypsum Blocks* 18. *Brick Wall | Solid Brick (0-25% voids) no Finish* 19. *Brick Wall | Cored (25-40% voids) no Finish* 20. *Concrete Panels | Precast Sandwich Panels* 21. *Metal Stud Wall | with Cement Fiber Boards* 22. *Timber Stud Wall | with Cement Fiber Boards* 23. *Timber Stud Wall | with Plasterboard* 24. *Timber Stud Wall | with Plasterboard with Insulation* 25. *Metal Stud Wall | with Plasterboard* 26. *Metal Stud Wall | with Plasterboard with Insulation* 27. *Shotcrete Wall |3-D Wire Panel with Shotcrete on Both Sides* 28. *Shotcrete Wall |3-D Wire Panel with Shotcrete on Both Sides with Insulation* 29. *X - Re-use of existing wall* 30. *Stone Blocks | Hand-cut*

Tabel 4.20 Hasil Penilaian Kategori *Material* Berdasarkan EDGE Versi 3.1 (Lanjutan)

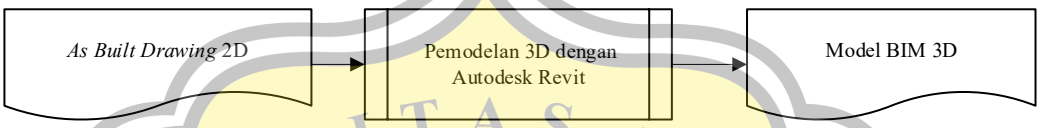
Kriteria	Dokumen Yang Diperlukan	Fokus Pekerjaan	Tipe
Floor Finish (MEM03)	1. Luasan *Floor Finish* berupa *as built drawing* denah *finishing* Lantai 2. Tipe dan ketebalan *Floor Finish*	Arsitektur	1. *Default Base case Material* 2. *Tiled | Ceramic Tile* 3. *Vinyl Sheet* 4. *Tiled | Stone Tiles* 5. *Concrete | Finished Concrete Floor* 6. *Linoleum Sheet* 7. *Tiles |Terrazzo Tiles* 8. *Carpet | Nylon Carpets* 9. *Wood | Laminated Wood* 10. *Tiled | Terracotta Tiles* 11. *Wood | Parquet / Wood Block Finishes* 12. *Carpet | Plant fiber (Seagrass, sisal, coir and jute) carpet* 13. *Tiled | Cork Tiles* 14. *X- Re use existing flooring* 15. *Customized Material*
Window Frames (MEM07)	1. Luasan *Window Frames* berupa *as built drawing* detail pintu dan jendela 2. Tipe *Window Frames*		1. *Default Base case Material* 2. *Aluminum* 3. *Steel* 4. *Timber* 5. UPVC 6. *Aluminum-clad Timber* 7. *X-Re-use Existing Window Frames*
Window Glazing (MEM08)	1. Luasan *Window Glazing* berupa *as built drawing* detail pintu dan jendela 2. Tipe dan ketebalan *Window Glazing*		1. *Default Base case Material* 2. *Single Glazing* 3. *Double Glazing* 4. *Triple Glazing* 5. *Re-use Existing Glazing*

Tabel 4.20 Hasil Penilaian Kategori *Material* Berdasarkan EDGE Versi 3.1 (Lanjutan)

Kriteria	Dokumen Yang Diperlukan	Fokus Pekerjaan	Tipe
Roof Insulation (MEM09)	1. Luasan *Roof Insulation* berupa *as built drawing* denah *Roof Insulation* 2. Tipe dan Ketebalan *Roof Insulation*	Arsitektur	1. *Polystyrene Foam Spray or Board Insulation* 2. *Mineral Wool | Stone Wool Insulation Batt or Boards* 3. *Glass Wool | Fiberglass Batt* 4. *Polyurethane Foam Spray or Board Insulation* 5. *Cellulose Insulation* 6. *Cork Board Insulation* 7. *Wood Wool Board Insulation* 8. *Air gap* < 100 mm *wide* (*insulating)* 9. *Air gap* > 100 mm *wide* (*insulating)* 10. *X - No insulation* 11. *Customized Material*
Wall Insulation (MEM10)	3. Luasan *Wall Insulation* berupa *as built drawing* denah *Wall Insulation* 4. Tipe dan Ketebalan *Wall Insulation*		
Floor Insulation (MEM11)	3. Luasan *Floor Insulation* berupa *as built drawing* denah *Floor Insulation* 4. Tipe dan Ketebalan *Floor Insulation*		

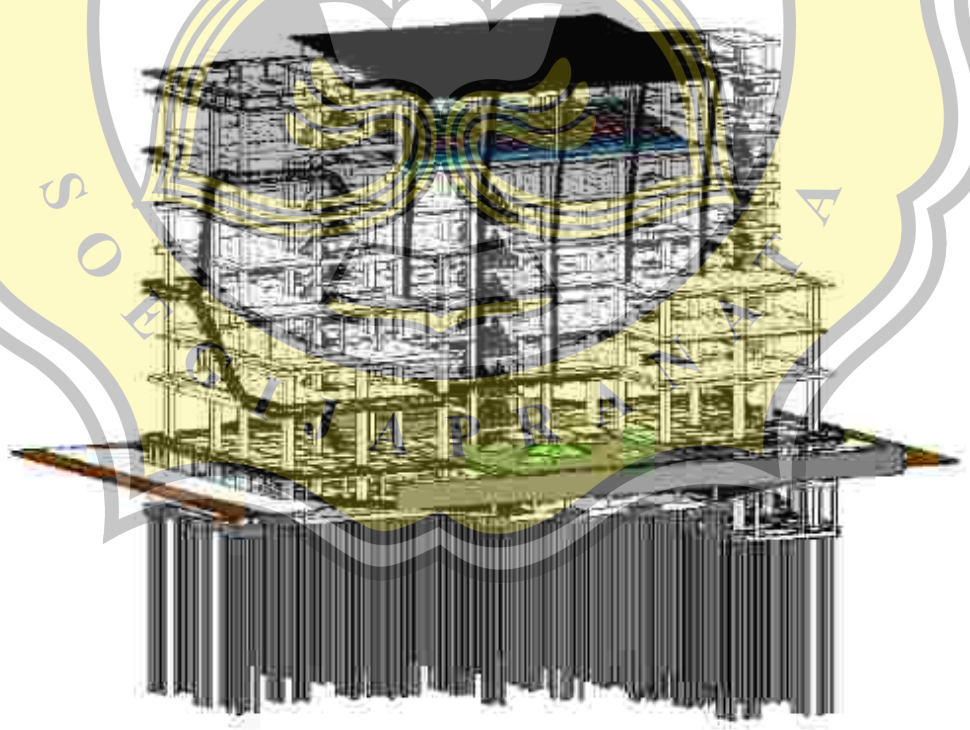
4.6 Pemodelan BIM 3D dengan Autodesk Revit

Tahapan pemodelan BIM 3D dengan Autodesk Revit diawali dengan pengumpulan data berupa *as built drawing* 2D. Gambar 2D tersebut kemudian dikembangkan menjadi model desain 3D. Alur pemodelan pengolahan data *Greenship* versi 1.2 diperlihatkan pada Gambar 4.32.



Gambar 4.32 Pengembangan Alur Pemodelan *As Built Drawing* 3D

Berdasarkan Gambar 4.32, model *as built drawing* 2D akan dikembangkan menjadi model 3D. Pemodelan BIM 3D berdasarkan *as built drawing* 2D ini terdiri dari pekerjaan struktur dan arsitektur. Hasil pemodelan BIM 3D untuk pekerjaan struktur Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Semarang ditunjukkan pada Gambar 4.33.



Gambar 4.33 Pemodelan BIM 3D Struktur Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang

Setelah pemodelan elemen struktur selesai dilanjutkan dengan pemodelan arsitektur. Selanjutnya, model tersebut akan diproses lebih lanjut ke tahap pemodelan BIM 5D untuk melakukan analisis terkait volume pekerjaan. Hasil pemodelan BIM 3D untuk pekerjaan arsitektur Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Semarang diperlihatkan pada Gambar 4.34.



Gambar 4.34 Pemodelan BIM 3D Arsitektur Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang

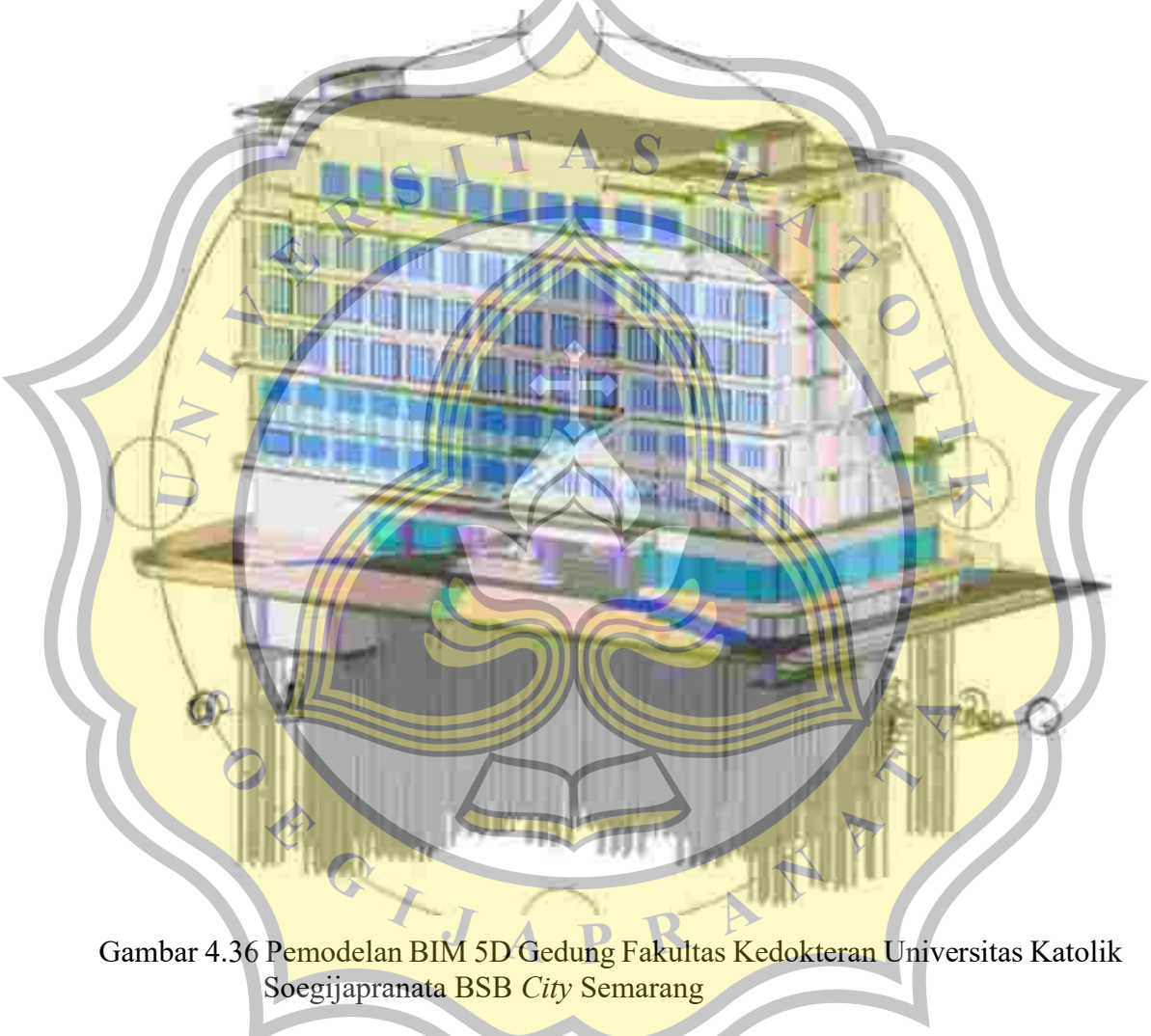
4.7 Pemodelan BIM 5D dengan Cubicost TAS

Pemodelan 5D dilakukan dengan menggunakan *software* Cubicost TAS. Dalam penelitian ini ingin memperlihatkan kontribusi *Building Information Modeling* (BIM) 5D dalam perhitungan volume, yang disusun berdasarkan perkalian antara volume pekerjaan dan Harga Satuan Pekerjaan (HSP) *engineering estimate*. Pengembangan alur pemodelan BIM 5D dengan Cubicost TAS diperlihatkan pada Gambar 4.35.



Gambar 4.35 Pengembangan Alur Pemodelan BIM 5D

Berdasarkan Gambar 4.35, model BIM 3D akan dikembangkan menjadi model 5D. Pemodelan BIM 5D yang terdiri dari 2 pekerjaan yakni pekerjaan struktur dan pekerjaan arsitektur. Hasil pemodelan BIM 5D untuk pekerjaan struktur dan arsitektur pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik BSB *City* Semarang ditunjukkan pada Gambar 4.36.



Gambar 4.36 Pemodelan BIM 5D Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang

Berdasarkan hasil pemodelan BIM 5D yang dilakukan menggunakan *software* Cubicost *Take-off Architecture and Structure* (TAS), selanjutnya dilakukan perhitungan volume pekerjaan pada elemen struktur dan arsitektur berdasarkan data yang dibutuhkan pada LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1. Volume ini digunakan sebagai perhitungan biaya yang mendukung dalam penilaian sertifikasi *green building*.

4.8 Kontribusi BIM Pada Tiap *Rating Tools*

Tahapan pengolahan data kontribusi BIM pada tiap *rating tools* diawali dengan pengumpulan data berupa data kriteria dari kategori material tiap *rating tools*. Selanjutnya, data tiap *rating tools* tersebut digunakan sebagai dasar dalam proses identifikasi kontribusi BIM 3D dan BIM 5D dari tiap *rating tools*. Hasil yang didapatkan dari identifikasi ini berupa kontribusi BIM 3D dan 5D terhadap data kriteria dari kategori material tiap *rating tools*. Alur pemodelan pengolahan data kontribusi BIM pada tiap *rating tools* diperlihatkan pada Gambar 4.37.



Gambar 4.37 Alur Pemodelan Pengolahan Data Kontribusi BIM Pada Tiap *Rating Tools*

Data kontribusi *Building Information Modeling* (BIM) pada tiap *rating tools* diperoleh berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai kontribusi penggunaan BIM dalam mendukung pemenuhan kriteria penilaian *green building*. Kontribusi tersebut dianalisis pada sistem penilaian LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1, dengan mempertimbangkan kesesuaian BIM terhadap kebutuhan data, dan indikator penilaian pada tiap *rating tools*. Data yang diperoleh menggambarkan BIM dapat dimanfaatkan dalam proses perencanaan, pemodelan, hingga pengelolaan informasi bangunan untuk mendukung penyusunan dokumen dan pembuktian pemenuhan kriteria pada tiap sistem penilaian.

Kontribusi BIM yang ditinjau dalam penelitian ini tidak hanya berfokus pada aspek teknis pemodelan, tetapi juga pada kemampuannya dalam menyediakan informasi yang sesuai dengan ketentuan penilaian pada tiap *rating tools*. Tujuan utama dari pengolahan data ini adalah untuk mengetahui kontribusi BIM 3D menggunakan *software* berupa Autodesk Revit sebagai alat bantu visualisasi bangunan ,dan BIM 5D menggunakan *software* berupa Cubicost TAS sebagai alat bantu kalkulasi volume material dalam Proyek yang dapat memberikan pengaruh pada aspek penilaian sertifikasi *green building*. Data kontribusi BIM 3D menggunakan Autodesk Revit pada tiap *rating tools* diperlihatkan pada Tabel 4.21.

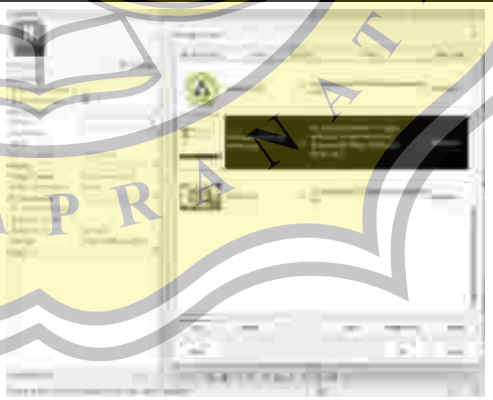
Tabel 4.21 Kontribusi BIM 3D Menggunakan Autodesk Revit Pada Tiap *Rating Tools*

<table>
<tr><th colspan="3">LEED Versi 4.1</th></tr>
<tr><th>Kriteria</th><th>Lampiran</th><th>Kontribusi</th></tr>
<tr><td>Storage and Collection of Recyclables</td><td rowspan="2">Tidak Ada</td><td rowspan="2">Autodesk Revit dapat memberikan kontribusi, namun karena ketidakseterdiaan data pada proyek sehingga tidak dapat terpenuhi.</td></tr>
<tr><td>Building Life Cycle Impact Reduction</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Environmental Product Declarations</td><td>LI-01</td><td>
Gambar 4.38 Visualisasi Fondasi Tiang Pancang</td></tr>
<tr><td>LI-02</td><td>
Gambar 4.39 Keterangan Material Fondasi Tiang Pancang</td></tr>
<tr><td>LI-03</td><td>
Gambar 4.40 Input Sertifikasi EPD Fondasi Tiang Pancang</td></tr>
</table>

Tabel 4.21 Kontribusi BIM 3D Menggunakan Autodesk Revit Pada *Tiap Rating Tools* (Lanjutan)

LEED Versi 4.1		
Kriteria	**Lampiran**	**Kontribusi**
Sourcing of Raw Materials	LI-04	 Gambar 4.41 Visualisasi Pintu Kayu PD3A
	LI-05	 Gambar 4.42 Keterangan Material Pintu Kayu PD3A
	LI-06	 Gambar 4.43 *Input* Sertifikasi FSC Pintu Kayu PD3A

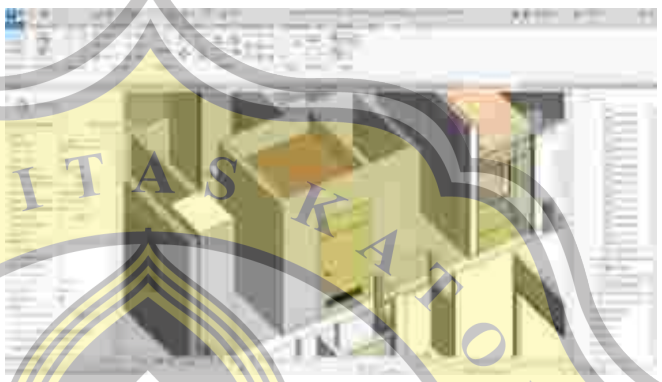
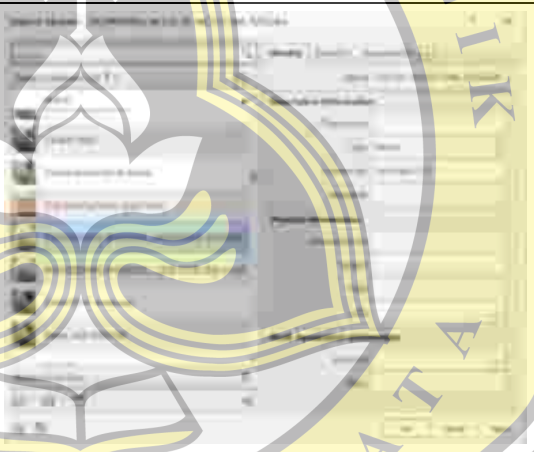
Tabel 4.21 Kontribusi BIM 3D Menggunakan Autodesk Revit Pada *Tiap Rating Tools* (Lanjutan)

LEED Versi 4.1		
Kriteria	**Lampiran**	**Kontribusi**
Material Ingredients	LI-07	 Gambar 4.44 Visualisasi *Plafond*
	LI-08	 Gambar 4.45 Keterangan Material *Plafond*
	LI-09	 Gambar 4.46 *Input* Sertifikasi LCA *Plafond*
Construction and Demolition Waste Management	Tidak Ada	Autodesk Revit tidak memberikan kontribusi

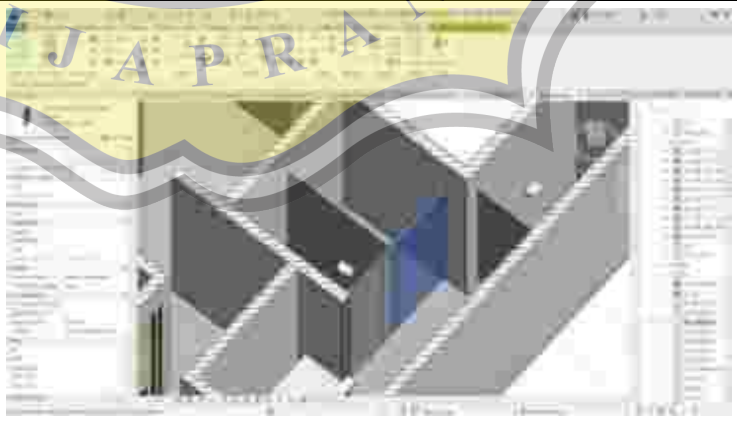
Tabel 4.21 Kontribusi BIM 3D Menggunakan Autodesk Revit Pada *Tiap Rating Tools* (Lanjutan)

<table>
<tr><th colspan="3">***Greenship* Versi 1.2**</th></tr>
<tr><th>Kriteria</th><th>Lampiran</th><th>Kontribusi</th></tr>
<tr><td>Fundamental Refrigerant</td><td>Tidak Ada</td><td>Autodesk Revit tidak memberikan kontribusi</td></tr>
<tr><td>Building and Material Reuse</td><td>Tidak Ada</td><td>Autodesk Revit dapat memberikan kontribusi, namun karena ketidakseterdiaan data pada proyek sehingga tidak dapat terpenuhi.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Enviromentally Friendly Material</td><td>LI-10</td><td>
Gambar 4.47 Visualisasi Sun Control</td></tr>
<tr><td>LI-11</td><td>
Gambar 4.48 Keterangan Material Sun Control</td></tr>
<tr><td>LI-12</td><td>
Gambar 4.49 Input Sertifikasi SML Sun Control</td></tr>
</table>

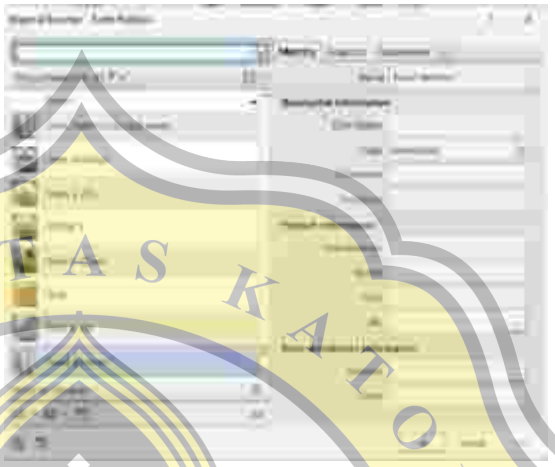
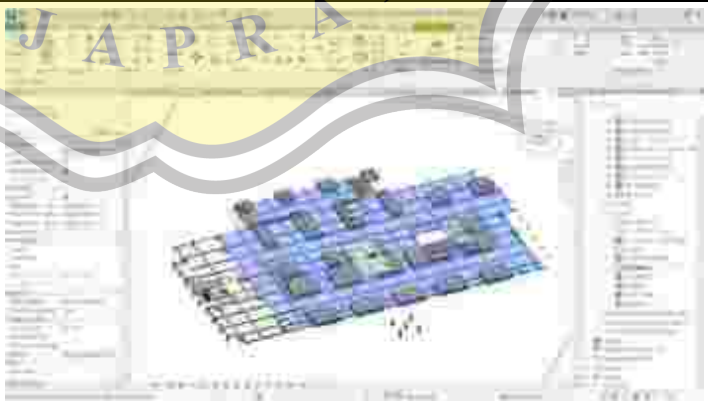
Tabel 4.21 Kontribusi BIM 3D Menggunakan Autodesk Revit Pada *Tiap Rating Tools* (Lanjutan)

<table>
<tr><th colspan="3">***Greenship* Versi 1.2**</th></tr>
<tr><th>Kriteria</th><th>Lampiran</th><th>Kontribusi</th></tr>
<tr><td>Non ODS Usage</td><td>Tidak Ada</td><td>Autodesk Revit tidak memberikan kontribusi</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Certified Wood</td><td>LI-13</td><td>
Gambar 4.50 Visualisasi Pintu Kayu PT3</td></tr>
<tr><td>LI-14</td><td>
Gambar 4.51 Keterangan Material Pintu Kayu PT3</td></tr>
<tr><td>LI-15</td><td>
Gambar 4.52 Input Sertifikasi FSC Pintu Kayu PT3</td></tr>
</table>

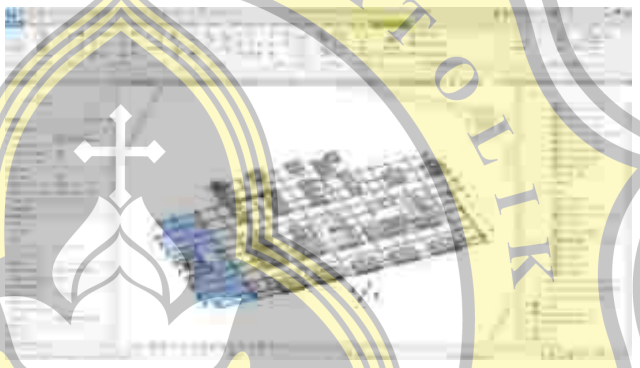
Tabel 4.21 Kontribusi BIM 3D Menggunakan Autodesk Revit Pada *Tiap Rating Tools* (Lanjutan)

***Greenship* Versi 1.2**		
Kriteria	**Lampiran**	**Kontribusi**
Prefab Material	LI-16	 Gambar 4.53 Visualisasi Dinding *Precast*
	LI-17	 Gambar 4.54 Keterangan Material Dinding *Precast*
Regional Material	LI-18	 Gambar 4.55 Visualisasi *Cubicle* Toilet

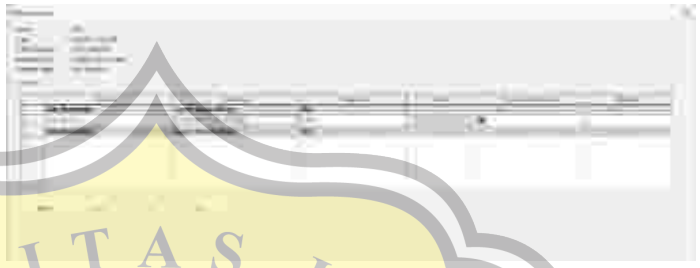
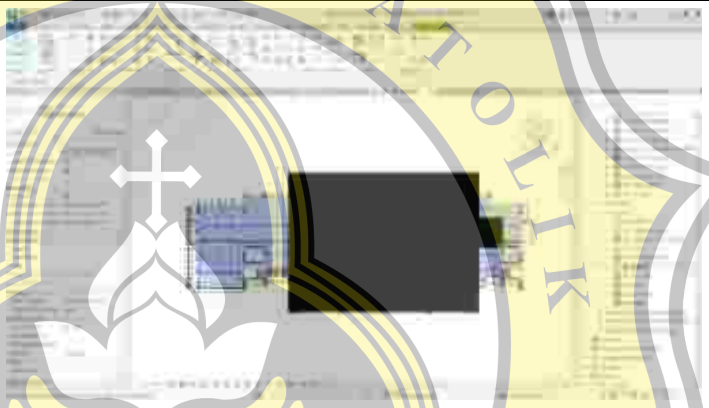
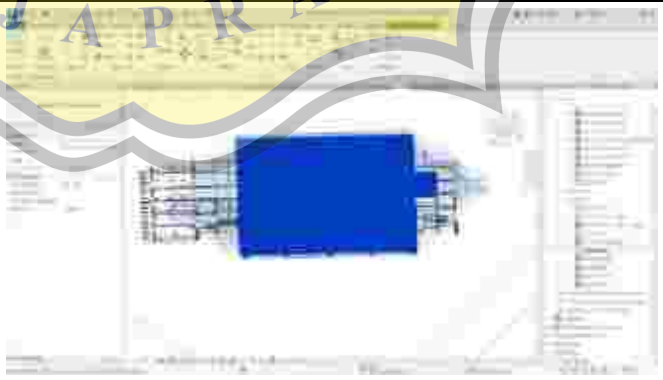
Tabel 4.21 Kontribusi BIM 3D Menggunakan Autodesk Revit Pada *Tiap Rating Tools* (Lanjutan)

<table>
<tr><th colspan="3">Greenship Versi 1.2</th></tr>
<tr><th>Kriteria</th><th>Lampiran</th><th>Kontribusi</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Regional Material</td><td>LI-19</td><td>
Gambar 4.56 Keterangan Material Cubicle Toilet</td></tr>
<tr><td>LI-20</td><td>
Gambar 4.57 Input Link Google Map Material Cubicle Toilet</td></tr>
<tr><th colspan="3">EDGE Versi 3.1</th></tr>
<tr><th>Kriteria</th><th>Lampiran</th><th>Kontribusi</th></tr>
<tr><td>Bottom Floor Construction</td><td>LI-21</td><td>
Gambar 4.58 Visualisasi Bottom Floor 200 mm</td></tr>
</table>

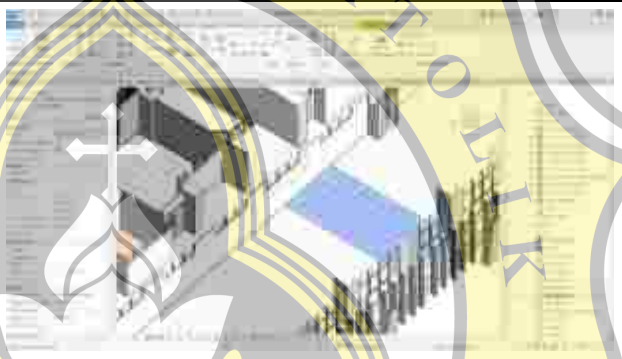
Tabel 4.21 Kontribusi BIM 3D Menggunakan Autodesk Revit Pada *Tiap Rating Tools* (Lanjutan)

EDGE Versi 3.1		
Kriteria	**Lampiran**	**Kontribusi**
Bottom Floor Construction	LI-22	 Gambar 4.59 Keterangan Material *Bottom Floor* 200 mm
	LI-23	 Gambar 4.60 Visualisasi *Bottom Floor* 150 mm
	LI-24	 Gambar 4.61 Keterangan Material *Bottom Floor* 150 mm
Intermediate Floor Construction	LI-25	 Gambar 4.62 Visualisasi *Intermediate Floor* 120 mm

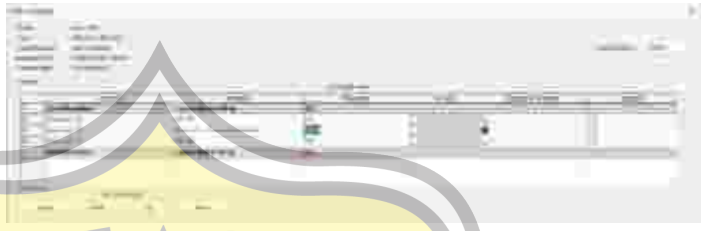
Tabel 4.21 Kontribusi BIM 3D Menggunakan Autodesk Revit Pada *Tiap Rating Tools* (Lanjutan)

EDGE Versi 3.1		
Kriteria	**Lampiran**	**Kontribusi**
Intermediate Floor Construction	LI-26	 Gambar 4.63 Keterangan Material *Intermediate Floor* 120 mm
Roof Construction	LI-27	 Gambar 4.64 Visualisasi *Roof Construction Floor* 120 mm
	LI-28	 Gambar 4.65 Keterangan *Roof Construction Floor* 120 mm
	LI-29	 Gambar 4.66 Visualisasi *Roof Construction Metal Roof*

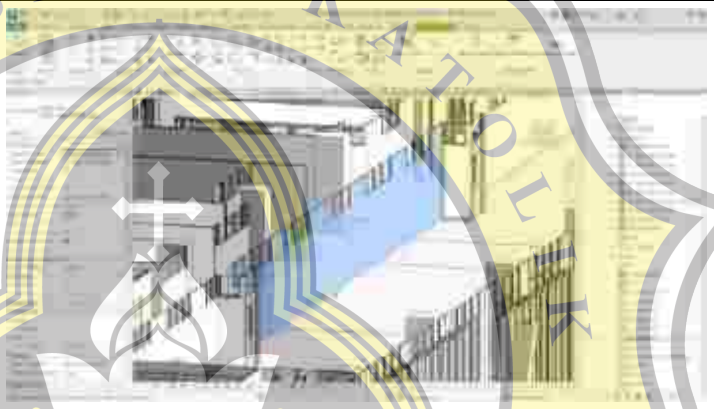
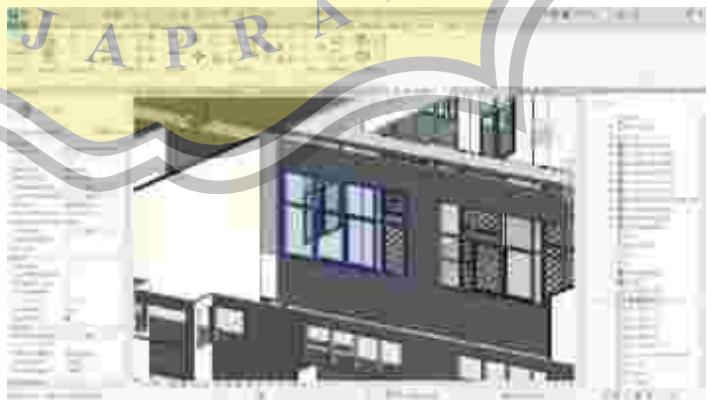
Tabel 4.21 Kontribusi BIM 3D Menggunakan Autodesk Revit Pada *Tiap Rating Tools* (Lanjutan)

EDGE Versi 3.1		
Kriteria	**Lampiran**	**Kontribusi**
Roof Construction	LI-30	 Gambar 4.67 Keterangan Material *Roof Construction Metal Roof*
Floor Finish	LI - 31	 Gambar 4.68 Visualisasi *Floor Finish*
	LI-32	 Gambar 4.69 Keterangan Material *Floor Finish*
Exterior Walls	LI - 33	 Gambar 4.70 Visualisasi *Exterior Walls* Dinding *Precast*

Tabel 4.21 Kontribusi BIM 3D Menggunakan Autodesk Revit Pada *Tiap Rating Tools* (Lanjutan)

EDGE Versi 3.1		
Kriteria	**Lampiran**	**Kontribusi**
Exterior Walls	LI-34	 Gambar 4.71 Keterangan Material *Exterior Walls* Dinding *Precast*
	LI-35	 Gambar 4.72 Visualisasi *Exterior Walls Curtain Wall*
	LI-36	 Gambar 4.73 Keterangan Material *Exterior Walls Curtain Wall*
Interior Walls	LI-37	 Gambar 4.74 Visualisasi *Interior Walls Brick Wall*

Tabel 4.21 Kontribusi BIM 3D Menggunakan Autodesk Revit Pada *Tiap Rating Tools* (Lanjutan)

EDGE Versi 3.1		
Kriteria	**Lampiran**	**Kontribusi**
Interior Walls	LI-38	 Gambar 4.75 Keterangan Material *Interior Walls Brick Wall*
	LI-39	 Gambar 4.76 Visualisasi *Interior Walls Metal Stud Wall*
	LI-40	 Gambar 4.77 Keterangan Material *Interior Walls Metal Stud Wall*
Window Frames dan Window Glazing	LI - 41	 Gambar 4.78 Visualisasi *Window Frames* dan *Window Glazing*

Tabel 4.21 Kontribusi BIM 3D Menggunakan Autodesk Revit Pada *Tiap Rating Tools* (Lanjutan)

EDGE Versi 3.1		
Kriteria	**Lampiran**	**Kontribusi**
Window Frames dan Window Glazing	LI - 42	 Gambar 4.79 Keterangan Material *Window Frames* dan *Window Glazing*
Roof Insulation	Tidak ada	Autodesk Revit tidak memberikan kontribusi
Wall Insulation		
Floor Insulation		

Berdasarkan Tabel 4.21, kontribusi BIM 3D menggunakan *software* Autodesk Revit dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori. Kategori pertama menunjukkan bahwa Autodesk Revit terbukti dapat berkontribusi sebagai alat bantu dalam proses penilaian sertifikasi *green building*. Kategori kedua mengindikasikan bahwa Autodesk Revit seharusnya dapat memberikan kontribusi, namun pembuktiannya tidak dapat dilakukan akibat ketidaktersediaan data pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang. Ketidaktersediaan data proyek ditemukan pada kriteria penggunaan kembali material bekas, baik dalam LEED versi 3.1 maupun *Greenship* versi 1.2. Kategori ketiga menunjukkan bahwa Autodesk Revit tidak dapat berkontribusi sebagai alat bantu dalam penilaian sertifikasi *green building.*

Data kontribusi BIM 5D menggunakan Cubicost TAS untuk perhitungan volume material pada LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2 dan EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Kontribusi BIM 5D Menggunakan Cubicost TAS Pada *Tiap Rating Tools*

Rating Tool	**Kriteria**	**Item Pekerjaan**	**Satuan**	**Volume**	**Harga Satuan (Rp)**	**Harga Sub Total (Rp)**
LEED Versi 4.1	*Sourcing of Raw Materials*	Pintu Kayu	Unit	165	21.034.886	3.470.756.347
		Wallpaper Plywood	Unit	178	7.961.995	1.417.235.110
Greenship Versi 1.2	*Environmentally Friendly Material*	Fondasi tiang pancang	Unit	351	12.820.512	4.500.000.000
		Bata Ringan	m^2	5.761,47	169.174	974.688.744
		Aluminium Composite Panel (ACP)	m^2	976,25	881.864	860.919.794
		Sun control (kisi-kisi aluminium *extrude*)	m'	2.954,92	1.491.208	4.406.400.000
		Expanded Metal	m^2	513,50	1.912.125	981.876.000
		Cubicle Toilet Sakura	m^2	167,29	2.450.707	409.978.800
	Certified Wood	*Wallpaper Plywood*	Unit	178	21.947.700	3.906.690.600
		Pintu Kayu	Unit	165	21.034.886	3.470.756.347
	Prefab Material	BAJA WF	kg	1.790,80	25.200	45.128.160
		Pelat Baja	kg	9.854,36	23.500	231.577.460
		Fondasi Tiang Pancang	unit	351,00	12.820.512	4.500.000.000
		Pintu Kayu	unit	165	21.034.887	3.470.756.347
		Pintu Aluminium	unit	9	6.694.967	60.254.700
		Pintu Baja	unit	61	14.414.646	879.293.400
		Aluminium *Extrude* 10 x 40 cm	m'	2.954,92	1.491.208	4.406.400.000

Tabel 4.22 Kontribusi BIM 5D Menggunakan Cubicost TAS Pada *Tiap Rating Tools* (Lanjutan)

Rating Tool	**Kriteria**	**Item Pekerjaan**	**Satuan**	**Volume**	**Harga Satuan (Rp)**	**Harga Sub Total (Rp)**
Greenship Versi 1.2	*Prefab Material*	Atap Colourbond kliplock 0,45 BMT Zincalume	m^2	871,20	253.577	220.916.696
		Signage Acrylic	unit	1,00	28.800.000	28.800.000
		Alumunium Composit Panel Alloy (ACP)	m^2	976,25	881.864	860.919.794
		Dinding *precast*	m^2	2.022,60	555.909	1.124.382.008
		Dinding Partisi *Cubicle* Toilet	m^2	137,03	2.450.707	409.978.800
		Dinding Partisi *double Gypsum* 12 mm	m^2	2.083,8	631.879	1.316.709.942
		Expanded Metal, lebar 1125 mm	m^2	513,50	1.912.125	981.876.000
	Regional Material	Pintu Kayu	Unit	165	21.034.887	3.470.756.347
		Pintu Baja	Unit	61	14.414.646	879.293.400
		Sun Control	m'	2.954,92	1.491.208	4.406.400.000
		Expanded Metal	m^2	513,50	1.912.125	981.876.000
		Baja	kg	15.698,27	22.804	357.980.984
		Dinding *Precast*	m^2	2.022,60	555.909	1.124.382.009
		Bata Ringan	m^2	5.761,47	169.174	974.688.744,66
		Roof Walling	m^2	871,20	253.577	220.916.696
		Fondasi Tiang Pancang	Unit	351	12.820.513	4.500.000.000

Tabel 4.22 Kontribusi BIM 5D Menggunakan Cubicost TAS Pada *Tiap Rating Tools* (Lanjutan)

Rating Tool	**Kriteria**	**Item Pekerjaan**	**Satuan**	**Volume**	**Harga Satuan (Rp)**	**Harga Sub Total (Rp)**
Greenship Versi 1.2	*Regional Material*	*Cubicle Toilet*	m^2	167,29	2.450.707	409.978.800
		Aluminium Composite Panel (ACP)	m^2	976,25	881.864	860.919.794
		Gypsum	m^2	2.083,80	631.879	1.316.709.943
		Homogenous Tile	m^2	4.851,36	76.027	368.835.326
EDGE Versi 3.1	*Bottom Floor Construction*	Luasan *Bottom Floor Construction*	m^2	4.708,42	Tidak Memerlukan Biaya	
	Intermediate Floor Construction	Luasan *Intermediate Floor Construction*	m^2	9.362,972		
	Roof Construction	Luasan *Roof Construction*	m^2	3.223,787		
	Floor Finish	Luasan *Floor Finish*	m^2	4.851,36		
	Interior Walls	Luasan *Interior Walls*	m^2	5.761,47		
	Exterior Walls	Luasan *Exterior Walls*	m^2	2.022,60		

Berdasarkan Tabel 4.21 dan Tabel 4.22, maka rekapitulasi kontribusi BIM 3D dan 5D diperlihatkan pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Rekapitulasi Kontribusi BIM 3D dan 5D

Rating Tool	**Kriteria**	**BIM 3D**		**BIM 5D**	
		Software	**Kontribusi**	***Software***	**Kontribusi**
LEED Versi 4.1	*Storage and Collection of Recyclables*	Autodesk Revit	Memberikan Kontribusi Dalam Kondisi Khusus	Cubicost TAS	Tidak Memberikan Kontribusi
	Building Life-Cycle Impact Reduction				
	Environmental Product Declarations		1. Visualisasi 2. Keterangan Material 3. *Input* Sertifikasi		
	Sourcing of Raw Materials		1. Visualisasi 2. Keterangan Material 3. *Input* Sertifikasi		*Quantity Take off*
	Material Ingredients		1. Visualisasi 2. Keterangan Material 3. *Input* Sertifikasi		Tidak Memberikan Kontribusi
	Construction and Demolition Waste Management		Tidak Memberikan Kontribusi		
Greenship Versi 1.2	*Fundamental Refrigerant*	Autodesk Revit	Tidak Memberikan Kontribusi	Cubicost TAS	Tidak Memberikan Kontribusi
	Building and Material Reuse				
	Enviromentally Friendly Material		1. Visualisasi 2. Keterangan Material 3. *Input* Sertifikasi		*Quantity Take off*
	Non ODS *Usage*		Tidak Memberikan Kontribusi		Tidak Memberikan Kontribusi
	Certified Wood		1. Visualisasi 2. Keterangan Material 3. *Input* Sertifikasi		*Quantity Take off*
	Prefab Material		1. Visualisasi 2. Keterangan Material		*Quantity Take off*
	Regional Material		1. Visualisasi 2. Keterangan Material *3. Input Google Maps*		*Quantity Take off*

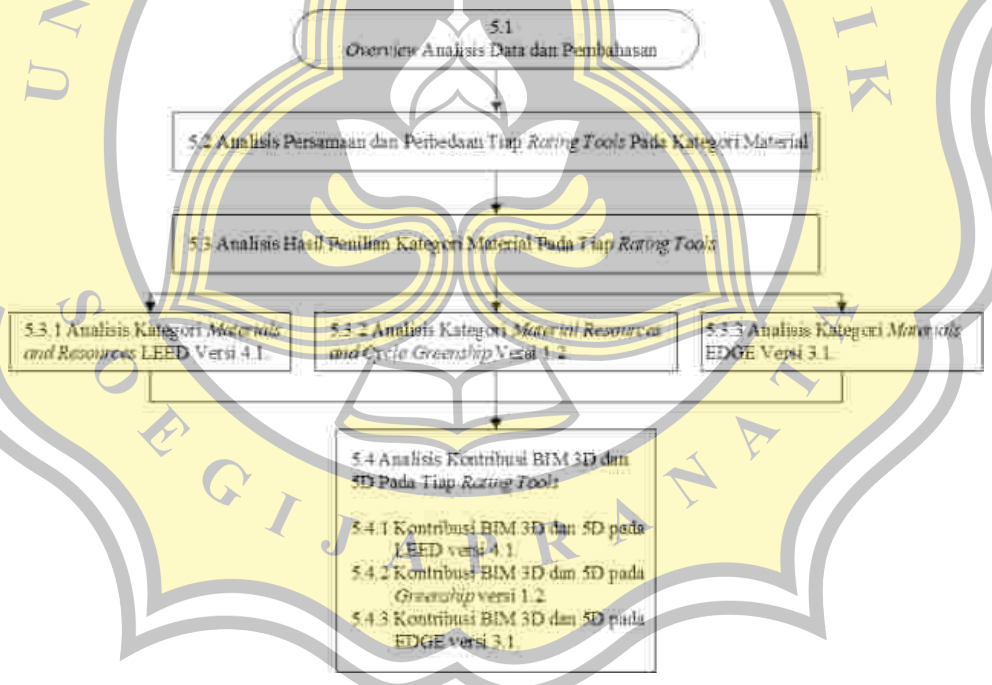
Tabel 4.23 Rekapitulasi Kontribusi BIM 3D dan 5D (Lanjutan)

Rating Tool	**Kriteria**	**BIM 3D**		**BIM 5D**	
		Software	**Kontribusi**	***Software***	**Kontribusi**
EDGE Versi 3.1	*Bottom Floor Construction*	Autodesk Revit	1. Visualisasi 2. Keterangan Material	Cubicost TAS	*Quantity Take off*
	Intermediate Floor Construction				
	Floor Finish				
	Roof Construction				
	Exterior Walls				
	Interior Walls				
	Window Frames				Tidak Memberikan Kontribusi
	Window Glazing				
	Roof Insulation		Tidak Memberikan Kontribusi		
	Wall Insulation				
	Floor Insulation				

BAB 5
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 *Overview* Analisis Data dan Pembahasan

Pada bab ini akan dijelaskan terkait analisis serta pembahasan hasil penelitian berdasarkan data yang telah diperoleh dan diolah pada Bab 4. Tujuan dari bab ini adalah untuk memberikan pemahaman terhadap data tersebut guna menjawab rumusan masalah serta mencapai tujuan penelitian yang telah ditentukan. Data yang digunakan sebagai dasar analisis mencakup *as built drawing* serta item pekerjaan material yang menjadi objek penelitian. *Overview* analisis data dan pembahasan yang digambarkan dalam bentuk *flowchart* didasarkan pada PMBOK 6th dan diperlihatkan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 *Overview* Analisis Data dan Pembahasan

Berdasarkan Gambar 5.1, pembahasan awal pada Subbab 5.2 akan menjelaskan mengenai analisis persamaan dan perbedaan kriteria penilaian kategori material pada LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1 sebagai *rating tools* yang digunakan dalam penelitian ini.

Analisis pada Subbab 5.3 akan menjabarkan secara detail mengenai hasil evaluasi komponen yang menjadi dasar perolehan nilai pada kategori material. Analisis pada Subbab 5.3.1 akan menjelaskan secara detail mengenai hasil evaluasi kategori *materials and resources* pada LEED versi 4.1. Analisis pada Subbab 5.3.2 akan menjelaskan secara detail mengenai hasil evaluasi kategori *material resources and cycle* pada *Greenship* versi 1.2. Analisis evaluasi terakhir dijelaskan pada Subbab 5.3.3 mengenai komponen yang menjadi dasar perolehan nilai *embodied carbon* dari elemen yang dihasilkan oleh bangunan pada kategori material EDGE versi 3.1. Analisis ini sekaligus menjadi dasar untuk menjawab tujuan penelitian pertama. Selanjutnya analisis tahap kedua menjadi dasar untuk menjawab tujuan kedua pada penilitan ini. Analisis ini difokuskan pada pembahasan kontribusi *Building Information Modeling* (BIM) 3D dan 5D pada tiap *rating tools* yang digunakan dalam penelitian ini.

5.2 Analisis Persamaan dan Perbedaan Tiap *Rating Tools* Pada Kategori Material

Berdasarkan penjabaran pada Subbab 4.2, Subbab ini membahas analisis persamaan dan perbedaan *rating tools* pada kategori material yang digunakan dalam penelitian, yaitu kategori *materials and resources* (MR) dalam LEED versi 4.1 dengan fokus pada perolehan sumber daya material yang bertanggung jawab, transparansi deklarasi ramah lingkungan produk, pelaporan kandungan material, dan pengelolaan limbah. Kategori *material resources and cycle* dalam *Greenship* versi 1.2 dengan fokus siklus hidup material, material ramah lingkungan, pengurangan *embodied carbon*, mengurangi limbah konstruksi, dan material yang tersertifikasi. Kategori *material* dalam EDGE versi 3.1 dengan fokus ke arah peninjauan *embodied carbon* dari elemen yang dihasilkan oleh bangunan. Analisis dilakukan untuk mengidentifikasi persamaan, perbedaan, dan keterkaitan kategori pada LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1. Adapun detail terkait keterkaitan kriteria kategori material pada LEED versi 4.1 dan *Greenship* versi 1.2 diperlihatkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Keterkaitan Antar Kriteria LEED versi 4.1 dengan *Greenship* Versi 1.2

Muatan	LEED Versi 4.1	*Greenship* Versi 1.2	Catatan
Penggunaan kembali material konstruksi	MR 01 *Building Life-Cycle Impact Reduction*	MRC 01 *Building and Material Reuse*	Pada LEED versi 4.1 menerapkan penggunaan kembali material berdasarkan luasan, sedangkan *Greenship* versi 1.2 menerapkan penggunaan kembali berdasarkan biaya material keseluruhan.
	Apabila dibandingkan dengan kriteria lain, penggunaan kembali material konstruksi memiliki keterkaitan dengan MR 03 *Sourcing of Raw Materials* pada salah satu tolok ukurnya menerapkan penggunaan kembali material.		
Material bersertifikat ramah lingkungan	MR 02 *Environmental Product Declarations*	MRC 02 *Enviromentally Friendly Material*	Pada LEED versi 4.1 menerapkan penggunaan material bersertifikat ramah lingkungan berdasarkan deklarasi, sedangkan *Greenship* versi 1.2 penggunaan material bersertifikat ramah lingkungan berdasarkan Sistem Manajemen Lingkungan (SML).
Upaya mereduksi *embodied carbon*	MR 02 *Environmental Product Declarations*	MRC 06 *Regional Material*	Pada LEED versi 4.1 salah satu tolok ukur menerapkan penggunaan material dengan laporan *embodied carbon*, sedangkan *Greenship* versi 1.2 bertujuan mengurangi *embodied carbon* pada moda transportasi.
Material dengan sumber yang bertanggung jawab	MR 03 *Sourcing of Raw Materials*	MRC 04 *Certified Wood*	Pada LEED versi 4.1 menerapkan penggunaan material secara umum dengan sumber yang bertanggung jawab, sedangkan *Greenship* versi 1.2 menerapkan penggunaan material secara spesifik, yakni kayu dengan sumber yang bertanggung jawab seperti sertifikat *Forest Stewardship Council* (FSC).
	Apabila dibandingkan dengan kriteria lain, penggunaan material dengan sumber yang bertanggung jawab memiliki keterkaitan dengan BEM 06 *Fit Out Agreement* yang salah satu syaratnya menggunakan kayu bersertifikat untuk material *fit-out.*		
Mengurangi *waste* konstruksi	MR 05 *Construction and Demolition Waste Management*	MRC 05 *Prefab Material*	Pada LEED versi 4.1 berupaya mengurangi limbah melalui daur ulang material konstruksi, sedangkan *Greenship* versi 1.2 berupaya mengurangi *waste* melalui penggunaan material modular.
	Apabila dibandingkan dengan kriteria lain, pengurangan *waste* konstruksi memiliki keterkaitan dengan BEM 02 *Pollution of Construction Activity* yang tolok ukurnya menerapkan *Waste Management Plant* (WMP) dengan tujuan mendorong pengurangan limbah konstruksi yang dikirim ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA).		

Tabel 5.1 Keterkaitan Antar Kriteria LEED versi 4.1 dengan *Greenship* Versi 1.2 (Lanjutan)

<table>
<tr><th>Muatan</th><th>LEED Versi 4.1</th><th>Greenship Versi 1.2</th><th>Catatan</th></tr>
<tr><td>Pengelolaan limbah konstruksi</td><td>MR P Storage and Collection of Recyclables</td><td>BEM P Basic Waste Management</td><td>Pada LEED versi 4.1 bertujuan mengelola limbah konstruksi dengan penyediaan fasilitas pengelolaan limbah, sedangkan di Greenship versi 1.2 tidak ada kriteria dari kategori Material Resources and Cycle (MRC) yang memiliki kesamaan dengan LEED versi 4.1, namun diakomodir oleh kategori Building Environment Management (BEM).</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Data bahan kimia material</td><td rowspan="2">MR 04 Material Ingredients</td><td>MRC P Fundamental Refrigerant</td><td rowspan="2">Pada LEED versi 4.1 bertujuan agar material memiliki data bahan kimia yang dapat berdampak bagi kesehatan fase konstruksi dan operasional. sedangkan Greenship versi 1.2 bertujuan menggunakan bahan refrigeran yang tidak mengandung Chloro Fluoro Carbon (CFC) dan Hydro Chloro Fluoro Carbon (HCFC) yang dapat merusak lapisan ozon atau Ozone Depletion Potential (ODP).</td></tr>
<tr><td>MRC 03 Non ODS Usage</td></tr>
<tr><td colspan="3">Apabila dibandingkan dengan kriteria lain, data bahan kimia material memiliki keterkaitan dengan:
1. IEQ 02 Low-Emitting Materials salah satu tolok ukurnya menerapkan kandungan Volatile Organic Compounds (VOC) pada cat yang rendah.
2. IHC 03 Chemical Pollutant yang tolok ukurnya menerapkan kandungan Volatile Organic Compounds (VOC) pada cat yang rendah dengan menyertakan sertifikasinya dan meningkatkan penggunaan kayu komposit dengan emisi formaldehida yang rendah pada laminating adhesive.
3. EA P4 Fundamental Refrigerant Management memiliki tujuan agar menggunakan bahan refrigeran bebas Chloro Fluoro Carbon (CFC) dan Hydro Chloro Fluoro Carbon (HCFC).
4. EA 06 Enhanced Refrigerant Management memiliki persyaratan agar menggunakan bahan refrigeran yang tidak merusak lapisan ozon.</td></tr>
</table>

Berdasarkan Tabel 5.1, dapat diidentifikasi bahwa adanya keterkaitan antara kriteria yang terdapat dalam LEED versi 4.1 dan *Greenship* versi 1.2, khususnya dalam aspek pemilihan material bangunan. Kedua *rating tools* tersebut menunjukkan persamaan penilaian yang menghasilkan *output* berupa poin pada kategori material. Namun perbandingan secara langsung antara kedua *rating tools* tersebut dengan EDGE versi 3.1 tidak dapat dilakukan, karena terdapat perbedaan yang mendasar dalam proses penilaian yang diterapkan. Pada EDGE versi 3.1 secara khusus berfokus pada penilaian elemen bangunan, dengan menghasilkan keluaran berupa nilai *embodied carbon* sebagai indikator utama penilaian kategori material. Perbedaan mendasar dan keluaran penilaian yang menyebabkan ketiga *rating tools* tersebut tidak dapat diperbandingkan dalam satu kerangka analisis yang sama. Selanjutnya untuk tetap dapat mengidentifikasi hubungan antara ketiga *rating tools* ini, keterkaitan antara kriteria LEED versi 4.1 dan *Greenship* versi 1.2 dengan EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Tabel 5.2. Penjelasan secara detail untuk keterkaitan kriteria kategori material dari ketiga *rating tools* tersebut diperlihatkan pada Lampiran LJ.

Berdasarkan keterkaitan muatan kriteria kategori material antara LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1 yang telah dijabarkan pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2, analisis kemudian dilanjutkan dengan melakukan perbandingan teknis secara umum terhadap masing-masing *rating tools* tersebut. Perbandingan teknis ini bertujuan untuk memperoleh gambaran yang lebih menyeluruh mengenai karakteristik serta pendekatan penilaian material yang diterapkan oleh masing-masing *rating tools*. Melalui perbandingan ini, dapat diidentifikasi perbedaan maupun persamaan yang terdapat di antara ketiga *rating tools* tersebut, baik dari segi cakupan kriteria, metode penilaian, maupun indikator yang digunakan sebagai tolok ukur penilaian material bangunan. Pemahaman terhadap aspek-aspek teknis tersebut menjadi penting sebagai dasar dalam menentukan relevansi dan keunggulan masing-masing sistem rating dalam konteks penerapannya. Adapun hasil perbandingan teknis secara umum dari masing-masing *rating tools* tersebut diperlihatkan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.2 Keterkaitan Kriteria LEED Versi 4.1 dan *Greenship* Versi 1.2 dengan EDGE Versi 3.1

Rating Tools			***Rating Tools***	**Fokus Pekerjaan**	**Catatan**
LEED Versi 4.1	***Greenship* Versi 1.2**		**EDGE Versi 3.1**		
1. *Storage and Collection of Recyclables* 2. *Building Life-Cycle Impact Reduction* 3. *Environmental Product Declarations* 4. *Sourcing of Raw Materials* 5. *Material Ingredients* 6. *Construction and Demolition Waste Management*	1. *Fundamental Refrigerant* 2. *Builiding and Material Reuse* 3. *Enviromentally Friendly Material* 4. Non ODS *Usage* 5. *Certified Wood* 6. *Prefab Material* 7. *Regional Material*	**VS**	*Bottom Floor Construction* (MEM01)	Struktur	Tidak Ada Catatan
			Intermediate Floor Construction (MEM02)		
			Roof Construction (MEM04)		Jika dibandingkan dengan kriteria lain, kriteria ini berkaitan dengan EEM 02 *Reflective Roof* berfokus pada *Solar Reflectance Index* (SRI) dari material atap.
			Floor Finish (MEM03)	Arsitektur	Tidak Ada Catatan
			Interior Walls (MEM06)		
			Window Frames (MEM07)		
			Wall Insulation (MEM10)		
			Roof Insulation (MEM09)		
			ExteriorWalls (MEM05)		Jika dibandingkan kriteria lain, kriteria ini berkaitan dengan: 1. EEM 01 *Window to Wall Ratio* karena kedua kriteria ini menggunakan aspek rasio perbandingan dinding terhadap jendela dalam pelaksanaannya. 2. EEM 03 *Reflective Walls* karena kedua kriteria ini berfokus pada *Exterior Walls*, Namun kriteria ini meninjau *Solar Reflectance Index* (SRI).

Tabel 5.2 Keterkaitan Kriteria LEED Versi 4.1 dan *Greenship* Versi 1.2 dengan EDGE Versi 3.1 (Lanjutan)

Rating Tools			***Rating Tools***	**Fokus Pekerjaan**	**Catatan**
LEED Versi 4.1	***Greenship* Versi 1.2**		**EDGE Versi 3.1**		
1. *Storage and Collection of Recyclables* 2. *Building Life-Cycle Impact Reduction* 3. *Environmental Product Declarations* 4. *Sourcing of Raw Materials* 5. *Material Ingredients* 6. *Construction and Demolition Waste Management*	1. *Fundamental Refrigerant* 2. *Builiding and Material Reuse* 3. *Enviromentally Friendly Material* 4. Non ODS *Usage* 5. *Certified Wood* 6. *Prefab Material* 7. *Regional Material*	**VS**	*Window Glazing* (MEM08)	Arsitektur	Jika dibanding kriteria lain, kriteria ini berkaitan dengan: 1. EEC 01 *Energy Efficiency Measures* pada salah satu tolok ukurnya memiliki syarat nilai perpindahan termal maksimal 35 W/m^2. 2. EEM 09 *Efficiency of Glass* meninjau peforma termal dan operasional energi kaca jendela dengan parameter U-*Value* yang satuannya W/m^2 K.
			Floor Insulation (MEM11)		Jika dibandingkan kriteria lain, kriteria ini berkaitan dengan: 1. EEM 05 *Insulation of Roof* berfokus pada parameter U-*Value* dari material insulasi atap. 2. EEM 06 *Insulation of Ground/Raised Floor Slab* berfokus pada parameter U-*Value* dari material insulasi lantai. 3. EEM 08 *Insulation of Exterior Walls* berfokus pada parameter U-*Value* dari material insulasi dinding eksterior.

Tabel 5.3 Perbandingan Teknis Kriteria Antara LEED Versi 4.1, *Greenship* Versi 1.2, dan EDGE Versi 3.1

Perbandingan	**LEED Versi 4.1**	***Greenship* Versi 1.2**	**EDGE Versi 3.1**	**Keterangan**
Tujuan	Sistem evaluasi standar internasional yang mendorong penerapan bangunan hijau	Sistem evaluasi standar nasional yang menerapkan bangunan hijau	Adopsi bangunan hijau dengan pendekatan melalui efisiensi energi, material, dan air secara kualitatif	Identik
Prasyarat	Memiliki prasyarat kriteria untuk evaluasi penilaian	Memiliki prasyarat kriteria untuk evaluasi penilaian	Tidak memiliki prasyarat untuk evaluasi penilaian	Berbeda
Perhitungan	Perhitungan manual untuk hasil evaluasi tiap kriteria	Perhitungan manual untuk hasil evaluasi tiap kriteria	Perhitungan otomatis (*web based*) untuk hasil evaluasi tiap kriteria	Berbeda
Siklus Hidup Bangunan	1. *Building Design and Construction* (BD+C) 2. *Interior Design and Construction* (ID+C) 3. *Operations and Maintenance* 4. *Neighborhood Development* 5. *Homes*	1. *New Building* 2. *Existing Building* 3. *Interior Space* 4. *Neighborhood*	1. *New Building* (*Post Construction*) 2. *Existing Building* 3. *Retrofit*	Berbeda
Evaluator	*Green Business Certification Inc* (GBCI)	1. PT. Sertifikasi Bangunan Hijau 2. PT. Sucofindo	*Green Business Certification Inc* (GBCI)	Berbeda
Luas Bangunan	1. Luas minimum 93 m^2 (BD+C) 2. Luas minimum 22 m^2 (ID+C)	2.500 m^2	Tidak Ada	Berbeda
Skala Sertifikasi	Global	Indonesia	Global	Berbeda

5.3 Analisis Hasil Penilaian Kategori Material Pada Tiap *Rating Tools*

Berdasarkan tujuan penelitian yang pertama maka akan dilakukan analisis hasil penilaian antar *rating tools* kategori material untuk sertifikasi bangunan hijau. Analisis hasil penilaian kategori material pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang berdasarkan *rating tools* yang digunakan dalam penelitian, yaitu LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1. Pembahasan dalam subbab ini mencakup capaian skor yang diperoleh proyek pada kategori material, pemenuhan prasyarat pada tiap *rating tools*, serta faktor yang memengaruhi pencapaian nilai tersebut. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai perbandingan penilaian kategori material pada LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1, sekaligus menunjukkan tingkat kontribusi penerapan material berkelanjutan pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang dalam mendukung konsep *green building*.

5.3.1 Analisis kategori *materials and resources* LEED versi 4.1

Berdasarkan hasil pengolahan data pada Subbab 4.3 maka evaluasi kategori material menggunakan LEED versi 4.1 dijabarkan sebagai berikut:

1. *Storage and Collection of Recyclables*

   Storage and Collection of Recyclables merupakan kriteria prasyarat pada kategori *materials and resources*. Tujuan utama dari kategori ini adalah menyediakan sarana penyimpanan dan pengumpulan material daur ulang yang mudah dijangkau guna menekan timbulnya limbah dari para penghuni gedung, sekaligus mengurangi volume sampah yang dikirim ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Berdasarkan evaluasi penilaian tolok ukur pada kriteria *Storage and Collection of Recyclables*, Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang **tidak memenuhi kriteria dan prasyarat ini** karena proyek **melibatkan pihak ketiga dalam penyediaan ruang khusus yang berfungsi sebagai pengumpulan, penyimpanan, dan pengelolaan limbah untuk material yang digunakan dalam proyek ini**.

2. *Building Life-Cycle Impact Reduction*

   Building Life-Cycle Impact Reduction merupakan kriteria pertama pada kategori *materials and resources*. Tujuan utama dari kategori ini adalah memaksimalkan penggunaan kembali material dan meminimalkan dampak lingkungan saat konstruksi. Tolok ukur kriteria ini merupakan perolehan maksimal 5 poin melalui penggunaan kembali material *existing* seperti dinding, atap, lantai dan selubung bangunan yang diperlihatkan pada Tabel 2.9. Berdasarkan evaluasi penilaian tolok ukur pada kriteria *Building Life-Cycle Impact Reduction*, Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang **tidak memenuhi kriteria ini** karena proyek **tidak menggunakan kembali material *existing***.

3. *Environmental Product Declarations*

   Environmental Product Declarations merupakan kriteria kedua pada kategori *materials and resources*. Kriteria ini memiliki tujuan untuk mendorong penggunaan produk dan material bangunan yang memiliki informasi dampak lingkungan berbasis siklus hidup yang transparan seperti *Life Cycle Assessment*. Berdasarkan tolok ukur yang telah dijelaskan pada Subbab 4.3, kriteria *Environmental Product Declarations* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang **memenuhi kriteria namun hanya pada 1 tolok ukur**. Hal ini dibuktikan dengan penjabaran material pada Tabel 4.8 yang **melampirkan sertifikat *Environmental Product Declarations* yang menggunakan 20 jenis produk yang berasal dari 5 jenis produsen berbeda**. Oleh karena itu, untuk kriteria ini memperoleh poin **1**.

4. *Sourcing of Raw Materials*

   Sourcing of Raw Materials merupakan kriteria ketiga pada kategori *materials and resources*. Kriteria ini bertujuan untuk mendorong pemilihan bahan baku yang bersumber dari praktik yang bertanggung jawab guna meminimalkan dampak terhadap lingkungan. Berdasarkan tolok ukur yang telah dijelaskan, kriteria *Sourcing of Raw Materials* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran

Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang **tidak memenuhi kriteria ini**. Hal ini dibuktikan dengan penjabaran total biaya material *sourcing of raw material* pada Tabel 4.9 yang **hanya memenuhi persyaratan sebesar Rp. 10.467.209.026 (12,24%) atau kurang dari 15% total biaya material keseluruhan**.

5. *Material Ingredients*

Material Ingredients merupakan kriteria keempat pada kategori *materials and resources*. Kriteria ini memiliki tujuan utama yang mendasar, yakni untuk memastikan bahwa setiap kandungan bahan kimia yang terkandung dalam berbagai jenis material yang digunakan dalam proses pembangunan dapat dilaporkan secara transparan kepada seluruh pihak yang berkepentingan. Pengelolaan yang baik terhadap kandungan bahan kimia dapat mengurangi risiko bagi kesehatan dan lingkungan. Berdasarkan tolok ukur yang telah dijelaskan, kriteria *Material Ingredients* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang **tidak memenuhi kriteria ini**. Hal ini dibuktikan dengan penjabaran material pada Tabel 4.10 yang **hanya menggunakan 10 produk dari 20 produk dan berasal dari 5 produsen yang berbeda.**

6. *Construction and Demolition Waste Management*

Construction and Demolition Waste Management merupakan kriteria kelima pada kategori *materials and resources*. Kriteria ini bertujuan menekan jumlah limbah konstruksi dan pembongkaran yang berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) maupun fasilitas insinerasi melalui upaya pencegahan limbah, penggunaan kembali, pemulihan, serta daur ulang material. Berdasarkan tolok ukur yang telah dijelaskan, kriteria *Construction and Demolition Waste Management* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang **tidak memenuhi kriteria ini**. Hal ini dikarenakan, Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang **tidak menerapkan manajemen limbah material proyek**.

Berdasarkan penjabaran kriteria pada kategori *Materials and Resources* tersebut maka rekapitulasi hasil penilaian kategori *Materials and Resources* LEED versi 4.1 diperlihatkan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Hasil Penilaian Kategori *Materials And Resources* LEED Versi 4.1

Kriteria		Poin	Keterangan
Storage and Collection of Recyclables	MR P	P	Tidak terpenuhi karena proyek melibatkan pihak ketiga dalam ruang khusus untuk pengumpulan, penyimpanan, dan pengelolaan limbah.
Building Life-Cycle Impact Reduction	MR 01	0	Tidak terpenuhi karena proyek ini tidak menggunakan material *existing*.
Environmental Product Declarations	MR 02	1	Hanya 1 dari 2 tolok ukur terpenuhi karena hanya melampirkan sertifikat *Environmental Product Declarations* dari 20 produk dengan 5 produsen berbeda.
Sourcing of Raw Materials	MR 03	0	Tidak terpenuhi karena pada proyek ini hanya memenuhi persyaratan sebesar 12,24% atau kurang dari 15% total biaya material.
Material Ingredients	MR 04	0	Tidak terpenuhi karena proyek ini hanya menggunakan 10 produk dari 20 produk dan berasal dari 5 produsen yang berbeda.
Construction and Demolition Waste Management	MR 05	0	Tidak terpenuhi karena proyek ini tidak menerapkan manajemen limbah material proyek.
Total Poin Kategori *Materials And Resources*			1 poin dari total maksimum 13 poin

Berdasarkan rekapitulasi hasil penilaian kategori tersebut, meskipun skor yang dapat diperoleh adalah 1 poin dari 13 poin, sertifikasi ini tidak berlaku karena prasyarat LEED versi 4.1 belum terpenuhi. Hal ini dikarenakan Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang tidak menyediakan ruang khusus yang berfungsi sebagai pengumpulan, penyimpanan, dan pengelolaan limbah untuk material yang digunakan dalam proyek ini.

Kriteria *Storage and Collection of Recyclables* (MR P) dan *Construction and Demolition Waste Management* (MR 05) sulit dipenuhi karena bangunan di Indonesia seringkali menggunakan pihak ketiga di luar *site* sebagai wilayah pengumpulan, penyimpanan, dan pengelolaan limbah. Kriteria adalah *Building*

Life-Cycle Impact Reduction (MR 01). Kriteria ini memiliki hambatan dalam penggunaan kembali material karena industri konstruksi terbiasa dengan sistem perolehan-manufaktur-pembuangan dan kurangnya kebijakan pendukung.

Terdapat dua kriteria yang tingkat pencapaiannya masih tergolong rendah, yaitu kriteria *Sourcing of Raw Materials* (MR 03) dan kriteria *Material Ingredients* (MR 04). Rendahnya capaian pada kedua kriteria tersebut disebabkan oleh kondisi pemenuhan persyaratan yang ditetapkan dalam kedua kriteria ini, umumnya lebih mudah dipenuhi oleh vendor yang menawarkan produk – produk *import*. Kondisi ini mendorong penggunaan material yang eksploitasi bahan bakunya membebani sumber daya alam. Material yang dipilih dapat mengandung zat kimia berisiko yang berpotensi membahayakan kesehatan penghuni bangunan.

Kriteria yang sudah baik capaiannya adalah kriteria *Environmental Product Declarations* (MR 02) karena kriteria ini berlandaskan ISO 14025 yang deklarasi lingkungannya berbasis data kuantitatif yang terverifikasi pihak ketiga. ISO 14040 dan 14044 yang mengatur metodologi *Life Cycle Assessment* (LCA) sehingga dapat mengurangi dampak lingkungan.

Berdasarkan evaluasi kategori *materials and resources* dalam LEED versi 4.1, apabila dibandingkan dengan penelitian Amiri., dkk, (2021), fokusnya meninjau seberapa berdampak kontribusi *rating tools* LEED dalam rangka pengurangan emisi karbon dengan perbandingan bangunan yang menggunakan beton, campuran beton dan kayu, serta sepenuhnya kayu. Adapun penelitian Gurgun., dkk., (2015) menyatakan bahwa seleksi material konstruksi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan berdasarkan LEED merupakan kategori yang dapat diaplikasikan di Negara India dan Abu Dhabi. Terdapat sedikit perbedaan dengan penelitian sebelumnya, pada penelitian ini berfokus pada jumlah poin yang dapat diperoleh menggunakan LEED versi 4.1 dengan fokus terhadap kategori *materials and resources*. Penelitian ini memiliki tujuan yang sama yakni meninjau penerapan keberlanjutan dari sebuah gedung dengan *rating tools* LEED. Penelitian ini telah sesuai dengan kedua penelitian sebelumnya, maka penelitian ini relevan dengan penelitian sebelumnya.

5.3.2 Evaluasi Kategori *Material Resources and Cycle Greenship* Versi 1.2

Berdasarkan hasil pengumpulan data Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata Semarang maka evaluasi material menggunakan *Greenship* versi 1.2 dilakukan pada seluruh kriteria material yang dijabarkan sebagai berikut:

1. *Fundamental Refigerant*

   Kriteria ini termasuk dalam prasyarat pada *Greenship* versi 1.2, yang berfungsi sebagai dasar penilaian untuk menentukan kelayakan dalam melanjutkan ke tahap perhitungan sertifikasi bangunan hijau pada kategori *material resources and cycle*. Berdasarkan evaluasi penilaian tolok ukur bahan *refigerant* dan bahan pemadam kebakaran pada kriteria *fundamental refigerant* pada Subbab 4.4, Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang **telah memenuhi kriteria dan prasyarat ini** karena proyek ini **menggunakan bahan refrigeran yang tidak mengandung *chloro fluoro carbon* (CFC)** sesuai dengan Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.

2. *Building and material reuse*

   Building and material reuse merupakan kriteria pertama pada kategori *material resources and cycle*. Kategori ini bertujuan memanfaatkan material bongkaran atau bekas dari lokasi lain untuk meminimalkan kebutuhan bahan baru, sekaligus menekan limbah dan memperpanjang umur material. Berdasarkan tolok ukur yang telah dijelaskan pada Subbab 4.4, kriteria *building and material reuse* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang **tidak memenuhi kriteria**. Hal ini dikarenakan, Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang **tidak menggunakan kembali material bekas**, baik dari bangunan lama maupun tempat lain. Oleh karena itu, kriteria ini **mendapatkan 0 poin**.

3. *Environmentally Friendly Material*

   Environmentally friendly material merupakan kriteria kedua pada kategori *material resources and cycle*. Tujuan utama dari kategori ini adalah mengurangi jejak ekologi dari proses perolehan bahan mentah dan proses produksi material.

Berdasarkan tolok ukur yang telah dijelaskan pada Subbab 4.4, kriteria *environmentally friendly material* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang **memenuhi kriteria namun hanya pada 1 tolok ukur**. Hal ini dibuktikan dengan penjabaran material pada Tabel 4.12 yang **melampirkan sertifikat SML yang bernilai Rp. 25.105.200.590 (30,3%) atau lebih dari 30% total biaya material**. Oleh karena itu, untuk kriteria ini mendapatkan **1 poin**.

4. Non ODS *Usage*

   Non ODS *usage* merupakan kriteria ketiga pada kategori *material resources and cycle*. Tujuan utama dari kategori ini adalah menggunakan bahan yang tidak memiliki potensi merusak ozon. Kriteria ini sama dengan kriteria prasyarat sehingga **jika kriteria prasyarat terpenuhi maka untuk kriteria ini juga secara langsung terpenuhi** dan mendapatkan **2 poin**.

5. *Certified Wood*

   Certified wood merupakan kriteria keempat pada kategori *material resources and cycle*. Tujuan utama dari kategori ini adalah menggunakan bahan baku yang dapat dipertanggungjawabkan asal usulnya untuk melindungi kelestarian hutan. Berdasarkan tolok ukur yang telah dijelaskan pada Subbab 4.4, kriteria *certified wood* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang **memenuhi kriteria pada 2 tolok ukur**. Hal tersebut dibuktikan dengan penjabaran material pada Tabel 4.13 yang melampirkan **sertifikat legalitas kayu yang bernilai 100% dari total biaya material kayu untuk tolok ukur pertama dan 34,31% atau lebih dari 30% total biaya kayu memiliki Sertifikat FSC untuk tolok ukur kedua**. Oleh karena itu, kriteria ini mendapatkan 2 poin.

6. *Prefab Material*

   Prefab material merupakan kriteria kelima pada kategori *material resources and cycle*. Tujuan utama dari kategori ini adalah meningkatkan efisiensi dalam penggunaan material dan mengurangi limbah konstruksi yang berasal dari sisa material. Berdasarkan tolok ukur yang telah dijelaskan pada Subbab 4.4, kriteria

prefab material pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang **telah memenuhi kriteria tersebut**. Hal tersebut dibuktikan dengan penjabaran material pada Tabel 4.14 yang **menggunakan material prafabrikasi yang bernilai Rp. 26.270.494.124 (30,71%) atau lebih dari 30% total biaya material**. Oleh karena itu, untuk kriteria ini mendapatkan **3 poin**.

7. *Regional Material*

   Regional material merupakan kriteria keenam sekaligus kriteria terakhir pada kategori *material resources and cycle*. Kategori ini bertujuan menekan emisi karbon dari moda transportasi sekaligus mendorong pertumbuhan ekonomi lokal. Berdasarkan tolok ukur yang telah dijelaskan pada Subbab 4.4, kriteria *regional material* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang **memenuhi kriteria namun hanya pada 1 tolok ukur**. Hal ini tersebut dibuktikan dengan penjabaran material pada Tabel 4.15 yang menggunakan material yang lokasi asal bahan baku utama dan pabrikasinya berada di dalam radius 1.000 km dari lokasi proyek yang **bernilai Rp. 43.559.427.944 (50,93%) atau lebih dari 50% total biaya material.** Oleh karena itu, untuk kriteria ini mendapatkan **1 poin**.

Berdasarkan evaluasi tersebut, Tabel 5.5 memperlihatkan rekapitulasi poin pada kategori *material resources and cycle* yang didapatkan pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Poin Kategori *Material Resources And Cycle*

Kriteria		Poin	Keterangan
Fundamental Refrigerant	MRC P	P	Terpenuhi karena proyek ini menggunakan bahan refrigeran yang tidak mengandung *chloro fluoro carbon* (CFC).
Builiding and Material Reuse	MRC 01	0	Tidak terpenuhi karena proyek ini tidak menggunakan material bekas.
Enviromentally Friendly Material	MRC 02	1	Terpenuhi hanya 1 dari 3 tolok ukur karena proyek ini melampirkan sertifikat SML yang bernilai 30,3% atau lebih dari 30% total biaya material.
Non ODS *Usage*	MRC 03	2	Terpenuhi karena kriteria prasyarat telah terpenuhi.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Poin Kategori *Material Resources And Cycle* (Lanjutan)

Kriteria		Poin	Keterangan
Certified Wood	MRC 04	2	Terpenuhi karena melampirkan sertifikat legalitas kayu yang bernilai 100% dari total biaya material kayu dan 34,31% atau lebih dari 30% total biaya kayu memiliki Sertifikat FSC.
Prefab Material	MRC 05	3	Terpenuhi karena menggunakan material prafabrikasi yang bernilai 30,71% atau lebih dari 30% total biaya material.
Regional Material	MRC 06	1	Terpenuhi hanya 1 dari 2 tolok ukur karena penggunaan material yang lokasi asal bahan bakunya berjarak 1.000 km dari lokasi proyek, senilai 50,93% atau lebih dari 50% total biaya material.
Total Poin Kategori MRC		9 poin dari total maksimum 14 poin	

Berdasarkan Tabel 5.5, Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang memperoleh **total nilai sebesar 9 poin pada kategori *material resources and cycle***. Pembuktian terhadap pemenuhan kriteria berdasarkan tolok ukur dinyatakan dapat diterima apabila dokumen yang dipersyaratkan telah dilengkapi. Kriteria yang seringkali sulit dipenuhi adalah *Builiding and Material Reuse* (MRC 01) yang tujuannya meningkatkan penggunaan kembali material bangunan *existing*. Penyebabnya ialah material bangunan *existing* umumnya tidak dirancang sejak awal dengan mempertimbangkan kemungkinan untuk digunakan kembali pada proyek berikutnya.

Kriteria yang masih rendah capaiannya adalah *Environmentally Friendly Material* (MRC 02) karena sebagian besar bangunan di Indonesia masih jarang menggunakan material daur ulang dan material dengan masa panen jangka pendek. Hal ini membuat konsep keberlanjutan sulit terwujud dan menekan perolehan sumber daya alam. Selain MRC 02, kriteria *Regional Material* (MRC 06) juga masih rendah capaiannya karena banyak menggunakan material *import* sehingga membuat kurangnya dukungan terhadap produsen lokal. Hal ini berpotensi membuat ketergantungan *import* material yang meningkatkan *embodied carbon* karena semakin jauh jarak pabrikasi menuju ke proyek.

Kriteria yang sudah baik capaiannya adalah Kriteria *Fundamental Refrigerant* (MRC P) dan Non ODS *Usage* (MRC 03) karena sejak tahap perencanaan, gedung

sudah didesain menggunakan sistem pendingin bebas zat perusak ozon, sehingga mengurangi potensi pemanasan global. Kriteria lain ialah *certified wood* (MRC 04) mensyaratkan penggunaan kayu yang legal, seiring meningkatnya regulasi legalitas kayu di Indonesia dan kesadaran global terhadap deforestasi. Kriteria yang baik capaiannya adalah *Prefab Material* (MRC 05) untuk mencegah limbah baru dengan meminimalkan sisa material. Kriteria ini mempercepat konstruksi karena komponen diproduksi terlebih dahulu dan langsung dirakit di lokasi.

Berdasarkan evaluasi kategori *material resources and cycle* dalam *Greenship* versi 1.2, jika dibandingkan penelitian milik Ongkowijaya dan Alexander (2023), penelitian ini berfokus pada seberapa banyak poin yang dapat diperoleh menggunakan *Greenship* versi 1.2 pada seluruh kategori. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Al-Abkhas, dkk., (2025), Berfokus pada keberlanjutan penggunaan material substitusi dalam kategori *Material Resources and Cycle Greenship* versi 1.2. Keduanya memiliki tujuan serupa, yakni meninjau dampak penerapan *Greenship* versi 1.2 sebagai *rating tools* bangunan hijau.

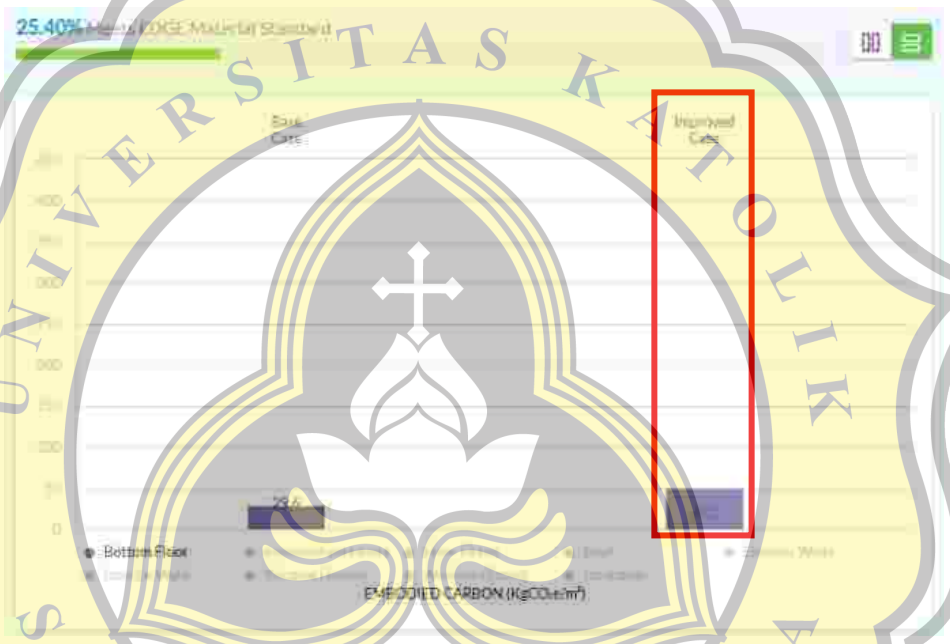
5.3.3 Evaluasi kategori *materials* EDGE Versi 3.1

Berdasarkan hasil pengumpulan data Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata Semarang BSB *City* maka didapatkan analisis berupa tampilan grafik *embodied carbon* pada *base case* dan *improvement case*. *Improvement case* merepresentasikan kondisi aktual dari penelitian yang sedang dilakukan, sedangkan *base case* mengilustrasikan pelaksanaan konstruksi standar yang berlaku selama tiga tahun terakhir, sesuai ketentuan dari EDGE versi 3.1. EDGE versi 3.1 pada kategori material menganalisis nilai *embodied carbon* berdasarkan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) tahap *Cradle to Gate*. Pendekatan ini menilai dampak lingkungan yang dihitung tahap A1: *raw materials*, A2: *transport*, dan A3: *manufacturing*. Tahap A1 merupakan proses perolehan material, tahap A2 merupakan pengiriman dari lokasi perolehan material sampai ke pabrikasi, sedangkan tahap A3 merupakan proses produksi material pada lokasi pabrikasi.

Evaluasi material EDGE versi 3.1 pada seluruh kriteria dijabarkan sebagai berikut:

1. *Bottom Floor Construction*

   Berdasarkan data yang sudah dijabarkan pada Gambar 4.10, pengaplikasian *bottom floor construction* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang didapatkan hasil *embodied carbon* sebesar 50,3 $kgCO_2e/m^2$. Nilai *embodied carbon* dari perhitungan EDGE pada *bottom floor construction* diperlihatkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 *Embodied Carbon Bottom Floor Construction* (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

Berdasarkan Gambar 5.2 memperlihatkan dua jenis grafik, yaitu *base case* dan *improvement case*. Namun, hasil yang menjadi fokus penelitian adalah bagian yang ditandai dengan warna merah. Grafik *improvement case* menunjukkan nilai *embodied carbon* sebesar 50,3 $kgCO_2e/m^2$, sedangkan *base case* sebesar 29,6 $kgCO_2e/m^2$. Peningkatan nilai *embodied carbon* pada *improvement case* disebabkan oleh adanya 2 ketebalan pada *bottom floor construction*, yaitu 200 mm dan 150 mm. Sementara itu, kondisi *base case* umumnya hanya menggunakan 1 jenis yakni 120 mm. Menurut Jayasinghe., dkk, (2022), parameter ketebalan pelat lantai beton bertulang mempengaruhi *output embodied*

carbon. Perbedaan tersebut berdampak pada peningkatan volume material yang digunakan, sehingga menyebabkan kenaikan nilai *embodied carbon* pada *improvement case* dibandingkan dengan *base case*.

2. *Intermediate Floor Construction*

Berdasarkan data yang sudah dijabarkan pada Gambar 4.12, pengaplikasian *intermediate floor construction* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang didapatkan hasil *embodied carbon* sebesar 131,8 $kgCO_2e/m^2$. Hasil nilai *embodied carbon* yang dikeluarkan dari perhitungan EDGE pada *intermediate floor construction* diperlihatkan pada Gambar 5.3.



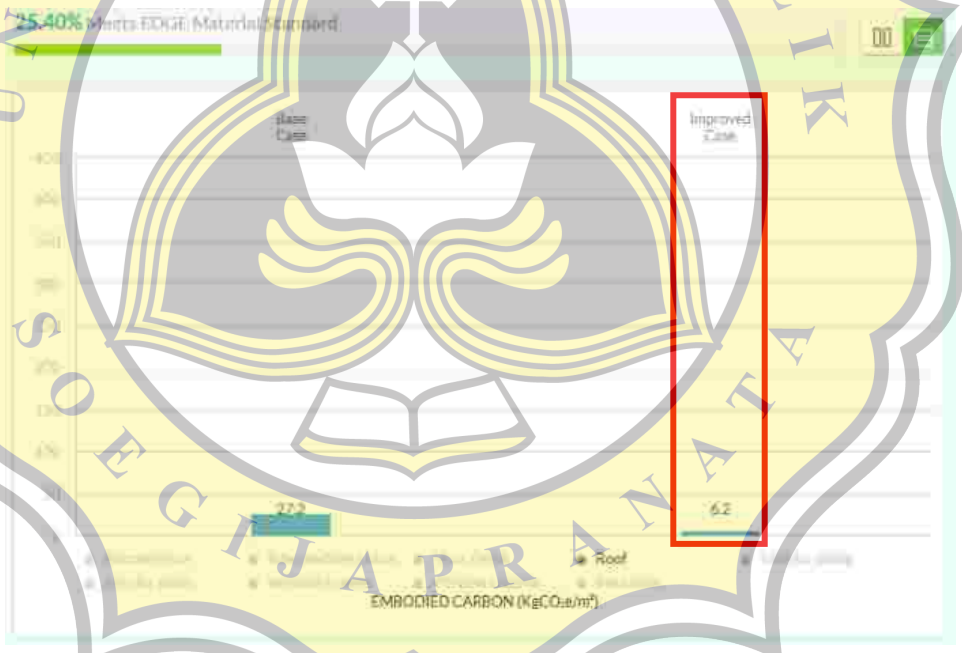
Gambar 5.3 *Embodied Carbon Intermediate Floor Construction* (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuilding.com/project/allBuildings)

Berdasarkan Gambar 5.3 memperlihatkan dua jenis grafik, yaitu *base case* dan *improvement case*. Namun, hasil yang menjadi fokus penelitian adalah bagian yang ditandai dengan warna merah. Grafik *improvement case* menunjukkan nilai *embodied carbon* sebesar 131,8 $kgCO_2e/m^2$, sedangkan *base case* sebesar 236,5 $kgCO_2e/m^2$. Penurunan nilai *embodied carbon* pada *improvement case* disebabkan oleh ketebalan pada *intermediate floor construction* sebesar 120 mm.

Sementara itu, kondisi *base case* umumnya menggunakan ketebalan 150 mm. Variabel ketebalan pelat lantai beton bertulang berpengaruh langsung terhadap besarnya nilai *embodied carbon* yang dihasilkan dalam kalkulasi (Jayasinghe., dkk, 2022). Perbedaan tersebut berdampak pada penurunan volume material yang digunakan, sehingga menyebabkan penurunan nilai *embodied carbon* pada *improvement case* dibandingkan dengan *base case*.

3. *Roof Construction*

Berdasarkan data yang sudah dijabarkan pada Gambar 4.16, pengaplikasian *roof construction* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang didapatkan hasil *embodied carbon* sebesar 6,2 $kgCO_2e/m^2$. Hasil nilai *embodied carbon* yang dikeluarkan dari perhitungan EDGE pada *roof construction* diperlihatkan pada Gambar 5.4.



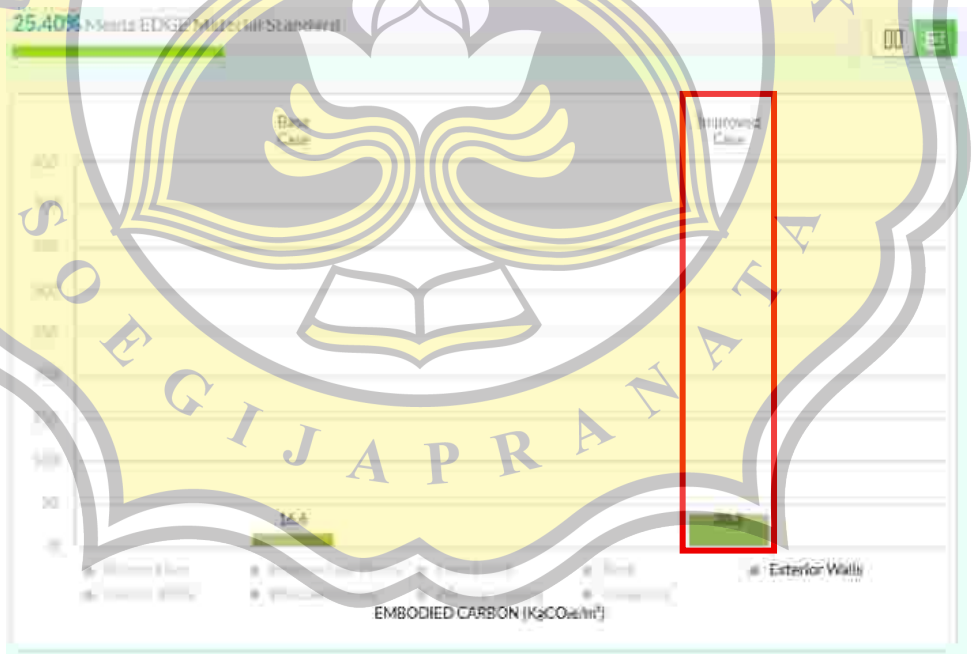
Gambar 5.4 *Embodied Carbon Roof Construction* (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

Berdasarkan Gambar 5.4 memperlihatkan dua jenis grafik, yaitu *base case* dan *improvement case*. Namun, hasil yang menjadi fokus penelitian adalah bagian yang ditandai dengan warna merah. Grafik *improvement case* menunjukkan nilai *embodied carbon* sebesar 6,2 $kgCO_2e/m^2$, sedangkan *base case* sebesar 27,2

$kgCO_2e/m^2$. Penurunan nilai *embodied carbon* pada *improvement case* disebabkan oleh penggunaan material pada *roof construction*, yang menggunakan *concrete slab in-situ* tebal 120 mm dan *metal roof* . Sementara itu, kondisi *base case* menggunakan *concrete slab in situ* tebal 150 mm. Penggunaan *metal roof* berkontribusi dalam reduksi *embodied carbon* dibandingkan beton karena tingginya emisi produksi semen dalam beton (Le., dkk., 2019). Perbedaan ini berdampak pada penurunan volume beton, sehingga menyebabkan penurunan nilai *embodied carbon* pada *improvement case* dibandingkan dengan *base case*.

4. *Exterior Walls*

   Berdasarkan data yang sudah dijabarkan pada Gambar 4.19, pengaplikasian *exterior walls* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang didapatkan hasil *embodied carbon* sebesar 38,2 $kgCO_2e/m^2$. Hasil nilai *embodied carbon* dari perhitungan aplikasi EDGE pada *exterior walls* diperlihatkan pada Gambar 5.5.



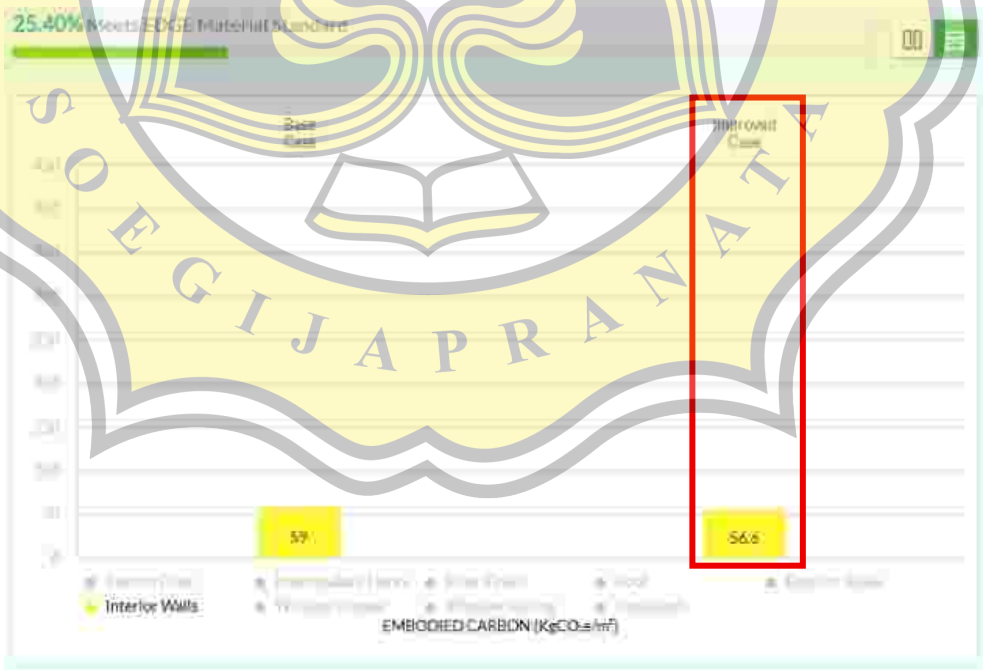
Gambar 5.5 *Embodied Carbon Exterior Walls* (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

Berdasarkan Gambar 5.5 memperlihatkan dua jenis grafik, yaitu *base case* dan *improvement case*. Namun, hasil yang menjadi fokus penelitian adalah bagian

yang ditandai dengan warna merah. Grafik *improvement case* menunjukkan nilai *embodied carbon* sebesar 38,2 $kgCO_2e/m^2$, sedangkan *base case* sebesar 16,6 $kgCO_2e/m^2$. Peningkatan nilai *embodied carbon* pada *improvement case* disebabkan oleh penggunaan material pada *exterior walls*, yang menggunakan *concrete precast panels* dan *curtain wall*. Sementara itu, kondisi *base case* umumnya menggunakan *solid bricks*. Zhang., dkk., (2024) menyatakan bahwa rangka aluminium dan panel kaca dari *curtain wall* mengakomodir 90% *output embodied carbon*. Perbedaan tersebut berdampak pada peningkatan volume material dinding yang digunakan, sehingga menyebabkan peningkatan nilai *embodied carbon* pada *improvement case* dibandingkan dengan *base case*.

5. *Interior Walls*

Berdasarkan data yang sudah dijabarkan pada Gambar 4.21, pengaplikasian *interior walls* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang didapatkan hasil *embodied carbon* sebesar 56,6 $kgCO_2e/m^2$. Hasil nilai *embodied carbon* yang dikeluarkan dari EDGE pada *interior walls* diperlihatkan pada Gambar 5.6.

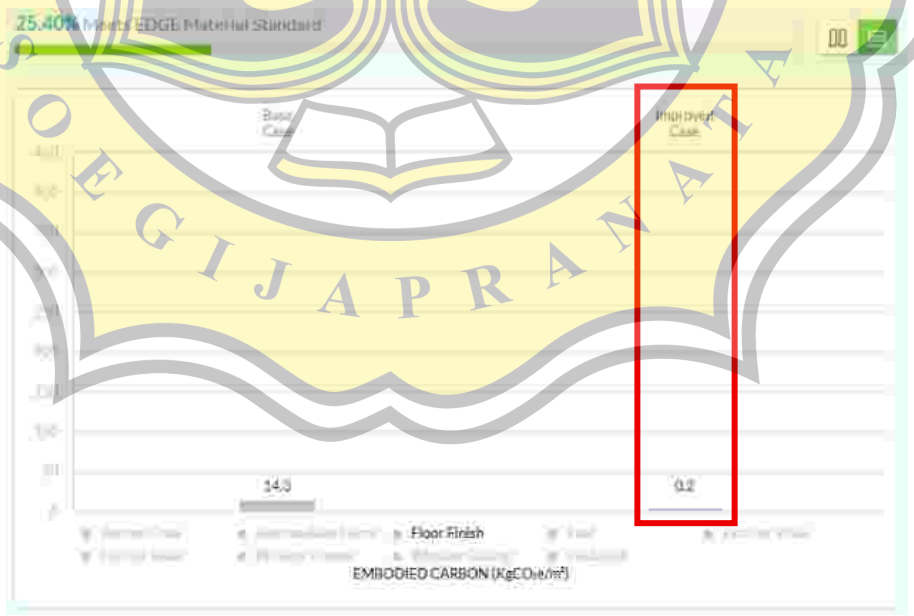


Gambar 5.6 *Embodied Carbon Interior Walls* (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

Berdasarkan Gambar 5.6 memperlihatkan dua jenis grafik, yaitu *base case* dan *improvement case*. Namun, hasil yang menjadi fokus penelitian adalah bagian yang ditandai dengan warna merah. Grafik *improvement case* menunjukkan nilai *embodied carbon* sebesar 56,6 $kgCO_2e/m^2$, sedangkan *base case* sebesar 59 $kgCO_2e/m^2$. Penurunan nilai *embodied carbon* pada *improvement case* disebabkan oleh penggunaan material pada *interior walls*, yang menggunakan 2 material yakni *brick walls* dan *metal stud wall*. Sementara itu, kondisi *base case* umumnya menggunakan *solid bricks*. *Output embodied carbon* berdasarkan *metal stud wall* 25,87% lebih kecil dari *solid bricks* (IFC, 2024). Perbedaan ini berdampak pada penurunan volume dinding, sehingga menyebabkan penurunan nilai *embodied carbon* pada *improvement case* dibandingkan dengan *base case*.

6. *Floor Finish*

Berdasarkan data yang sudah dijabarkan pada Gambar 4.14, pengaplikasian *floor finish* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang didapatkan hasil *embodied carbon* sebesar 0,2 $kgCO_2e/m^2$. Hasil nilai *embodied carbon* yang dikeluarkan dari perhitungan EDGE pada *interior walls* diperlihatkan pada Gambar 5.7.

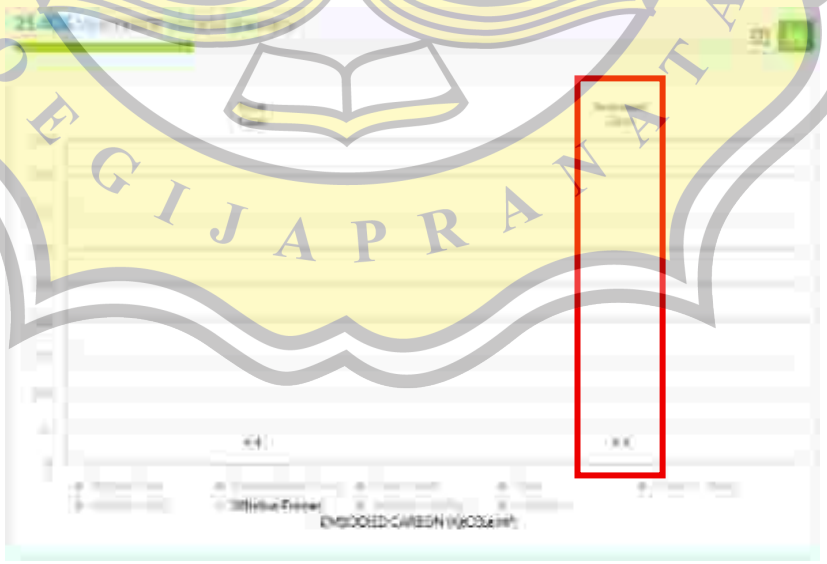


Gambar 5.7 *Embodied Carbon Floor Finish* (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

Berdasarkan Gambar 5.7 memperlihatkan dua jenis grafik, yaitu *base case* dan *improvement case*. Namun, hasil yang menjadi fokus penelitian adalah bagian yang ditandai dengan warna merah. Grafik *improvement case* menunjukkan nilai *embodied carbon* sebesar 0,2 $kgCO_2e/m^2$, sedangkan pada *base case* sebesar 14,3 $kgCO_2e/m^2$. Penurunan nilai *embodied carbon* pada *improvement case* disebabkan oleh penggunaan material pada *floor finish*, yang menggunakan material berupa *homogenous tile*. Sementara itu, kondisi *base case* umumnya menggunakan material *ceramic tile*. Berdasarkan analisis *Life Cycle Assessment* (LCA), *ceramic tile* per m^2 menyumbang *embodied carbon* yang besar terutama pada proses pembakaran (Bovea., dkk., 2010). Perbedaan tersebut berdampak pada penurunan volume material lantai, sehingga menyebabkan penurunan nilai *embodied carbon* pada *improvement case* dibandingkan dengan *base case*.

7. *Window Frames*

   Berdasarkan penjabaran Gambar 4.24, pengaplikasian *window frame* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang menghasilkan *embodied carbon* sebesar 4,4 $kgCO_2e/m^2$. *Output embodied carbon* perhitungan EDGE pada *interior walls* diperlihatkan pada Gambar 5.8.

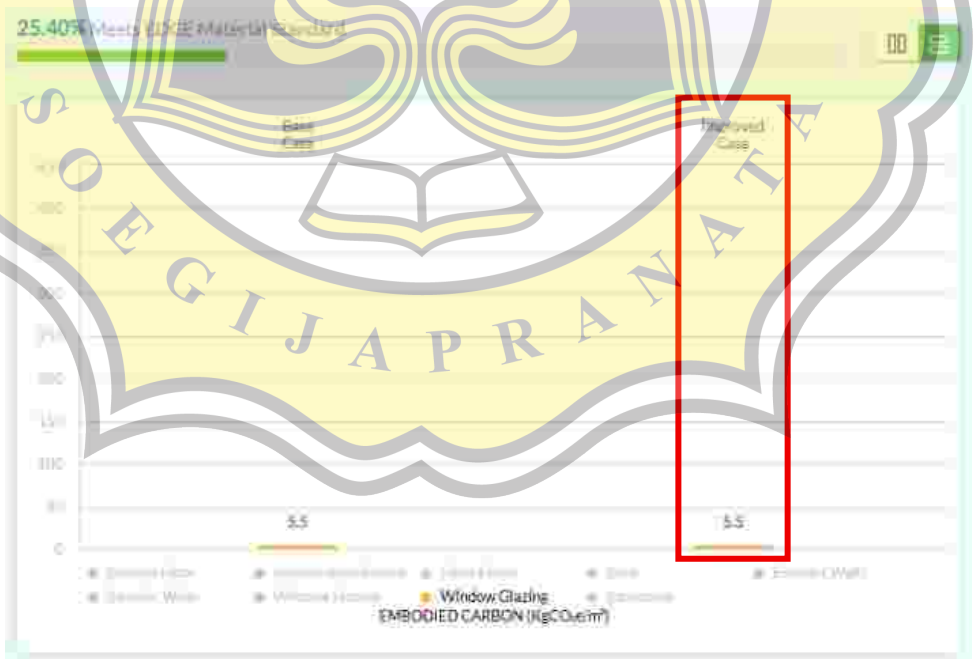


Gambar 5.8 *Embodied Carbon Window Frame* (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

Berdasarkan Gambar 5.8 memperlihatkan dua jenis grafik, yaitu *base case* dan *improvement case*. Namun, hasil yang menjadi fokus penelitian adalah bagian yang ditandai dengan warna merah. Grafik *improvement case* menunjukkan nilai *embodied carbon* sebesar 4,4 $kgCO_2e/m^2$, sedangkan pada *base case* sebesar 4,4 $kgCO_2e/m^2$. Kesamaan nilai *embodied carbon* pada *improvement case* disebabkan oleh penggunaan material pada *window frame*, yang menggunakan material berupa kusen aluminium. Sementara itu, kondisi *base case* umumnya juga menggunakan material berupa kusen aluminium. Persamaan tersebut tidak berdampak pada volume material kusen yang digunakan, sehingga nilai *embodied carbon* pada *improvement case* dan *base case* bernilai sama.

8. *Window Glazing*

Berdasarkan data yang sudah dijabarkan pada Gambar 4.27, pengaplikasian *window glazing* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang didapatkan hasil *embodied carbon* sebesar 5,5 $kgCO_2e/m^2$. Hasil nilai *embodied carbon* yang dikeluarkan dari perhitungan EDGE pada *interior walls* diperlihatkan pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 *Embodied Carbon Window Glazing* (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

Berdasarkan Gambar 5.9 memperlihatkan dua jenis grafik, yaitu *base case* dan *improvement case*. Namun, hasil yang menjadi fokus penelitian adalah bagian yang ditandai dengan warna merah. Grafik *improvement case* menunjukkan nilai *embodied carbon* sebesar 5,5 $kgCO_2e/m^2$, sedangkan pada *base case* sebesar 5,5 $kgCO_2e/m^2$. Kesamaan nilai *embodied carbon* pada *improvement case* disebabkan oleh penggunaan material pada *window glazing*, yang menggunakan material berupa kaca *single layer*. Sementara itu, kondisi *base case* umumnya juga menggunakan material berupa kaca *single layer*. Persamaan tersebut tidak berdampak pada volume material kaca yang digunakan, sehingga nilai *embodied carbon* pada *improvement case* dan *base case* memiliki nilai yang sama.

9. *Insulation*

Berdasarkan data yang sudah dijabarkan pada Gambar 4.29 hingga Gambar 4.31, pengaplikasian *insulation* pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang didapatkan hasil *embodied carbon* sebesar 0 $kgCO_2e/m^2$. *Output* yang dihasilkan pada analisis ini hanya berupa satu jenis. Namun hasil analisis tersebut merepresentasikan seluruh penilaian untuk insulasi atap, dinding, dan lantai. Hasil nilai *embodied carbon* yang dikeluarkan dari EDGE pada *interior walls* diperlihatkan pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 *Embodied Carbon Insulation* (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

Berdasarkan Gambar 5.10 diperlihatkan dua kondisi, yaitu *base case* dan *improvement case*, dengan fokus penelitian pada bagian yang ditandai merah. Kedua kondisi menunjukkan nilai *embodied carbon* sebesar 0 $kgCO_2e/m^2$. Kesamaan ini disebabkan oleh penggunaan material insulasi berupa *solartex* hanya pada *roof insulation* pada *improvement case*, yang tidak memberikan perbedaan volume material insulasi dibandingkan *base case* yang umumnya tidak menggunakan material insulasi. Oleh karena itu, tidak terdapat perbedaan nilai *embodied carbon* antara kedua kondisi tersebut.

Berdasarkan penjabaran analisis penilaian EDGE versi 3.1, Tabel 5.6 memperlihatkan hasil penilaian kategori material berdasarkan EDGE versi 3.1.

Tabel 5.6 Hasil Penilaian Kategori *Material* Berdasarkan EDGE Versi 3.1

Kriteria		***Embodied Carbon***		**Keterangan**
		Base Case	***Improved Case***	
Bottom Floor Construction	MEM01	29,6 $kgCO_2e/m^2$	50,3 $kgCO_2e/m^2$	Tidak terpenuhi, karena *embodied carbon* lebih tinggi dari *base case*
Intermediate Floor Construction	MEM02	236,5 $kgCO_2e/m^2$	131,8 $kgCO_2e/m^2$	Terpenuhi, karena *embodied carbon* lebih rendah dari *base case*
Floor Finish	MEM03	14,3 $kgCO_2e/m^2$	0,2 $kgCO_2e/m^2$	Terpenuhi, karena *embodied carbon* lebih rendah dari *base case*
Roof Construction	MEM04	27,2 $kgCO_2e/m^2$	6,2 $kgCO_2e/m^2$	Terpenuhi, karena *embodied carbon* lebih rendah dari *base case*
Exterior Walls	MEM05	16,6 $kgCO_2e/m^2$	38,2 $kgCO_2e/m^2$	Tidak terpenuhi, karena *embodied carbon* lebih tinggi dari *base case*
Interior Walls	MEM06	59 $kgCO_2e/m^2$	56,6 $kgCO_2e/m^2$	Terpenuhi, karena *embodied carbon* lebih rendah dari *base case*
Window Frames	MEM07	4,4 $kgCO_2e/m^2$	4,4 $kgCO_2e/m^2$	Terpenuhi, karena *embodied carbon* setara dengan *base case*
Window Glazing	MEM08	5,5 $kgCO_2e/m^2$	5,5 $kgCO_2e/m^2$	Terpenuhi, karena *embodied carbon* setara dengan *base case*

Tabel 5.6 Hasil Penilaian Kategori *Material* Berdasarkan EDGE Versi 3.1 (Lanjutan)

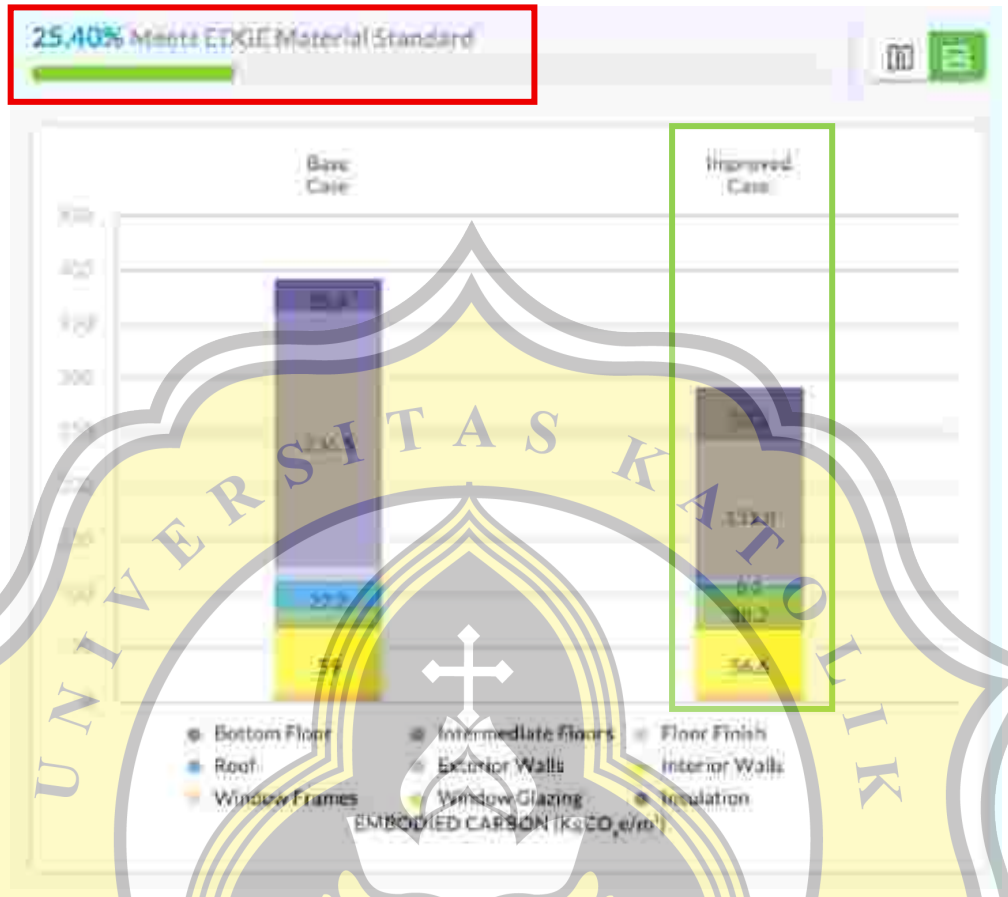
Kriteria		***Embodied Carbon***		**Keterangan**
		Base Case	***Improved Case***	
Roof Insulation	MEM09	0 $kgCO_2e/m^2$	0 $kgCO_2e/m^2$	Terpenuhi, karena *embodied carbon* sebesar 0
Wall Insulation	MEM10			Tidak dapat dinilai
Floor Insulation	MEM11			Tidak dapat dinilai

Berdasarkan evaluasi kategori EDGE versi 3.1 yang telah dilakukan, kriteria yang sulit dipenuhi adalah *Wall Insulation* (MEM10) dan *Floor Insulation* (MEM11). Karena pada praktik konstruksi sebagian besar penghuni bangunan cenderung meyakini bahwa panas dan suara sudah dapat teredam tanpa menggunakan insulasi tambahan.

Kriteria yang masih rendah capaiannya adalah *Bottom Floor Construction* (MEM01) karena tebal pelat sebesar 200 mm dan 150 mm atau lebih tebal dari 120 mm membuat peningkatan *output embodied carbon* sebagai kontributor emisi gas rumah kaca. Kriteria lain ialah *Exterior Walls* (MEM05) karena *concrete precast panels* dan *curtain wall* pada proses perolehan *raw materials* dan manufaktur menghasilkan *embodied carbon* tinggi yang berperan dalam pemanasan global.

Kriteria yang sudah baik capaiannya adalah *Intermediate Floor Construction* (MEM02), *Floor Finish* (MEM03), *Roof Construction* (MEM04), *Interior Walls* (MEM06), *Window Frames* (MEM07), *Window Glazing* (MEM08), *Roof Insulation* (MEM10) dapat menghasilkan *embodied carbon* yang lebih rendah dibandingkan kondisi umumnya. Hal ini membuat potensi perolehan peringkat sertifikasi EDGE versi 3.1 menjadi lebih mudah tercapai. Selain potensi tersebut, pengurangan emisi gas rumah kaca berkontribusi pada upaya menekan peningkatan suhu global.

Berdasarkan hasil evaluasi yang telah dilakukan, Gambar 5.11 menampilkan grafik *embodied carbon* EDGE versi 3.1 yang diperoleh pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang.



Gambar 5.11 *Embodied Carbon* Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang (Sumber: Diperoleh dari https://app.edgebuildings.com/project/allBuildings)

Berdasarkan Gambar 5.11, diperlihatkan bahwa penilaian kategori material pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang, menggunakan EDGE versi 3.1 **mendapatkan perolehan nilai sebesar 25,40%** yang ditunjukkan pada bagian yang ditandai warna merah. Nilai tersebut telah melebihi *standard* penilaian material pada EDGE versi 3.1 sebesar 20%. Pada bagian yang berwarna hijau muda memperlihatkan penilaian seluruh kriteria pada EDGE versi 3.1, dengan *output* berupa nilai *embodied carbon* pada *improvement case* yang mengalami penurunan, jika dibandingkan dengan nilai *embodied carbon* pada *base case*.

Selain perhitungan *embodied carbon*, EDGE versi 3.1 juga menghitung nilai emisi *final* operasi CO_2 tiap tahunnya sebesar 554,67 tCO_2e/m^2 per tahun. EDGE versi

3.1 juga mengeluarkan nilai *emobodied carbon* untuk tiap meter perseginya sebesar 0,3 tCO_2e/m^2. Analisa terakhir yang dikeluarkan EDGE versi 3.1, berkaitan dengan *embodied carbon savings* sebesar 948,8 tCO_2e pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata BSB *City* Semarang.

Apabila dibandingkan dengan penelitian terdahulu milik Putra., dkk, (2021) hasil penelitian sebelumnya menunjukkan perbandingan penghematan pada seluruh kategori sebelum dan sesudah menerapkan EDGE. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Wyk., dkk., (2025), berfokus pada analisis pengaruh penerapan EDGE pada penghematan biaya operasional bulanan berdasarkan kategori energi. Sedangkan penelitian berfokus dalam kategori material dengan peninjauan *output embodied carbon* yang dapat dikurangi. Kedua penelitian ini memiliki tujuan yang sama yakni meninjau penghematan penerapan *green building* dengan *rating tools* EDGE. Penelitian ini telah sesuai dengan kedua penelitian sebelumnya, sehingga dapat dinyatakan bahwa penelitian ini relevan dengan penelitian sebelumnya.

5.4 Analisis Kontribusi BIM 3D dan 5D Pada Tiap *Rating Tools*

Berdasarkan tujuan penelitian yang kedua, subbab ini membahas analisis kontribusi penerapan BIM 3D dan 5D terhadap dalam kategori material pada tiga sistem sertifikasi bangunan hijau, yaitu LEED versi 4.1 pada kategori *Materials and Resources*, EDGE versi 3.1 pada kategori *Materials*, dan *Greenship* versi 1.2 pada kategori *Material Resources and Cycle*. Analisis ini ditujukan untuk mengevaluasi BIM 3D dan BIM 5D dapat memberikan kontribusi terhadap sertifikasi bangunan hijau. Analisis BIM 3D difokuskan sebagai alat bantu berupa visualisasi bangunan gedung. Analisis BIM 5D difokuskan sebagai alat bantu perhitungan volume material, khususnya dalam mendukung pemenuhan persyaratan dan kriteria penilaian pada masing-masing sistem sertifikasi bangunan hijau. BIM dapat berkontribusi dalam meningkatkan akurasi, efisiensi, serta proses kuantifikasi material sebagai bagian dari pemenuhan indikator penilaian pada ketiga *rating tools* tersebut. Penjelasan lebih detail mengenai kontribusi BIM 3D dan 5D pada tiap *rating tools* dijelaskan pada Subbab 5.4.1 dan Subbab 5.4.2.

5.4.1 Kontribusi BIM 3D dan 5D pada LEED versi 4.1

Analisis kontribusi BIM dilakukan untuk mengkaji peran penerapan BIM 3D dan BIM 5D dalam mendukung proses penilaian bangunan hijau berdasarkan sistem sertifikasi LEED versi 4.1 melalui penggunaan *software* Autodesk Revit untuk BIM 3D dan Cubicost TAS untuk BIM 5D. Analisis ini dilaksanakan dengan meninjau kontribusi BIM pada setiap kriteria penilaian yang termasuk dalam kategori *Materials and Resources*. Melalui tahapan analisis ini, dapat diketahui kemampuan tiap *software* BIM dalam menghasilkan informasi yang dibutuhkan, seperti data material dan volume pekerjaan. Hasil analisis ini memberikan gambaran mengenai kontribusi Autodesk Revit dan Cubicost TAS dalam membantu pemenuhan persyaratan dan mendukung perolehan poin pada kategori *Materials and Resources*.

Penjabaran detail mengenai kontribusi BIM pada penilaian LEED versi 4.1 sebagai berikut:

1. Kontribusi BIM 3D pada LEED versi 4.1

   Tabel kontribusi pertama yang disusun menyajikan hasil pemetaan kontribusi BIM 3D dengan menggunakan *software* Autodesk Revit terhadap setiap kriteria penilaian LEED versi 4.1 pada kategori *Materials and Resources*. Penyusunan tabel ini didasarkan pada hasil analisis kontribusi *Building Information Modeling* (BIM) yang telah diuraikan pada Subbab 4.8, khususnya mengacu pada tabel yang diperlihatkan pada Tabel 4.21. Penilaian kontribusi dalam penelitian ini diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu Y, Y_c, dan N. Kategori Y menunjukkan bahwa BIM 3D dengan *software* Autodesk Revit dapat memberikan kontribusi dalam mendukung proses penilaian LEED versi 4.1. Kategori Y_c menunjukkan bahwa BIM 3D dengan *software* Autodesk Revit tetap dapat memberikan kontribusi terhadap penilaian LEED versi 4.1, namun hanya dalam persyaratan tertentu. Namun pada kategori N menunjukkan bahwa BIM 3D dengan Autodesk Revit tidak memberikan kontribusi dalam mendukung penilaian LEED versi 4.1. Rincian hasil penilaian kontribusi BIM 3D menggunakan bantuan *software* Autodesk Revit diperlihatkan secara lengkap pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Kontribusi BIM 3D Pada LEED Versi 4.1

Kode	Kriteria	Autodesk Revit		
		Y	Y_c	N
MR P	*Storage and Collection of Recyclables*		✓	
MR 01	*Building Life-Cycle Impact Reduction*		✓	
MR 02	*Environmental Product Declarations*	✓		
MR 03	*Sourcing of Raw Materials*	✓		
MR 04	*Material Ingredients*	✓		
MR 05	*Construction and Demolition Waste Management*			✓

Keterangan:

Y = *Yes* (Memiliki kontribusi)

Y_c = *Yes conditional* (Memiliki kontribusi, namun dalam kondisi khusus)

N = *No* (Tidak memiliki kontribusi)

Berdasarkan Tabel 5.7, diperlihatkan bahwa kontribusi BIM 3D dengan menggunakan *software* Autodesk Revit terhadap kriteria LEED versi 4.1 pada kategori *Materials and Resources*, menunjukkan adanya variasi tingkat kontribusi pada tiap kriteria penilaian. BIM 3D dengan menggunakan Autodesk Revit memberikan kontribusi terhadap kriteria MR 02, MR 03, dan MR 04. Namun pada kriteria MR P dan MR 01, kontribusi BIM 3D bersifat terbatas karena memerlukan dokumen pendukung tambahan, khususnya untuk bangunan *existing*. Adapun pada kriteria MR 05, BIM 3D tidak memberikan kontribusi secara langsung dalam mendukung proses penilaian LEED versi 4.1. Berdasarkan hasil pemetaan tersebut, tingkat kontribusi Autodesk Revit selanjutnya akan dirangkum dan dianalisis dalam bentuk persentase terhadap keseluruhan dukungan BIM 3D pada kategori *Materials and Resources*. Adapun rekapitulasi perhitungan persentase kontribusi BIM 3D pada kriteria LEED versi 4.1 diperlihatkan pada Tabel 5.8.

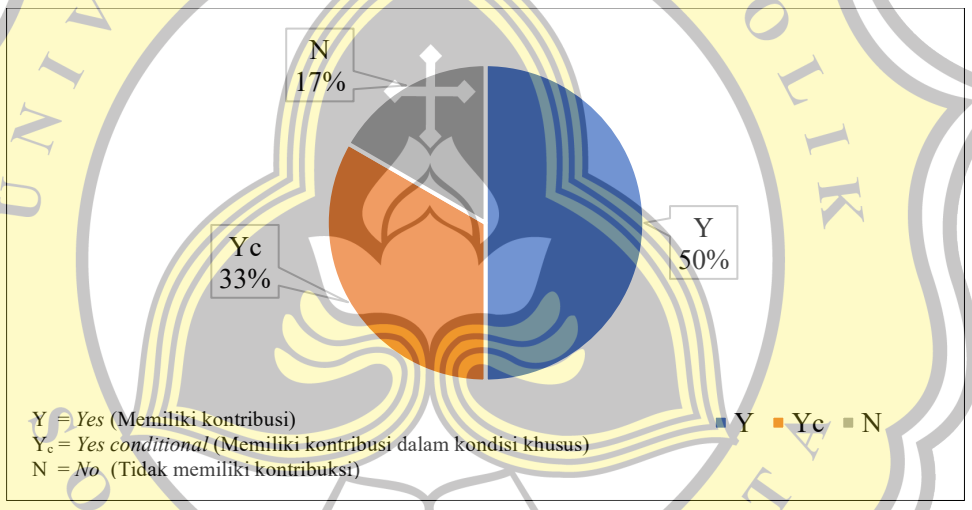
Tabel 5.8 Persentase Kontribusi BIM 3D Pada LEED Versi 4.1

Klasifikasi	Kontribusi BIM 3D	Persentase Kontribusi BIM 3D
	a	$b = \frac{a}{\sum a} \times 100\%$
Y	3	43%
Y_c	2	28%

Tabel 5.8 Persentase Kontribusi BIM 3D Pada LEED Versi 4.1 (Lanjutan)

Klasifikasi	**Kontribusi BIM 3D**	**Persentase Kontribusi BIM 3D**
	a	**$b = \frac{a}{\sum a}$ x 100%**
N	1	29%
Total	6	100%

Tabel 5.8 memperlihatkan persentase kontribusi BIM 3D dengan menggunakan *software* Autodesk Revit terhadap penilaian LEED versi 4.1. Persentase tersebut selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk diagram untuk mempermudah pemahaman terhadap tingkat kontribusi yang dihasilkan. Diagram persentase kontribusi BIM 3D pada LEED versi 4.1 diperlihatkan pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Diagram Persentase Kontribusi BIM 3D Pada LEED Versi 4.1

Berdasarkan Gambar 5.12, diperlihatkan bahwa kontribusi BIM 3D pada penilaian LEED versi 4.1 memiliki kontribusi sebesar 50% dari total keseluruhan kriteria pada kategori *materials and resources*. Kontribusi BIM 3D pada penilaian LEED versi 4.1 juga memberikan kontribusi sebesar 33% namun pada kondisi tertentu. Namun BIM 3D juga tidak dapat memberikan kontribusi sebesar 17% dari total keseluruhan kriteria pada kategori *materials and resources*. Berdasarkan nilai persentase tersebut dapat diketahui bahwa BIM 3D dengan bantuan *software* Autodesk Revit dapat memberikan kontribusi dalam penilaian LEED versi 4.1 dalam bentuk visualisasi.

2. Kontribusi BIM 5D pada LEED versi 4.1

Tabel kontribusi kedua yang disusun menyajikan hasil pemetaan kontribusi BIM 5D dengan menggunakan *software* Cubicost TAS terhadap setiap kriteria penilaian LEED versi 4.1 pada kategori *Materials and Resources*. Penyusunan tabel ini didasarkan pada hasil analisis kontribusi BIM yang telah diuraikan pada Subbab 4.8, khususnya mengacu pada tabel yang diperlihatkan pada Tabel 4.22. Penilaian kontribusi dalam penelitian ini diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu Y, Y_c, dan N. Kategori Y menunjukkan bahwa BIM 5D dengan *software* Cubicost TAS dapat memberikan kontribusi dalam mendukung proses penilaian LEED versi 4.1. Kategori Y_c menunjukkan bahwa BIM 5D dengan *software* Cubicost TAS tetap dapat memberikan kontribusi terhadap penilaian LEED versi 4.1, namun hanya dalam persyaratan tertentu. Namun pada kategori N menunjukkan bahwa BIM 5D dengan Cubicost TAS tidak memberikan kontribusi dalam mendukung penilaian LEED versi 4.1. Rincian hasil penilaian kontribusi BIM 5D diperlihatkan secara lengkap pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Kontribusi BIM 5D Pada LEED Versi 4.1

Kode	Kriteria	Cubicost TAS		
		Y	Y_c	N
MR P	*Storage and Collection of Recyclables*			✓
MR 01	*Building Life-Cycle Impact Reduction*		✓	
MR 02	*Environmental Product Declarations*			✓
MR 03	*Sourcing of Raw Materials*	✓		
MR 04	*Material Ingredients*			✓
MR 05	*Construction and Demolition Waste Management*			✓

Keterangan:

Y = *Yes* (Memiliki kontribusi)

Y_c = *Yes conditional* (Memiliki kontribusi, namun dalam kondisi khusus)

N = *No* (Tidak memiliki kontribusi)

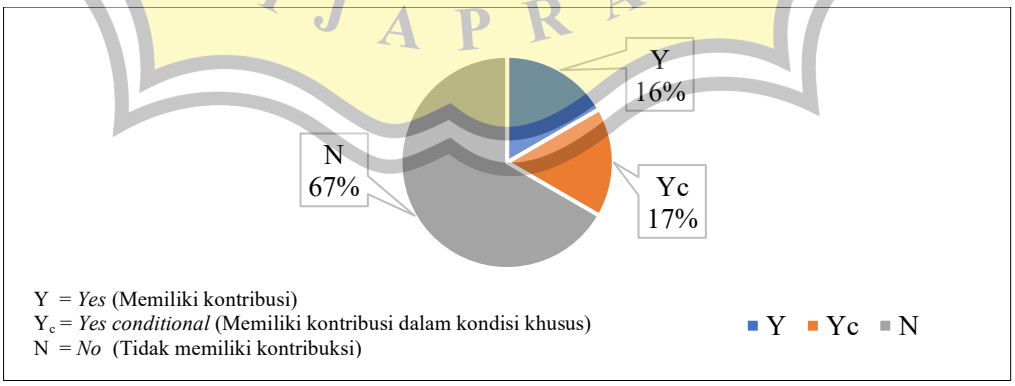
Berdasarkan Tabel 5.9, diperlihatkan bahwa kontribusi BIM 5D dengan menggunakan *software* Cubicost TAS terhadap kriteria LEED versi 4.1 pada kategori *Materials and Resources* menunjukkan adanya variasi tingkat kontribusi pada tiap kriteria penilaian. BIM 5D dengan menggunakan Cubicost

TAS hanya dapat memberikan kontribusi terhadap kriteria MR 03. Namun pada kriteria MR 01, kontribusi BIM 5D bersifat terbatas karena memerlukan dokumen pendukung tambahan, khususnya untuk bangunan *existing*. Adapun pada kriteria MR P, MR 02, MR 04, dan MR 05 BIM 5D tidak memberikan kontribusi secara langsung dalam mendukung proses penilaian LEED versi 4.1. Berdasarkan hasil pemetaan tersebut, tingkat kontribusi Cubicost TAS selanjutnya akan dirangkum dan dianalisis dalam bentuk persentase terhadap keseluruhan dukungan BIM 5D pada kategori *Materials and Resources*. Adapun rekapitulasi perhitungan persentase kontribusi BIM 5D pada kriteria LEED versi 4.1 diperlihatkan pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Persentase Kontribusi BIM 5D Pada LEED Versi 4.1

Klasifikasi	**Kontribusi BIM 5D**	**Persentase Kontribusi BIM 5D**
	a	**b = $\frac{a}{\sum a}$ x 100%**
Y	1	16%
Y_c	1	17%
N	4	67%
Total	6	100%

Tabel 5.10 memperlihatkan persentase kontribusi BIM 5D dengan menggunakan *software* Cubicost TAS terhadap penilaian LEED versi 4.1. Persentase tersebut selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk diagram untuk mempermudah pemahaman terhadap tingkat kontribusi yang dihasilkan. Diagram persentase kontribusi BIM 5D pada LEED versi 4.1 diperlihatkan pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Diagram Persentase Kontribusi BIM 5D Pada LEED Versi 4.1

Berdasarkan Gambar 5.13, diperlihatkan bahwa kontribusi BIM 5D pada penilaian LEED versi 4.1 hanya memiliki kontribusi sebesar 16% dari total keseluruhan kriteria pada kategori *materials and resources*. Kontribusi BIM 5D pada penilaian LEED versi 4.1 juga memberikan kontribusi sebesar 17% namun pada kondisi tertentu. BIM 5D tidak dapat memberikan kontribusi pada penilaian LEED versi 4.1 karena memperoleh persentase sebesar 67% dari total keseluruhan kriteria pada kategori *materials and resources*. Berdasarkan nilai persentase tersebut dapat diketahui bahwa BIM 5D dengan bantuan *software* Cubicost TAS tidak dapat memberikan kontribusi dalam penilaian LEED versi 4.1 dalam bentuk *quantity take off*.

5.4.2 Kontribusi BIM 3D dan 5D pada *Greenship* versi 1.2

Analisis kontribusi BIM dilakukan untuk mengkaji peran penerapan BIM 3D dan BIM 5D dalam mendukung proses penilaian bangunan hijau berdasarkan sistem sertifikasi *Greenship* versi 1.2 melalui penggunaan *software* Autodesk Revit dan Cubicost TAS. Analisis dilaksanakan dengan meninjau kontribusi BIM pada setiap kriteria penilaian yang termasuk dalam kategori *Material Resources and Cycle*. Melalui tahapan analisis ini, dapat diketahui kemampuan tiap *software* BIM dalam menghasilkan informasi yang dibutuhkan, seperti data material dan volume pekerjaan. Hasil analisis ini memberikan gambaran mengenai kontribusi Autodesk Revit dan Cubicost TAS dalam membantu pemenuhan persyaratan serta mendukung perolehan poin pada kategori *Material Resources and Cycle*. Penjabaran detail mengenai kontribusi BIM pada penilaian *Greenship* versi 1.2 sebagai berikut:

1. Kontribusi BIM 3D pada *Greenship* versi 1.2

   Tabel kontribusi pertama yang disusun menyajikan hasil pemetaan kontribusi BIM 3D dengan menggunakan *software* Autodesk Revit terhadap setiap kriteria penilaian *Greenship* versi 1.2 pada kategori *Material Resources and Cycle*. Penyusunan tabel ini didasarkan pada hasil analisis kontribusi BIM yang telah diuraikan pada Subbab 4.8, khususnya mengacu pada tabel yang diperlihatkan

pada Tabel 4.21. Penilaian kontribusi dalam penelitian ini diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu Y, Y_c, dan N. Kategori Y menunjukkan bahwa BIM 3D dengan *software* Autodesk Revit dapat memberikan kontribusi dalam mendukung proses penilaian *Greenship* versi 1.2. Kategori Y_c menunjukkan bahwa BIM 3D dengan *software* Autodesk Revit tetap dapat memberikan kontribusi terhadap penilaian *Greenship* versi 1.2, namun hanya dalam persyaratan tertentu. Namun pada kategori N menunjukkan bahwa BIM 3D dengan Autodesk Revit tidak memberikan kontribusi dalam mendukung penilaian *Greenship* versi 1.2. Rincian hasil penilaian kontribusi BIM 3D dengan bantuan *software* Autodesk Revit diperlihatkan secara lengkap pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Kontribusi BIM 3D Pada *Greenship* Versi 1.2

Kode	Kriteria	Autodesk Revit		
		Y	Y_c	N
MRC P	*Fundamental Refrigerant*			✓
MRC 01	*Builiding and Material Reuse*		✓	
MRC 02	*Enviromentally Friendly Material*	✓		
MRC 03	Non ODS *Usage*			✓
MRC 04	*Certified Wood*	✓		
MRC 05	*Prefab Material*	✓		
MRC 06	*Regional Material*	✓		

Keterangan:

Y = *Yes* (Memiliki kontribusi)

Y_c = *Yes conditional* (Memiliki kontribusi, namun dalam kondisi khusus)

N = *No* (Tidak memiliki kontribusi)

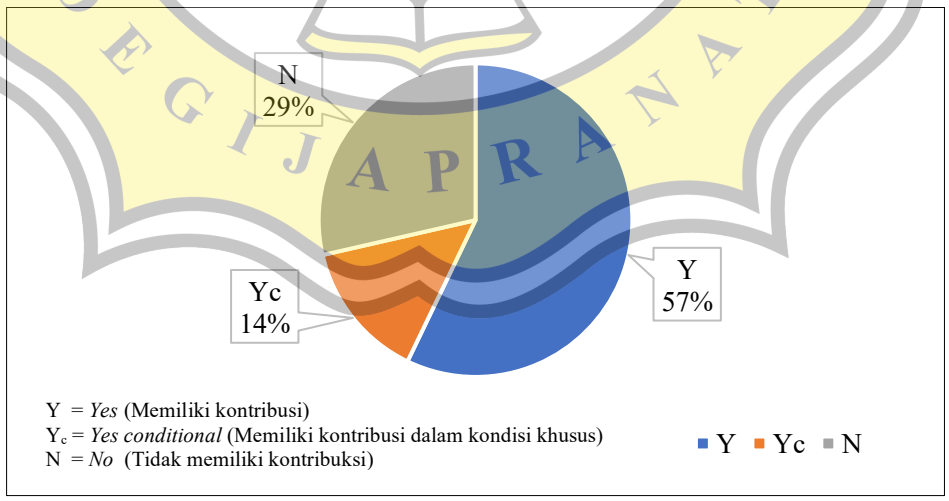
Berdasarkan Tabel 5.11, diperlihatkan bahwa kontribusi BIM 3D dengan menggunakan *software* Autodesk Revit terhadap kriteria *Greenship* versi 1.2 pada kategori *Material Resources and Cycle*, menunjukkan adanya variasi tingkat kontribusi pada tiap kriteria penilaian. BIM 3D dengan menggunakan Autodesk Revit memberikan kontribusi terhadap kriteria MRC 02, MRC 04, MRC 05 dan MRC 06. Namun pada kriteria MRC 01, kontribusi BIM 3D bersifat terbatas karena memerlukan dokumen pendukung tambahan, khususnya untuk bangunan *existing*. Adapun pada kriteria MRC P dan MRC 03, BIM 3D tidak

memberikan kontribusi secara langsung dalam mendukung proses penilaian *Greenship* versi 1.2. Berdasarkan hasil pemetaan tersebut, tingkat kontribusi Autodesk Revit selanjutnya akan dirangkum dan dianalisis dalam bentuk persentase terhadap keseluruhan dukungan BIM 3D pada kategori *Material Resources and Cycle*. Adapun rekapitulasi perhitungan persentase kontribusi BIM 3D pada kriteria *Greenship* versi 1.2 diperlihatkan pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Persentase Kontribusi BIM 3D Pada *Greenship* Versi 1.2

Klasifikasi	**Kontribusi BIM 3D**	**Persentase Kontribusi BIM 3D**
	a	**$b = \frac{a}{\sum a}$ x 100%**
Y	4	57%
Y_c	1	14%
N	2	29%
Total	7	100%

Tabel 5.12 memperlihatkan persentase kontribusi BIM 3D dengan menggunakan *software* Autodesk Revit terhadap penilaian *Greenship* versi 1.2. Persentase tersebut selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk diagram untuk mempermudah pemahaman terhadap tingkat kontribusi yang dihasilkan. Diagram persentase kontribusi BIM 3D pada *Greenship* versi 1.2 diperlihatkan pada Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Diagram Persentase Kontribusi BIM 3D Pada *Greenship* Versi 1.2

Berdasarkan Gambar 5.14, diperlihatkan bahwa kontribusi BIM 3D pada penilaian *Greenship* versi 1.2 memiliki kontribusi sebesar 57% dari total keseluruhan kriteria pada kategori *material resources and cycle*. Kontribusi BIM 3D pada penilaian *Greenship* versi 1.2 juga memberikan kontribusi sebesar 14% namun pada kondisi tertentu. Namun BIM 3D tidak dapat memberikan kontribusi sebesar 29% dari total keseluruhan kriteria pada kategori *material resources and cycle*. Berdasarkan nilai persentase tersebut dapat diketahui bahwa BIM 3D dengan bantuan *software* Autodesk Revit dapat memberikan kontribusi dalam penilaian *Greenship* versi 1.2 dalam bentuk visualisasi.

2. Kontribusi BIM 5D pada *Greenship* versi 1.2

   Tabel kontribusi kedua yang disusun menyajikan hasil pemetaan kontribusi BIM 5D dengan menggunakan *software* Cubicost TAS terhadap setiap kriteria penilaian *Greenship* versi 1.2 pada kategori *Material Resources and Cycle*. Penyusunan tabel ini didasarkan pada hasil analisis kontribusi BIM yang telah diuraikan pada Subbab 4.8, khususnya mengacu pada tabel yang diperlihatkan pada Tabel 4.22. Penilaian kontribusi dalam penelitian ini diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu Y, Y_c, dan N. Kategori Y menunjukkan bahwa BIM 5D dengan *software* Cubicost TAS dapat memberikan kontribusi dalam mendukung proses penilaian *Greenship* versi 1.2. Kategori Y_c menunjukkan bahwa BIM 5D dengan *software* Cubicost TAS tetap dapat memberikan kontribusi terhadap penilaian *Greenship* versi 1.2, namun hanya dalam persyaratan tertentu. Namun pada kategori N menunjukkan bahwa BIM 5D dengan Cubicost TAS tidak memberikan kontribusi dalam mendukung penilaian *Greenship* versi 1.2. Rincian hasil penilaian kontribusi BIM 5D dengan bantuan *software* Cubicost TAS diperlihatkan secara lengkap pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Kontribusi BIM 5D Pada *Greenship* Versi 1.2

Kode	Kriteria	Cubicost TAS		
		Y	Y_c	N
MRC P	*Fundamental Refrigerant*			✓
MRC 01	*Builiding and Material Reuse*		✓	
MRC 02	*Enviromentally Friendly Material*	✓		

Tabel 5.13 Kontribusi BIM 5D Pada *Greenship* Versi 1.2 (Lanjutan)

Kode	Kriteria	Cubicost TAS		
		Y	Y_c	N
MRC 03	Non ODS *Usage*			✓
MRC 04	*Certified Wood*	✓		
MRC 05	*Prefab Material*	✓		
MRC 06	*Regional Material*	✓		

Keterangan:

Y = *Yes* (Memiliki kontribusi)

Y_c = *Yes conditional* (Memiliki kontribusi, namun dalam kondisi khusus)

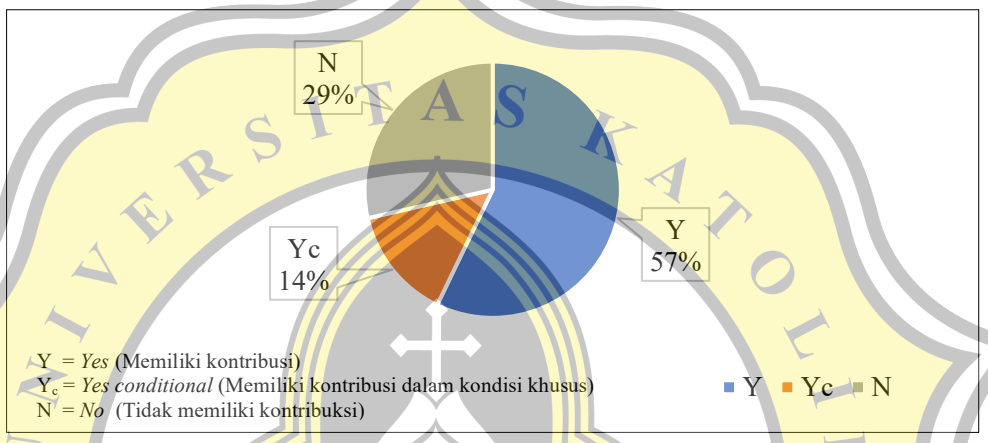
N = *No* (Tidak memiliki kontribusi)

Berdasarkan Tabel 5.13, diperlihatkan bahwa kontribusi BIM 5D dengan menggunakan *software* Cubicost TAS terhadap kriteria *Greenship* versi 1.2 pada kategori *Material Resources and Cycle* menunjukkan adanya variasi tingkat kontribusi pada tiap kriteria penilaian. BIM 5D dengan menggunakan Cubicost TAS dapat memberikan kontribusi terhadap kriteria MRC 02, MRC 04, MRC 05 dan MRC 06. Namun pada kriteria MRC 01, kontribusi BIM 5D bersifat terbatas karena memerlukan dokumen pendukung tambahan, khususnya untuk bangunan *existing*. Adapun pada kriteria MRC P, dan MRC 03 BIM 5D tidak memberikan kontribusi secara langsung dalam mendukung proses penilaian *Greenship* versi 1.2. Berdasarkan hasil pemetaan tersebut, tingkat kontribusi Cubicost TAS selanjutnya akan dirangkum dan dianalisis dalam bentuk persentase terhadap keseluruhan dukungan BIM 5D pada kategori *Material Resources and Cycle*. Rekapitulasi perhitungan persentase kontribusi BIM 5D pada kriteria *Greenship* versi 1.2 diperlihatkan pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Persentase Kontribusi BIM 5D Pada *Greenship* Versi 1.2

Klasifikasi	Kontribusi BIM 5D	Persentase Kontribusi BIM 5D
	a	$b = \frac{a}{\sum a} \times 100\%$
Y	4	57%
Y_c	1	14%
N	2	29%
Total	7	100%

Tabel 5.14 memperlihatkan persentase kontribusi BIM 5D dengan menggunakan *software* Cubicost TAS terhadap penilaian *Greenship* versi 1.2. Persentase tersebut selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk diagram untuk mempermudah pemahaman terhadap tingkat kontribusi yang dihasilkan. Diagram persentase kontribusi BIM 5D pada *Greenship* versi 1.2 diperlihatkan pada Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Diagram Persentase Kontribusi BIM 5D Pada *Greenship* Versi 1.2

Berdasarkan Gambar 5.15, diperlihatkan bahwa kontribusi BIM 5D pada penilaian *Greenship* versi 1.2 memiliki kontribusi sebesar 57% dari total keseluruhan kriteria pada kategori *material resources and cycle*. Kontribusi BIM 5D pada penilaian *Greenship* versi 1.2 juga memberikan kontribusi sebesar 14% namun pada kondisi tertentu. BIM 5D tidak dapat memberikan kontribusi pada penilaian *Greenship* versi 1.2 karena memperoleh persentase sebesar 29% dari total keseluruhan kriteria pada kategori *material resources and cycle*. Berdasarkan nilai persentase tersebut dapat diketahui bahwa BIM 5D dengan bantuan *software* Cubicost TAS dapat memberikan kontribusi dalam penilaian *Greenship* versi 1.2 dalam bentuk *quantity take off*.

5.4.3 Kontribusi BIM 3D dan 5D pada EDGE versi 3.1

Analisis kontribusi BIM dilakukan untuk mengkaji peran penerapan BIM 3D dan BIM 5D dalam mendukung proses penilaian bangunan hijau berdasarkan sistem

sertifikasi EDGE versi 3.1 melalui penggunaan *software* Autodesk Revit dan Cubicost TAS. Analisis dilaksanakan dengan meninjau kontribusi BIM pada setiap kriteria penilaian yang termasuk dalam kategori *Materials*. Melalui tahapan analisis ini, dapat diketahui kemampuan tiap *software* BIM dalam menghasilkan informasi yang dibutuhkan, seperti data material dan volume pekerjaan. Hasil analisis ini memberikan gambaran mengenai kontribusi Autodesk Revit dan Cubicost TAS dalam membantu pemenuhan persyaratan serta mendukung perolehan poin pada kategori *Materials*.

Penjabaran detail kontribusi BIM pada penilaian EDGE versi 3.1 sebagai berikut:

1. Kontribusi BIM 3D pada EDGE versi 3.1

   Tabel kontribusi pertama yang disusun menyajikan hasil pemetaan kontribusi BIM 3D dengan menggunakan *software* Autodesk Revit terhadap setiap kriteria penilaian EDGE versi 3.1 pada kategori *Materials*. Penyusunan tabel ini didasarkan pada hasil analisis kontribusi BIM yang telah diuraikan pada Subbab 4.8, khususnya mengacu pada tabel yang diperlihatkan pada Tabel 4.21. Penilaian kontribusi dalam penelitian ini diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu Y, Y_c, dan N. Kategori Y menunjukkan bahwa BIM 3D dengan *software* Autodesk Revit dapat memberikan kontribusi dalam mendukung proses penilaian EDGE versi 3.1. Kategori Y_c menunjukkan bahwa BIM 3D dengan *software* Autodesk Revit tetap dapat memberikan kontribusi terhadap penilaian EDGE versi 3.1, namun hanya dalam persyaratan tertentu. Pada kategori N menunjukkan bahwa BIM 3D dengan Autodesk Revit tidak memberikan kontribusi dalam mendukung penilaian EDGE versi 3.1. Rincian hasil penilaian kontribusi BIM 3D dengan bantuan *software* Autodesk Revit diperlihatkan secara lengkap pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Kontribusi BIM 3D Pada EDGE Versi 3.1

Kode	Kriteria	Autodesk Revit		
		Y	Y_c	N
MEM01	*Bottom Floor Construction*	✓		
MEM02	*Intermediate Floor Construction*	✓		

Tabel 5.15 Kontribusi BIM 3D Pada EDGE Versi 3.1 (Lanjutan)

Kode	Kriteria	Autodesk Revit		
		Y	Y_c	N
MEM03	*Floor Finish*	✓		
MEM04	*Roof Construction*	✓		
MEM05	*Exterior Walls*	✓		
MEM06	*Interior Walls*	✓		
MEM07	*Window Frames*	✓		
MEM08	*Window Glazing*	✓		
MEM09	*Roof Insulation*			✓
MEM10	*Wall Insulation*			✓
MEM11	*Floor Insulation*			✓

Keterangan:

Y = *Yes* (Memiliki kontribusi)

Y_c = *Yes conditional* (Memiliki kontribusi, namun dalam kondisi khusus)

N = *No* (Tidak memiliki kontribusi)

Berdasarkan Tabel 5.15, diperlihatkan bahwa kontribusi BIM 3D dengan menggunakan *software* Autodesk Revit terhadap kriteria EDGE versi 3.1 pada kategori *Materials*, menunjukkan adanya variasi tingkat kontribusi pada tiap kriteria penilaian. BIM 3D dengan menggunakan Autodesk Revit memberikan kontribusi terhadap kriteria MEM01, MEM02, MEM03, MEM04, MEM05, MEM06, MEM07 dan MEM08. Adapun pada kriteria MEM09, MEM10, dan MEM11, BIM 3D tidak dapat memberikan kontribusi secara langsung dalam mendukung proses penilaian EDGE versi 3.1. Berdasarkan hasil pemetaan tersebut, tingkat kontribusi Autodesk Revit selanjutnya akan dirangkum dan dianalisis dalam bentuk persentase terhadap keseluruhan dukungan BIM 3D pada kategori *Materials*. Adapun rekapitulasi perhitungan persentase kontribusi BIM 3D pada kriteria EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Tabel 5.16.

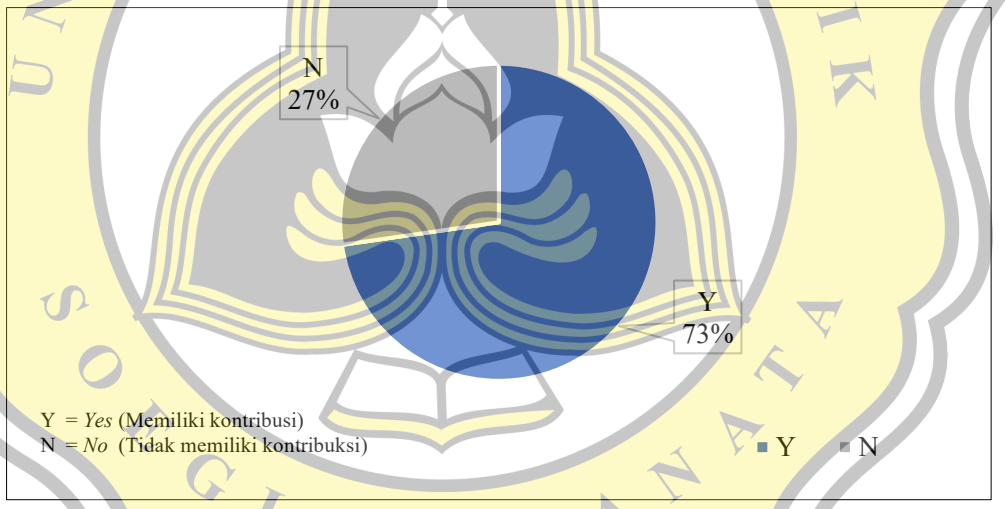
Tabel 5.16 Persentase Kontribusi BIM 3D Pada EDGE Versi 3.1

Klasifikasi	Kontribusi BIM 3D	Persentase Kontribusi BIM 3D
	a	$b = \frac{a}{\sum a} \times 100\%$
Y	8	73%

Tabel 5.16 Persentase Kontribusi BIM 3D Pada EDGE Versi 3.1 (Lanjutan)

Klasifikasi	**Kontribusi BIM 3D**	**Persentase Kontribusi BIM 3D**
	a	**$b = \frac{a}{\sum a} \times 100\%$**
Y_c	0	0%
N	3	27%
Total	11	100%

Tabel 5.16 memperlihatkan persentase kontribusi BIM 3D dengan menggunakan *software* Autodesk Revit terhadap penilaian EDGE versi 3.1. Persentase tersebut selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk diagram untuk mempermudah pemahaman terhadap tingkat kontribusi yang dihasilkan. Diagram persentase kontribusi BIM 3D dengan bantuan Autodesk Revit pada EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Diagram Persentase Kontribusi BIM 3D Pada EDGE Versi 3.1

Berdasarkan Gambar 5.16, diperlihatkan bahwa kontribusi BIM 3D pada penilaian EDGE versi 3.1 memiliki kontribusi sebesar 73% dari total keseluruhan kriteria pada kategori *materials*. Namun BIM 3D tidak dapat memberikan kontribusi sebesar 27% dari total keseluruhan kriteria pada kategori *materials*. Berdasarkan nilai persentase tersebut dapat diketahui bahwa BIM 3D dengan bantuan *software* Autodesk Revit dapat memberikan kontribusi dalam penilaian EDGE versi 3.1 dalam bentuk visualisasi.

2. Kontribusi BIM 5D pada EDGE versi 3.1

Tabel kontribusi kedua yang disusun menyajikan hasil pemetaan kontribusi BIM 5D dengan menggunakan *software* Cubicost TAS terhadap setiap kriteria penilaian EDGE versi 3.1 pada kategori *Materials*. Penyusunan tabel ini didasarkan pada hasil analisis kontribusi BIM yang telah diuraikan pada Subbab 4.8, khususnya mengacu pada tabel yang diperlihatkan pada Tabel 4.22. Penilaian kontribusi dalam penelitian ini diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu Y, Y_c, dan N. Kategori Y menunjukkan bahwa BIM 5D dengan *software* Cubicost TAS dapat memberikan kontribusi dalam mendukung proses penilaian EDGE versi 3.1. Kategori Y_c menunjukkan bahwa BIM 5D dengan *software* Cubicost TAS tetap dapat memberikan kontribusi terhadap penilaian EDGE versi 3.1, namun hanya dalam persyaratan tertentu. Namun pada kategori N menunjukkan bahwa BIM 5D dengan Cubicost TAS tidak memberikan kontribusi dalam mendukung penilaian EDGE versi 3.1. Rincian hasil penilaian kontribusi BIM 5D diperlihatkan secara lengkap pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Kontribusi BIM 5D Pada EDGE Versi 3.1

Kode	Kriteria	Autodesk Revit		
		Y	Y_c	N
MEM03	*Floor Finish*	✓		
MEM04	*Roof Construction*	✓		
MEM05	*Exterior Walls*	✓		
MEM06	*Interior Walls*	✓		
MEM07	*Window Frames*			✓
MEM08	*Window Glazing*			✓
MEM09	*Roof Insulation*			✓
MEM10	*Wall Insulation*			✓
MEM11	*Floor Insulation*			✓

Keterangan:

Y = *Yes* (Memiliki kontribusi)

Y_c = *Yes conditional* (Memiliki kontribusi, namun dalam kondisi khusus)

N = *No* (Tidak memiliki kontribusi)

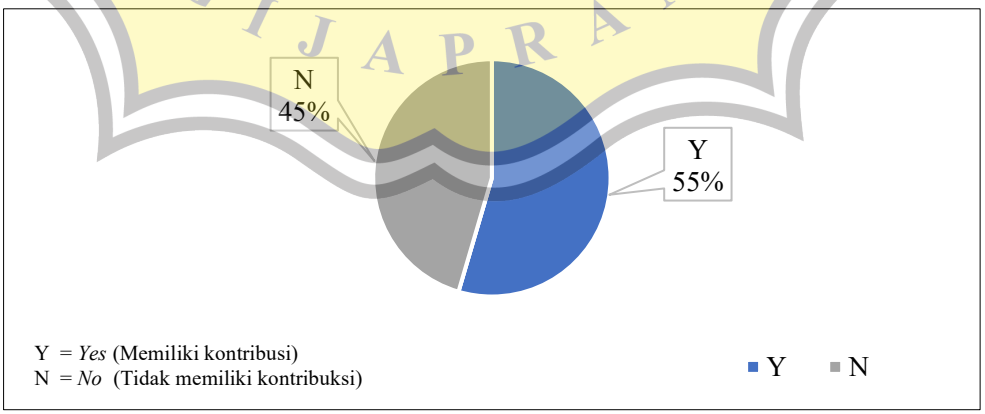
Berdasarkan Tabel 5.17, diperlihatkan bahwa kontribusi BIM 5D dengan menggunakan *software* Cubicost TAS terhadap kriteria EDGE versi 3.1 pada

kategori *Materials* menunjukkan adanya variasi tingkat kontribusi pada tiap kriteria penilaian. BIM 5D dengan menggunakan Cubicost TAS dapat memberikan kontribusi terhadap kriteria MEM01, MEM02, MEM03, MEM04, MEM05, dan MEM06. Adapun pada kriteria MEM07, MEM08, MEM09, MEM10, dan MEM11 BIM 5D tidak memberikan kontribusi secara langsung dalam mendukung proses penilaian EDGE versi 3.1. Berdasarkan hasil pemetaan tersebut, tingkat kontribusi Cubicost TAS selanjutnya akan dirangkum dan dianalisis dalam bentuk persentase terhadap keseluruhan dukungan BIM 5D pada kategori *Materials*. Adapun rekapitulasi perhitungan persentase kontribusi BIM 5D pada kriteria EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Persentase Kontribusi BIM 5D Pada EDGE Versi 3.1

Klasifikasi	**Kontribusi BIM 5D**	**Persentase Kontribusi BIM 5D**
	a	**b = $\frac{a}{\sum a}$ x 100%**
Y	6	55%
Y_c	0	0%
N	5	45%
Total	11	100%

Tabel 5.18 memperlihatkan persentase kontribusi BIM 5D dengan menggunakan *software* Cubicost TAS terhadap penilaian EDGE versi 3.1. Persentase tersebut selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk diagram untuk mempermudah pemahaman terhadap tingkat kontribusi yang dihasilkan. Diagram persentase kontribusi BIM 5D pada EDGE versi 3.1 diperlihatkan pada Gambar 5.17.



Gambar 5.17 Diagram Persentase Kontribusi BIM 5D Pada EDGE Versi 3.1

Berdasarkan Gambar 5.17, diperlihatkan bahwa kontribusi BIM 5D pada penilaian EDGE versi 3.1 memiliki kontribusi sebesar 55% dari total keseluruhan kriteria pada kategori *materials*. Namun BIM 5D tidak dapat memberikan kontribusi sebesar 45% dari total keseluruhan kriteria pada kategori *materials*. Berdasarkan nilai persentase tersebut dapat diketahui bahwa BIM 5D dengan bantuan *software* Cubicost TAS dapat memberikan kontribusi dalam penilaian EDGE versi 3.1 dalam bentuk *quantity take off*.

UNIVERSITAS KATOLIK SOEGIJAPRANATA

BAB 6
PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun dan hasil analisis serta pembahasan yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan. Berikut ini adalah kesimpulan yang didapatkan:

1. Hasil analisis dan evaluasi perbedaan *rating tools* LEED versi 4.1, *Greenship* versi 1.2, dan EDGE versi 3.1 pada kategori material sebagai instrumen sertifikasi bangunan hijau adalah sebagai berikut:
   a. Analisis perbedaan penilaian kategori material pada kategori *materials and resources* pada LEED versi 4.1 berfokus pada penilaian penggunaan material bangunan secara umum. Penilaian kategori *material resources and cyle* pada *Greenship* versi 1.2 berfokus pada penggunaan material bangunan lebih spesifik. Pada penilaian kategori *material* pada EDGE versi 3.1 berfokus pada elemen bangunan.
   b. Evaluasi penilaian sertifikasi bangunan hijau kategori *Materials and Resources* LEED versi 4.1 pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata Semarang BSB *City* Semarang mendapatkan poin sebesar 1 dari 13 poin maksimal. Penilaian LEED versi 4.1 masih belum optimal karena prasyarat dan kriteria yang lain belum dapat terpenuhi. Kriteria yang terpenuhi hanya *Enviromental Product Declaration*.
   c. Evaluasi penilaian sertifikasi bangunan hijau kategori *Material Resources and Cycle Greenship* versi 1.2 pada Proyek Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Katolik Soegijapranata Semarang BSB *City* Semarang mendapatkan poin sebesar 9 dari 14 poin maksimal. Kriteria *prefab material* menjadi penyumbang poin terbesar yakni 3 poin, dilanjutkan dengan NON ODS *Usage* dan *Certified Wood* menyumbang masing-masing 2 poin, serta pada kriteria *Enviromentally Friendly Material* dan *Regional Material* menyumbang masing-masing 1 poin.

d. Evaluasi pengaplikasian penggunaan material bangunan *existing* masih sulit diterapkan pada proyek gedung baru untuk sertifikasi *green building*.
e. Evaluasi penilaian sertifikasi bangunan hijau kategori *Material* pada EDGE versi 3.1 mendapatkan nilai *embodied carbon* sebesar 25,40%. Kriteria yang menjadi penyumbang persentase terbesar adalah *intermediate floor construction* karena mengalami penurunan terbanyak dibandingkan *base case*. Evaluasi penilaian kriteria *floor insulation* dan *wall insulation* belum dapat terpenuhi, dikarenakan pada proyek ini belum menerapkan *floor and wall insulation*.

2. Hasil kontribusi penerapan BIM 3D dan 5D terhadap volume pada kategori material untuk masing – masing *rating tools* pada sertifikasi bangunan hijau:
   a. Analisis kontribusi BIM 3D menggunakan Autodesk Revit terhadap proses penilaian sertifikasi bangunan hijau menghasilkan pemetaan potensi kontribusi yang mencakup aspek visualisasi, informasi material, serta penyediaan data yang dibutuhkan dalam proses *input* penilaian sertifikasi.
   b. Analisis kontribusi BIM 5D menggunakan Cubicost TAS terhadap proses penilaian sertifikasi bangunan hijau menghasilkan pemetaan potensi kontribusi berupa *quantity take off*.
   c. Analisis kontribusi BIM 3D menggunakan Autodesk Revit pada kategori *Materials and Resources* dalam LEED versi 4.1 menunjukkan kontribusi sebesar 50% atau 3 dari 6 kriteria. Analisis kontribusi BIM 5D menggunakan Cubicost TAS hanya mencapai 16% atau 1 dari 6 kriteria.
   d. Analisis kontribusi BIM 3D menggunakan Autodesk Revit dan BIM 5D menggunakan Cubicost TAS pada kategori *Material Resources and Cycle* dalam *Greenship* versi 1.2 menunjukkan tingkat kontribusi yang sama, yaitu sebesar 57% atau 4 dari 6 kriteria.
   e. Analisis kontribusi BIM 3D menggunakan Autodesk Revit pada kategori Material dalam EDGE versi 3.1 menunjukkan kontribusi sebesar 73% atau 8 dari 11 kriteria. Kontribusi BIM 5D menggunakan Cubicost TAS mencapai 55% atau 6 dari 11 kriteria.

f. Evaluasi BIM 3D menggunakan Autodesk Revit dan 5D menggunakan Cubicost TAS memberikan kontribusi signifikan pada kategori *Material Resources and Cycle* pada *Greenship* versi 1.2, dan kategori *Material* pada EDGE versi 3.1.

g. Evaluasi kontribusi BIM 3D menggunakan Autodesk Revit signifikan, namun kontribusi BIM 5D menggunakan Cubicost TAS kurang memberi dampak signifikan pada kategori *Materials and Resources* pada LEED versi 4.1.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh sejumlah saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Saran yang dihasilkan dalam penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan *rating tools* seperti LEED, *Greenship*, dan EDGE. Penelitian berikutnya diharapkan menggunakan *rating tools* lain seperti BREEAM dan CASBEE agar memperoleh perspektif lain dalam melakukan sertifikasi bangunan hijau.
2. Penelitian ini meninjau terkait kategori *Materials and Resources* (MR) LEED, *Material Resources and Cycle* (MRC) *Greenship*, dan *Material* EDGE. Peneliti berharap agar penelitian berikutnya meninjau kategori selain material karena pada pelaksanaan sertifikasi bangunan hijau mencakup keseluruhan kategori untuk memperoleh peringkat sertifikasi.
3. Pada penelitian ini, dimensi *Building Information Modeling* (BIM) yang diterapkan terbatas pada BIM 3D dan BIM 5D. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan kajian dengan menerapkan BIM 6D guna mendukung analisis keberlanjutan (*sustainability*) dan efisiensi energi.
4. Pada penelitian ini, *software Building Information Modeling* (BIM) yang digunakan terbatas pada Autodesk Revit untuk penerapan BIM 3D dan Cubicost TAS untuk penerapan BIM 5D. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat memanfaatkan *software* lain dalam penerapan BIM 3D dan BIM 5D guna mendukung proses penilaian sertifikasi bangunan hijau.