



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan energi pada sektor konstruksi mencapai 40% dari total penggunaan energi secara global (Fagbemi, dkk., 2022). Penggunaan energi pada sektor konstruksi tidak hanya pada saat proses konstruksi berlangsung, namun juga terjadi selama siklus hidup bangunan (Kaja dan Goyal, 2023). Masa operasional dan pemeliharaan bangunan merupakan fase yang paling lama dalam seluruh siklus hidup bangunan. Sebelum masa operasional, bangunan akan melalui proses konstruksi yang kemudian akan dioperasikan dalam jangka waktu yang panjang. Hal ini disebut sebagai tahap operasional bangunan (Simanjuntak dan Suawa, 2014). Pada masa operasional, konsumsi energi berlangsung secara terus-menerus untuk mendukung berbagai kegiatan operasional bangunan (GBCI, 2013).

Secara umum penggunaan energi dalam sektor konstruksi dapat dibedakan menjadi dua yaitu *embodied energy* dan *operational energy*. *Embodied energy* adalah energi total yang diperlukan mencakup proses produksi material, masa konstruksi, pembongkaran, dan sisa material (Ramesh, dkk., 2010; Uda dan Wibowo, 2018). *Operational energy* adalah energi yang diperlukan untuk menjaga kenyamanan dan pemeliharaan gedung sehari-hari. *Operational energy* umumnya mencakup segala energi yang diperlukan untuk operasional gedung seperti kebutuhan listrik, sistem ventilasi, sistem pemanas, sistem pendingin, sistem penerangan, sistem air panas, *lift* dan eskalator (Ramesh, dkk., 2010).

Pada masa operasional bangunan, konsumsi energi mencapai 80-90% dari total penggunaan energi pada sektor konstruksi. Pada masa konstruksi, konsumsi energi mencapai 10-20% (Ramesh, dkk., 2010). Pada masa konstruksi berlangsung penggunaan energi meliputi pembuatan material dari proses ekstraksi hingga produksi, transportasi, dan konstruksi di lokasi (Hong, dkk., 2014). Penggunaan energi pada saat konstruksi mengacu pada penggunaan listrik untuk penerangan dan alat - alat yang memerlukan listrik. Selain itu penggunaan bahan diesel untuk alat



berat juga termasuk ke dalam konsumsi energi pada saat konstruksi berlangsung (Scheuer, dkk., 2011).

Penggunaan energi secara tidak langsung menimbulkan dampak negatif pada lingkungan karena melepas emisi gas CO₂ ke atmosfer dan dapat menyebabkan pemanasan global (Suharyati, dkk., 2019). Semakin besar energi yang digunakan, maka semakin tinggi emisi CO₂ yang dilepaskan. Peningkatan emisi CO₂ dapat menyebabkan efek rumah kaca yang berlebihan. Efek rumah kaca merupakan proses ketika gas rumah kaca di atmosfer menahan panas matahari yang dipantulkan oleh bumi sehingga tidak seluruh panas tersebut terlepas ke luar angkasa. Efek rumah kaca diperlukan karena tanpa proses ini bumi akan terlalu dingin untuk dihuni. Gas rumah kaca terdiri dari CO₂, metana CH₄, N₂O, H₂O, CFC dan HFC. Karbon dioksida (CO₂) merupakan gas rumah kaca yang paling berpengaruh terhadap efek rumah kaca karena jumlah emisinya paling banyak dan bertahan lama di atmosfer. Semakin banyak emisi CO₂ akan menyebabkan semakin banyak panas yang terperangkap di bumi, hal ini yang akan memicu efek rumah kaca yang berlebihan dan dapat menyebabkan pemanasan global. Pemanasan global akan menyebabkan suhu bumi terus meningkat dan dapat menyebabkan masalah, salah satunya yaitu dapat menyebabkan sumber air menjadi kering. Selain itu perubahan iklim sebagai akibat dari pemanasan global juga dapat memicu kekurangan air atau krisis air (Kweku, dkk., 2017, Buha, 2011 dan Irianto, dkk., 2024). Penggunaan air pada sektor konstruksi mencapai 25% dari total penggunaan air di dunia. Penggunaan air yang terus terjadi selama proses konstruksi berlangsung mencakup segala aktivitas di lokasi konstruksi. Berdasarkan beberapa pernyataan ini, maka dapat disimpulkan bahwa sektor konstruksi mengonsumsi energi dan air dalam jumlah besar yang dapat menimbulkan dampak negatif pada lingkungan jika tidak ada upaya penghematan (Ottong, dkk., 2015; Acampa, dkk., 2019; Santos, dkk., 2015).

Konsep *green building* (bangunan hijau) merupakan salah satu solusi untuk meminimalisir dampak negatif dari sektor konstruksi terhadap lingkungan (Dewi, dkk., 2023; Ningrum dan Yuliani, 2024). Beberapa penelitian menyatakan bahwa

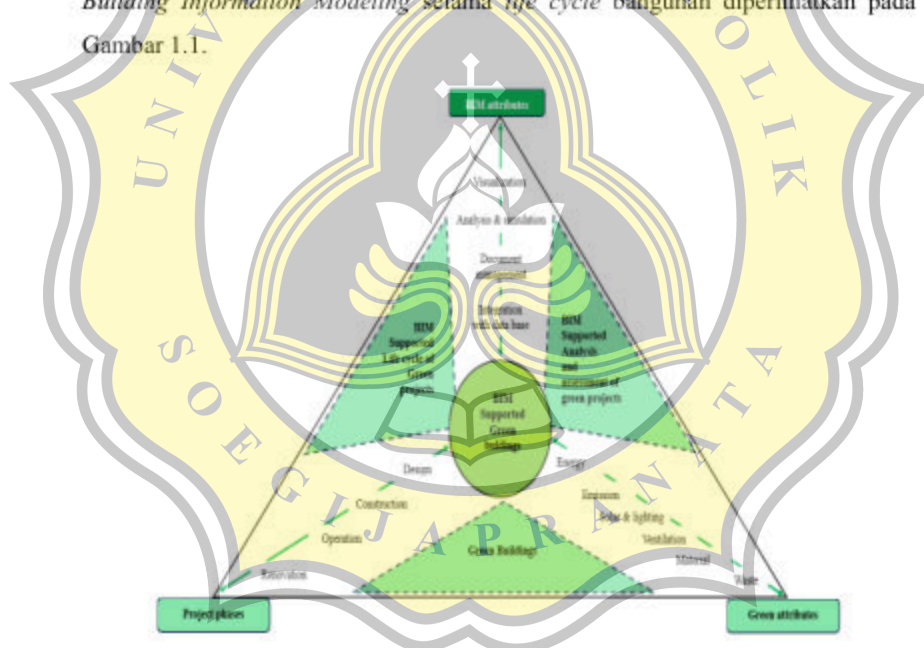


bangunan hijau dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, namun perlu diperhatikan efisiensi penggunaan energi sebagai konsep dasar untuk mencapai bangunan hijau (Hafez, dkk., 2023). Bangunan hijau merupakan bangunan yang selama siklus hidupnya menggunakan sumber daya secara efisien untuk meminimalisir dampak negatif lingkungan (Yani, dkk., 2023). Beberapa *high rise building* di Indonesia sudah menerapkan konsep bangunan hijau dan tersertifikasi sebagai bangunan hijau oleh *Green Building Council* Indonesia (GBCI). Sertifikasi bangunan hijau di Indonesia didasarkan pada sistem penilaian *Greenship*. *Greenship* merupakan sebuah perangkat penilaian untuk bangunan hijau (*green building*) yang disusun oleh GBCI. Tujuan dari disusunnya *Greenship* adalah untuk menentukan kelayakan dan sertifikasi dari bangunan hijau. *Greenship* juga digunakan sebagai alat evaluasi untuk menentukan bahwa bangunan hijau telah memenuhi persyaratan (Wahyudi, dkk., 2023). Penilaian dengan sistem *Greenship* terdiri dari 6 kategori penilaian yang meliputi *Energy Efficiency and Conservation* (EEC), *Water Conservation* (WAC), *Appropriate Site Development* (ASD), *Material Resource and Cycle* (MRC), *Indoor Health and Comfort* (IHC), dan *Building Environment Management* (BEM). Setiap kategori memiliki bobot yang berbeda-beda. *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC) merupakan kategori dengan bobot terbesar yaitu 25,7% dan 20,8%. Setiap kategori memiliki beberapa kriteria untuk memperoleh hasil penilaian yang terdiri dari kriteria prasyarat, kriteria kredit, dan kriteria bonus (*Green Building Council* Indonesia, 2013).

Proses penilaian bangunan hijau umumnya dilakukan tanpa menggunakan bantuan teknologi. Proses penilaian ini meliputi pengumpulan data, analisis data, perhitungan poin, hingga penyiapan dan penyerahan dokumen. Hal ini menyebabkan proses penilaian bangunan hijau memerlukan waktu yang lebih lama dan tenaga yang cukup banyak (Lai, dkk., 2022). Adapun teknologi yang dikembangkan dan memiliki potensi untuk menunjang proses sertifikasi atau penilaian bangunan hijau yaitu BIM. *Building Information Modeling* (BIM) memiliki berbagai *tools* yang memiliki kemampuan untuk menunjang proses desain, manajemen konstruksi, dan segala aktivitas yang berkaitan dengan



konstruksi. *Building Information Modeling* (BIM) juga menyediakan fitur tambahan yang dapat digunakan untuk menunjang sistem penilaian bangunan (Nguyen, dkk., 2015). Baru-baru ini terdapat BIM dengan level 6D yang diusulkan sebagai alat penilai aspek keberlanjutan dalam siklus hidup bangunan. *Building Information Modeling* level 6D dapat digunakan untuk mengambil keputusan yang tepat mengenai desain dan manajemen fasilitas dari desain bangunan berkelanjutan (Habib dan Erzaij, 2020). *Building Information Modeling* juga dapat memberikan fasilitas untuk pertukaran dan integrasi data, analisis kinerja bangunan yang divisualisasikan dan juga dapat meningkatkan komunikasi dari berbagai pemangku kepentingan selama siklus hidup bangunan hijau (Lu, dkk., 2017). Pemetaan *Building Information Modeling* selama *life cycle* bangunan diperlihatkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Pemetaan *Building Information Modeling* Selama *Life Cycle* Bangunan (Sumber: Digambar Ulang Dari Lu, dkk., 2017)

Gambar 1.1 memperlihatkan bahwa BIM dapat membantu keberlangsungan bangunan hijau dimulai dari tahap perencanaan hingga tahap renovasi. *Building Information Modeling* berfungsi sebagai atribut utama yang dapat memberikan visualisasi, analisis, simulasi, pengelolaan dokumen dan integrasi data dalam satu



database terpusat untuk membantu keberlangsungan bangunan hijau. Melalui kemampuan tersebut, BIM dapat mendukung seluruh siklus hidup proyek mulai dari tahap perancangan, konstruksi, operasional, hingga tahap renovasi. Selain itu, BIM memungkinkan analisis dan penilaian kinerja bangunan hijau berdasarkan berbagai atribut keberlanjutan bangunan hijau seperti energi, emisi, pencahayaan, energi surya, ventilasi, material, dan pengelolaan limbah. Beberapa penelitian telah menggunakan teknologi BIM untuk menunjang sistem penilaian melalui analisis dengan simulasi pada bangunan hijau. Sistem penilaian yang ada dapat digunakan sebagai tolok ukur dalam melakukan analisis dengan simulasi pada bangunan hijau. Analisis dengan simulasi dan sistem penilaian dengan bantuan teknologi BIM dinilai lebih efektif dan efisien dalam penghematan waktu (Azhar dan Brown, 2009; Wong dan Fan, 2013; Solla, dkk., 2016; Lin, dkk., 2019; Lu, dkk., 2017; Zulkefli, dkk., 2020).

Terdapat dua tahapan pada analisis dengan simulasi pada bangunan hijau yang menggunakan bantuan teknologi BIM. Tahap pertama merupakan pemodelan 3D dengan menggunakan BIM. Tahap kedua merupakan analisis yang dilakukan dengan alat pendukung analisis kinerja bangunan berbasis BIM (Wong dan Fan, 2013). Penilaian bangunan hijau dengan BIM bisa dicapai dengan dua tahapan tersebut, namun hingga saat ini belum ditemukan sistem penerapan yang pasti dari penggunaan BIM untuk penilaian bangunan hijau (Lim, dkk., 2021). Analisis yang digunakan untuk simulasi pada penilaian bangunan hijau dapat dilakukan dengan menggunakan *software* yang berbeda untuk setiap tahapannya. Terdapat berbagai *software* BIM yang dapat digunakan untuk pemodelan 3D maupun untuk analisis dengan simulasi pada bangunan. Salah satu *software* yang dapat digunakan untuk pemodelan 3D adalah Autodesk Revit (Abakumov dan Naumov, 2018). Autodesk Revit dinilai dapat memberikan penghematan waktu secara efisien dan efektif. *Software* ini juga dapat memungkinkan untuk merancang bangunan dari segi struktur, arsitektur, dan MEP (*Mechanical Electrical and Plumbing*) secara bersamaan. Penggunaan *software* ini dapat dikatakan cukup praktis dan efektif untuk membantu para pemangku kepentingan (Anggraini, 2023; Pratama dan Beatrix, 2024; Hariyanto dan Kurniawan, 2024).



Terdapat beberapa *software* yang dapat digunakan untuk melakukan analisis dengan simulasi pada bangunan hijau yang meliputi Autodesk Revit, Autodesk Flow Design, ECOTECT Analysis, Autodesk Insight 360, Autodesk Vasari, IES-VE, Green Building Studio, DesignBuilder, dan Energy Plus. (Lin, dkk., 2019; Ryu dan Park, 2016; Kirmat, dkk., 2016). Salah satu *software* yang digunakan oleh beberapa peneliti terdahulu yaitu DesignBuilder. Beberapa penelitian terdahulu telah menggunakan *software* DesignBuilder sebagai alat untuk melakukan analisis dengan menjalankan proses simulasi. *Software* DesignBuilder dapat digunakan untuk menganalisis energi, *daylight*, ventilasi, *thermal*, *carbon*, *heating and cooling load systems*, solar, dan *life cycle cost analysis* (Madivada, dkk., 2019; Noohian dan Mahmoudi, 2023; Abba, dkk., 2022; Kumar, dkk., 2017). Menurut Kirmat, dkk. (2016), *software* DesignBuilder lebih mudah digunakan jika dibandingkan dengan beberapa *software* simulasi lainnya. Selain itu *software* DesignBuilder juga memiliki kemampuan untuk menjalankan simulasi secara detail (Madivada, dkk., 2019). Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan penerapan BIM untuk penilaian bangunan hijau berdasarkan sistem penilaian *Greenship* bangunan baru versi 1.2. Penilaian berfokus pada dua kategori yaitu *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC) dengan menggunakan *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder.

1.2 Rumusan Masalah

Proses penilaian bangunan hijau umumnya masih dilakukan tanpa bantuan teknologi. Proses ini dimulai dari pengumpulan data, analisis data, perhitungan poin, penyiapan, dan penyerahan dokumen. Hal ini menyebabkan proses penilaian bangunan hijau memerlukan waktu dan tenaga yang cukup banyak (Lai, dkk., 2022). *Building Information Modeling* (BIM) dapat digunakan untuk membantu proses penilaian bangunan hijau (Lim, dkk., 2021; Wong dan Kuan, 2014). Berdasarkan permasalahan ini maka diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana bentuk dukungan dan tingkat dukungan teknologi *Building Information Modeling* (BIM) untuk membantu penilaian bangunan hijau berdasarkan sistem sertifikasi *Greenship* bangunan baru versi 1.2 pada kategori



Energy Efficiency and Conservation (EEC) dan *Water Conservation* (WAC)?

2. Bagaimana kontribusi dari masing-masing *software* teknologi *Building Information Modeling* (BIM) untuk membantu penilaian bangunan hijau melalui pemanfaatan *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder pada kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC)?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah, maka diperoleh tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Tersusunnya hasil pemetaan bentuk dukungan dan analisis tingkat dukungan teknologi *Building Information Modeling* (BIM) untuk membantu penilaian bangunan hijau berdasarkan sistem sertifikasi *Greenship* bangunan baru versi 1.2 pada kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC).
2. Tersusunnya hasil analisis kontribusi dari masing-masing *software* teknologi *Building Information Modeling* (BIM) untuk membantu penilaian bangunan hijau melalui pemanfaatan *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder pada kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC).

1.4 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup penelitian pada sebagai berikut:

1. Sistem penilaian dilakukan dengan perangkat penilaian berupa *Greenship* Bangunan Baru Versi 1.2.
2. Penilaian bangunan hijau dilakukan pada 2 kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC).
3. Bangunan hijau yang digunakan untuk penelitian adalah Gedung X yang berlokasi di Kota Semarang.
4. Gedung X memiliki fungsi sebagai gedung pendidikan.
5. *Software* yang digunakan adalah Autodesk Revit Versi 2024.3 dan DesignBuilder Versi 7.3.1.003.
6. *Software* Autodesk Revit dan DesignBuilder berlisensi mahasiswa, sehingga



pada *software* DesignBuilder terdapat akses yang terbatas.

7. Pada *software* DesignBuilder telah tersedia parameter yang dapat langsung digunakan, sehingga data yang tidak ada akan disesuaikan dengan parameter *default* yang tersedia pada *software* DesignBuilder. Jika data sudah tersedia di DesignBuilder maka akan langsung digunakan tanpa penyesuaian lebih lanjut yang bertujuan untuk memudahkan proses simulasi.
8. Dilakukan simplifikasi model bangunan pada elemen-elemen *shading* tertentu sesuai kebutuhan untuk mempermudah proses simulasi pada DesignBuilder. Simplifikasi juga disesuaikan dengan fitur yang tersedia pada DesignBuilder.
9. Gedung X yang digunakan dalam penelitian ini hanya pada lantai 3 dan 4 dikarenakan dalam melakukan simulasi dengan *software* diperlukan simplifikasi. Simplifikasi dilakukan pada model 3D dengan membatasi analisis simulasi hanya pada lantai 3 dan lantai 4 dikarenakan kompleksitas bangunan yang cukup tinggi serta data Autodesk Revit merupakan data arsitektur yang bersifat detail, sehingga menyebabkan *file* (.gbXML) menjadi berat dan kompleks untuk diproses DesignBuilder. *Software* simulasi seperti DesignBuilder memerlukan kompleksitas bangunan yang rendah. Bangunan dengan kompleksitas tinggi dapat menyebabkan proses simulasi pada DesignBuilder menjadi lama dan dapat menyebabkan kegagalan simulasi (DesignBuilder, 2025; Elhadad, dkk., 2020). Hasil simulasi dengan simplifikasi model 3D tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan hasil simulasi bangunan yang kompleks (Elhadad, dkk., 2020; Picco dan Marengo, 2015). Pada penelitian ini menggunakan lantai 3 dan lantai 4 karena kedua lantai ini memiliki bentuk dan tata ruang yang sama. Selain itu lantai 3 dan lantai 4 terdiri dari ruang yang aktif digunakan dengan fungsi yang sama.
10. Data iklim seperti *hourly weather data* menggunakan *file* .epw dari Singapore. Hal ini dikarenakan *software* simulasi energi seperti DesignBuilder memerlukan data *hourly weather data* dengan format .epw yang tersedia pada DesignBuilder dan database resmi seperti EnergyPlus, namun data tersebut terbatas. *Hourly weather data* untuk Indonesia tidak tersedia pada dua sumber tersebut. Pembuatan *file hourly weather data* sendiri juga tidak memungkinkan



untuk dilakukan karena melibatkan serangkaian proses yang rumit. Selain itu data yang diperlukan untuk membuat file *hourly weather data* memiliki akses yang terbatas. Berdasarkan keterbatasan tersebut maka file *hourly weather data* yang digunakan adalah Singapore yang memiliki kondisi iklim yang cukup mirip dengan Indonesia.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

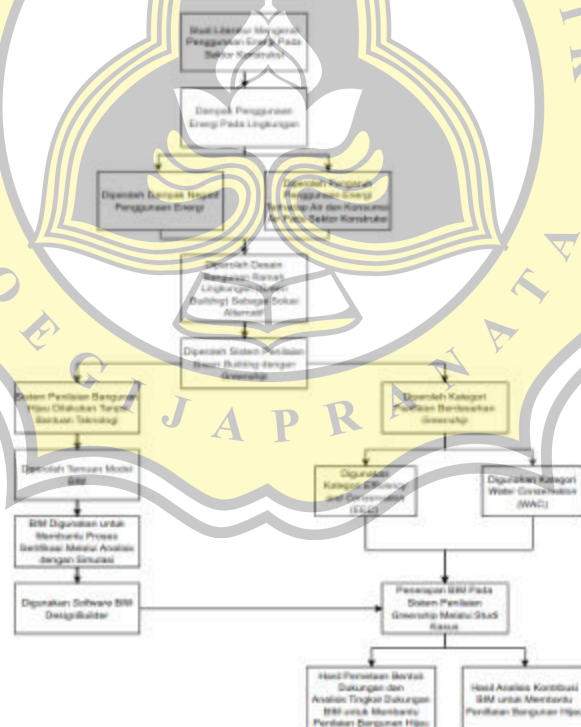
1. Penelitian ini memberikan pemahaman mengenai penilaian bangunan hijau dengan bantuan *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder pada kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC).
2. Penelitian ini dapat menjadi referensi atau evaluasi mengenai implementasi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau berdasarkan *rating tools Greenship* bangunan baru versi 1.2 pada kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC).

1.6 Kerangka Pikir

Kerangka pikir penelitian dimulai dengan pengumpulan studi literatur mengenai penggunaan energi pada sektor konstruksi. Pada pengumpulan studi literatur ditemukan bahwa penggunaan energi secara berlebihan dapat menyebabkan dampak negatif pada lingkungan seperti efek gas rumah kaca dan pemanasan global. Jika penggunaan energi tidak ada upaya penghematan maka dapat menyebabkan berbagai dampak lain seperti kekurangan air atau krisis air. Penggunaan air pada sektor konstruksi mencapai 25% dari total keseluruhan penggunaan air yang juga dapat berdampak negatif pada lingkungan jika tidak ada solusi. Bangunan hijau menjadi solusi yang memiliki potensi untuk menghadapi permasalahan tersebut. Pada bangunan hijau terdapat sistem penilaian yang menjadi tolok ukur dalam menentukan kinerja bangunan hijau salah satunya adalah sistem penilaian *Greenship* yang diterbitkan oleh *Green Building Council* Indonesia (GBCI). Sistem penilaian *Greenship* untuk bangunan baru versi 1.2 yang memiliki 6 kategori dan pada penelitian ini berfokus pada kategori EEC dan WAC.



Proses penilaian bangunan hijau umumnya dilakukan tanpa bantuan teknologi sehingga dikembangkan teknologi yang memiliki potensi untuk menunjang proses penilaian bangunan hijau yaitu *Building Information Modeling*. Proses penilaian pada bangunan hijau dengan bantuan BIM berfokus pada analisis dengan simulasi. *Software* yang dapat digunakan untuk analisis dengan simulasi pada bangunan hijau antara lain Autodesk Revit dan DesignBuilder. Autodesk Revit dan DesignBuilder dinilai sebagai *software* yang sering digunakan dan memiliki potensi untuk membantu dalam proses penilaian bangunan hijau. Hasil dari penelitian ini yaitu bentuk dukungan dan tingkat dukungan teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau. Selain itu juga diperoleh hasil kontribusi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau dengan pemanfaatan *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder berdasarkan sistem penilaian *Greenship* bangunan baru versi 1.2 kategori EEC dan WAC. Kerangka pikir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Kerangka Pikir Penelitian



1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir sebagai berikut:

Bab 1 Pendahuluan

Bab 1 berisi penjelasan latar belakang penelitian yang menjadi dasar penelitian, rumusan masalah, dan tujuan penelitian yang ingin dicapai. Bab ini juga berisi ruang lingkup penelitian yang digunakan untuk membatasi pembahasan agar tetap terarah, manfaat penelitian, dan kerangka pikir penelitian. Pada bagian akhir Bab 1 akan dijelaskan mengenai sistematika penulisan sebagai gambaran umum penyusunan laporan Tugas Akhir.

Bab 2 Tinjauan Pustaka

Pada Bab 2 berisi landasan teori yang berkaitan dengan permasalahan yang diteliti dan digunakan sebagai dasar penelitian. Permasalahan yang akan dianalisis meliputi bentuk dukungan BIM, tingkat dukungan BIM, dan kontribusi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau melalui pemanfaatan *software*. *Software* yang digunakan adalah Autodesk Revit dan DesignBuilder. Penilaian bangunan hijau dilakukan berdasarkan sistem penilaian *Greenship* pada kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC).

Bab 3 Metode Penelitian

Pada Bab 3 berisi penjelasan tentang metode yang digunakan selama proses penelitian. Tahapan proses penelitian dimulai dengan pengumpulan literatur, melakukan kajian, pengumpulan data penelitian, pengolahan data, analisis data, dan kemudian penyusunan laporan akhir. Analisis data dilakukan berdasarkan hasil pengolahan data yang disesuaikan dengan kriteria penilaian bangunan hijau pada kategori EEC dan WAC. Berdasarkan hasil analisis tersebut, akan diperoleh bentuk dukungan teknologi BIM dan tingkat dukungan teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau. Selanjutnya, berdasarkan bentuk dukungan teknologi BIM akan diperoleh hasil analisis kontribusi *software* BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau pada kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC).



Bab 4 Data Penelitian dan Pengolahan Data

Pada Bab 4 berisi penjelasan mengenai data penelitian yang digunakan dan proses pengolahan data yang dilakukan. Data penelitian yang digunakan berupa dokumen teknis gedung, data parameter pendukung untuk kebutuhan simulasi, dan data lainnya yang diperlukan dalam penelitian. Data yang telah dikumpulkan kemudian dilakukan pengolahan data sesuai dengan kebutuhan penelitian. Pada bab ini juga berisi kebutuhan data yang diperlukan untuk penilaian bangunan hijau.

Bab 5 Analisis dan Pembahasan

Bab 5 berisi penjabaran mengenai proses analisis data yang dilakukan dalam penelitian. Setelah proses analisis selesai dilakukan, maka dapat disusun pembahasan berdasarkan hasil analisis yang diperoleh. Analisis dan pembahasan disusun sesuai dengan tujuan dari penelitian.

Bab 6 Penutup

Pada Bab 6 berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Selain itu, bab ini juga berisi saran yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bangunan Hijau

Sektor konstruksi memiliki kontribusi sebesar 50% terhadap perubahan iklim, 40% terhadap polusi air, dan 23% terhadap polusi udara. Selain itu, penggunaan energi dalam sektor konstruksi mencapai 40% dengan estimasi pada tahun 2030 tingkat emisi mengalami kenaikan sebesar 1,8% (Fagbemi, dkk., 2022). Penggunaan energi pada sektor konstruksi tidak hanya pada saat proses konstruksi berlangsung, akan tetapi penggunaan energi juga terjadi selama siklus hidup bangunan. Hal ini dapat diindikasikan bahwa segala aktivitas konstruksi dari awal hingga akhir, masa operasional bangunan, dan pembongkaran bangunan mengonsumsi energi (Kaja dan Goyal, 2023). Bangunan memiliki siklus hidup yang lama jika dibandingkan dengan manufaktur lainnya, sehingga bangunan mengonsumsi energi dan sumber daya secara terus menerus dan secara signifikan memengaruhi penggunaan energi yang dapat berpengaruh pada lingkungan (Mao, dkk., 2015).

Penggunaan energi secara tidak langsung menimbulkan dampak negatif pada lingkungan karena melepas emisi gas CO₂ ke atmosfer dan dapat menyebabkan pemanasan global (Suharyati, dkk., 2019). Semakin besar energi yang digunakan, maka semakin tinggi emisi CO₂ yang dilepaskan ke atmosfer. Peningkatan emisi CO₂ dapat menyebabkan efek rumah kaca yang berlebihan. Istilah efek rumah kaca diadopsi dari prinsip kerja bangunan rumah kaca. Bangunan rumah kaca merupakan bangunan yang keseluruhan struktur penutupnya menggunakan kaca. Bangunan ini dirancang khusus untuk memanfaatkan dan menahan panas matahari agar suhu di dalam bangunan tetap hangat. Bangunan ini umumnya digunakan untuk budidaya tanaman. Pada bangunan ini cahaya matahari masuk melalui kaca kemudian panas yang dihasilkan akan terperangkap di dalam bangunan sehingga suhu di dalam bangunan lebih tinggi dibandingkan di luar bangunan. Prinsip inilah yang kemudian digunakan untuk menjelaskan terjadinya efek rumah kaca di atmosfer bumi. Pada atmosfer bumi terdapat gas – gas yang memiliki peran dalam menunjang kehidupan di bumi, salah satunya yaitu menjaga suhu bumi tetap hangat (Cassia, dkk., 2018).



Gas yang berada di atmosfer dan memiliki peran untuk menjaga suhu bumi agar tetap hangat disebut gas rumah kaca. Gas rumah kaca terdiri dari karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dinitrogen oksida (N_2O), uap air (H_2O), chlorofluorocarbon (CFC) dan hydrofluorocarbon (HFC). Gas rumah kaca di atmosfer akan menahan panas matahari yang dipantulkan oleh bumi sehingga tidak seluruh panas tersebut terlepas ke luar angkasa. Proses inilah yang disebut sebagai efek rumah kaca. Efek rumah kaca yang terjadi di atmosfer bumi merupakan suatu proses ketika gas rumah kaca di atmosfer menahan panas matahari yang dipantulkan oleh bumi sehingga tidak seluruh panas tersebut terlepas ke luar angkasa. Karbon dioksida (CO_2) merupakan gas rumah kaca yang paling berpengaruh terhadap efek rumah kaca karena jumlah emisinya paling banyak dan bertahan lama di atmosfer. Semakin banyak emisi CO_2 akan menyebabkan semakin banyak panas yang terperangkap di bumi, hal ini yang akan memicu efek rumah kaca yang berlebihan dan dapat menyebabkan pemanasan global. Pemanasan global akan menyebabkan suhu bumi terus meningkat dan dapat menyebabkan masalah, salah satunya yaitu dapat menyebabkan sumber air menjadi kering. Pemanasan global juga dapat memicu risiko krisis air (Kweku, dkk., 2017, Buha, 2011 dan Irianto, dkk., 2024). Menurut UNESCO (2023), risiko krisis air akan bertambah parah jika tidak ada upaya penghematan. Sektor konstruksi mengonsumsi sumber daya air yang cukup besar dikarenakan selama proses konstruksi berlangsung penggunaan air terus menerus terjadi (Santos, dkk., 2015). Berdasarkan beberapa pernyataan tersebut dapat diindikasikan bahwa sektor konstruksi mengonsumsi energi dan air dalam jumlah besar yang dapat menimbulkan dampak negatif pada lingkungan jika tidak ada upaya penghematan (Ottong, dkk., 2015).

Adanya konsep bangunan hijau merupakan salah satu solusi untuk meminimalisir dampak negatif penggunaan energi terhadap lingkungan. Pembangunan yang tidak memperhatikan konsep berkelanjutan akan semakin menyebabkan kerusakan pada lingkungan (Dewi, dkk., 2023; Ningrum dan Yuliani, 2024). Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 08 tahun 2010, bangunan hijau merupakan suatu bangunan yang menerapkan prinsip lingkungan hidup. Prinsip lingkungan hidup diterapkan mulai dari perancangan, pembangunan,



pengoperasian dan pengelolaan bangunan. Prinsip lingkungan hidup merupakan suatu prinsip yang mengedepankan dan memperhatikan kelestarian lingkungan.

Bangunan hijau merupakan suatu perencanaan bangunan untuk membuat kualitas hidup lebih baik yang berkaitan dengan kelestarian alam, kesehatan dan sosial. Penerapan bangunan hijau dianggap penting untuk masa depan untuk memenuhi kebutuhan generasi berikutnya (Mongan, dkk., 2019). Menurut Sucipto, dkk., (2014), bangunan hijau merupakan salah satu wujud kepedulian terhadap kelestarian lingkungan. Bangunan hijau mengacu pada bangunan yang dapat meminimalisir konsumsi sumber daya, meningkatkan kualitas dan keberagaman lingkungan. Menurut Mongan, dkk., (2019), beberapa prinsip bangunan hijau yaitu:

1. Hemat energi

Operasional bangunan harus meminimalkan penggunaan bahan bakar atau energi listrik dan memaksimalkan energi alam sekitar lokasi bangunan salah satunya yaitu menggunakan lampu atau penerangan otomatis dengan sensor gerak, sehingga lampu hanya menyala ketika ada aktivitas.

2. Memperhatikan kondisi iklim

Proses desain bangunan harus memperhatikan iklim yang berlaku di lokasi bangunan dan memperhatikan sumber energi yang ada seperti penggunaan pencahayaan alami pada bangunan yang dapat mempengaruhi kenyamanan visual dan penggunaan energi.

3. Optimalisasi sumber daya

Desain bangunan harus mengoptimalkan kebutuhan sumber daya alam yang baru agar tidak habis. Salah satu penerapannya yaitu penggunaan *paving block* dari beton daur ulang sebagai pengganti agregat alami untuk pembuatan beton baru, sehingga dapat mengurangi kebutuhan agregat alami.

4. Tidak merusak lingkungan

Bangunan tidak memiliki dampak negatif bagi kesehatan dan kenyamanan penghuni bangunan seperti adanya sistem pengelolaan air limbah untuk mengurangi dampak negatif air limbah terhadap lingkungan.



5. Memperhatikan pengguna bangunan

Proses perencanaan bangunan harus memperhatikan semua pengguna bangunan dan memenuhi semua kebutuhan pengguna bangunan seperti memperhatikan kenyamanan termal penghuni dengan penggunaan peneduh pada bangunan.

Bangunan dapat dikatakan sebagai bangunan hijau apabila memenuhi kriteria bangunan hijau. Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 08 tahun 2010, beberapa kriteria bangunan hijau yaitu:

1. Menggunakan material ramah lingkungan

Bangunan menggunakan material yang ramah lingkungan dan meliputi:

- a. Material bangunan bersertifikat *eco-label* seperti cat dengan kandungan *Volatile Organic Compounds (VOC)* yang rendah untuk menjaga kualitas udara.
- b. Material bangunan lokal yang tersedia di lokasi setempat seperti penggunaan kayu jati atau mahoni.

2. Konservasi sumber daya air

Pada bangunan terdapat fasilitas, sarana dan prasarana untuk konservasi sumber daya air antara lain:

- a. Mempunyai sistem pemanfaatan air dengan menggunakan keran sensor otomatis, sehingga hanya mengalirkan air ketika sistem mendeteksi tangan.
- b. Menggunakan sumber air dengan memperhatikan konservasi sumber daya air dengan menggunakan air permukaan seperti air sungai.
- c. Pemanfaatan air hujan dengan menyediakan tangki penampungan air hujan.

3. Konservasi dan diversifikasi energi

Pada bangunan terdapat fasilitas, sarana dan prasarana untuk konservasi dan diversifikasi antara lain:

- a. Menggunakan sumber energi terbarukan dan rendah emisi gas rumah kaca,
- b. Menggunakan sistem pencahayaan dan pengkondisian udara buatan

4. Tidak merusak ozon

Bangunan menggunakan bahan yang tidak merusak lapisan ozon, contohnya:

- a. Menggunakan refrigeran dengan bahan yang tidak merusak ozon.



- b. Melengkapi bangunan dengan peralatan pemadam kebakaran yang tidak merusak ozon.

5. Pengelolaan air limbah domestik

Pada bangunan terdapat fasilitas, sarana dan prasarana untuk pengelolaan air limbah domestik, contohnya:

- a. Melengkapi bangunan gedung dengan sistem pengolahan air limbah domestik.
- b. Melengkapi bangunan gedung dengan sistem pemanfaatan kembali air limbah domestik.

6. Fasilitas pemilahan sampah

Pada bangunan terdapat fasilitas untuk pemilahan sampah.

7. Kesehatan penghuni bangunan

Bangunan memperhatikan aspek kesehatan bagi penghuni bangunan antara lain:

- a. Melakukan pengelolaan sistem sirkulasi udara bersih.
- b. Memaksimalkan penggunaan sinar matahari.

8. Pengelolaan area berkelanjutan

Pada bangunan terdapat fasilitas, sarana dan prasarana untuk pengelolaan bangunan berkelanjutan, contohnya:

- a. Melengkapi bangunan gedung dengan ruang terbuka hijau sebagai taman dan konservasi hayati, resapan air hujan dan lahan parkir mempertimbangkan variabilitas iklim mikro dan perubahan iklim.
- b. Mempunyai perencanaan pengelolaan bangunan gedung sesuai tata ruang.
- c. Menjalankan pengelolaan bangunan gedung sesuai dengan perencanaan.

9. Antisipasi bencana

Pada bangunan terdapat fasilitas, sarana dan prasarana untuk antisipasi bencana, contohnya:

- a. Mempunyai sistem peringatan dini terhadap bencana dan bencana yang terkait dengan perubahan iklim seperti banjir, topan, badai, longsor, dan kenaikan muka air laut.



- b. Menggunakan material bangunan yang tahan terhadap iklim atau cuaca ekstrem intensitas hujan yang tinggi, kekeringan, dan temperatur yang meningkat.

2.2 *Greenship*

Standar awal penilaian bangunan hijau didasarkan pada *Green Building Rating Systems (GBRS)* yang digunakan sebagai acuan dalam menilai kinerja suatu bangunan. *Green Building Rating Systems* dipelopori oleh *Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)* yang dikembangkan pada tahun 1990 oleh *British Research Establishment* (Song, dkk., 2023). *Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)* merupakan sistem penilaian pertama untuk bangunan hijau dan telah banyak digunakan di Inggris (Tabrizi, 2021). Perkembangan BREEAM mendorong banyak negara yang secara bertahap ikut mengembangkan *Green Building Rating Systems (GBRS)* sesuai kebutuhan masing-masing (Song, dkk., 2023). Salah satu sistem yang lahir dari perkembangan GBRS adalah *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)* yang dikembangkan oleh *US Green Building Council*. *Green Building Council* telah berkembang dan tersebar di berbagai negara (Tabrizi, 2021). Pada tahun 2002, *US Green Building Council (GBC)* secara resmi memfasilitasi pembentukan *Green Building Council* dunia (Song, dkk., 2023). *Green Building Council* telah membuka cabang regional pada negara yang berada di Eropa, Afrika, dan Asia (Tabrizi, 2021).

Perkembangan sistem penilaian bangunan hijau juga mendorong Indonesia untuk memiliki sistem sendiri yang dikenal dengan *Greenship*. *Greenship* merupakan sebuah perangkat penilaian untuk bangunan hijau (*green building*) yang disusun oleh *Green Building Council Indonesia (GBCI)*. *Green Building Council Indonesia* merupakan anggota dari *World Green Building Council (WGBC)* yang beranggotakan 94 negara dan setiap negara hanya memiliki satu *Green Building Council*. *Greenship* disusun untuk menentukan kelayakan dan sertifikasi bangunan hijau di Indonesia dan bersifat khas dengan menyesuaikan kondisi, kepentingan,



serta peraturan perundang-undangan yang berlaku di dalam negeri. *Greenship* digunakan sebagai alat bantu bagi para pelaku industri bangunan, seperti *owner*, arsitek, teknisi mekanikal elektrik, desain interior, dan teknisi bangunan. Tujuan dari *Greenship* yaitu terwujudnya konsep bangunan hijau sejak tahap perencanaan, pelaksanaan, hingga pengoperasian dan pemeliharaan (Sucipto, dkk., 2014 dan *Green Building Council Indonesia*, 2013).

2.2.1 Jenis sertifikasi *Greenship*

Penilaian dengan sistem *Greenship* terbagi menjadi enam kategori, yaitu *new building* (bangunan baru), *existing building* (bangunan terbangun), *interior space*, *homes*, *neighborhood* dan *net zero* (*Green Building Council Indonesia*, 2025). Penilaian pada kategori *new building* dapat dilakukan dengan perangkat penilaian berupa *Greenship* bangunan baru versi 1.2 (Yani, dkk., 2023). Penilaian dengan sistem *Greenship* bertujuan untuk memperoleh sertifikasi bangunan bangunan hijau yang diakui oleh GBCI (Ramdani, 2024).

Greenship bangunan baru merupakan sistem sertifikasi bangunan yang ditujukan untuk bangunan baru dan berkaitan dengan desain serta konstruksi bangunan (*Green Building Council Indonesia*, 2025). Sertifikasi bangunan hijau memiliki tujuan untuk mendorong pembangunan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan (Ramdani, 2024). Menurut *Green Building Council Indonesia* (2025), GBCI menawarkan beberapa jenis sertifikasi *Greenship*. Jenis sertifikasi *Greenship* diperlihatkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Jenis Sertifikasi *Greenship* (Sumber: Diolah kembali dari *Green Building Council Indonesia*, 2025)



Berdasarkan Gambar 2.1, *Green Building Council Indonesia (GBCI)* memberikan enam jenis sertifikasi *Greenship* yang terdiri atas:

1. *Greenship New Building (NB)*

Menurut *Green Building Council Indonesia (2025)*, *Greenship New Building (NB)* ditujukan untuk bangunan baru yang berkaitan dengan desain dan konstruksi dari suatu bangunan. Jenis proyek yang dapat disertifikasi *Greenship New Building* yaitu bangunan baru di tanah kosong, proyek renovasi, dan bangunan baru pada lahan dalam suatu kawasan. Suatu gedung harus memenuhi syarat kelayakan yang ditetapkan oleh *Green Building Council Indonesia* untuk dapat disertifikasi *Greenship New Building (NB)*. Syarat kelayakan yang harus terpenuhi adalah sebagai berikut:

- Luas bangunan minimal 250 m².
- Kesediaan pengelola gedung untuk menyampaikan data bangunan untuk diakses GBC Indonesia.
- Fungsi bangunan sesuai dengan peruntukan.
- Kepemilikan rencana AMDAL dan upaya pengelolaan lingkungan.
- Kepatuhan bangunan terhadap standar keselamatan kebakaran.
- Kesesuaian bangunan dengan standar ketahanan gempa.
- Kesesuaian bangunan dengan standar aksesibilitas penyandang disabilitas.

2. *Greenship Existing Building (EB)*

Menurut *Green Building Council Indonesia (2025)*, *Greenship Existing Building (EB)* ditujukan untuk bangunan yang sudah dibangun. Bangunan sudah beroperasi dalam jangka waktu lama atau minimal satu tahun sejak dibangun. Suatu gedung harus memenuhi syarat kelayakan yang ditetapkan oleh *Green Building Council Indonesia* untuk dapat disertifikasi *Greenship Existing Building (EB)*. Syarat kelayakan yang harus terpenuhi adalah sebagai berikut:

- Luas bangunan minimal 250 m².
- Bersedia menandatangani surat perjanjian yang memberikan izin seluruh data bangunan untuk GBC Indonesia.
- Memiliki laporan pelaksanaan pengelolaan lingkungan hidup yang disahkan oleh BAPEDAL (Badan Pengendalian Dampak Lingkungan).



- d. Memiliki surat keterangan layak fungsi yang dikeluarkan oleh pemerintah daerah.

3. *Greenship Interior Space (IS)*

Menurut *Green Building Council Indonesia (2025)*, *Greenship Interior Space (IS)* ditujukan untuk bangunan bagian interior yang memiliki tujuan untuk memberikan kenyamanan, kesehatan dan produktivitas yang layak bagi pengguna bangunan. Sasaran utama dari sertifikasi ini yaitu badan usaha yang berbentuk persewaan bangunan dan memanfaatkan sebagian atau seluruh ruang bangunan. Suatu gedung harus memenuhi syarat kelayakan yang ditetapkan oleh Suatu gedung harus memenuhi syarat kelayakan yang ditetapkan oleh *Green Building Council Indonesia* untuk dapat disertifikasi *Greenship Interior Space (IS)*. Syarat kelayakan yang harus terpenuhi adalah sebagai berikut:

- a. Proyek mempunyai kegiatan *fit out*.
- b. Pemanfaatan area dalam satu gedung minimal 25 m².
- c. Semua area yang digunakan oleh manajemen harus disertakan dalam proses sertifikasi.
- d. Minimal satu orang pegawai yang bekerja penuh waktu selama 1 tahun.
- e. Memiliki masa penggunaan area minimal tiga tahun dengan fungsi yang sama sejak memperoleh sertifikasi *Greenship*.
- f. Pihak manajemen menyerahkan salinan izin untuk bangunan yang digunakan kepada *GBC Indonesia*.
- g. Memberikan salinan Surat Keterangan Laik Fungsi (SLF) atau Izin Mendirikan Bangunan (IMB) kepada *GBC Indonesia*.

4. *Greenship homes*

Menurut *Green Building Council Indonesia (2025)*, *Greenship homes* ditujukan untuk rumah tinggal yang layak huni untuk memenuhi persyaratan dasar seperti keamanan, luas bangunan dan kesehatan. Rumah ramah lingkungan harus bijak dalam pemanfaatan lahan, efisiensi air, efisiensi energi, konservasi bahan, konservasi sumber daya, kesehatan dan kesejahteraan penghuninya. Tipe rumah yang dapat dinilai untuk sertifikasi *Greenship* yaitu rumah tinggal tunggal yang



berada di atas tanah, rumah baru, rumah lama dan rumah pembangunan kembali. Suatu gedung harus memenuhi syarat kelayakan yang ditetapkan oleh GBC Indonesia untuk dapat disertifikasi *Greenship homes*. Syarat kelayakan yang harus terpenuhi adalah sebagai berikut:

- a. Bangunan memiliki kurang dari empat lantai dengan minimal 70% luas lantai digunakan sebagai tempat tinggal.
- b. Minimal ditempati oleh 1 (satu) orang sebagai penduduk tetap.
- c. Memiliki dokumen Izin Mendirikan Bangunan (IMB).
- d. Tidak akan ada perubahan fungsi selama masa sertifikasi tiga tahun.
- e. Memenuhi semua syarat di *Greenship homes*.
- f. Bersedia menandatangani surat perjanjian yang memberikan izin seluruh data bangunan untuk GBC Indonesia.

5. *Greenship Neighborhood (NH)*

Menurut *Green Building Council Indonesia* (2025), *Greenship Neighborhood (NH)* ditujukan untuk menciptakan suatu kawasan ramah lingkungan yang berkelanjutan bagi para penggunanya. *Greenship Neighborhood (NH)* digunakan untuk penilaian kawasan perumahan, kawasan pusat bisnis, kawasan industri dalam skala kecil maupun skala besar. Sertifikasi *Greenship Neighborhood (NH)* terdiri dari dua jenis yaitu:

a. Perencanaan

Tim proyek mendapatkan kesempatan untuk mendapatkan penghargaan pada tahap finalisasi desain berdasarkan peringkat penilaian *Greenship*. Jenis sertifikasi ini ditujukan bagi area yang masih dalam tahap perencanaan.

b. Proyek yang dibangun

Tahap ini ditujukan untuk proyek yang sudah dibangun atau sedang dalam tahap beroperasi. Pada tahap ini akan mempertimbangkan teknologi secara menyeluruh, dimulai dari segi desain, konstruksi, maupun pada masa operasional. Hal ini dilakukan untuk menentukan kinerja suatu kawasan secara menyeluruh.



6. *Greenship Net Zero (NZ)*

Menurut *Green Building Council Indonesia* (2025), *Greenship Net Zero (NZ)* merupakan program dari GBC Indonesia sebagai inisiatif untuk dekarbonisasi menuju *Net Zero* pada tahun 2050. Bangunan hijau yang menerapkan konsep *Net Zero* dengan menggabungkan metode bangunan ramah lingkungan, peningkatan efisiensi energi dan penggunaan energi terbarukan. *Greenship Net Zero (NZ)* menjadi komitmen GBC Indonesia untuk mencapai industri yang lebih ramah lingkungan, berkelanjutan dan efisien.

2.2.2 Kategori *Greenship*

Penilaian pada tahap *Design Recognition (DR)* dan tahap *Final Assessment (FA)* ditentukan berdasarkan pemenuhan kriteria atau syarat pada kategori penilaian *Greenship*. Kategori dikelompokkan dengan mempertimbangkan kondisi Indonesia yang relevan dan terkait dengan lahan, air, energi, material, kesehatan dalam ruang dan manajemen. Menurut GBCI (2013), setiap kategori memiliki beberapa kriteria dengan poin yang berbeda yaitu:

1. Kriteria prasyarat

Kriteria prasyarat merupakan kriteria yang ada pada setiap kategori penilaian. Kriteria prasyarat wajib dipenuhi sebelum dilakukan penilaian lebih lanjut. Kriteria prasyarat menjadi standar minimum untuk bangunan ramah lingkungan. Apabila kriteria prasyarat tidak terpenuhi, maka kriteria lainnya tidak dapat dinilai.

2. Kriteria kredit

Kriteria kredit merupakan kriteria yang ada pada setiap kategori, namun tidak bersifat wajib. Pemenuhan kriteria kredit harus disesuaikan dengan kemampuan dan kondisi gedung yang dinilai.

3. Kriteria bonus

Kriteria bonus memberikan kesempatan untuk memperoleh nilai tambahan. Kriteria bonus tidak wajib dipenuhi karena umumnya dinilai lebih sulit dan jarang diterapkan di lapangan.



Menurut *Green Building Council Indonesia* (2013), penilaian *Greenship* dikelompokkan menjadi beberapa kategori. Adapun kategori penilaian *Greenship* diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kategori Penilaian *Greenship* (Sumber: Diolah kembali dari *Green Building Council Indonesia*, 2013)

Pada Gambar 2.2 diperlihatkan kategori penilaian dengan sistem penilaian *Greenship*. Berdasarkan Gambar 2.2, terdapat 6 kategori yang menjadi syarat dan wajib dipenuhi untuk mendapatkan sertifikasi bangunan hijau sesuai *Greenship*. Pada setiap kategori dilengkapi dengan kriteria syarat dan bobot penilaian masing-masing. Enam kategori penilaian *Greenship* dengan kriteria dan pembobotan penilaian yaitu:

1. *Energy Efficiency and Conservation (EEC)*

Menurut *Green Building Council Indonesia* (2013), *Energy Efficiency and Conservation (EEC)* atau efisiensi dan konservasi energi memiliki tujuan untuk memantau penggunaan energi pada bangunan agar tidak terjadi pemborosan. Konsumsi energi yang tidak efisien dapat memberikan dampak pemborosan biaya. Selain itu dapat menyebabkan pemanasan global, sebagai akibat dari besarnya pelepasan emisi gas CO₂ ke atmosfer. Kategori EEC memiliki 7



kriteria yang meliputi 2 kriteria prasyarat, 4 kriteria kredit, dan 1 kriteria bonus. Setiap kriteria memiliki poin atau nilai kriteria maksimum tertentu dengan nilai total sebesar 26 poin. Kriteria penilaian kategori *Energy Efficiency and Conservation (EEC)* diperlihatkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kriteria Penilaian Kategori *Energy Efficiency and Conservation (EEC)*

Kriteria		Nilai Kriteria Maksimum	Keterangan Per Kategori
Efisiensi dan Konservasi Energi (<i>Energy Efficiency and Conservation - EEC</i>)			
EEC P1	Pemasangan Submeter (<i>Electrical Sub Metering</i>)	*P	2 kriteria prasyarat; 4 kriteria kredit; 1 kriteria bonus
EEC P2	Perhitungan OTTV (<i>OTTV Calculation</i>)	*P	
EEC 1	Langkah Penghematan Energi (<i>Energy Efficiency Measures</i>)	20	
EEC 2	Pencahayaan Alami (<i>Natural Lighting</i>)	4	
EEC 3	Ventilasi (<i>Ventilation</i>)	1	
EEC 4	Pengaruh Perubahan Iklim (<i>Climate Change Impact</i>)	1	
EEC 5	Energi Terbarukan Dalam Tapak (<i>On Site Renewable Energy</i>)	5 (Bonus)	
Total Nilai Kategori EEC		26	25,7%

*P = Kriteria Prasyarat

(Sumber: Panduan Teknis Perangkat Penilaian Bangunan Hijau untuk Bangunan Baru Berdasarkan *Greenship* Versi 1.2, 2013)

2. *Water Conservation (WAC)*

Menurut *Green Building Council Indonesia* (2013), kategori *Water Conservation (WAC)* atau konservasi air memiliki tujuan untuk memberikan kesadaran akan pentingnya dalam melakukan penghematan air. Penggunaan air yang berlebihan dapat menyebabkan degradasi pada kualitas dan kuantitas air. Upaya penghematan air menjadi salah satu fokus utama dalam manajemen gedung. Adapun beragam upaya yang dapat dilakukan untuk melakukan penghematan air, yaitu pengadaan unit daur ulang air, pemanfaatan air hujan dan penggunaan alternatif air. Kategori WAC memiliki 8 kriteria dengan 2



kriteria prasyarat dan 6 kriteria kredit. Setiap kriteria memiliki nilai kriteria maksimum tertentu dengan total 21 poin. Kriteria penilaian kategori *Water Conservation (WAC)* diperlihatkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kriteria Penilaian Kategori *Water Conservation (WAC)*

Kriteria		Nilai Kriteria Maksimum	Keterangan Per Kategori
Konservasi Air (<i>Water Conservation - WAC</i>)			
WAC P1	Meteran Air (<i>Water Metering</i>)	*P	2 kriteria prasyarat; 6 kriteria kredit
WAC P2	Perhitungan Penggunaan Air (<i>Water Calculation</i>)	*P	
WAC 1	Pengurangan Penggunaan Air (<i>Water Use Reduction</i>)	8	
WAC 2	Fitur Air (<i>Water Fixtures</i>)	3	
WAC 3	Daur Ulang Air (<i>Water Recycling</i>)	3	
WAC 4	Sumber Air Alternatif (<i>Alternative Water Resources</i>)	2	
WAC 5	Penampungan Air Hujan (<i>Rainwater Harvesting</i>)	3	
WAC 6	Efisiensi Penggunaan Air Lanskap (<i>Water Efficiency Landscaping</i>)	2	
Total Nilai Kategori WAC		21	20,8%

*P = Kriteria Prasyarat

(Sumber: Panduan Teknis Perangkat Penilaian Bangunan Hijau untuk Bangunan Baru Berdasarkan *Greenship* Versi 1.2, 2013)

3. *Appropriate Site Development (ASD)*

Appropriate Site Development (ASD) merupakan kategori penilaian yang berfokus pada pemilihan dan pengelolaan tapak bangunan untuk menunjang keberlanjutan kawasan dan kualitas ruang tanpa mengurangi kualitas lingkungan. Fasilitas yang saling terhubung seperti transportasi, utilitas dan fasilitas umum harus memberikan kemudahan untuk mencapai efisiensi energi dan biaya. Kategori ini memiliki 1 kriteria prasyarat dan 7 kriteria kredit dengan total 17 poin (*Green Building Council Indonesia*, 2013). Kriteria penilaian kategori *Appropriate Site Development (ASD)* diperlihatkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kriteria Penilaian Kategori *Appropriate Site Development (ASD)*

Kriteria		Nilai Kriteria Maksimum	Keterangan Per Kategori
Tepat Guna Lahan (<i>Appropriate Site Development - ASD</i>)			
ASD P	Area Dasar Hijau (<i>Basic Green Area</i>)	*P	1 kriteria prasyarat; 7 kriteria kredit
ASD 1	Pemilihan Tapak (<i>Site Selection</i>)	2	
ASD 2	Aksesibilitas Komunitas (<i>Community Accessibility</i>)	2	
ASD 3	Transportasi Umum (<i>Public Transportation</i>)	2	
ASD 4	Fasilitas Pengguna Sepeda (<i>Bicycle Facility</i>)	2	
ASD 5	Lanskap pada Lahan (<i>Site Landscaping</i>)	3	
ASD 6	Iklim Mikro (<i>Micro Climate</i>)	3	
ASD 7	Manajemen Air Limpasan Hujan (<i>Stormwater Management</i>)	3	
Total Nilai Kategori ASD		17	16.8%

*P = Kriteria Prasyarat

(Sumber: Panduan Teknis Perangkat Penilaian Bangunan Hijau untuk Bangunan Baru Berdasarkan *Greenship* Versi 1.2, 2013)

4. *Material Resources and Cycle (MRC)*

Material Resources and Cycle (MRC) atau sumber dan siklus material memiliki tujuan untuk mendorong penggunaan material ramah lingkungan. Kategori ini juga menjadi respon terhadap dampak penggunaan material secara global. Melalui kategori *Material Resources and Cycle (MRC)* diharapkan dapat mendorong industri material bangunan untuk mendukung semangat ramah lingkungan dan mewujudkan bangunan hijau. Kategori *Material Resources and Cycle (MRC)* memiliki 7 kriteria. Kriteria yang harus dipenuhi untuk kategori *Material Resources and Cycle (MRC)* yaitu 1 kriteria prasyarat dan 6 kriteria kredit. Setiap kriteria memiliki poin atau nilai kriteria maksimum tertentu dengan total 14 poin (*Green Building Council Indonesia*, 2013). Kriteria penilaian kategori *Material Resources and Cycle (MRC)* diperlihatkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Kriteria Penilaian Kategori *Material Resources and Cycle* (MRC)

Kriteria		Nilai Kriteria Maksimum	Keterangan Per Kategori
Sumber dan Siklus Material (<i>Material Resources and Cycle</i> - MRC)			
MRC P	Refrigeran Fundamental (<i>Fundamental Refrigerant</i>)	*P	1 kriteria prasyarat; 6 kriteria
MRC 1	Penggunaan Gedung dan Material Bekas (<i>Building and Material Reuse</i>)	2	
MRC 2	Material Melalui Proses Ramah Lingkungan (<i>Environmental Friendly Processed Material</i>)	2	
MRC 3	Penggunaan Refrigeran Tanpa ODP (<i>Non ODS Usage</i>)	2	
MRC 4	Kayu Bersertifikat (<i>Certified Wood</i>)	2	
MRC 5	Material Pra Fabrikasi (<i>Prefab Material</i>)	3	
MRC 6	Material Regional (<i>Regional Material</i>)	2	13,9%
Total Nilai Kategori MRC		14	

*P = Kriteria Prasyarat

(Sumber: Panduan Teknis Perangkat Penilaian Bangunan Hijau untuk Bangunan Baru Berdasarkan *Greenship* Versi 1.2, 2013)

5. *Indoor Health and Comfort* (IHC)

Menurut *Green Building Council* Indonesia (2013), *Indoor Health and Comfort* (IHC) atau kesehatan dan kenyamanan dalam ruang bertujuan untuk menciptakan bangunan dengan ruangan yang kondusif untuk kesehatan dan kenyamanan penggunaannya sambil mempertahankan lingkungan. Kategori penilaian *Indoor Health and Comfort* (IHC) menjadi upaya untuk mewujudkan kualitas lingkungan dalam ruang yang baik sejak tahap perencanaan. Kategori *Indoor Health and Comfort* (IHC) memiliki 8 kriteria. Kriteria yang diperlukan untuk penilaian *Indoor Health and Comfort* (IHC) berupa 1 kriteria prasyarat dan 7 kriteria kredit. Setiap kriteria memiliki poin atau nilai kriteria maksimum yang berbeda-beda. Total nilai kredit yang dapat diperoleh pada kategori *Indoor Health and Comfort* (IHC) yaitu 10 poin. Kriteria penilaian kategori *Indoor Health and Comfort* (IHC) diperlihatkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Kriteria Penilaian Kategori *Indoor Health and Comfort (IHC)*

Kriteria		Nilai Kriteria Maksimum	Keterangan Per Kategori
Kesehatan dan Kenyamanan dalam Ruang (<i>Indoor Health and Comfort - IHC</i>)			
IHC P	Introduksi Udara Luar (<i>Outdoor Air Introduction</i>)	*P	1 kriteria prasyarat; 7 kriteria kredit
IHC 1	Pemantauan Kadar CO ₂ (<i>CO₂ Monitoring</i>)	1	
IHC 2	Kendali Asap Rokok di Lingkungan (<i>Environmental Tobacco Smoke Control</i>)	2	
IHC 3	Polutan Kimia (<i>Chemical Pollutant</i>)	3	
IHC 4	Pemandangan keluar Gedung (<i>Outside View</i>)	1	
IHC 5	Kenyamanan Visual (<i>Visual Comfort</i>)	1	
IHC 6	Kenyamanan Termal (<i>Thermal Comfort</i>)	1	
IHC 7	Tingkat Kebisingan (<i>Acoustic Level</i>)	1	
Total Nilai Kategori IHC		10	9,9%

*P = Kriteria Prasyarat

(Sumber: Panduan Teknis Perangkat Penilaian Bangunan Hijau untuk Bangunan Baru Berdasarkan *Greenship* Versi 1.2, 2013)

6. *Building Environment Management (BEM)*

Menurut *Green Building Council Indonesia* (2013), *Building Environment Management (BEM)* atau manajemen lingkungan bangunan merupakan standar manajemen yang terencana untuk mengarahkan segala tindakan pada masa operasional bangunan. Kegiatan manajemen lingkungan bangunan dilakukan dengan sistem pengelolaan untuk menunjukkan hasil bangunan ramah lingkungan. Kategori *Building Environment Management (BEM)* bertujuan untuk memberikan tekanan akan pentingnya faktor sumber daya manusia dalam keberlangsungan bangunan. Kategori *Building Environment Management (BEM)* memiliki 8 kriteria. Kriteria yang diperlukan untuk penilaian *Building Environment Management (BEM)* yaitu 1 kriteria prasyarat dan 7 kriteria kredit. Total poin maksimum yang dapat diperoleh yaitu 13 poin. Kriteria penilaian kategori *Building Environment Management (BEM)* diperlihatkan pada Tabel 2.6.



Tabel 2.6 Kriteria Penilaian Kategori *Building Environment Management* (BEM)

Kriteria		Nilai Kriteria Maksimum	Keterangan Per Kategori
Manajemen Lingkungan Bangunan (<i>Building Environment Management</i> - BEM)			
BEM P	Dasar Pengelolaan Sampah (<i>Basic Waste Management</i>)	*P	1 kriteria prasyarat; 7 kriteria kredit
BEM 1	GP Sebagai Anggota Tim Proyek (<i>GP as Member of Project Time</i>)	1	
BEM 2	Polusi dari Aktivitas Konstruksi (<i>Pollution of Construction Activity</i>)	2	
BEM 3	Pengelolaan Sampah Tingkat Lanjut (<i>Advanced Waste Management</i>)	2	
BEM 4	Sistem Komisioning yang Baik dan Benar (<i>Proper Commissioning</i>)	3	
BEM 5	Penyerahan Data Bangunan Hijau (<i>Submission Green Building Data</i>)	2	
BEM 6	Kesepakatan dalam Melakukan Aktivitas <i>Fit Out</i> (<i>Fit Out Agreement</i>)	1	
BEM 7	Survei Pengguna Gedung (<i>Occupant Survey</i>)	2	12,9%
Total Nilai Kategori BEM		13	

*P = Kriteria Prasyarat

(Sumber: Panduan Teknis Perangkat Penilaian Bangunan Hijau untuk Bangunan Baru Berdasarkan *Greenship* Versi 1.2, 2013)

Setiap kriteria terdiri dari beberapa tolok ukur yang menjadi parameter untuk menentukan keberhasilan dari implementasi praktik ramah lingkungan. Hasil dari penilaian akan disesuaikan dengan peringkat yang dapat dicapai oleh gedung yang dinilai. Peringkat penilaian dikeluarkan oleh GBCI untuk mendapatkan sertifikat bangunan hijau sesuai dengan poin yang diperoleh. Peringkat penilaian diperoleh berdasarkan persentase dan nilai yang dapat dicapai oleh bangunan hijau, baik pada tahap *design recognition* maupun tahap *final assessment*. Nilai minimum pada peringkat harus terpenuhi untuk dapat memperoleh sertifikasi bangunan hijau berdasarkan 6 kategori penilaian. Persentase dan nilai minimum peringkat penilaian *Greenship* diperlihatkan pada Tabel 2.7.

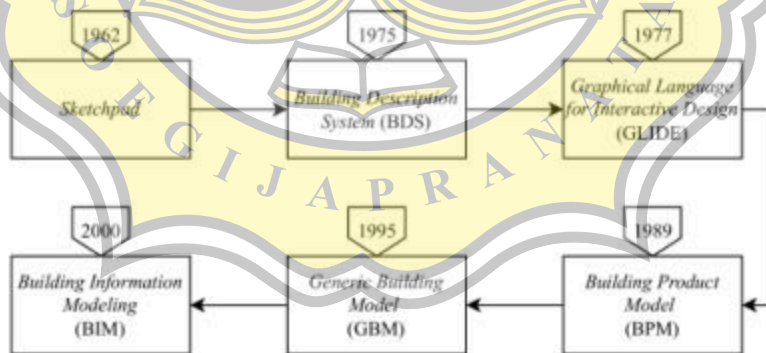
Tabel 2.7 Persentase dan Nilai Minimum Peringkat Penilaian *Greenship*

Peringkat	Persentase	Nilai Minimum <i>Design Recognition</i>	Nilai Minimum <i>Final Assessment</i>
<i>Bronze</i>	73%	56	74
<i>Silver</i>	57%	43	58
<i>Gold</i>	46%	35	46
<i>Platinum</i>	35%	27	35

(Sumber: *Green Building Council Indonesia*, 2018)

2.3 *Building Information Modeling* (BIM)

Building Information Modeling (BIM) memiliki potensi atau kemampuan untuk menunjang proyek konstruksi pada seluruh siklus hidupnya. *Building Information Modeling* (BIM) bukan hanya sekedar model informasi atau alat manajemen konstruksi tetapi telah berkembang menjadi cara baru dalam mengatur pekerjaan di industri konstruksi. *Building Information Modeling* (BIM) telah dikembangkan dari tahun ke tahun. *Building Information Modeling* (BIM) dipahami sebagai pendekatan yang berfokus pada peningkatan efisiensi dan produktivitas dalam industri konstruksi (Borkowski, 2023). Pada Gambar 2.3 diperlihatkan mengenai alur dari perkembangan BIM.



Gambar 2.3 Alur Perkembangan BIM (Sumber: Diolah Kembali Dari Borkowski, 2023; Latiffi., dkk., 2014; Gobesz, 2020)

Berdasarkan Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa *Building Information Modeling* (BIM) dikembangkan berdasarkan program komputer dari tahun ke tahun. Pada



tahun 1962, telah diperkenalkan perangkat lunak berupa *Sketchpad* yang merupakan awal bagi pemodelan desain dengan menggunakan bantuan komputer (Gobesz, 2020). Pada tahun 1975, Profesor Charles Eastman memperkenalkan *Building Description System* (BDS). *Building Description System* (BDS) didefinisikan sebagai basis data yang mampu mendeskripsikan bangunan dengan tujuan untuk memudahkan proses desain dan konstruksi. Sistem ini digunakan untuk membangun model sistem fisik kompleks pada bangunan yang terdiri dari berbagai spesifikasi elemen (Latiffi., dkk., 2014). Adanya keterbatasan pada sistem BDS, maka akhirnya BDS dikembangkan lagi untuk memperoleh hasil yang maksimal. *Building Description System* (BDS) dikembangkan menjadi *Graphical Language for Interactive Design* (GLIDE). *Graphical Language for Interactive Design* (GLIDE) merupakan versi perbaikan dari perangkat lunak BDS (Gobesz, 2020). Perangkat lunak GLIDE dinilai mampu memberikan gambar 2D yang lebih konsisten dan akurat jika dibandingkan dengan perangkat lunak BDS. *Graphical Language for Interactive Design* (GLIDE) dikembangkan dengan mencakup elemen-elemen tertentu dari bangunan. Selain itu GLIDE dapat digunakan untuk memeriksa keakuratan estimasi biaya data dan evaluasi desain struktural pada proyek konstruksi. Kedua perangkat tersebut memiliki keterbatasan karena hanya dapat digunakan pada tahap desain saja, sehingga dilakukan pengembangan program baru (Latiffi., dkk., 2014 dan Gobesz, 2020).

Building Product Model (BPM) merupakan perkembangan program baru yang dikembangkan dan muncul pada tahun 1989. *Building Product Model* (BPM) dapat mencakup desain, estimasi, proses konstruksi, dan keterlibatan pemangku kepentingan pada proyek konstruksi. *Software* ini dapat berisi mengenai informasi proyek dimulai dari tahap perencanaan hingga penyelesaian konstruksi. *Software* ini umumnya dapat ditafsirkan komputer menjadi *computer aided design* atau yang dikenal dengan CAD (Latiffi., dkk., 2014). Kemudian pada tahun 1995, diperkenalkan *Generic Building Model* (GBM) yang merupakan perkembangan dari konsep BPM. *Generic Building Model* (GBM) diperluas untuk mengintegrasikan informasi dari desain bangunan untuk sepanjang *life cycle* bangunan selama proses konstruksi berlangsung. Seiring perkembangan zaman,



industri konstruksi kerap menjadi lebih kompleks dan detail, sehingga membutuhkan program atau perangkat lunak baru untuk meningkatkan kinerja secara menyeluruh. Pada tahap ini *Building Information Modeling* (BIM) diperkenalkan (Latiffi., dkk., 2014).

Pada tahun 2000, BIM didefinisikan sebagai model terstruktur yang mewakili elemen dari bangunan. *Building Information Modeling* (BIM) dapat digunakan mulai dari fase pra-konstruksi hingga fase pasca-konstruksi. Pada tahun 2005, akhirnya BIM didefinisikan sebagai pengembangan dan penggunaan perangkat lunak komputer yang dapat memberikan informasi mengenai simulasi konstruksi dan operasional suatu fasilitas. *Building Information Modeling* (BIM) terus mengalami perkembangan hingga pada tahun 2008 diadopsi sebagai simulasi proyek yang terdiri dari model 3 dimensi dari komponen proyek. Perkembangan BIM terjadi secara terus menerus hingga BIM telah diperluas menjadi teknologi yang dapat membantu dalam merancang, memahami, dan mengoperasikan bangunan (Latiffi., dkk., 2014).

Building Information Modeling (BIM) didefinisikan sebagai representasi digital dari karakteristik fisik dan fungsional dalam suatu fasilitas (Mosse, dkk., 2020).

Building Information Modeling (BIM) menggunakan berbagai kebijakan, teknik, dan proses untuk menghasilkan suatu metodologi. Metodologi ini yang nantinya dapat digunakan untuk mengelola suatu desain dan data pada proyek dalam format digital melalui suatu siklus hidup bangunan. *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan model 3D dengan tambahan data seperti jadwal dan informasi biaya (Habib dan Erzaij, 2020). Menurut Putra (2022), BIM didefinisikan sebagai teknologi berbasis model yang terhubung dengan database. Berdasarkan definisi tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa BIM pada proyek konstruksi dapat digunakan untuk memperkirakan, menjadwalkan, dan melakukan manajemen proyek. Beberapa studi menemukan berbagai pandangan dalam mendefinisikan BIM. Menurut beberapa studi BIM dapat dipahami sebagai suatu aktivitas, produk, atau sistem. Pada Gambar 2.4 diperlihatkan pengertian *Building Information Modeling* (BIM) dari berbagai pandangan.



Gambar 2.4 Pengertian BIM Dari Berbagai Pandangan (Sumber: Digambar Ulang Dari Maunula, dkk., 2008; Borkowski, 2023; Arayici, 2015)

Gambar 2.4 merupakan pendekatan yang paling dapat diterima mengenai pengertian BIM dari berbagai pandangan. *Building Information Modeling (BIM)* sebagai *activity* memiliki definisi sebagai tindakan yang menciptakan model informasi dari bangunan. Pada definisi ini juga mencakup teknologi yang digunakan dalam pembuatan model informasi bangunan. Pada pembuatan model informasi bangunan umumnya mengacu pada pemodelan data, pengumpulan dan pembuatan informasi, perolehan sumber daya atau pembaharuan *database* dari suatu objek konstruksi. *Building Information Modeling (BIM)* sebagai *product* dapat didefinisikan sebagai produk akhir, yaitu menyediakan data terstruktur yang mendeskripsikan bangunan. Sebagai *system*, BIM menyediakan *platform* terstruktur untuk kolaborasi dan komunikasi berbagai pemangku kepentingan. Sebagai *system*, BIM menyediakan cara kerja yang terorganisir untuk berbagai pemangku kepentingan (Maunula, dkk., 2008 dan Borkowski, 2023).

Terdapat konsep *Level of Development (LOD)* dalam penerapan BIM. Konsep ini dikembangkan dari *Level of Detail (LoD)* yang sebelumnya digunakan dalam



bidang *computer graphics* untuk mengatur tingkat kompleksitas visual dari model (Abualdenien dan Borrmann, 2022). *Level of Development (LOD)* terdiri dari beberapa tingkatan yang diperlihatkan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 *Level of Development (LOD)* Pada BIM

Level	Karakteristik
LOD 100 (conceptual model)	Model BIM bersifat konseptual yang hanya merepresentasikan massa bangunan secara umum.
LOD 200 (approximate geometry)	Elemen bangunan pada model BIM sudah memiliki bentuk dan ukuran namun masih bersifat estimasi.
LOD 300 (precise geometry)	Elemen bangunan pada model BIM sudah memiliki geometri yang terdefinisi dengan jelas dan akurat.
LOD 350 (construction documentation)	Elemen model pada level ini menunjukkan hubungan antar sistem bangunan yang dapat mendukung koordinasi.
LOD 400	Elemen model mencakup informasi tingkat detail berupa fabrikasi, perakitan, dan instalasi.
LOD 500 (as built)	Elemen model pada level ini telah diverifikasi berdasarkan kondisi aktual di lapangan.

(Sumber: Diolah Kembali Dari Abualdenien dan Borrmann, 2022)

Building Information Model (BIM) terus berkembang hingga kini tersedia dalam beberapa dimensi dari 2D hingga 7D. Setiap level BIM memiliki kontribusi untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan dalam sektor konstruksi. Penggunaan dimensi BIM bergantung kebutuhan pekerjaan (Santiago, dkk., 2020; Raqeb dan Ghaffar, 2025). Pada Tabel 2.9 diperlihatkan dimensi dan properti pada BIM.

Tabel 2.9 Dimensi dan Properti Pada BIM

Dimensi BIM	Properti
2D	Dokumentasi dasar berupa 2D
3D	Model 3 dimensi (3D)
4D	Penjadwalan
5D	Perencanaan, pemantauan, dan pengendalian biaya
6D	Keberlanjutan dan efisiensi energi
7D	Manajemen fasilitas

(Sumber: Habib dan Erzajj, 2020)



Pada Tabel 2.9 dapat dilihat bahwa dimensi BIM dimulai dari 2D hingga 7D. Pada tiap dimensi BIM terdapat aspek yang akan dikembangkan untuk pemodelan bangunan. Penjelasan detail menurut Santiago, dkk., (2020), sebagai berikut:

1. Dimensi 2D

Building Information Modeling (BIM) dengan dimensi 2D mengacu pada rencana 2 dimensi secara tradisional.

2. Dimensi 3D

Pada BIM dimensi 3D aspek yang dapat dikembangkan adalah dokumentasi grafis secara 3 dimensi, informasi geometri khusus, objek dengan properti, dan visualisasi 3D dari bangunan.

3. Dimensi 4D

Pada BIM dimensi 4D aspek yang dikembangkan adalah simulasi dari tiap tahapan proyek konstruksi, instalasi, dan desain dari rencana pelaksanaan.

4. Dimensi 5D

Pada BIM dimensi 5D aspek yang dikembangkan adalah estimasi anggaran biaya, pengukuran mengenai material dan tenaga kerja, dan analisis biaya operasional.

5. Dimensi 6D

Pada BIM dimensi 6D aspek yang dapat dikembangkan adalah analisis energi, simulasi dan proposal mengenai opsi hemat energi dan keberlanjutan secara lingkungan. Pada BIM 6D lebih difokuskan pada pengelolaan keberlanjutan.

6. Dimensi 7D

Pada BIM dengan dimensi 7D aspek yang dapat dikembangkan adalah strategi analisis siklus hidup atau *Life Cycle Assessment* (LCA), pemodelan rencana operasional dan pemeliharaan bangunan, dan kontrol logistik proyek.

2.4 Potensi *Building Information Modeling* (BIM) Pada Proyek Konstruksi

Building Information Modeling (BIM) memiliki potensi atau kemampuan untuk menunjang proyek konstruksi. Penerapan BIM yang sesuai dengan tingkatan BIM



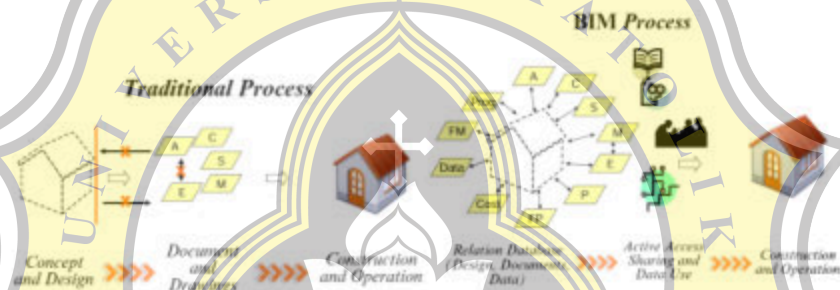
dapat memberikan pengaruh yang cukup signifikan pada proyek konstruksi. Penerapan BIM pada proyek konstruksi memiliki pengaruh pada berbagai aspek dari proyek konstruksi pada tiap fase. *Building Information Modeling* (BIM) dapat diterapkan pada seluruh siklus hidup (*life cycle*) bangunan. *Building Information Modeling* (BIM) dapat diterapkan pada tiap fase dalam *life cycle* proyek konstruksi dengan tingkatan yang sesuai. *Building Information Modeling* (BIM) dapat mempengaruhi kinerja biaya menjadi akurat dan efisien dengan menerapkan BIM level 5D karena dapat menghasilkan perhitungan volume yang hampir akurat sesuai kondisi di lapangan (Kurniawan dan Suroso, 2023).

Penerapan BIM dapat mempengaruhi kinerja mutu pada proyek konstruksi. Hal ini dikarenakan dengan menerapkan BIM level 3D, maka dapat menghasilkan visualisasi proyek. Visualisasi proyek konstruksi secara 3D dapat digunakan para pemangku kepentingan untuk menentukan material yang digunakan. Selain itu visualisasi 3D juga dapat digunakan untuk mendeteksi adanya kesalahan (Kurniawan dan Suroso, 2023). Pemodelan 3D menggunakan BIM dengan level 3D paling banyak memberikan manfaat di Indonesia. Pemodelan 3D dengan BIM dapat mengurangi revisi pada tahap perencanaan karena dapat mendeteksi adanya tabrakan pada elemen model 3D, mempermudah dokumentasi, mempermudah koordinasi, dan dapat membantu para pemangku kepentingan untuk mengambil keputusan yang tepat dan efisien (Pantiga dan Soekiman, 2021).

Penerapan BIM dapat mempengaruhi kinerja penjadwalan karena pada BIM level 4D dapat digunakan untuk memberikan visualisasi tahapan proyek konstruksi dari awal hingga akhir (Kurniawan dan Suroso, 2023). Penggunaan BIM level 6D pada proyek konstruksi dapat mencakup keberlanjutan bangunan. Pada hal ini BIM dapat memberikan detail analisis penggunaan energi serta mendeteksi elemen yang dapat digunakan pada tahap proses konstruksi pembangunan berkelanjutan. Penggunaan BIM pada level 7D dapat memberikan informasi perihal pemeliharaan fasilitas bangunan dan diintegrasikan dengan simulasi CAD 7D. *Building Information Modeling* (BIM) dengan level 7D dapat mengoptimalkan manajemen mulai dari desain hingga pembongkaran bangunan (Wijaya, dkk., 2024).



Implementasi BIM yang sukses pada proyek konstruksi dapat dicapai dengan keterlibatan semua pemangku kepentingan proyek konstruksi. Pemangku kepentingan pada proyek konstruksi yang dimaksudkan adalah *owner*, arsitek, insinyur, perencana, kontraktor, subkontraktor, dan *supplier*. *Building Information Modeling (BIM)* juga dapat dilihat sebagai proses yang mencakup beberapa aspek yang memungkinkan bagi semua pemangku kepentingan untuk berkolaborasi secara akurat dan efisien dibandingkan dengan proses tradisional (Azhar, dkk., 2012). Pada Gambar 2.5 diperlihatkan perbandingan proses tradisional dengan BIM.



Gambar 2.5 Perbandingan Proses Tradisional Dengan BIM (Sumber: Azhar, dkk., 2012)

Pada Gambar 2.5 diperlihatkan perbandingan siklus dan penggambaran dari kegiatan konstruksi secara tradisional dan dengan menggunakan bantuan BIM. Pada proses tradisional, aspek dokumentasi belum terintegrasi dan masih dilakukan secara manual. Hal ini menyebabkan proses tradisional membutuhkan waktu yang lebih lama, sedangkan dengan BIM segala aspek dapat terintegrasi dan saling berhubungan dengan satu sistem. Hal ini akan menghasilkan koordinasi yang baik antar aspek dan dapat diindikasikan bahwa dengan menggunakan BIM pekerjaan konstruksi berjalan menjadi lebih efisien dan efektif (Wijaya, dkk., 2024).

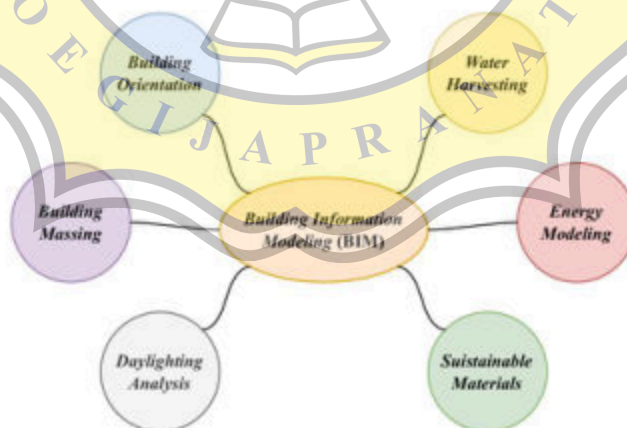
2.5 Potensi *Building Information Modeling (BIM)* Pada Bangunan Hijau

Pembangunan berkelanjutan telah menjadi perhatian global saat ini. Hal ini dikarenakan pembangunan dengan konsep berkelanjutan dapat menjadi alternatif



untuk mengurangi masalah lingkungan akibat dari segala kegiatan pada industri konstruksi. Berbagai konsep dan pendekatan mengenai pembangunan berkelanjutan telah dikembangkan selama beberapa tahun terakhir. Salah satu pendekatan yang dikembangkan adalah sertifikasi bangunan hijau (*green building rating system*). Hingga saat ini terdapat beragam sistem penilaian untuk sertifikasi bangunan hijau. Selain itu pada konsep bangunan hijau telah dilakukan juga pemodelan dengan BIM (Solla, dkk., 2016).

Building Information Modeling (BIM) awalnya hanya merupakan konsep cara menggambar dan mempercepat proses dokumentasi dari desain. Seiring dengan perkembangannya, BIM memiliki beberapa manfaat lain dalam industri konstruksi. Manfaat BIM terus meluas hingga ke konsep pembangunan berkelanjutan yang salah satunya adalah bangunan hijau. Hal ini dikarenakan BIM memiliki kemampuan untuk menggunakan geometri bangunan dari model dalam aplikasi lain untuk mempercepat analisis pada prinsip desain berkelanjutan. *Building Information Modeling (BIM)* dapat memberikan laporan mengenai area dan kuantitas secara otomatis untuk perhitungan air hujan, akses pencahayaan alami, dan analisis surya. *Building Information Modeling (BIM)* dapat membantu dalam berbagai aspek di bangunan hijau (Krygiel dan Nies, 2008). Gambar 2.6 memperlihatkan manfaat BIM pada bangunan hijau pada berbagai aspek.



Gambar 2.6 Manfaat BIM Pada Bangunan Hijau Pada Berbagai Aspek (Sumber: Diolah Kembali Dari Krygiel dan Nies, 2008)



Berdasarkan Gambar 2.6, berikut adalah penjelasan dari aspek yang dimaksudkan menurut Krygiel dan Nies (2008):

1. *Building orientation*

Building Information Modeling (BIM) mampu melibatkan analisis dengan memposisikan bangunan pada lokasi yang berkaitan dengan jalur matahari sepanjang tahun. *Building Information Modeling* (BIM) dapat memberikan visualisasi pada siang atau malam hari untuk dilakukan analisis mengenai area yang secara langsung terkena sinar matahari (Zulkefli, dkk., 2020).

2. *Building massing*

Building Information Modeling (BIM) dapat digunakan untuk menganalisis dan mengoptimalkan bentuk bangunan yang akan berpengaruh pada pelepasan energi dan pengoptimalan pencahayaan pada siang hari (Krygiel dan Nies, 2008 dan Zulkefli, dkk., 2020).

3. *Daylighting analysis*

Pada aspek ini BIM memungkinkan untuk melakukan konfigurasi permintaan pencahayaan buatan yang akan berpengaruh terhadap perolehan panas internal dan energi yang dilepaskan (Zulkefli, dkk., 2020).

4. *Water harvesting*

Penggunaan BIM pada aspek ini memiliki tujuan untuk mengurangi penggunaan air pada bangunan. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan BIM maka memungkinkan untuk melakukan perhitungan potensi air hujan yang dapat ditangkap (Zulkefli, dkk., 2020).

5. *Energy modeling*

Penggunaan BIM pada aspek ini memiliki tujuan untuk mengurangi kebutuhan energi pada bangunan. Selain itu, BIM juga dapat digunakan untuk menganalisis opsi energi terbarukan.

6. *Sustainable materials*

Building Information Modeling (BIM) pada *sustainable materials* dapat digunakan untuk mencegah keborosan dalam penggunaan material. Selain itu



BIM dapat digunakan untuk melakukan analisis dalam penggunaan material dari bahan daur ulang.

Penggunaan BIM untuk analisis dengan simulasi pada bangunan hijau dapat diterapkan pada seluruh *life cycle* bangunan. *Building Information Modeling (BIM)* dapat digunakan mulai dari tahap desain, konstruksi, operasional, hingga renovasi dan perbaikan (Lu, dkk., 2017). Pada Gambar 2.7 diperlihatkan penggunaan BIM pada *life cycle* bangunan hijau.



Gambar 2.7 Penggunaan BIM Pada *Life Cycle* Bangunan Hijau (Sumber: Digambar Ulang Dari Lu, dkk., 2017)

Pada Gambar 2.7 diperlihatkan mengenai penggunaan BIM pada *life cycle* bangunan yang dimulai dari tahap desain hingga renovasi. Pada tahap desain, BIM dapat memberikan visualisasi analisis dan kinerja dari bangunan yang dapat digunakan untuk memilih alternatif desain. Pada masa konstruksi BIM dapat memberikan berbagai analisis dampak konstruksi pada lingkungan serta berkontribusi terhadap pengurangan limbah, sehingga dapat meningkatkan produktivitas dan kinerja dari proyek konstruksi. Pada tahap operasional, BIM dapat memantau kinerja dari bangunan hijau. Pada tahap renovasi dan perbaikan, BIM dapat memberikan manfaat dalam pengambilan keputusan dan pengelolaan limbah (Lu, dkk., 2017). Secara keseluruhan manfaat penggunaan BIM dalam seluruh *life cycle* bangunan hijau dapat dikategorikan menjadi 3 bagian sebagai berikut:

1. *Building Information Modeling (BIM)* dapat mengintegrasikan segala informasi yang diperlukan untuk bangunan hijau. Selain itu dengan BIM dapat



memberikan proses evaluasi desain secara otomatis dan mampu memfasilitasi proses pembaruan pada model bangunan (Schlueter dan Thesseling, 2009 dan Lu, dkk., 2017).

2. *Building Information Modeling* (BIM) dapat memberikan informasi visual mengenai membangun kinerja dan proses. Hal ini memungkinkan bagi peserta proyek konstruksi untuk membuat keputusan yang lebih ramah lingkungan (Schlueter dan Thesseling, 2009 dan Lu, dkk., 2017).
3. *Building Information Modeling* (BIM) dapat meningkatkan komunikasi dan koordinasi bagi pemangku kepentingan terkait dengan desain, proses konstruksi, dan proses operasional dari bangunan hijau (Lu, dkk., 2017).

Menurut Zulkhefli, dkk., (2020), *Building Information Modeling* (BIM) merupakan alat inovatif yang memiliki peluang untuk mendukung konsep bangunan hijau. *Building Information Modeling* (BIM) pada desain bangunan hijau mampu menyelaraskan tujuan dari proses pengambilan keputusan dan pemangku kepentingan pada proyek konstruksi. Pada beberapa kasus, proses ini memungkinkan untuk menjadikan proses sertifikasi bangunan hijau menjadi lebih efektif dan efisien. Studi menemukan bahwa penggunaan BIM pada bangunan hijau memberikan penghematan waktu dan biaya yang cukup signifikan (Solla, dkk., 2016 dan Azhar, dkk., 2009).

Penggunaan BIM pada bangunan hijau untuk analisis dengan simulasi telah menunjukkan potensi besar (Numan, dkk., 2024). Analisis dengan simulasi dengan menggunakan BIM telah berkembang selama beberapa dekade terakhir dan telah memberikan bantuan untuk membuat pemikiran tentang dampak struktur terhadap lingkungan. Hal ini dikarenakan BIM tidak hanya memberikan informasi mengenai geometri struktur saja, namun juga memungkinkan untuk dilakukan perhitungan kapasitas dan energi pada model struktur. Analisis dengan simulasi dapat membantu untuk mengetahui konsumsi energi yang masuk dan keluar melalui ruang internal dalam model bangunan. Informasi ini dapat bermanfaat untuk mengambil keputusan yang dapat meningkatkan kinerja dan menurunkan dampak lingkungan (Gardezi, dkk., 2022).



Building Information Modeling (BIM) dengan ketelitian yang tinggi dapat menangkap data terperinci seperti geometri bangunan, hubungan spasial, informasi geografis, sifat material konstruksi, dan data siklus hidup proyek konstruksi secara terintegrasi (Numan, dkk., 2024 dan Volk, dkk., 2014). Berdasarkan segala informasi dan data yang ada dalam objek BIM, maka memungkinkan untuk dilakukan evaluasi dengan tujuan untuk memperkirakan dan mengoptimalkan kinerja dari bangunan hijau (Kamel dan Memari, 2019). Terdapat dua tahapan analisis bangunan hijau yang melibatkan teknologi BIM dan alat pendukung analisis kerja bangunan hijau. Pada tahap pertama perlu dilakukan pemodelan 3D dengan menggunakan BIM. Selanjutnya pada tahap kedua dilakukan dengan menggunakan alat pendukung analisis kinerja bangunan berbasis BIM yang akan berfokus untuk melakukan analisis dengan simulasi pada bangunan hijau (Wong dan Fan, 2013). Analisis bangunan hijau dengan melibatkan teknologi BIM dan alat pendukung analisis kinerja bangunan berbasis BIM dinilai dapat menghasilkan keputusan yang lebih selaras dengan standar spesifikasi bangunan hijau. Analisis dengan alat pendukung analisis kinerja bangunan berbasis BIM untuk bangunan hijau umumnya dapat dilakukan dengan simulasi. Integrasi BIM untuk melakukan pemodelan 3D dan analisis dengan simulasi untuk bangunan hijau terbukti menciptakan lingkungan digital untuk desain bangunan berkelanjutan yang lebih baik (Numan, dkk., 2024).

Hasil analisis dengan simulasi menggunakan BIM menunjukkan bahwa BIM dapat melakukan analisis berulang dengan cepat untuk mengoptimalkan efisiensi energi. Selain itu BIM juga dapat membuat proses dokumentasi secara otomatis untuk sertifikasi sejak awal konsep desain. *Building Information Modeling* terbukti dapat mengurangi perhitungan rumit yang ada dalam proses sertifikasi. Selain itu BIM juga dapat memberikan fasilitas untuk pemeriksaan kepatuhan bangunan berkelanjutan terhadap prasyarat dari sertifikasi peringkat bangunan hijau (Numan, dkk., 2024). Sistem penilaian atau sertifikasi bangunan hijau dapat digunakan sebagai tolok ukur untuk mengevaluasi kinerja bangunan. Umumnya proses analisis dan dokumentasi untuk sistem penilaian ini memerlukan serangkaian prosedur yang dapat menyebabkan kemunduran dalam produktivitas. Hadirnya teknologi BIM



dapat mempermudah dan mempercepat proses tersebut, namun hingga saat ini belum ada alur kerja standar untuk pemodelan berbasis BIM untuk penilaian bangunan hijau (Lim, dkk., 2021). Pada proses implementasi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau untuk analisis dengan simulasi, terdapat beberapa *software* yang dapat digunakan. Setiap *software* memiliki aplikasi masing-masing yang dapat diterapkan untuk melakukan analisis pada bangunan hijau (Lin, dkk., 2019). Pada Tabel 2.10 diperlihatkan *software* dan aplikasinya untuk simulasi analisis pada bangunan hijau.

Tabel 2.10 *Software* dan Aplikasinya untuk Simulasi Analisis pada Bangunan Hijau

No.	<i>Software</i>	Aplikasi untuk Analisis pada Bangunan Hijau
1.	Autodesk Revit	Analisis energi dan simulasi beban pendinginan.
2.	Autodesk Flow Design	Simulasi kondisi aliran udara, simulasi dan analisis arah angin, simulasi dan analisis kondisi aliran udara yang berada di luar ruangan.
3.	Ecotect Analysis	Simulasi sinar matahari dan radiasi matahari pada bangunan.
4.	Autodesk Insight 360	Simulasi konsumsi energi, radiasi panas, simulasi pendinginan.
5.	Autodesk Vasari	Simulasi kondisi aliran udara di dalam ruangan, radiasi panas.
6.	Green Building Studio	Analisis ventilasi dan aliran udara, analisis penggunaan energi pada keseluruhan bangunan, perhitungan dan analisis emisi karbon, perhitungan penggunaan sumber daya air.
7.	IES VE	Simulasi sinar matahari pada bangunan, radiasi panas matahari, data iklim, simulasi pendinginan, analisis simulasi aliran udara di dalam ruangan, simulasi pencahayaan dan evakuasi.
8.	DesignBuilder	Simulasi energi, <i>daylighting</i> , analisis kenyamanan termal, analisis aliran udara, analisis <i>life cycle cost</i> , dan analisis emisi karbon pada bangunan.

(Sumber: Lin, dkk., 2019 dan Han, dkk., 2018)



Sekarang ini beragam *software* dengan tujuan untuk membantu proyek konstruksi telah dikembangkan, salah satunya adalah dengan tujuan untuk melakukan analisis dengan simulasi pada bangunan hijau. Beragam *software* yang tersedia untuk melakukan analisis dengan simulasi dapat dilihat kembali pada Tabel 2.11. Berbagai *software* yang tersedia memiliki aplikasi yang berbeda-beda untuk menganalisis bangunan hijau. Selain itu pada setiap *software* memiliki berbagai tingkat kompleksitas dan respon yang berbeda terhadap parameter desain dan kondisi operasional yang diasumsikan. Meskipun berbagai *software* memiliki tingkat kompleksitas dan respon yang berbeda, namun umumnya berbagai *software* tersebut masih memiliki struktur umum aliran data yang dapat dikategorikan sama (Al Ka'bi, 2020). Pada Gambar 2.8 diperlihatkan aliran data pada aplikasi *software* simulasi.



Gambar 2.8 Aliran Data Pada Aplikasi *Software* Simulasi (Sumber: Digambar Ulang Dari Al Ka'bi, 2020)

Pada Gambar 2.8 diperlihatkan kebutuhan data yang umumnya diperlukan untuk melakukan analisis dengan simulasi pada bangunan menggunakan berbagai *software*. Data umum yang diperlukan adalah geometri bangunan, kondisi cuaca, sistem *Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC)*, data penggunaan energi (seperti pencahayaan alami dan buatan dan penggunaan listrik). Selain data



umum tersebut perlu dilakukan *input* mengenai operasional sistem dan parameter spesifik untuk simulasi. Keseluruhan data tersebut akan dianalisis dengan simulasi oleh *software* hingga mendapatkan hasil analisis dari simulasi pada bangunan (Al Ka'bi, 2020).

2.6 *Building Information Modeling* (BIM) Software

Kemajuan teknologi mempengaruhi berbagai bidang industri yang salah satunya adalah bidang *Architect Engineering Construction* (AEC). Pada bidang ini terus dilakukan pengembangan teknologi digital secara maksimal. Hal ini dapat terbukti dengan adanya konsep *Building Information Modeling* (BIM). Sekarang ini banyak usaha yang dilakukan untuk mengoptimalkan penggunaan *software* dengan tujuan untuk membantu menerapkan konsep *Building Information Modeling* (BIM). Menggunakan *software* dengan konsep *Building Information Modeling* (BIM) dapat memberikan visualisasi 3D dari model bangunan. Visualisasi model 3D akan membantu memperlihatkan hasil dari pekerjaan konstruksi sebelum dimulai kegiatan konstruksi (Wibowo, dkk., 2020).

Software dengan menerapkan teknologi BIM memiliki fitur pemodelan arsitektur, struktural, *Mechanical, Electrical, and Plumbing* (MEP), dan analisis energi. Menggunakan *software* dengan teknologi BIM memungkinkan untuk memberikan simulasi desain yang detail. Hal ini dapat meningkatkan keakuratan hingga 45% jika dibandingkan dengan metode tradisional. Selain itu, dengan menggunakan *software* dengan teknologi BIM dapat mengurangi kesalahan teknis dalam desain hingga 30%. Hal ini dikarenakan dalam BIM terdapat fitur *clash detection*. *Software* dengan teknologi BIM juga dapat mengurangi waktu penyelesaian proyek hingga 20% karena integrasi data dan proses analisis otomatis yang terdapat dalam BIM (Ramadhani dan Rengganis, 2024). Menurut Ramadhani dan Rengganis (2024), terdapat beberapa *software* BIM yang umum digunakan sebagai berikut:

1. Tekla Structures

Tekla Structures merupakan *software* BIM dengan pemodelan 3D dan manajemen informasi untuk desain dan analisis secara struktural.



2. Autodesk Revit

Autodesk Revit merupakan produk dari Autodesk. Autodesk Revit memberikan solusi pada pemodelan dan manajemen informasi bangunan untuk arsitektur, struktur, dan MEP.

3. Archicad

Software ini memiliki fitur pemodelan 3D dan alat kolaborasi untuk melakukan desain interior dan arsitektur.

4. AutoCAD BIM

Software ini dikeluarkan oleh Autodesk yang memiliki fitur 2D dan 3D untuk melakukan aplikasi arsitektur, struktur, dan MEP.

5. Bentley MicroStation

Software BIM ini memberikan solusi mengenai pemodelan dan manajemen informasi pada bangunan.

6. Solibri Model Checker

Software ini digunakan untuk menganalisis dan memvalidasi model BIM. Selain *software* ini dapat memberikan informasi mengenai model BIM yang telah memenuhi spesifikasi dan standar yang ditetapkan.

7. RhinoBIM

RhinoBIM merupakan *software* BIM untuk desain dan manufaktur arsitektur dengan pemodelan 3D.

8. Vectorwork Architect

Software ini dapat digunakan dalam mendesain arsitektur dan interior. Selain itu, *software* ini dapat memberikan solusi pemodelan 2D dan 3D yang efektif.

Berdasarkan Tabel 2.10 dapat dilihat bahwa terdapat berbagai macam *software* yang dapat digunakan untuk melakukan analisis dengan simulasi pada bangunan hijau. Pada penelitian ini akan difokuskan pada analisis bangunan hijau dengan *Greenship* bangunan baru versi 1.2 pada dua kategori. Kategori yang dimaksudkan adalah *Energy Efficiency and Conservation (EEC)* dan *Water Conservation (WAC)* sehingga *software* yang akan digunakan adalah Autodesk Revit dan DesignBuilder.



Software Autodesk Revit akan digunakan sebagai pemodelan 3D dari bangunan bangunan hijau. *Software* DesignBuilder akan digunakan sebagai analisis dengan simulasi pada bangunan hijau sesuai dengan kategori *Greenship* yang telah disebutkan sebelumnya.

2.7 Autodesk Revit

Autodesk Revit merupakan salah satu perangkat lunak yang dikembangkan oleh Autodesk. Autodesk Revit dikembangkan untuk membuat model informasi bangunan. Perangkat lunak ini memberikan kemudahan bagi arsitek dan desainer untuk membuat rencana bangunan secara 3D. Selain itu, perangkat lunak ini dapat memberikan simulasi bangunan mulai dari tahap desain, konstruksi, dan pemeliharaan. Para pemangku kepentingan dapat mengambil keputusan yang tepat dan efisien dari pemodelan tersebut (Qiang dan Badarch, 2022). Pada Gambar 2.9 diperlihatkan logo Autodesk Revit.



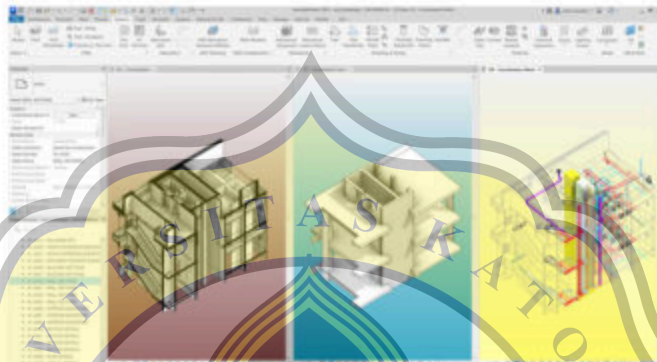
Gambar 2.9 Autodesk Revit (Sumber: <https://seeklogo.com/vector-logo/482393/autodesk-revit>)

Autodesk Revit berbeda dengan CAD. Umumnya CAD hanya memberikan pemodelan secara 2D saja sedangkan Autodesk Revit memberikan pemodelan 3D secara langsung. Tiap lapisan dari pemodelan 3D sesungguhnya adalah gambar desain arsitektur dalam 2D. Umumnya diperlukan waktu yang cukup lama untuk menggambar denah 2D menggunakan CAD, namun dengan menggunakan Autodesk Revit pemodelan secara 2D dapat dilakukan lebih singkat. Hal ini membuktikan bahwa Autodesk Revit dapat meningkatkan efisiensi dalam pemodelan 2D (Qiang dan Badarch, 2022).

Autodesk Revit memungkinkan penggunaanya untuk melakukan pemodelan bangunan dari segi struktur, arsitektur, dan MEP (Abakumov dan Naumov, 2018). Pemodelan ini dapat dilakukan secara 2D maupun 3D. Hasil dari pemodelan yang



telah dilakukan dapat diintegrasikan dengan volume material, volume pekerjaan, dan penjadwalan (Pratama dan Beatrix, 2024). Pada Gambar 2.10 diperlihatkan tampilan Autodesk Revit.



Gambar 2.10 Tampilan Autodesk Revit (Sumber: <https://www.autodesk.com/products/revit/features>)

Penggunaan *software* Autodesk Revit pada proyek konstruksi memiliki berbagai kelebihan yang dapat mendukung proses perencanaan dan pelaksanaan proyek. Selain kelebihan tersebut, terdapat beberapa kerugian atau kekurangan pada *software* Autodesk Revit (Abakumov dan Naumov, 2018). Pada Tabel 2.11 diperlihatkan kelebihan dan kekurangan dari Autodesk Revit.

Tabel 2.11 Kelebihan dan Kekurangan Autodesk Revit

No.	Manfaat	Kekurangan
1.	Memberikan pemodelan 3D mengenai informasi bangunan dari segi arsitektur, konstruksi, dan HVAC.	Memiliki fitur yang lemah terhadap analisis struktur baja dan struktur kayu.
2.	Pembuatan bagian, spesifikasi, dan <i>node</i> secara otomatis.	Pembuatan model informasi memerlukan proses yang cukup panjang.
3.	Ketika terjadi perubahan pada satu titik, maka secara otomatis keseluruhan pemodelan akan mengikuti.	Pembuatan model informasi memerlukan banyak pekerjaan.
4.	Semua bagian rekayasa desain Autodesk Revit terkoordinasi dengan baik pada satu <i>file</i> .	Autodesk Revit tidak mendukung standar spesifikasi.
5.	Mengurangi waktu yang diperlukan untuk pengembangan dokumentasi proyek karena dilakukan secara otomatis.	Beberapa templat <i>family</i> perlu dibuat terlebih dahulu (misalnya pondasi batu sungai, pintu, jendela).



Tabel 2.11 Manfaat dan Kekurangan Autodesk Revit (Lanjutan)

No.	Manfaat	Kekurangan
6.	Dapat ditautkan dengan <i>software</i> lain (Autodesk Revit berisi model analitis dari bangunan dengan kemungkinan untuk ditransferkan ke <i>software</i> lainnya).	Pemodelan bangunan untuk renovasi sulit dilakukan. Hal ini dikarenakan untuk mengisi sistem dengan informasi mengenai kegagalan struktur bangunan cukup sulit.
7.	Meminimalisir <i>error</i> sebagai akibat dari <i>human error</i> dalam perencanaan, perhitungan beban, dan biaya tenaga kerja.	Tidak dapat menghitung pekerjaan persiapan dan bekisting, sehingga hanya bisa dilakukan perhitungan secara manual.
8.	Dapat mencegah kegagalan yang terjadi sebagai akibat adanya perbedaan antara desain secara struktural, arsitektur, maupun MEP.	Biaya <i>install software</i> terbilang cukup tinggi.

(Sumber: Diolah Kembali Dari Abakumov dan Naumov, 2018 dan Yuvita dan Budiwirawan, 2022).

Pada penelitian ini Autodesk Revit berfungsi sebagai pemodelan 3D dari bangunan. Pemodelan 3D menggunakan Autodesk Revit terbagi kedalam 3 tahapan, dimulai dari pemodelan struktural, arsitektur, dan MEP (Pratiwi dan Budiwirawan, 2022). Pada pemodelan 3D, Autodesk Revit menyusun bangunan berdasarkan elemen bangunan yang disebut dengan *family* atau pada Autodesk Revit disebut dengan *Revit family*. Autodesk Revit memiliki fitur untuk membuat objek *family* yang hanya dapat dibuat pada aplikasi Autodesk Revit itu sendiri (PUPR, 2018). Setelah dilakukan pemodelan secara 3D dengan Autodesk Revit pada tahap struktural, arsitektur, dan MEP maka akan didapatkan pemodelan 3D secara lengkap. Pada Gambar 2.11 diperlihatkan hasil akhir pemodelan 3D dengan Autodesk Revit.



Gambar 2.11 Hasil Akhir Pemodelan 3D Dengan Autodesk Revit (Sumber: Pratiwi dan Budiwirawan, 2022)



2.8 DesignBuilder

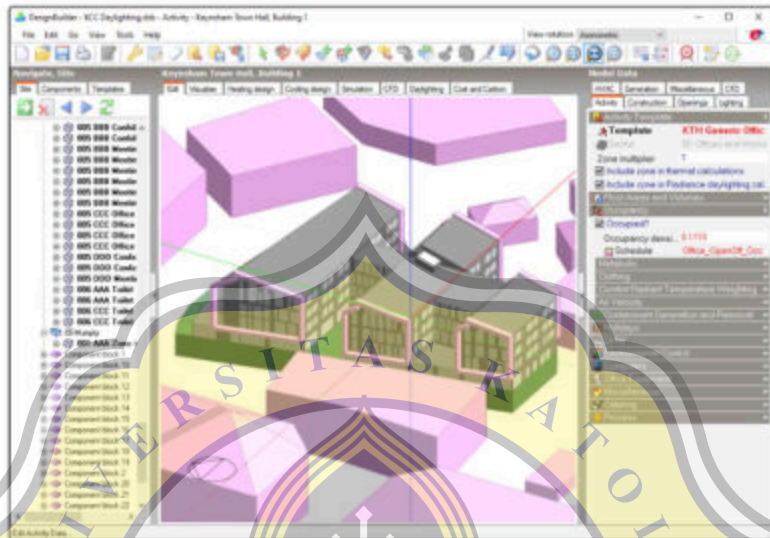
DesignBuilder merupakan *software* yang secara efektif dapat digunakan pada tahap desain bangunan. *Software* DesignBuilder memiliki sistem yang memungkinkan untuk seluruh tim desain menggunakan *software* yang sama dalam membangun proyek mulai dari tahap awal hingga tahap akhir (DesignBuilder, 2025 dan Madivada, dkk., 2019). Pada Gambar 2.12 diperlihatkan logo dari DesignBuilder.



Gambar 2.12 Logo DesignBuilder (Sumber: https://designbuilder.co.uk/templates/r_explorer/custom/images/DesignBuilder-logo.png)

DesignBuilder menggunakan *platform* atau program *EnergyPlus* sebagai dasar dalam menjalankan berbagai analisis. *EnergyPlus* merupakan *platform* atau program yang terdiri dari kumpulan modul yang dapat digunakan untuk menghitung energi yang diperlukan dalam *heating* dan *cooling loads* pada bangunan. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan berbagai sistem dan sumber energi. Proses perhitungan ini dilakukan dengan cara melakukan simulasi energi pada bangunan terkait kondisi lingkungan dan operasional yang beragam. Hal yang penting dan menjadi inti dalam proses simulasi adalah model bangunan berdasarkan prinsip dasar keseimbangan *thermal* (Noohian dan Mahmoudi, 2023).

Software DesignBuilder menggabungkan fitur pemodelan bangunan dengan simulasi energi. Hal ini merupakan salah satu keuntungan dari *software* DesignBuilder, selain menyediakan berbagai pilihan untuk simulasi energi, terdapat juga visualisasi dari pemodelan bangunan. Simulasi secara khusus berfokus pada analisis performa bangunan seperti efisiensi energi, kenyamanan termal, dan pencahayaan. *Software* DesignBuilder dapat memberikan visualisasi mengenai *solar systems*. Selain itu *software* ini dapat memberikan alternatif desain terbaik untuk memaksimalkan kenyamanan termal, *daylight*, dan ventilasi alami dalam bangunan. DesignBuilder memodelkan sistem HVAC, *daylight systems*, dan *airflow* pada bangunan dengan tujuan untuk meminimalkan konsumsi energi, emisi karbon, dan biaya pada bangunan (Kirimtat, dkk., 2016). Pada Gambar 2.13 diperlihatkan tampilan DesignBuilder.



Gambar 2.13 Tampilan DesignBuilder (Sumber: https://designbuilder.co.uk/help/7.0/Content/Program_options_General.htm)

DesignBuilder merupakan *software* simulasi yang dapat digunakan untuk memberikan penilaian terhadap kinerja bangunan. DesignBuilder dapat digunakan untuk menilai kinerja pada bangunan lama dan bangunan baru secara efisien dan efektif. *Software* ini telah terintegrasi dengan beberapa *Green Building Rating Systems* (GBRS) untuk mendukung proses penilaian kinerja bangunan. *Green Building Rating Systems* (GBRS) yang telah terintegrasi dengan DesignBuilder adalah LEED. Selain itu *software* DesignBuilder juga telah terintegrasi dengan ASHRAE 90.1. Selain kemampuan untuk memberikan visualisasi pemodelan bangunan, simulasi energi, dan telah terintegrasi dengan beberapa GBRS, DesignBuilder juga memiliki keuntungan yaitu memiliki kemampuan interoperabilitas dengan BIM. Hal ini memungkinkan untuk melakukan *import* model 3D bangunan yang telah dibuat oleh *software* desain seperti Autodesk Revit.

Sebelum proses *import* dan simulasi dilakukan, perlu dilakukan simplifikasi pada model 3D terlebih dahulu. Proses simplifikasi ini dilakukan pada model 3D yang ada pada Autodesk Revit sebelum proses *export* atau konversi *file* ke format (.gbXML). Simplifikasi bertujuan untuk mempermudah proses simulasi serta



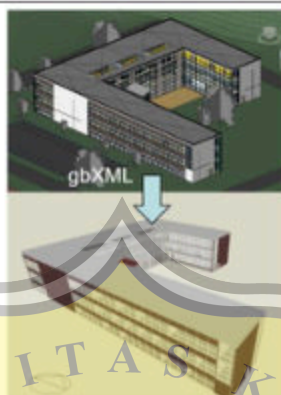
mempercepat waktu perhitungan pada *software* yang digunakan. *Software* simulasi seperti DesignBuilder membutuhkan model bangunan dengan tingkat kompleksitas yang rendah. Kompleksitas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan waktu simulasi menjadi lama dan bahkan berpotensi menimbulkan kegagalan simulasi. Oleh karena itu, simplifikasi pada model 3D sangat disarankan untuk dilakukan pada tahap awal (DesignBuilder, 2025; Elhadad, dkk., 2020). Hasil simulasi dari model yang telah disederhanakan tidak menunjukkan perbedaan signifikan dibandingkan dengan model bangunan kompleks (Elhadad, dkk., 2020; Picco dan Marengo, 2015).

Pada tahap *import file* ke *software* DesignBuilder tidak perlu dilakukan proses simplifikasi lagi, karena model 3D secara otomatis terbentuk dari hasil *export* Autodesk Revit. Setelah proses simplifikasi dan konversi model selesai, maka dapat dilanjutkan dengan proses simulasi. Fitur *add-in* dapat digunakan sebagai salah satu akses DesignBuilder melalui Autodesk Revit untuk memudahkan dalam melakukan analisis pada pemodelan tanpa meninggalkan *software* Autodesk Revit. Selain menggunakan *add-in*, dapat juga menggunakan *import file Green Building XML* (.gbXML) yang dapat diperoleh melalui *software* Autodesk Revit (DesignBuilder, 2025). Pada Gambar 2.14 diperlihatkan alur dalam melakukan *import file*.



Gambar 2.14 Alur Dalam Melakukan *Import File* (Sumber: Vaz, dkk., 2024)

File dari Autodesk Revit memiliki format Revit (.rvt), maka perlu dilakukan *export* terlebih dulu menjadi *Green Building XML* (.gbXML). Setelah format *file* berubah menjadi (.gbXML), maka *file* dapat di *import* ke dalam *software* DesignBuilder. Terdapat fitur penting dari DesignBuilder dalam melakukan *import file* yaitu *removal and repair* yang memungkinkan untuk menghapus dan memperbaiki celah antar volume pada tiap bagian. Hal ini menunjukkan bahwa *error* atau hilangnya informasi tertentu dalam model 3D pada saat proses transfer *file* dari BIM ke DesignBuilder sangat sedikit (DesignBuilder, 2025 dan Vaz, dkk., 2024). Pada Gambar 2.15 memperlihatkan transfer *file* dari BIM ke DesignBuilder.



Gambar 2.15 Transfer File Dari BIM Ke DesignBuilder (Sumber: <https://designbuilder.co.uk/images/BIMImport.png>)

File yang sudah terimpor ke *software* DesignBuilder dapat dilanjutkan dengan proses simulasi. Simulasi akan memberikan *output* mengenai performa bangunan yang mencakup hasil konsumsi energi bangunan, pencahayaan alami, dan karakteristik selubung bangunan. Karakteristik selubung bangunan mencakup nilai *u-value*, *Window to Wall Ratio (WWR)*, *Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)* (DesignBuilder, 2025). Transmittansi termal atau *u-value* (*u-factor*) merupakan koefisien perpindahan panas dari udara pada satu sisi bahan ke udara pada sisi lainnya. *U-value* dinyatakan dalam satuan $W/m^2.K$ (watt per meter persegi per Kelvin). *Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)* yaitu perbandingan antara total panas matahari yang masuk ke dalam ruangan melalui fenestrasi terhadap total radiasi matahari yang mengenai permukaan luar fenestrasi tersebut. Nilai SHGC digunakan untuk memperoleh nilai *Shading Coefficient (SC)*. *Shading Coefficient (SC)* merupakan perolehan panas melalui fenestrasi (bukaan pada selubung bangunan) dengan atau tanpa peneduh yang dibandingkan dengan perolehan panas melalui kaca biasa tebal 3mm tanpa peneduh pada fenestrasi yang sama. Nilai SC dapat diperoleh dari nilai SHGC pada suatu fenestrasi dibandingkan dengan nilai SHGC kaca biasa tebal 3mm dengan nilai SHGC sebesar 0,87. *Window to Wall Ratio (WWR)* merupakan perbandingan luas jendela dengan luas seluruh dinding luar pada orientasi yang ditentukan (ASHRAE, 2013; SNI 6389, 2011; *Green Building Council Indonesia*, 2013).



2.9 Dokumen Teknis Bangunan

Dokumen teknis bangunan merupakan salah satu komponen dalam proses perencanaan dan pelaksanaan proyek konstruksi. Dokumen teknis berisi seluruh informasi teknis yang menggambarkan perancangan, metode pelaksanaan dan juga standar mutu yang harus dipenuhi selama tahap konstruksi. Dokumen teknis disusun untuk memastikan bahwa perancangan yang sudah direncanakan dapat diinterpretasikan secara tepat untuk pelaksanaan konstruksi. Dokumen teknis tersebut mencakup *Detail Engineering Design (DED)*, Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) dan spesifikasi teknis (Corry dan Goff, 2025; *American Institute of Architects*, 2013).

Menurut Corry dan Goff (2025), *Detail Engineering Design (DED)* memuat gambar teknis yang menunjukkan detail dari elemen bangunan. Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) menjabarkan ruang lingkup pekerjaan, syarat pelaksanaan dan ketentuan administratif. Spesifikasi teknis memberikan keterangan lebih rinci mengenai mutu bahan dan metode pemasangan. Dokumen teknis yang digunakan dalam penelitian dijabarkan sebagai berikut:

1. *Detail Engineering Design (DED)*

Detail Engineering Design (DED) merupakan gambar perencanaan bangunan atau proyek sebelum diterapkan di lapangan. *Detail Engineering Design (DED)* merupakan produk perencanaan yang berupa detail gambar yang dibuat oleh konsultan perencana untuk pekerjaan bangunan sipil seperti gedung, kolam renang, jalan, jembatan dan pekerjaan konstruksi lainnya. *Detail Engineering Design (DED)* dapat digunakan sebagai pedoman dalam pelaksanaan pekerjaan bangunan. Penyusunan gambar DED harus diketahui dan disetujui oleh *owner* (Masruri, dkk., 2024 dan Finnansyah, dkk., 2021).

Detail Engineering Design (DED) merupakan gambar bangunan yang lengkap dan detail yang dapat digunakan sebagai dokumen utama dari perencanaan proyek. Semakin lengkap, detail dan tetap akan membantu mempercepat penyelesaian proyek. *Detail Engineering Design (DED)* terdiri dari gambar struktur, arsitektur, konstruksi lainnya dan gambar MEP atau *Mechanical*,



Electrical and Plumbing. Gambar DED juga memiliki beberapa bagian yaitu gambar denah, situasi, potongan, struktur atap, detail dan tampak (Firmansyah, dkk., 2021).

2. Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS)

Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) merupakan dokumen yang mencakup aspek teknis dan administratif dalam proyek konstruksi. Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) mencakup spesifikasi material, standar bahan, kualitas material bangunan, metode pelaksanaan, jaminan maupun aturan pembayaran yang wajib dipenuhi oleh pihak-pihak yang terlibat dalam proyek konstruksi. Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) tidak hanya diperlukan untuk bangunan baru, akan tetapi juga diperlukan untuk renovasi bangunan, pekerjaan pemeliharaan dan pekerjaan lain yang spesifik seperti listrik, *plumbing*, gas dan mesin (Rahman, dkk., 2024; Siswanto dan Salim, 2019).

Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) menjadi dokumen yang penting selain gambar rencana dari sebuah proyek. Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) merupakan dokumen rincian jenis bahan dan metode pelaksanaan dari gambar kerja yang sudah ada. Pembuatan RKS dapat menunjang keberhasilan proyek dari segi mutu, biaya dan waktu (Rahman, dkk., 2024).

3. Dokumen spesifikasi teknis

Dokumen spesifikasi teknis merupakan dokumen legal yang merupakan bagian dari kontrak antara pengguna jasa dan penyedia jasa. Tujuannya adalah untuk menyamakan persepsi antara pengguna jasa dan penyedia jasa. Spesifikasi teknis merupakan pedoman untuk memenuhi keinginan pengguna jasa melalui proses pelaksanaan pekerjaan. Spesifikasi teknis menjadi pedoman untuk membuat bangunan lebih berkualitas (Siswanto dan Salim, 2019).

Spesifikasi teknis dapat berupa gambar, model atau deskripsi secara tertulis. Ketiga hal ini dapat dapat melengkapi (Siswanto dan Salim, 2019). Pada penelitian ini, dokumen spesifikasi teknis berupa penjelasan deskriptif, penjelasan singkat (berupa tabel) yang tercantum dalam gambar DED dan berupa gambar.



2.10 Standar Acuan Tertentu

Standar acuan digunakan untuk menentukan data tertentu yang digunakan pada proses simulasi menggunakan DesignBuilder. Standar acuan dari data yang digunakan diperoleh dari beberapa sumber seperti Standar Nasional Indonesia (SNI), *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)*, standar *Green Building Council Indonesia* maupun standar lainnya yang disesuaikan dengan kebutuhan untuk simulasi.

Data yang ditentukan pada saat proses simulasi harus disesuaikan dengan keadaan setempat bangunan atau yang mendekati. Beberapa data bawaan yang tersedia di DesignBuilder juga dapat digunakan, namun tetap perlu penyesuaian agar mendekati kondisi aktual bangunan. Data pada simulasi ini tidak hanya mengandalkan data *default*, tetapi merupakan kombinasi dari data lapangan, dokumen teknis, serta standar acuan yang berlaku. Beberapa standar data yang digunakan yaitu:

1. *Specific heat capacity (Cp)*

Specific heat capacity (Cp) atau perpindahan panas menunjukkan kemampuan material dalam menyimpan atau melepas panas. *Specific heat capacity* menunjukkan banyaknya energi yang dapat disimpan dalam material. Semakin tinggi *specific heat capacity* maka kemampuan material dalam menyimpan panas juga semakin tinggi (Rosenlund, 2000). *Specific heat capacity* dapat dinyatakan dalam satuan joule per kilogram kelvin ($J/kg.K$). Setiap material memiliki *specific heat capacity* yang berbeda-beda. *Specific heat capacity* digunakan untuk menunjang simulasi dengan menggunakan *software* DesignBuilder. *Specific heat capacity* material bangunan yang umum digunakan diperlihatkan pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12 *Specific Heat Capacity* Material Bangunan yang Umum Digunakan

No.	Material	J/kg.K
1.	Aluminium	887
2.	Asphalt	915
3.	Brick	841

No.	Material	J/kg.K
4.	Platinum	150
5.	Rubber	2005
6.	Salt	881



Tabel 2.12 *Specific Heat Capacity* Material Bangunan yang Umum Digunakan (Lanjutan)

No.	Material	J/kg.K	No.	Material	J/kg.K
7.	Cast iron	554	18.	Sand	780
8.	Clay	878	19.	Sandstone	740
9.	Concrete	879	20.	Silicon	710
10.	Glass	792	21.	Silver	236
11.	Gold	130	22.	Soil	1810
12.	Granite	774	23.	Stainless steel 316	468
13.	Gypsum	1090	24.	Water	4187
14.	Iron	462	25.	Zinc	389
15.	Lead	130	26.	Porcelain	754
16.	Limestone	806	27.	Phenolic	1,760
17.	Oak wood	2380	28.	Carpet	1,360

(Sumber: Diolah kembali dari ASHRAE, 2021; Callister dan Rethwisch, 2020)

2. Nilai *conductivity* (k)

Nilai *conductivity* atau konduktivitas termal merupakan kemampuan suatu material untuk merambatkan panas. Konduktivitas termal memiliki satuan watt per meter kelvin atau W/m.K (Rosenlund, 2000). Nilai *conductivity* material bangunan digunakan untuk menunjang simulasi dengan menggunakan *software* DesignBuilder. Nilai *conductivity* material bangunan yang umum digunakan diperlihatkan pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Nilai *Conductivity* Material Bangunan yang Umum Digunakan

No	Bahan Bangunan	k (W/m.K)
1.	Beton	1,448
2.	Beton ringan	0,303
3.	Bata dengan lapisan plester	0,807
4.	Bata langsung dipasang tanpa plester, tahan terhadap cuaca	1,154
5.	Plesteran pasir semen	0,533
6.	Kaca lembaran	1,053
7.	Papan <i>gypsum</i>	0,170
8.	Kayu lunak	0,125



Tabel 2.13 Nilai *Conductivity* Material Bangunan yang Umum Digunakan (Lanjutan)

No	Bahan Bangunan	k (W/m.K)
9.	Kayu keras	0,138
10.	Kayu lapis	0,148
11.	<i>Glasswool</i>	0,035
12.	<i>Fibreglass</i>	0,035
13.	Paduan aluminium	211
14.	Tembaga	385
15.	Baja	47,6
16.	Granit	2,927
17.	Marmer/Batako/terazo/keramik/mozaik	1,298
18.	<i>Phenolic</i>	0,150

(Sumber: Diolah kembali dari SNI 6389:2011; Callister dan Rethwisch, 2020)

3. Densitas material

Densitas atau kepadatan material atau biasa juga disebut massa jenis merupakan hubungan antara massa dan volume dari suatu zat. Densitas juga menggambarkan karakteristik fisik dari suatu zat padat, cair maupun gas. Densitas material merupakan salah satu sifat fisik dasar yang menggambarkan jumlah massa per satuan volume suatu bahan yang umumnya dinyatakan dalam satuan kilogram per meter kubik (kg/m^3). Parameter ini berperan penting dalam bidang konstruksi karena mempengaruhi berat total struktur, kekuatan mekanis, serta efisiensi energi bangunan (Ridwan dan Pamungkas, 2017; Ashby dan Jones, 2012). Densitas material bangunan yang umum digunakan diperlihatkan pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Densitas Material Bangunan yang Umum Digunakan

No.	Bahan Bangunan	Densitas (kg/m^3)
1.	Beton	2400
2.	Beton ringan	960
3.	Bata dengan lapisan plester	1760
4.	Plesteran pasir semen	1568
5.	Kaca lembaran	2512



Tabel 2.14 Densitas Material Bangunan yang Umum Digunakan (Lanjutan)

No.	Bahan Bangunan	Densitas (kg/m ³)
6.	Papan <i>gypsum</i>	880
7.	Kayu lunak	608
8.	Kayu keras	702
9.	Kayu lapis	528
10.	<i>Glasswool</i>	32
11.	<i>Fibreglass</i>	32
12.	Baja	7840
13.	Granit	2640
14.	Marmer/Batako/terazo/keramik/mozaik	2640
15.	<i>Phenolic</i>	1280

(Sumber: Diolah kembali dari SNI 6389:2011; Callister dan Rethwisch, 2020)

4. Nilai absorptansi panas untuk cat dinding

Nilai absorptansi panas merupakan kemampuan material menyerap energi termal akibat dari radiasi matahari. Nilai absorptansi panas yang diperlukan yaitu untuk material terluar bangunan. Nilai yang absorptansi panas dapat ditentukan dari warna lapisan terluar dinding atau cat dinding yang terkena sinar matahari (*Green Building Council Indonesia*, 2013). Nilai absorptansi panas untuk cat dinding diperlihatkan pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Nilai Absorptansi Panas untuk Cat Dinding

No.	Cat Permukaan Dinding Luar	Nilai Absorptansi Panas (α)
1.	Hitam merata	0,95
2.	Pernis hitam	0,92
3.	Abu-abu tua	0,91
4.	Pernis biru tua	0,91
5.	Cat minyak hitam	0,90
6.	Cokelat tua	0,88
7.	Abu-abu/biru tua	0,88
8.	Biru/hijau tua	0,88
9.	Cokelat medium	0,84
10.	Pernis hijau	0,79



Tabel 2.15 Nilai Absorptansi Panas untuk Cat Dinding (Lanjutan)

No.	Cat Permukaan Dinding Luar	Nilai Absorptansi Panas (α)
11.	Hijau medium	0,59
12.	Kuning medium	0,58
13.	Hijau muda	0,47
14.	Putih semi kilap	0,30
15.	Putih kilap	0,25
16.	Perak	0,25
17.	Pernis putih	0,21

(Sumber: Diolah kembali dari SNI 6389:2011)

5. *Lighting Power Density (LPD)*

Lighting power density merupakan ukuran daya listrik yang digunakan oleh sistem pencahayaan per satuan luas area bangunan. *Lighting power density* biasanya dinyatakan dalam watt per meter persegi (W/m^2) atau watt per kaki persegi (W/ft^2). Nilai *lighting power density* mencakup seluruh beban listrik yang digunakan pada sistem pencahayaan. *Lighting power density* dapat digunakan sebagai indikator efisiensi energi pencahayaan. Standar daya pencahayaan maksimum pada pencahayaan diatur dalam SNI 6389:2011 tentang Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan. Standar daya pencahayaan digunakan sebagai acuan daya maksimum yang direkomendasikan sebagai upaya penghematan energi (Green Building Council Indonesia, 2013; Taranovich, 2023; Hengrasmee dan Chansomsak, 2019).

6. *Coefficient of Performance (CoP)*

Coefficient of Performance (CoP) merupakan nilai performansi kerja suatu sistem pendingin atau AC. Secara teori, nilai CoP dapat diperhitungkan dengan melakukan perbandingan jumlah kalor yang diserap oleh refrigeran dengan proses kerja yang dibutuhkan pada proses kompresi refrigeran. Nilai CoP tidak memiliki dimensi karena daya *input* dan *output* diukur dalam watt. Nilai standar CoP minimum pada sistem pendingin diatur dalam SNI 6390:2011 tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung (Green Building Council Indonesia, 2013; Sutarsa, dkk., 2020).



7. Solar Factor (SF)

Menurut SNI 6389:2011 tentang konservasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung, *Solar Factor* (SF) atau faktor radiasi matahari merupakan laju rata-rata setiap jam dari radiasi matahari pada selang waktu tertentu yang sampai pada suatu permukaan. Faktor radiasi matahari biasanya dinyatakan dalam watt per meter persegi (W/m^2). Faktor radiasi matahari ditentukan untuk setiap orientasi. Nilai *Solar Factor* (SF) untuk berbagai orientasi diperlihatkan pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Nilai *Solar Factor* (SF) untuk Berbagai Orientasi

No.	Orientasi	Nilai <i>Solar Factor</i> (W/m^2)
1.	Utara	130
2.	Timur Laut	113
3.	Timur	112
4.	Tenggara	97
5.	Selatan	97
6.	Barat Daya	176
7.	Barat	243
8.	Barat Laut	211

(Sumber: Diolah kembali dari SNI 6389:2011)

8. Beda temperatur ekuivalen (TD_{EK})

Menurut SNI 6389:2011, nilai beda temperatur ekuivalen merupakan perbedaan temperatur ruangan dalam bangunan dan temperatur dinding luar atau atap yang terkena radiasi matahari yang dianggap dapat mewakili aliran panas yang sebenarnya. Beda temperatur ekuivalen (TD_{EK}) untuk dinding diperlihatkan pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17 Beda Temperatur Ekuivalen (TD_{EK}) untuk Dinding

No.	Berat/Satuan Luas (kg/m^2)	Nilai Beda Temperatur Ekuivalen (K)
1.	Kurang dari 125	15
2.	126 ~ 195	12
3.	Lebih dari 195	10

(Sumber: Diolah kembali dari SNI 6389:2011)



9. Beda temperatur (ΔT)

Menurut SNI 6389:2011 tentang konservasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung, nilai beda temperatur (ΔT) merupakan perbedaan temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam bangunan. Nilai beda temperatur (ΔT) diambil 5K seperti sudah ditetapkan pada SNI 6389:2011.

2.11 Penelitian Terdahulu

Berdasarkan latar belakang dan beberapa tinjauan pustaka yang sudah dijabarkan pada penelitian ini, dapat diindikasikan bahwa sektor konstruksi memiliki dampak negatif terhadap lingkungan, karena mengonsumsi energi dan air dalam jumlah tertentu. Hal ini dapat terjadi pada seluruh siklus hidup bangunan. Fase operasional dan pemeliharaan bangunan memiliki konsumsi energi yang paling besar dari keseluruhan siklus hidup bangunan. Salah satu solusinya adalah dengan pembangunan berkelanjutan (*green building*). Pada penerapannya terdapat teknologi *Building Information Modeling* (BIM) yang dapat digunakan untuk menunjang proses penilaian pada bangunan melalui analisis dengan simulasi (GBCI, 2013; He dan Zhou, 2020).

Lu, dkk., (2017), menjelaskan mengenai penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) sebagai fasilitas untuk menunjang bangunan hijau. Pada penelitian tersebut dijelaskan mengenai interaksi antara BIM dengan bangunan hijau yang dikonsepskan dalam suatu pemodelan taksonomi. Wong dan Fan (2013), menjelaskan mengenai implementasi BIM untuk desain bangunan hijau. Penelitian ini menyimpulkan bahwa dengan menggunakan BIM dapat mengoptimalkan desain pada bangunan dengan cara yang lebih efektif dan efisien jika dibandingkan dengan metode tradisional. Selain itu, pada penelitian ini merangkum kontribusi utama dari BIM untuk bangunan hijau. Adapun penelitian terdahulu yang membahas mengenai penilaian bangunan hijau menggunakan BIM dan ditemukan beberapa keunggulan yang dapat digunakan sebagai acuan pada penelitian ini. Terlepas dari keunggulannya, penelitian terdahulu tentu juga memiliki kekurangan. Kekurangan pada penelitian terdahulu akan digunakan sebagai referensi pada penelitian ini.



Adapun beberapa penjelasan penelitian terdahulu terkait BIM dengan bangunan hijau sebagai berikut:

1. *Investigation on The Potential of Integrating BIM Into Green Building Assessment Tools* (Solla, dkk., 2016)

Bangunan hijau dinilai menjadi salah satu tren untuk mengurangi dampak negatif pada lingkungan akibat industri konstruksi. Standar yang dapat digunakan untuk menilai kinerja dari bangunan hijau adalah sistem sertifikasi atau penilaian bangunan hijau yang dapat disebut *Green Building Rating Systems* (GBRS). Sistem penilaian bangunan hijau telah dikembangkan di berbagai negara seperti LEED dari Amerika, BEAM Plus dari Hongkong, dan *Green Star* dari Australia. Baru-baru ini, *Building Information Modeling* telah diterapkan pada industri AEC untuk meningkatkan produktivitas dari bangunan hijau. Teknologi BIM dapat digunakan untuk melakukan analisis keberlanjutan bangunan dari pemodelan digital.

Building Information Modeling mampu menyelaraskan proses pengambilan keputusan dengan tujuan pemangku kepentingan yang dapat membuat proses penilaian bangunan hijau menjadi lebih efektif dan efisien. Terdapat 2 tahapan pada proses penilaian bangunan hijau dengan BIM. Tahap pertama adalah pembuatan model 3D dari bangunan dengan BIM. Kemudian pada tahap kedua adalah analisis simulasi dengan menggunakan tools analisis berbasis BIM. Kedua tahapan ini dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan *software*. Pada penelitian ini dilakukan analisis melalui studi kasus untuk melihat kontribusi BIM pada penilaian bangunan hijau dengan sistem penilaian LEED, BEAM Plus, dan *Green Star*.

Proses penelitian dilakukan sesuai dengan tahapan, dengan melakukan implementasi BIM pada penilaian bangunan hijau. Kontribusi BIM untuk penilaian bangunan hijau akan dinilai berdasarkan kriteria, pemberian poin, dan peringkat untuk sistem penilaian LEED, BEAM plus, dan *Green Star*. Setelah dilakukan penelitian, maka didapatkan hasil. Pada sistem penilaian LEED, BIM terbukti memberikan kontribusi pada tiap kategori. *Building Information Modeling* dapat memperoleh 55% nilai kredit yang setara dengan sertifikasi



tingkat *silver*. Pada sistem penilaian BEAM Plus, BIM dapat memberikan kontribusi pada tiap kategori dengan perolehan nilai kredit sebesar 44% yang setara dengan sertifikasi tingkat *bronze*. Selanjutnya pada sistem penilaian *Green Star*, BIM dapat memberikan kontribusi pada sebagian kategori dengan perolehan nilai kredit sebesar 66% yang setara dengan peringkat bintang 5. Adapun rangkuman hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.18.

Tabel 2.18 Rangkuman Hasil Penelitian

No.	Sistem Penilaian	Poin Maksimum	Poin yang Diperoleh BIM	Kontribusi BIM
1.	LEED	69	38	55%
2.	BEAM Plus	128	56	44%
3.	Green Star	146	97	66%

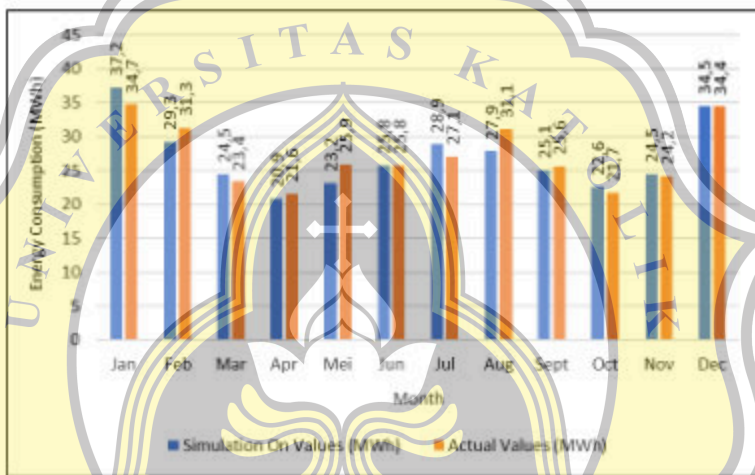
(Sumber: Solla, dkk., 2016)

2. *Energy Simulation on How to Go Green Buildings in an Earth's Dry Climate* (Noohian dan Mahmoudi, 2023)

Permasalahan terkait konsumsi energi dan polusi pada lingkungan menjadi permasalahan yang krusial. Bangunan merupakan salah satu faktor utama yang mengonsumsi energi dalam jumlah besar. Hal ini dapat menyebabkan efek gas rumah kaca dan berdampak negatif pada kondisi lingkungan sehingga penting untuk melakukan berbagai solusi alternatif untuk mengurangi dampak negatif lingkungan. Beberapa penelitian terdahulu telah melakukan penelitian mengenai konsumsi energi di berbagai aspek pada bangunan. Adapun penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa bahan atau material bangunan memiliki pengaruh yang besar terhadap beban termal bangunan, konsumsi energi, dan efek gas rumah kaca. Berdasarkan hal tersebut, maka penting untuk memperhatikan penggunaan material yang ramah lingkungan untuk menghasilkan penghematan energi pada bangunan. Kriteria yang ada pada bangunan hijau dapat menjadi alternatif untuk menghasilkan bangunan dengan material ramah lingkungan. Berbagai strategi telah digunakan untuk mengurangi konsumsi energi dan efek gas rumah kaca. Hadirnya berbagai teknologi dapat dimanfaatkan untuk mempermudah proses perencanaan bangunan hijau.



Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat konsumsi energi pada bangunan yang ada di Iran. Analisis dilakukan berdasarkan kriteria bangunan hijau dengan *software* DesignBuilder yang menggunakan *platform* EnergyPlus untuk menghitung kebutuhan energi pada bangunan melalui proses simulasi. Hasil konsumsi energi dari simulasi kemudian dibandingkan dengan konsumsi energi pada kondisi aktual. Hasil perbandingan nilai simulasi dan aktual dari konsumsi energi menggunakan DesignBuilder diperlihatkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Hasil Perbandingan Nilai Simulasi Dan Aktual Dari Konsumsi Energi Menggunakan DesignBuilder (Sumber: Noohian dan Mahmoudi, 2023)

Berdasarkan Gambar 2.16, didapatkan hasil konsumsi energi dari hasil simulasi cenderung lebih rendah akibat pendekatan upaya penghematan konsumsi energi. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan hasil penghematan energi dari konsumsi listrik dan gas. Selain itu, emisi gas CO₂ sebagai akibat dari konsumsi energi juga berkurang.

3. Penilaian Kriteria *Green Building* Pada Bangunan Gedung Universitas Pembangunan Jaya Berdasarkan Indikasi *Green Building Council* Indonesia (Shofiyah dan Syahada, 2024)

Pemanasan global telah menjadi topik utama, khususnya di Indonesia. Pemanasan global dapat dipicu dengan efek gas rumah kaca dikarenakan proses



konstruksi. Bangunan hijau dapat menjadi solusi untuk mengurangi kerusakan lingkungan tersebut. Bangunan hijau dinilai dapat memberi 3 manfaat utama yaitu meningkatkan nilai aset gedung, menurunkan biaya operasional gedung, dan meningkatkan kenyamanan dan kesehatan pengguna gedung. Hal ini menjadikan bangunan hijau sebagai solusi yang cukup menjanjikan bagi sektor infrastruktur untuk mengurangi kerusakan lingkungan.

Penelitian ini memiliki studi kasus yang bertujuan untuk menekan pemanasan global. Studi kasus ini dilakukan dengan cara mengevaluasi gedung menggunakan konsep bangunan hijau. Proses evaluasi diambil studi kasus pada Gedung RSUD Grati, Kabupaten Pasuruan. Evaluasi yang digunakan pada studi kasus ini mengacu pada sistem penilaian *Greenship*. Sistem penilaian dengan *Greenship* yang digunakan adalah versi 1.2 untuk bangunan baru. Pada sistem penilaian tersebut terdapat 6 tolok ukur (kategori) yang wajib dipenuhi. Setelah dilakukan analisis dengan sistem penilaian *Greenship* versi 1.2 untuk bangunan baru, didapatkan hasil berupa poin penilaian pada tiap kategori. Berdasarkan jumlah poin yang diperoleh, maka Gedung RSUD Grati mendapat peringkat *Bronze* (perunggu).

Selain penelitian terdahulu dari Noohian dan Mahmoudi, (2023) dan Solla, dkk., (2016), dan Shofiyah dan Syahada, (2024), masih terdapat berbagai penelitian yang membahas mengenai penggunaan BIM pada bangunan hijau. Banyak penelitian yang membahas terkait penggunaan BIM untuk analisis berkelanjutan maupun proses penilaian pada bangunan hijau. Adapun beberapa penelitian terdahulu terkait penggunaan BIM pada bangunan hijau yang dapat dilihat pada Tabel 2.19.

Tabel 2.19 Penelitian Terdahulu Terkait Penggunaan BIM pada Bangunan Hijau

No.	Judul Penelitian	Topik Pembahasan	Catatan untuk Penelitian Selanjutnya
1.	<i>BIM for Sustainability Analyses</i> (Azhar dan Brown, 2009)	Pada penelitian ini dibahas mengenai penggunaan BIM untuk analisis berkelanjutan. Penggunaan BIM untuk analisis keberlanjutan pada umumnya berfokus pada analisis energi pada tahap desain.	Pada penelitian ini ditemukan bahwa BIM untuk analisis keberlanjutan lebih sering diterapkan pada fase desain atau perencanaan. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya mengenai analisis keberlanjutan pada



Tabel 2.19 Penelitian Terdahulu Terkait Penggunaan BIM pada Bangunan Hijau (Lanjutan)

No.	Judul Penelitian	Topik Pembahasan	Catatan untuk Penelitian Selanjutnya
		Berdasarkan responden, menunjukkan bahwa dengan BIM dapat menghemat waktu dan biaya pada analisis keberlanjutan. Penelitian ini juga membahas mengenai <i>software</i> yang umum digunakan untuk analisis keberlanjutan. <i>Software</i> tersebut adalah ECOTECT, <i>Green Building Studio</i>, dan IES VE. Penelitian ini melakukan analisis keberlanjutan untuk melihat efisiensi pada analisis keberlanjutan dari ketiga <i>software</i> tersebut. Hasil dari penelitian menyatakan bahwa <i>software</i> IES VE mendapat skor penilaian tertinggi disusul dengan ECOTECT dan <i>Green Building Studio</i>, namun <i>Green Building Studio</i> dinilai lebih stabil dibandingkan ECOTECT.	berbagai fase siklus hidup proyek konstruksi. Penelitian ini dapat dijadikan panduan dan acuan dalam penelitian selanjutnya.
2.	<i>Building Information Modeling for Sustainable Design and LEED Rating Analysis</i> (Azhar, dkk., 2011)	Permintaan terhadap konstruksi bangunan hijau telah meningkat. Hal ini dikarenakan manfaat dari bangunan hijau bagi lingkungan dan kesehatan manusia telah diakui. Organisasi di seluruh dunia telah menanggapi permintaan tersebut dengan memulai sistem penilaian bangunan hijau. Salah satu sistem penilaian yang sering digunakan adalah sistem penilaian <i>Leadership in Energy and Environmental Design</i> atau biasa dikenal dengan LEED. Sertifikasi LEED untuk bangunan hijau juga memiliki persyaratan. Bangunan hijau harus dirancang dengan lebih memperhatikan analisis keberlanjutan.	Pada penelitian ini ditemukan bahwa analisis keberlanjutan berbasis BIM dengan proses sertifikasi tidak memiliki hubungan secara langsung. Hal ini dikarenakan kurangnya fitur integrasi LEED pada <i>software</i> yang tersedia. Adapun beberapa perbedaan antara hasil analisis berbasis BIM dengan analisis manual.



Tabel 2.19 Penelitian Terdahulu Terkait Penggunaan BIM pada Bangunan Hijau (Lanjutan)

No.	Judul Penelitian	Topik Pembahasan	Catatan untuk Penelitian Selanjutnya
		<i>Building Information Modeling</i> (BIM) merupakan teknologi yang memiliki kemungkinan melakukan analisis keberlanjutan secara akurat dan efisien pada bangunan hijau. Penelitian ini dilakukan dengan studi kasus. Penelitian dilakukan dengan membuat kerangka konseptual mengenai penggunaan BIM untuk desain berkelanjutan dan proses sertifikasi LEED.	
3.	<i>Building Information Modeling (BIM) for Sustainable Building Design</i> (Wong dan Fan, 2013)	Analisis keberlanjutan dengan menggunakan BIM. Analisis energi bangunan hijau dapat dilakukan dengan teknologi BIM pada tahap desain. Hal ini dilakukan untuk memilih desain yang paling optimal dan efisien. <i>Building Information Modeling</i> (BIM) memiliki kontribusi dalam bangunan berkelanjutan.	Pada penelitian ini terdapat temuan bahwa BIM dianggap belum sepenuhnya matang untuk diadopsi secara keseluruhan pada industri konstruksi. Masih diperlukan pengembangan BIM pada desain bangunan berkelanjutan. Adapun saran untuk meningkatkan standar BIM. Selain itu perubahan adanya budaya pada industri, maka perlu dilakukan pendekatan dengan teknologi informasi untuk jangka panjang. Terakhir adalah kurangnya tenaga ahli dalam BIM.
4.	<i>Building Information Modeling (BIM) for Green Buildings: A Critical Review and Future Directions</i> (Lu, dkk., 2017)	Penggunaan <i>software</i> BIM dalam industri AEC banyak dilakukan, seperti penggunaan BIM pada bangunan hijau. Penelitian ini berisi mengenai hubungan kritis antara BIM dengan bangunan hijau. Hasil dari kajian tersebut adalah taksonomi yang berisi konseptualisasi interaksi antara BIM dengan bangunan hijau. Aspek utama penggunaan BIM untuk bangunan hijau juga dinilai.	Berdasarkan penelitian ini ditemukan adanya kesenjangan dalam implementasi BIM terhadap bangunan hijau. Kurangnya dukungan BIM untuk analisis pada fase operasional dan konstruksi menjadi salah satu isu yang ditemukan. Kurangnya standar yang menyeluruh dan pemahaman menjadi suatu tantangan untuk mengembangkan BIM pada bangunan hijau.



Tabel 2.19 Penelitian Terdahulu Terkait Penggunaan BIM pada Bangunan Hijau
(Lanjutan)

No.	Judul Penelitian	Topik Pembahasan	Catatan untuk Penelitian Selanjutnya
		Pertama adalah kontribusi dan implementasi BIM ke dalam siklus hidup bangunan hijau. Kedua adalah fungsi dan analisis keberlanjutan oleh <i>software</i> BIM. Terakhir adalah integrasi penilaian bangunan hijau dengan BIM.	
5.	<i>Role of Ecotect and Designbuilder in Sustainable Architecture</i> (Madivada, dkk., 2019)	Konsep bangunan hijau telah menjadi tren. Sekarang ini telah banyak <i>software</i> yang dikembangkan untuk mendukung konsep bangunan hijau. Kurangnya pemahaman tentang peran <i>software</i> menjadi hambatan. Pada penelitian ini dilakukan studi literatur dengan tujuan memberikan pemahaman tentang peran <i>software</i> dalam menunjang konsep bangunan hijau. <i>Software</i> yang digunakan adalah ECOTECT dan DesignBuilder.	Pada penelitian ini ditemukan bahwa kedua <i>software</i> tersebut dapat digunakan untuk mendukung konsep bangunan hijau. Perlu adanya pelatihan untuk dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai peran <i>software</i> dalam mendukung bangunan hijau.
6.	<i>Sustainable Building Design: Analysing The Feasibility of BIM Platforms to Support Practical Building Sustainability Assessment</i> (Carvalho, dkk., 2021).	Dalam mencapai pembangunan berkelanjutan yang lebih efisien, maka semakin banyak cara yang dicari untuk meminimalkan dampak negatif dan konsumsi energi bangunan. Sistem penilaian bangunan hijau merupakan cara untuk melakukan evaluasi dan memantau kinerja lingkungan bangunan. Proses penilaian bangunan hijau yang cukup rumit dan membutuhkan banyak waktu sehingga dapat menyebabkan proses penilaian tidak sesuai dengan tenggat waktu proyek konstruksi. Munculnya teknologi berbasis BIM merupakan salah satu peluang untuk diterapkan pada sistem	Pada penelitian ini ditemukan bahwa <i>software</i> Autodesk Revit masih memiliki beberapa keterbatasan meskipun memiliki kontribusi pada proses evaluasi untuk sistem penilaian bangunan keberlanjutan.



Tabel 2.19 Penelitian Terdahulu Terkait Penggunaan BIM pada Bangunan Hijau (Lanjutan)

No.	Judul Penelitian	Topik Pembahasan	Catatan untuk Penelitian Selanjutnya
		penilaian bangunan hijau. Pada penelitian ini dilakukan analisis mengenai kontribusi <i>platform</i> BIM untuk membantu mengoptimalkan proses evaluasi pada sistem penilaian bangunan hijau. Penelitian ini menggunakan studi kasus yang dimodelkandengan <i>software</i> Autodesk Revit. Berdasarkan hasil analisis didapatkan bahwa <i>software</i> Autodesk Revit dapat digunakan untuk melakukan evaluasi terhadap beberapa kriteria penilaian pada sistem penilaian bangunan hijau. <i>Building Information Modeling (BIM)</i> tetap memiliki kontribusi pada sistem penilaian bangunan hijau meskipun tidak dapat digunakan pada semua kriteria.	
7.	<i>A Novel Approach for Integrating BIM and Green Building Rating Systems in The Construction Projects Design Phase</i> (Arbabi, dkk., 2024).	Seiring dengan berkembangnya industri konstruksi, krisis energi dan masalah lingkungan semakin bertambah buruk. Industri konstruksi tidak dapat mengabaikan dampak negatif tersebut. Bangunan hijau dan teknologi BIM merupakan tren yang sedang berkembang dalam industri konstruksi untuk mencegah dampak negatif. Pada penelitian ini dilakukan strategi baru berupa integrasi BIM dengan penilaian peringkat bangunan hijau dengan sistem penilaian IGBRS. Proses penilaian bangunan hijau didukung oleh <i>software</i> BIM Autodesk Revit. Setelah dilakukan analisis, diperoleh bahwa integrasi BIM untuk	Pada penelitian ini terdapat keterbatasan dalam proses analisisnya. Keterbatasan ini disebabkan oleh kendala dalam kinerja <i>software</i> Autodesk Revit. Menurut penelitian ini tidak adanya konektivitas GIS dan data material dari produk industri asli merupakan salah satu keterbatasan yang dialami. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya disarankan untuk dapat mengeksplorasi <i>software</i> BIM alternatif untuk analisis keberlanjutan yang lebih baik.



Tabel 2.19 Penelitian Terdahulu Terkait Penggunaan BIM pada Bangunan Hijau (Lanjutan)

No.	Judul Penelitian	Topik Pembahasan	Catatan untuk Penelitian Selanjutnya
		penilaian peringkat bangunan hijau dapat dilakukan. Pada prosesnya masih terdapat kendala dan perlu dilakukan penambahan fitur khusus pada Autodesk Revit.	

Pada penerapan bangunan hijau terdapat *rating system* yang dapat digunakan untuk memastikan bahwa bangunan hijau telah memenuhi standar. Banyak lembaga di seluruh dunia yang telah menerbitkan *rating system*. Indonesia menggunakan *rating system Greenship* untuk menilai bangunan hijau yang dikelola oleh *Green Building Council Indonesia (GBCI)*. Adapun penelitian terdahulu terkait sistem penilaian *Greenship* dapat dilihat pada Tabel 2.20.

Tabel 2.20 Penelitian Terdahulu Terkait Sistem Penilaian *Greenship*

No.	Judul Penelitian	Topik Pembahasan	Catatan untuk Penelitian Selanjutnya
1.	Pengukuran <i>Greenship</i> New Building Ver. 1.2 Pada Bangunan Baru Rumah Atsiri Indonesia (<i>Final Assessment</i>) (Ardhiansyah dan Azizah, 2018)	Bangunan hijau dinilai sebagai solusi untuk membantu mengurangi dampak dari pemanasan global, sehingga wajib diterapkan pada desain bangunan. Di Indonesia penerapan konsep bangunan hijau dalam perencanaan telah menjadi tren. Seiring munculnya tren ini, tumbuhnya kesadaran terhadap sertifikasi bangunan hijau pun meningkat. Pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif untuk menilai standar bangunan hijau pada bangunan bersejarah yang telah dikonservasi. Adapun parameter yang digunakan adalah <i>Greenship New Building</i> Versi 1.2. Setelah dilakukan penelitian maka didapatkan hasil bahwa	Pada penelitian ini terdapat beberapa keterbatasan. Keterbatasan yang dimaksudkan adalah keterbatasan data, seperti data perhitungan pengurangan CO ₂ dan perhitungan OTTV, sehingga penelitian ini tidak sepenuhnya relevan.

Tabel 2.20 Penelitian Terdahulu Terkait Sistem Penilaian *Greenship* (Lanjutan)

No.	Judul Penelitian	Topik Pembahasan	Catatan untuk Penelitian Selanjutnya
		gedung tersebut belum layak untuk dikategorikan sebagai bangunan hijau.	
2.	Penilaian Kriteria <i>Green Building</i> Pada Bangunan Gedung Universitas Pembangunan Jaya Berdasarkan Indikasi <i>Green Building Council Indonesia</i> (Roshaunda, dkk., 2019)	Pemanasan global menjadi isu yang penting karena merugikan bagi makhluk hidup. Salah satu penyebab pemanasan global adalah industri konstruksi. Solusi yang dapat dilakukan adalah dengan mengembangkan konsep bangunan hijau. Pada penerapannya, perlu dilakukan penilaian dan sertifikasi pada <i>green building</i>. Penelitian ini menggunakan studi kasus penilaian pada salah satu bangunan di Indonesia. Sistem penilaian yang digunakan adalah <i>Greenship</i> dari <i>Green Building Council Indonesia</i>. Dari sistem penilaian tersebut akan diketahui skor dan sertifikasi untuk bangunan hijau.	Berdasarkan penelitian, studi kasus untuk gedung tersebut belum memenuhi konsep bangunan hijau. Hal ini dikarenakan gedung tersebut tidak memenuhi prasyarat <i>Greenship</i> apabila ditinjau berdasarkan skor penilaian. Hal ini membuktikan bahwa gedung di Indonesia masih ada yang belum menerapkan konsep bangunan hijau, sehingga perlu dilakukan kajian pada penelitian selanjutnya.
3.	Analisis Penerapan <i>Building Information Modeling</i> (BIM) Pada Perancangan Bangunan Hijau Berdasarkan <i>Rating Tools Green Building Council Indonesia</i> (Adyatma dan Pratama, 2024).	Pertumbuhan konstruksi yang terjadi memberikan serangkaian dampak negatif pada lingkungan. Hal ini mendorong berkembangnya konsep bangunan hijau. Pada bangunan hijau terdapat proses sertifikasi yang mencakup tahap perencanaan yaitu <i>Design Recognition</i> (DR). Adanya kompleksitas pada tahap desain atau perencanaan membutuhkan suatu teknologi seperti <i>Building Information Modeling</i> (BIM). Pada penelitian ini dilakukan penelitian secara kualitatif untuk menilai kontribusi BIM pada desain bangunan hijau.	Penilaian kontribusi BIM pada tahap desain dilakukan dengan studi literatur dan wawancara saja. Selain itu penelitian ini hanya dilakukan pada 3 kategori <i>Greenship</i> saja sehingga memberikan peluang pada penelitian selanjutnya untuk melakukan penelitian dengan BIM pada kategori lainnya.

Tabel 2.20 Penelitian Terdahulu Terkait Sistem Penilaian *Greenship* (Lanjutan)

No.	Judul Penelitian	Topik Pembahasan	Catatan untuk Penelitian Selanjutnya
		Penelitian ini dilakukan berdasarkan <i>rating tools Greenship</i> pada tahap <i>Appropriate Site Development</i> (ASD), <i>Energy Efficiency Conservation</i> (EEC), dan <i>Water Conservation</i> (WAC).	

Bangunan hijau dianggap sebagai salah satu solusi yang memiliki potensi dalam menghadapi dampak negatif lingkungan akibat industri konstruksi. Penerapan konsep bangunan hijau diharapkan dapat memberi perubahan positif terhadap kondisi lingkungan. Di Indonesia terdapat sistem penilaian *Greenship* yang dapat dijadikan sebagai tolok ukur dalam penerapan bangunan hijau. Umumnya penelitian terdahulu mengenai sistem penilaian *Greenship* pada bangunan hijau masih menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif yang bergantung pada observasi secara langsung, studi literatur, dan wawancara (Ardhiansyah dan Azizah, 2018; Shofiyah dan Syahada, 2024; Roshaunda, dkk., 2019; Ananta dan Setiawan, 2022).

Beberapa penelitian di luar Indonesia telah menggunakan teknologi BIM untuk menunjang sistem penilaian melalui analisis dengan simulasi pada bangunan hijau. Sistem penilaian yang ada dapat digunakan sebagai tolok ukur dalam melakukan analisis dengan simulasi pada bangunan hijau. Analisis dengan simulasi dan sistem penilaian yang dilakukan dengan bantuan teknologi BIM dinilai lebih efektif dan efisien dalam penghematan waktu (Azhar dan Brown, 2009; Wong dan Fan, 2013; Solla, dkk., 2016; Lin, dkk., 2019; Lu, dkk., 2017; Zulkefli, dkk., 2020). Penggunaan BIM pada bangunan hijau untuk melakukan analisis dengan simulasi dapat dinilai dapat memberikan penghematan waktu. Berdasarkan teknologi yang ada pada BIM, maka memungkinkan untuk dilakukan evaluasi pada bangunan hijau dengan aspek kinerja keberlanjutan melalui analisis dengan simulasi. Selain itu dengan adanya BIM dapat dilakukan analisis untuk mengoptimalkan kinerja dari



bangunan (Kamel dan Memari, 2019). Berdasarkan hasil simulasi dengan BIM menunjukkan bahwa BIM dapat melakukan analisis berulang dengan cepat untuk mengoptimalkan efisiensi energi. Kajian kembali mengenai penggunaan BIM pada bangunan hijau untuk menunjang sistem penilaian melalui analisis dengan simulasi merupakan sebuah peluang untuk penelitian.





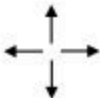
BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Flowchart

Flowchart atau bagan alir merupakan representasi atau gambaran berbentuk grafik yang menunjukkan aliran langkah atau urutan prosedur dalam suatu proses secara logika. *Flowchart* digunakan untuk menggambarkan tahapan penyelesaian suatu masalah secara sederhana. *Flowchart* digunakan untuk memberikan gambaran berupa tahapan secara terurai, rapi dan jelas agar mudah dipahami dan mudah dilihat berdasarkan urutan langkahnya (Putri, dkk., 2022; Malabay, 2016; Arief, dkk., 2019).

Flowchart digambarkan dengan simbol yang pada umumnya berbentuk persegi, belah ketupat maupun bentuk lainnya yang dihubungkan dengan garis berpanah. Simbol digunakan untuk menyatakan aliran proses sebagai gambaran dari urutan yang mempunyai fungsi tertentu. Setiap simbol menunjukkan langkah penyelesaian sedangkan garis berpanah menunjukkan urutan kejadian (Malabay, 2016 dan Arief, dkk., 2019). Pada penelitian ini menggunakan beberapa simbol. Simbol yang digunakan pada *flowchart* untuk tahapan penelitian diperlihatkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Penggunaan Simbol pada *Flowchart* untuk Tahapan Penelitian

No.	Nama Simbol	Simbol	Fungsi
1.	Terminator		Menunjukkan mulai dan selesai
2.	Input/Output		Menunjukkan <i>input</i> dan <i>output</i> data
3.	Dokumen		Menunjukkan dokumen yang digunakan untuk <i>input</i> maupun <i>output</i>
4.	Proses		Menunjukkan proses atau kegiatan
5.	Garis Alir		Menunjukkan aliran proses atau urutan dengan menghubungkan simbol-simbol

(Sumber: Romney, dkk., 2021)



3.2 Uraian Umum

Penelitian dengan judul “Implementasi *Building Information Modeling* (BIM) Dalam Penilaian Bangunan Hijau Berdasarkan *Rating Tools Greenship* Versi 1.2 Pada Kategori *Energy Efficiency and Conservation* dan *Water Conservation* (Studi Kasus: Gedung X)” terbagi menjadi lima tahapan. Lima tahapan proses penelitian adalah sebagai berikut:

1. Tahapan I

Tahapan I merupakan tahapan awal dari penelitian yang dilakukan dengan pengumpulan literatur dan kajian terkait dengan penelitian. Kata kunci literatur berkaitan dengan bangunan hijau, sistem penilaian *Greenship* versi 1.2, *Building Information Modeling* (BIM), *software* yang bisa digunakan untuk menunjang penelitian dan BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau. Selanjutnya, dilakukan identifikasi rumusan masalah dan pencarian *software* BIM yang dapat menunjang penelitian. Hasil *output* pada tahap I yaitu tinjauan pustaka, metode penelitian, rumusan masalah, *software* yang akan digunakan pada penelitian dan ujian proposal tugas akhir.

2. Tahapan II

Tahapan II merupakan proses pengumpulan data dan informasi yang diperlukan dalam penelitian. Data yang dikumpulkan mencakup data umum bangunan, data teknis bangunan serta data pendukung lainnya yang relevan. Selain itu, juga diperlukan data mengenai sistem penilaian yang digunakan. Hasil *output* dari tahap II yaitu data gedung, *file* model Gedung X format Autodesk Revit, gambar DED, Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS), spesifikasi teknis, dan data parameter pendukung yang digunakan untuk proses simulasi dengan *software*.

3. Tahapan III

Tahapan III merupakan proses pengolahan data yang terdiri dari beberapa tahapan berikut:

- a. Pengelompokan data teknis bangunan untuk kebutuhan penilaian bangunan hijau sesuai kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC berdasarkan sistem penilaian *Greenship New Building* versi 1.2.



b. Pengolahan data pada Autodesk Revit.

c. Pengolahan data pada DesignBuilder.

Hasil keluaran tahap III yaitu:

a. Hasil rekapitulasi pengelompokan data teknis bangunan pada setiap kategori.

b. Hasil dukungan dari *software* Autodesk Revit.

c. Hasil dukungan dari *software* DesignBuilder.

4. Tahapan IV

Tahapan IV merupakan proses analisis dari hasil *output* tahap III. Beberapa tahapan untuk melakukan analisis data yaitu:

a. Melakukan pemetaan bentuk dukungan dan analisis tingkat dukungan teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau berdasarkan sistem sertifikasi *Greenship* bangunan baru versi 1.2 pada kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC).

b. Melakukan analisis kontribusi dari masing-masing *software* teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau melalui pemanfaatan *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder pada kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC).

Hasil keluaran dari tahapan IV yaitu:

a. Hasil pemetaan bentuk dukungan dan hasil analisis tingkat dukungan teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau berdasarkan sistem sertifikasi *Greenship* bangunan baru versi 1.2 pada kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC).

b. Hasil analisis kontribusi dari masing-masing *software* teknologi BIM untuk penilaian bangunan hijau melalui pemanfaatan *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder pada kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC).

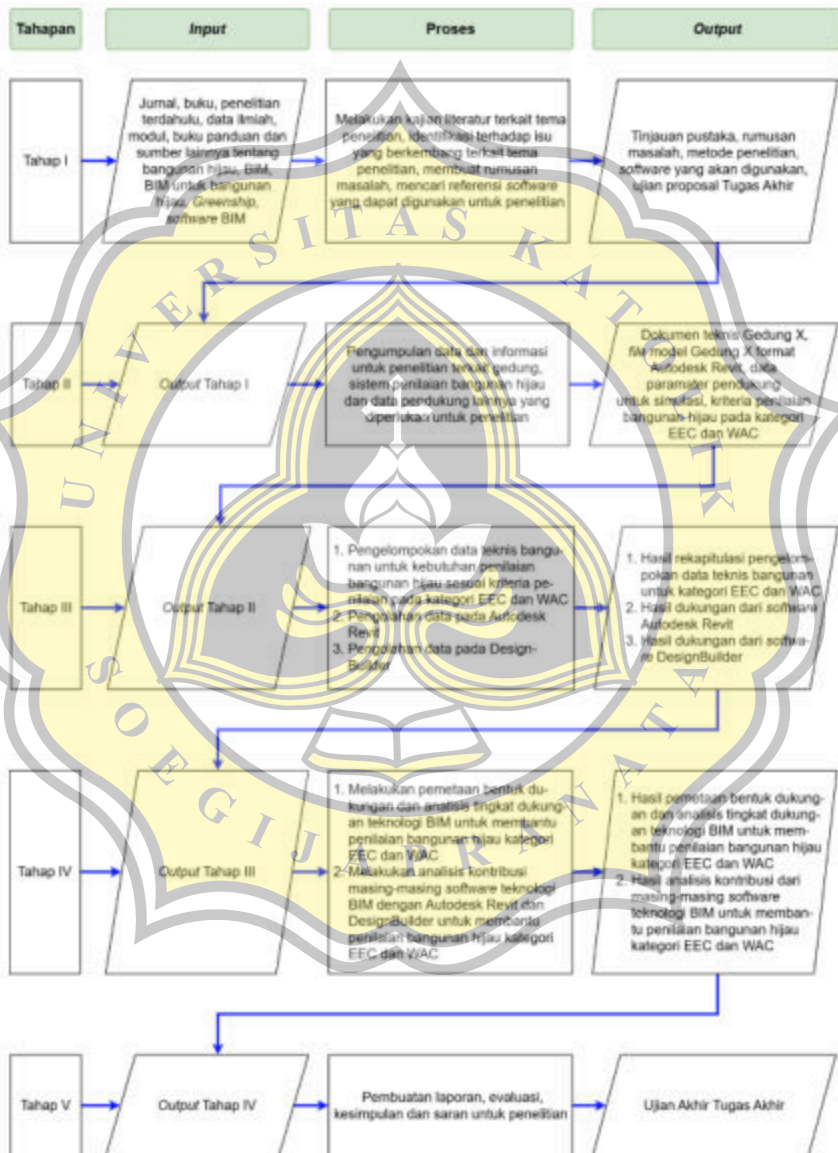
5. Tahapan V

Tahapan V merupakan tahapan terakhir dari penelitian ini. Tahapan V merupakan tahapan penyusunan hasil laporan, evaluasi, kesimpulan dan saran.

Tujuan akhir dari tahapan I sampai V yaitu ujian Tugas Akhir.



Seluruh proses penelitian dari tahap I sampai tahap V digambarkan dalam sebuah diagram tahapan. Tahapan proses penelitian dapat diperlihatkan melalui Gambar 3.1.

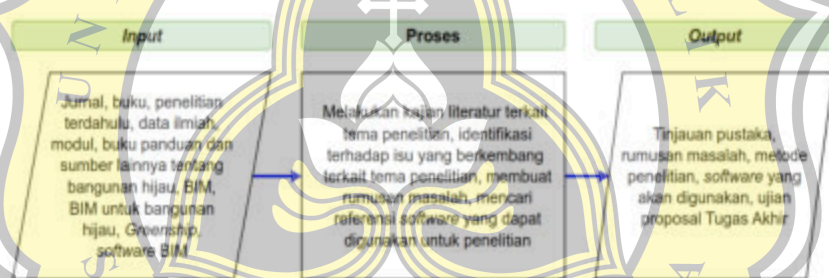


Gambar 3.1 Tahapan Proses Penelitian



3.3 Tahap I

Tahap I merupakan kegiatan studi literatur dengan melakukan peninjauan dan kajian yang terkait dengan penelitian. Tujuan dilakukan studi literatur adalah untuk memperoleh pemahaman yang diperlukan dalam penelitian serta isu yang berkembang terkait dengan penelitian. Studi literatur yang digunakan berkaitan dengan bangunan hijau, *Building Information Modeling* (BIM), referensi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau, sertifikasi bangunan hijau dengan sistem *Greenship* dan *software* untuk menunjang penelitian. Selain itu, pada tahap ini dilakukan identifikasi terkait perkembangan BIM dan bangunan hijau, sehingga diperoleh tinjauan pustaka, rumusan masalah, metode penelitian, *software* yang akan digunakan untuk penelitian dan ujian proposal Tugas Akhir. Tahapan proses penelitian untuk tahap I diperlihatkan pada Gambar 3.2.



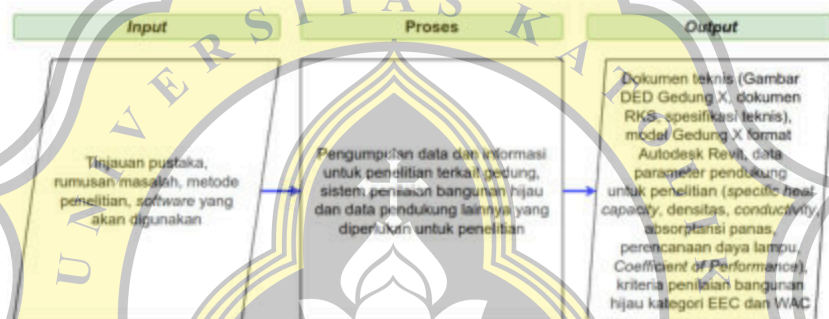
Gambar 3.2 Tahapan Proses Penelitian Untuk Tahap I

3.4 Tahap II

Setelah tahap I selesai dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan tahap II yang merupakan kegiatan pengumpulan data yang diperlukan untuk penelitian. Data yang diperlukan mencakup dokumen teknis gedung, data parameter pendukung dan sistem penilaian bangunan hijau berdasarkan *Greenship New Building* versi 1.2. Dokumen teknis yang diperlukan meliputi *file* model Gedung X format Autodesk Revit, gambar DED (*Detail Engineering Design*) Gedung X, dokumen RKS (Rencana Kerja dan Syarat-syarat) dan spesifikasi teknis. Data parameter pendukung digunakan untuk proses simulasi dengan *software* DesignBuilder. Data parameter yang diperlukan meliputi data *specific heat capacity*, *conductivity*,



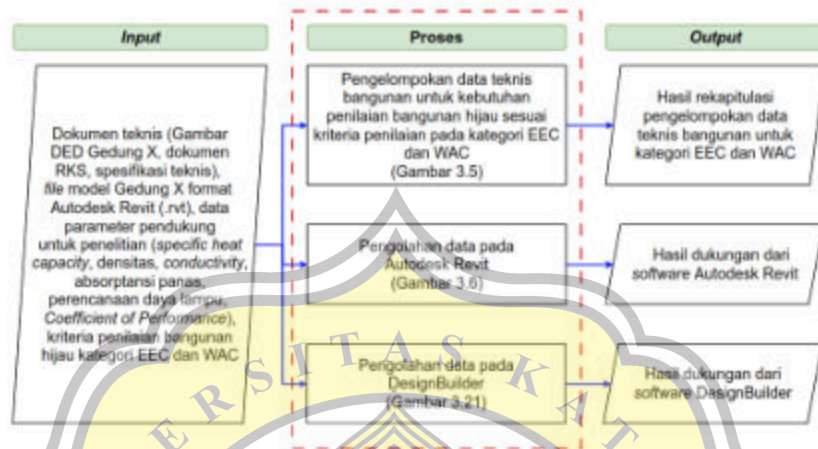
densitas, absorptansi panas, perencanaan daya lampu dan *Coefficient of Performance (CoP)*. Selain itu, diperlukan data mengenai kriteria penilaian bangunan hijau dengan sistem penilaian *Greenship New Building* versi 1.2. *Output* dari tahap II yaitu dokumen teknis (gambar DED Gedung X, dokumen RKS, spesifikasi teknis), *file* model Gedung X format Autodesk Revit, data parameter pendukung dan kriteria penilaian bangunan hijau kategori EEC dan WAC sesuai sistem penilaian *Greenship New Building* versi 1.2. Tahapan proses penelitian untuk tahap II diperlihatkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Tahapan Proses Penelitian Untuk Tahap II

3.5 Tahap III

Tahap III merupakan kegiatan pengolahan data dari semua data yang diperoleh dari tahap sebelumnya. Pengolahan data dilakukan pada dokumen teknis, *file* model Gedung X format Autodesk Revit, data parameter pendukung untuk simulasi dan kriteria penilaian bangunan hijau sesuai sistem penilaian *Greenship New Building* versi 1.2. Dokumen teknis yang digunakan untuk kegiatan pengolahan data meliputi dokumen *Detail Engineering Design (DED)* Gedung X, dokumen Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS), dan spesifikasi teknis. Data parameter pendukung yang diperlukan yaitu data *specific heat capacity*, densitas, *conductivity*, absorptansi panas, perencanaan daya lampu dan *Coefficient of Performance (CoP)*. Kriteria penilaian bangunan hijau yang diperlukan yaitu pada kategori EEC dan WAC sesuai sistem penilaian *Greenship New Building* versi 1.2. Tahapan proses penelitian untuk tahap III diperlihatkan pada Gambar 3.4.

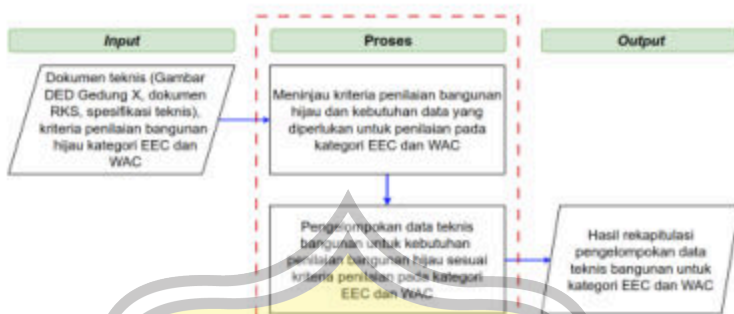


Gambar 3.4 Tahapan Proses Penelitian Untuk Tahap III

Berdasarkan tahapan yang diperlihatkan pada Gambar 3.4 terdapat tiga proses utama yang dilakukan pada tahap ini. Proses yang dilakukan yaitu pengelompokan data teknis bangunan untuk kebutuhan penilaian bangunan hijau sesuai kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC, pengolahan data pada Autodesk Revit dan pengolahan data pada DesignBuilder. Tiga proses utama yang dilakukan pada tahap ini menghasilkan *output* yang berbeda dan digunakan untuk menjadi dasar untuk melakukan analisis selanjutnya.

3.5.1 Pengelompokan Data Teknis Bangunan

Proses pengelompokan data teknis bangunan dilakukan sesuai dengan kebutuhan penilaian bangunan hijau pada kriteria penilaian kategori EEC dan WAC sesuai sistem penilaian *Greenship New Building* versi 1.2. Pengelompokan data teknis bangunan dilakukan pada dokumen teknis yang meliputi gambar DED Gedung X, dokumen RKS dan spesifikasi teknis yang sudah diperoleh sebelumnya. Proses pengelompokan data teknis bangunan dilakukan dengan menyesuaikan kriteria penilaian bangunan hijau pada kategori EEC dan WAC sesuai sistem penilaian *Greenship New Building* versi 1.2. Tahapan proses pengelompokan data teknis bangunan diperlihatkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Tahapan Proses Pengelompokan Data Teknis Bangunan

Berdasarkan tahapan proses pengelompokan data yang diperlihatkan pada Gambar 3.5, dapat diketahui *input*, *proses* dan *output* pada tahapan ini. *Input* yang digunakan yaitu dokumen teknis Gedung X yang meliputi gambar DED, dokumen RKS, dan spesifikasi teknis, serta kriteria penilaian bangunan hijau untuk kategori EEC dan WAC. Proses yang dilakukan yaitu peninjauan kriteria penilaian bangunan hijau beserta kebutuhan data yang diperlukan untuk masing-masing kategori penilaian. Selanjutnya dilakukan proses pengelompokan data teknis bangunan dengan menyesuaikan kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC sesuai dengan sistem penilaian *Greenship New Building* versi 1.2. Hasil *output* dari tahapan ini yaitu hasil rekapitulasi pengelompokan data teknis bangunan untuk kategori EEC dan WAC. Hasil *output* dari proses pengelompokan data disajikan dalam sebuah tabel untuk mempermudah dalam melihat kebutuhan data untuk kriteria penilaian dan sumber dokumen teknis yang dapat digunakan. Formulir rekapitulasi pengelompokan data teknis bangunan diperlihatkan pada Tabel 3.2.

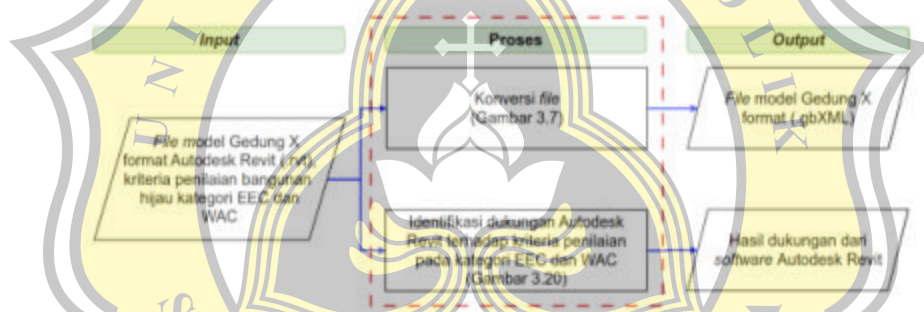
Tabel 3.2 Formulir Rekapitulasi Pengelompokan Data Teknis Bangunan

Kriteria	Kebutuhan Data	Sumber Data



3.5.2 Pengolahan Data pada Autodesk Revit

Pengolahan data pada Autodesk Revit dilakukan melalui dua proses yaitu proses konversi *file* dan proses identifikasi dukungan Autodesk Revit terhadap kriteria penilaian pada kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC). Pada konversi *file* membutuhkan *input* berupa *file* model Gedung X format Autodesk Revit. Pada proses kedua yaitu identifikasi dukungan Autodesk Revit terhadap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC yang membutuhkan *input file* model Gedung X dan data kriteria penilaian bangunan hijau. Data tersebut akan diolah dengan dua proses yang berbeda dan menghasilkan *output* yang berbeda. Tahapan proses pengolahan data pada Autodesk Revit diperlihatkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Tahapan Proses Pengolahan Data Pada Autodesk Revit

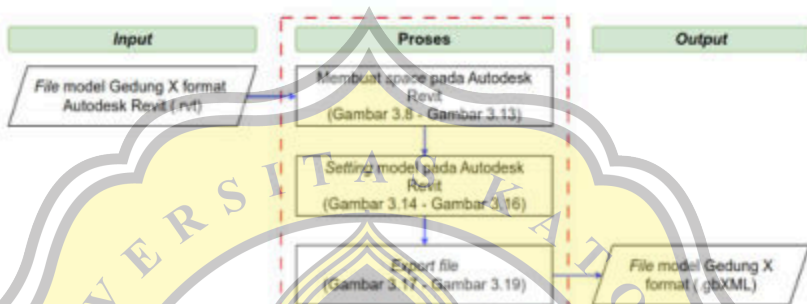
Berdasarkan Gambar 3.6 diperlihatkan bahwa pengolahan data pada Autodesk Revit memiliki dua proses. Proses pertama yaitu konversi *file* model Gedung X pada Autodesk Revit. Proses konversi *file* akan menghasilkan *output file* format (.gbXML) yang diperlukan untuk proses simulasi pada *software* DesignBuilder. Selain konversi *file*, dilakukan identifikasi dukungan Autodesk Revit terhadap kriteria penilaian kategori EEC dan WAC. Proses identifikasi menghasilkan *output* berupa hasil dukungan dari *software* Autodesk Revit. Kedua proses pengolahan data pada Autodesk Revit dijabarkan sebagai berikut:

1. Konversi *file*

Pada proses ini membutuhkan *input* berupa *file* model Gedung X format Autodesk Revit yang akan dikonversi ke dalam format (.gbXML). *Output* yang



dihasilkan dari proses ini yaitu *file* model Gedung X dengan format (.gbXML). *File* model Gedung X dengan format (.gbXML) diperlukan untuk proses simulasi pada *software* DesignBuilder. Tahapan proses konversi *file* diperlihatkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Tahapan Proses Konversi File

Proses konversi *file* pada model Gedung X dari format Autodesk Revit (.rvt) ke dalam format (.gbXML) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.7 dilakukan dengan melalui beberapa tahapan. Tahapan untuk proses konversi *file* yaitu membuat *space* pada Autodesk Revit, *setting* model pada Autodesk Revit kemudian *export file*. Sebelum proses konversi *file* dilakukan, perlu dilakukan simplifikasi pada model 3D Gedung X terlebih dahulu. Langkah ini bertujuan untuk mempermudah proses simulasi serta mempercepat waktu perhitungan pada *software* yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan Gedung X yang memiliki tingkat kompleksitas yang cukup tinggi karena merupakan gedung pendidikan dengan beragam ruang pembelajaran, laboratorium, dan area pendukung lainnya. Data yang diperoleh pada penelitian ini merupakan *file* arsitektur model Gedung X dari Autodesk Revit yang bersifat detail, sehingga hasil *file* dengan format (.gbXML) menjadi berat dan kompleks untuk diproses oleh DesignBuilder.

Software simulasi seperti DesignBuilder membutuhkan model bangunan dengan tingkat kompleksitas yang rendah. Kompleksitas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan waktu simulasi menjadi lama dan bahkan berpotensi menimbulkan kegagalan simulasi. Simplifikasi pada model 3D sangat



disarankan untuk dilakukan pada tahap awal (DesignBuilder, 2025; Elhadad, dkk., 2020). Hasil simulasi dari model yang telah disederhanakan tidak menunjukkan perbedaan signifikan dibandingkan dengan model bangunan kompleks (Elhadad, dkk., 2020; Picco dan Marengo, 2015). Hal ini menjadi pertimbangan untuk melakukan simulasi hanya fokus pada lantai 3 dan 4. Keterbatasan ini telah disebutkan sebelumnya pada Subbab 1.4.

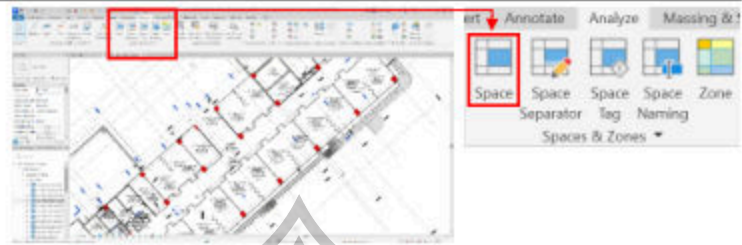
Proses simplifikasi ini dilakukan pada file model 3D Gedung X yang ada pada Autodesk Revit dengan format (.rvt) sebelum proses *export* atau konversi file ke format (.gbXML). Pada tahap *import* file ke *software* DesignBuilder tidak perlu dilakukan proses simplifikasi lagi karena model 3D secara otomatis terbentuk dari hasil konversi Autodesk Revit. Proses simplifikasi ini tercantum dalam tahap konversi file model 3D Gedung X format (.rvt) ke dalam format (.gbXML) karena merupakan bagian dari rangkaian tahapan konversi model. Adapun penjelasan dari ketiga tahapan yang dilakukan pada proses konversi file adalah sebagai berikut:

a. Membuat *space* pada Autodesk Revit

Space merupakan komponen yang tersedia pada Autodesk Revit yang memiliki fungsi untuk mendefinisikan suatu ruangan. *Space* menyimpan berbagai informasi mengenai ruangan seperti nomor ruangan, volume ruangan, nama ruangan, dan luas ruangan. Informasi ini digunakan dalam proses analisis dengan simulasi pada *software* DesignBuilder, oleh karena itu pembuatan *space* harus dilakukan pada seluruh ruangan yang akan disimulasikan. Adapun beberapa tahapan untuk membuat *space* pada Autodesk Revit yaitu:

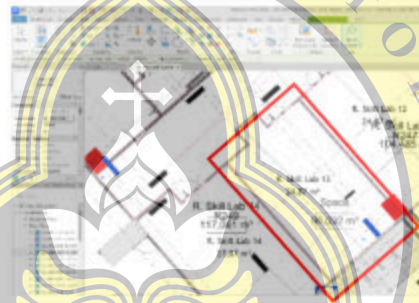
a.1 *Create new space*

Pada penelitian ini, *space* akan dibuat hanya pada lantai 3 dan 4 sebagai bagian dari proses simplifikasi. DesignBuilder hanya dapat melakukan analisis pada ruangan yang telah memiliki *space*, sehingga proses pembuatan *space* dibatasi hanya pada lantai 3 dan 4. Pembuatan *space* dilakukan dengan memilih opsi *space* pada tab *analyze*. Opsi *space* pada tab *analyze* dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Opsi *Space* Pada Tab *Analyze*

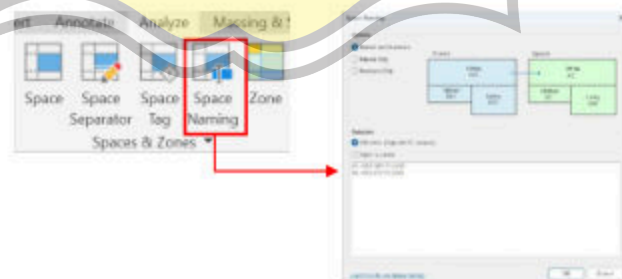
Setelah memilih opsi *space*, maka dapat dilanjutkan dengan menempatkan *space* pada ruangan yang ada pada lantai tersebut. Pada Gambar 3.9 diperlihatkan penempatan *space* pada lantai 3.



Gambar 3.9 Penempatan *Space* Pada Lantai 3

a.2 *Setting* penamaan *space*

Setting penamaan *space* perlu dilakukan untuk memudahkan proses analisis di DesignBuilder. Hal ini dilakukan dengan memilih opsi *space naming* pada tab *analyze*. Pada Gambar 3.10 diperlihatkan *setting* penamaan *space*.

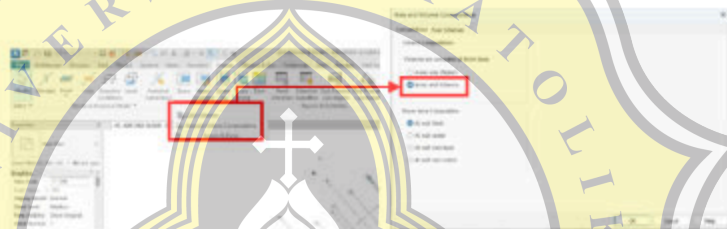


Gambar 3.10 *Setting* Penamaan *Space*



a.3 *Setting volume computation*

Setting volume computation pada *space* dilakukan untuk memastikan volume pada ruangan tersebut sudah terhitung. *Setting volume computation* pada *space* dapat dilakukan dengan memilih opsi *space & zone* pada tab *analyze*. Setelah itu, akan muncul beberapa pilihan lainnya dan dapat dipilih opsi *Areas and volumes Computations*. Setelah memilih opsi *Areas and volumes Computations* akan muncul jendela baru yang kemudian dapat dipilih opsi *Areas and Volumes*. Pada Gambar 3.11 diperlihatkan *Setting Volume Space*.



Gambar 3.11 *Setting Volume Space*

a.4 *Setting level space*

Setting level pada *space* dilakukan untuk mengatur *space* secara vertikal. *Setting level space* dapat dilakukan dengan menyesuaikan input data pada bagian *upper limit*, *limit offset*, dan *base offset*. Pada bagian *upper limit* dapat berisikan lantai selanjutnya. Pada *limit offset* dan *base offset* dapat diinput nilai sebesar 0. *Setting* dengan input seperti ini akan memastikan *space* terbentuk tanpa celah pada suatu ruangan. Pada Gambar 3.12 diperlihatkan *setting level space*.



Gambar 3.12 *Setting Level Space*



a.5 Pengecekan visual

Setelah pembuatan dan *setting* pada *space* selesai, maka dapat dilakukan pengecekan secara visual terlebih dahulu. Pengecekan ini dilakukan hanya untuk memastikan bahwa *space* sudah terbentuk dengan benar tanpa celah pada keseluruhan ruangan yang ingin dianalisis. Pada Gambar 3.13 diperlihatkan *space* pada gedung.



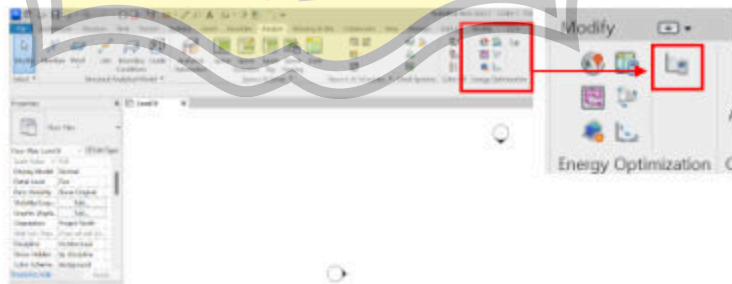
Gambar 3.13 *Space* Pada Gedung

b. *Setting model* pada Autodesk Revit

Setting model pada Autodesk Revit dilakukan dengan menyesuaikan parameter untuk melakukan simulasi pada DesignBuilder. Beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk *setting model* pada Autodesk Revit yaitu:

b.1 *Energy setting* sebelum *export file*

Setelah *space* terbentuk, maka selanjutnya dilakukan *setting* pada *energy settings*. *Setting* ini dilakukan untuk memastikan *export file* sesuai dengan keperluan analisis. Pada tab *analyze* dapat dipilih pilih opsi *energy settings*. Gambar 3.14 memperlihatkan opsi *energy settings* pada tab *analyze*.



Gambar 3.14 Opsi *Energy Settings* Pada Tab *Analyze*



b.2 *Setting advanced*

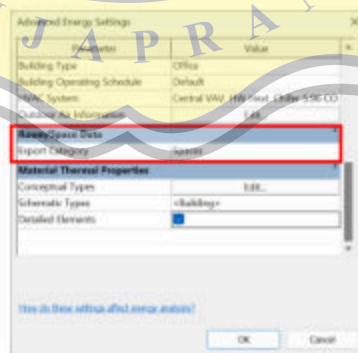
Setelah memilih *icon energy settings* akan muncul tampilan jendela baru. Pada tampilan *energy settings* dapat dipilih menu *advanced* dan pilih *edit* pada bagian *other options*. Gambar 3.15 memperlihatkan pilihan menu *advanced* pada jendela *energy settings*.



Gambar 3.15 Pilihan Menu *Advanced* Pada Jendela *Energy Settings*

b.3 *Setting advance energy settings*

Setelah memilih *edit* pada opsi *other options*, maka akan muncul tampilan jendela *advanced energy settings*. Pada tampilan jendela *advanced energy settings* pilih menu *room/spaces data* kemudian pilih *spaces* pada bagian *export category*. Gambar 3.16 memperlihatkan menu *room/space data* pada *advanced energy settings*.



Gambar 3.16 Menu *Room/Space Data* Pada *Advanced Energy Settings*

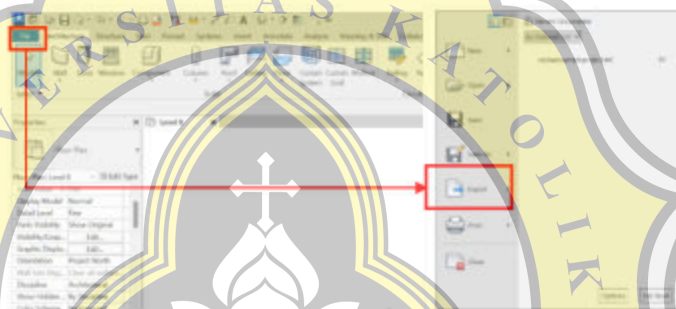


c. *Export file*

Proses *export file* dilakukan dengan beberapa tahapan. Tahapan *export file* yaitu:

c.1 *Pilih tab file*

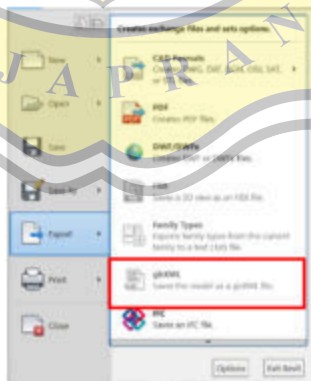
Export file pada Autodesk Revit dapat dilakukan dengan memilih *tab file* pada menu bar lembar kerja. Setelah itu akan muncul opsi *export* yang dapat dipilih. Gambar 3.17 memperlihatkan *export file* pada Autodesk Revit.



Gambar 3.17 *Export File* Autodesk Revit

c.2 *Export file format (.gbXML)*

Setelah memilih opsi *export*, akan tersedia jendela baru dengan pilihan format *files*. Pada jendela ini dapat dipilih format *(.gbXML)*. Gambar 3.18 memperlihatkan pilihan *format export file* pada Autodesk Revit.

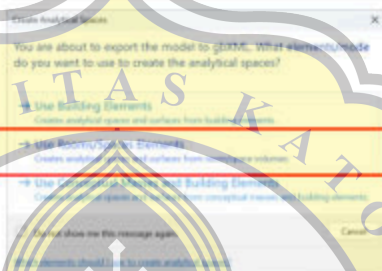


Gambar 3.18 Pilihan *Format Export File* Pada Autodesk Revit



c.3 Pilih *use room/space volumes*

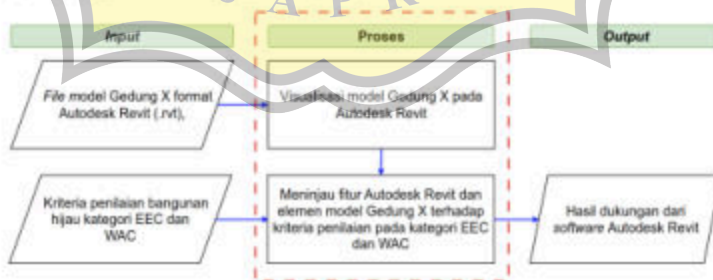
Setelah memilih opsi *export file* ke (.gbXML), maka akan ditampilkan jendela *export* (.gbXML). Terdapat tiga pilihan untuk melakukan *export file*. Pilih opsi *use room/space volumes* untuk memudahkan proses analisis pada *software* DesignBuilder. Gambar 3.19 memperlihatkan tampilan jendela *export* (.gbXML).



Gambar 3.19 Tampilan Jendela *Export* (.gbXML)

2. Identifikasi dukungan Autodesk Revit terhadap kriteria penilaian kategori EEC dan WAC

Proses yang kedua yaitu dilakukan identifikasi dukungan Autodesk Revit terhadap kriteria penilaian kategori EEC dan WAC. Pada proses ini membutuhkan *input* berupa *file* model Gedung X format Autodesk Revit dan kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. *Output* yang dihasilkan dari proses ini yaitu hasil dukungan dari *software* Autodesk Revit. Tahapan proses identifikasi dukungan Autodesk Revit terhadap kriteria penilaian kategori EEC dan WAC diperlihatkan pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20 Tahapan Proses Identifikasi Dukungan Autodesk Revit Terhadap Kriteria Penilaian Kategori EEC dan WAC



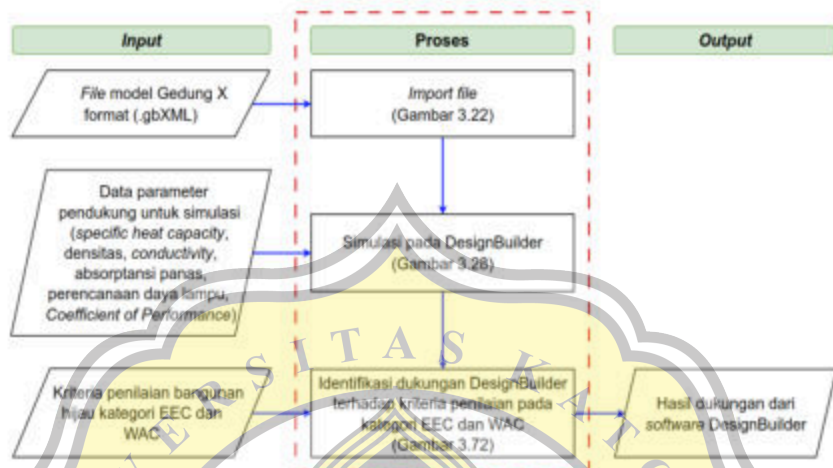
Berdasarkan Gambar 3.20 diperlihatkan bahwa identifikasi dukungan Autodesk Revit terhadap kriteria penilaian kategori EEC dan WAC dilakukan melalui dua proses. Proses yang pertama yaitu visualisasi model Gedung X pada Autodesk Revit dengan *input* berupa *file* model Gedung X format Autodesk Revit. Setelah muncul hasil visualisasi dilanjutkan dengan meninjau setiap fitur pada Autodesk Revit dan elemen model Gedung X terhadap kriteria penilaian bangunan hijau pada kategori EEC dan WAC. Proses identifikasi dilakukan dengan pemetaan ketersediaan fitur Autodesk Revit terhadap kriteria penilaian bangunan hijau kategori EEC dan WAC. Hasil *output* dari proses ini yang berupa dukungan dari *software* Autodesk Revit disajikan dalam sebuah tabel untuk mempermudah dalam melihat dukungan Autodesk Revit terhadap kriteria penilaian. Tabel pemetaan akan dipisah berdasarkan kategori penilaian yang ditinjau yaitu kategori EEC dan WAC. Formulir pemetaan hasil dukungan Autodesk Revit diperlihatkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Formulir Pemetaan Hasil Dukungan Autodesk Revit

No.	Hasil Dukungan Autodesk Revit	Kriteria yang Dapat Didukung
1.		
2.		
3.		
4.		

3.5.3 Pengolahan Data pada DesignBuilder

Pengolahan data pada DesignBuilder dilakukan melalui tiga tahapan yang terdiri dari proses *import file*, proses simulasi pada DesignBuilder dan proses identifikasi dukungan DesignBuilder terhadap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Pada proses ini membutuhkan beberapa *input* yang terdiri dari *file* model Gedung X format (.gbXML), data parameter pendukung untuk simulasi (*specific heat capacity*, nilai densitas, *conductivity*, absorptansi panas, perencanaan daya lampu dan *Coefficient of Performance*) dan kriteria penilaian bangunan hijau kategori EEC dan WAC. Tahapan proses pengolahan data pada DesignBuilder diperlihatkan pada Gambar 3.21.

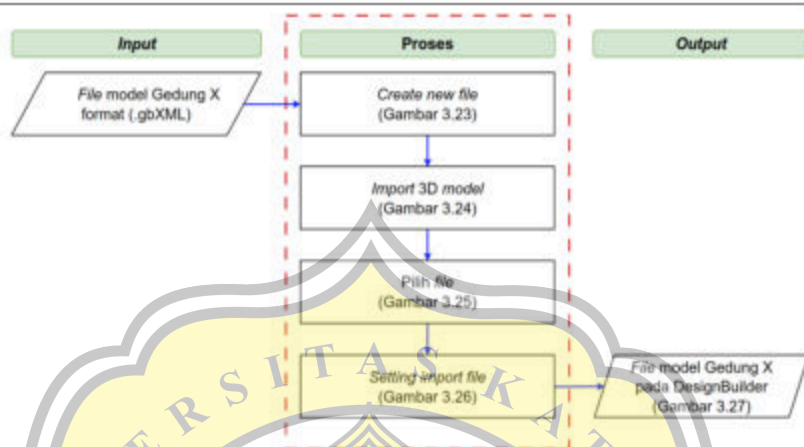


Gambar 3.21 Tahapan Proses Pengolahan Data Pada DesignBuilder

Berdasarkan Gambar 3.21 diperlihatkan bahwa pengolahan data pada DesignBuilder dilakukan melalui tiga proses yang saling berhubungan. Proses pertama yaitu *import file* dengan *input* berupa *file model Gedung X format (.gbXML)*. Setelah proses pertama selesai, dilanjutkan dengan proses simulasi pada DesignBuilder yang memerlukan *input* tambahan berupa data parameter pendukung untuk simulasi. Setelah simulasi dilakukan, dilanjutkan dengan proses identifikasi dukungan DesignBuilder terhadap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Ketiga tahapan proses tersebut akan menghasilkan satu *output* berupa hasil dukungan dari *software* DesignBuilder. Proses pengolahan data pada DesignBuilder dijabarkan sebagai berikut:

1. *Import file*

Setelah proses konversi *file model Gedung X* dari format Autodesk Revit (.rvt) ke dalam format (.gbXML) selesai dilakukan, maka tahapan selanjutnya dapat dilakukan *import file* model Gedung X dengan format (.gbXML) ke dalam *software* DesignBuilder. Pada proses ini membutuhkan *input* berupa *file model Gedung X format (.gbXML)* yang akan menghasilkan *output* berupa *file model Gedung X* pada DesignBuilder. Tahapan proses *import file* diperlihatkan pada Gambar 3.22.

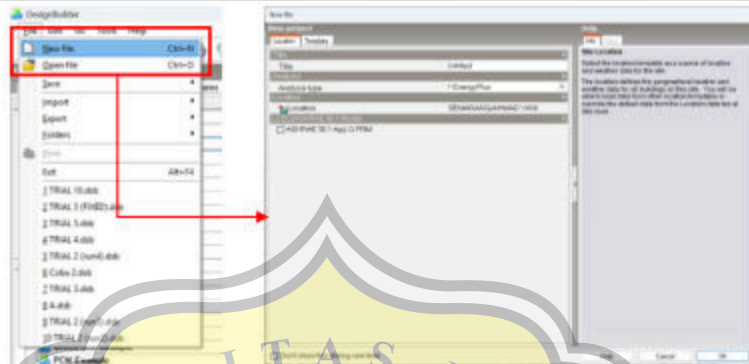


Gambar 3.22 Tahapan Proses *Import File*

Berdasarkan Gambar 3.22 dapat diketahui bahwa proses *import file* pada model Gedung X format (.gbXML) dilakukan melalui beberapa tahapan. Tujuannya adalah untuk memastikan kesesuaian dari *file import*. Tahapan proses *import* meliputi *create new file*, *import 3D model*, *pilih file* dan kemudian *setting import file*. Seluruh proses ini akan menghasilkan output yang berupa file model Gedung X pada DesignBuilder dan akan digunakan untuk melakukan simulasi dengan software DesignBuilder. Adapun tahapan yang dilakukan untuk *import file* adalah sebagai berikut:

a. *Create new file*

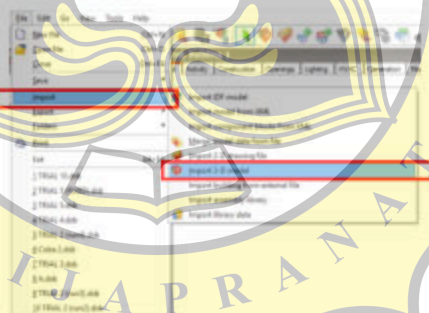
Create new file perlu dilakukan sebelum melakukan proses *import file* (.gbXML) ke dalam DesignBuilder. *Create new file* dapat dilakukan dengan memilih tab *file* pada menu bar lembar kerja di DesignBuilder yang kemudian akan muncul beberapa opsi. Pada hal ini opsi ini dapat dipilih opsi *new file*. Setelah opsi *new file* muncul jendela baru yang memuat beberapa *setting* yang dapat dilakukan sebelum membuat *file* baru. *Setting* pada tahap ini yang dapat diubah adalah nama dan lokasi, namun dapat diabaikan terlebih dahulu yang kemudian dapat disesuaikan ulang setelah memastikan proses *import file* selesai. Gambar 3.17 memperlihatkan tampilan *create new file* pada DesignBuilder.



Gambar 3.23 Tampilan *Create New File* Pada DesignBuilder

b. *Import 3D model*

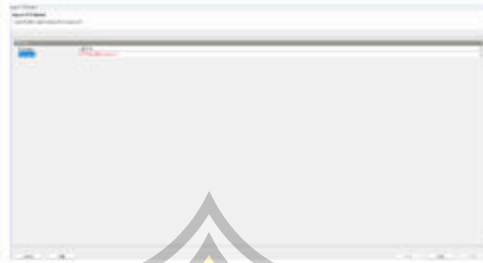
Setelah membuat lembar kerja baru, maka selanjutnya dapat dipilih kembali menu *file* pada DesignBuilder. Setelah itu akan muncul opsi *import* yang dapat dipilih. Pada opsi *import* akan terdapat beberapa pilihan format *import* yang dapat dipilih. Dalam hal ini dapat dipilih *import 3D model*. Gambar 3.24 memperlihatkan tampilan menu *import* pada DesignBuilder.



Gambar 3.24 Tampilan Menu *Import* Pada DesignBuilder

c. *Pilih file*

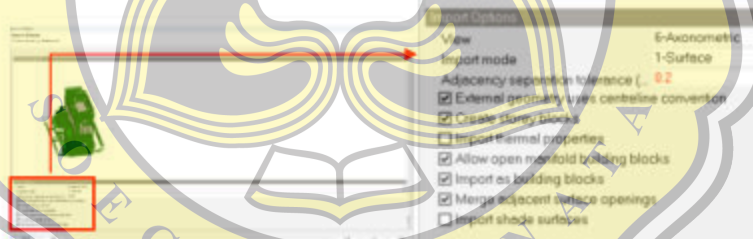
Setelah dipilih opsi *import 3D model*, akan muncul jendela baru. Pada jendela baru ini dapat dipilih tipe *file* dan *file* yang akan diimport ke dalam DesignBuilder. Pada bagian tipe *file* dapat dipilih format (.gbXML), sedangkan pada bagian *file* dapat dipilih *file* yang sudah diexport sebelumnya. Pada Gambar 3.25 diperlihatkan tampilan *import 3D model* di DesignBuilder.



Gambar 3.25 Tampilan *Import* 3D Model Di DesignBuilder

d. *Setting import file*

Setelah memilih tipe *file* dan *file* yang akan digunakan, maka selanjutnya perlu dilakukan *setting* terlebih dahulu. Terdapat beberapa opsi *setting* yang dapat dilakukan dengan menyesuaikan keperluan analisis. Pada opsi ini dapat dibiarkan *default* dan hanya mengganti *adjacency separation tolerance* menjadi 0,2 m. *Adjacency separation tolerance* merupakan ukuran toleransi pemisah antara dua permukaan yang berdekatan. Pada Gambar 3.26 diperlihatkan *setting import file*.



Gambar 3.26 *Setting Import File*

e. Model Gedung X pada DesignBuilder

Setelah *setting* selesai dilakukan, maka akan terlihat hasil gedung yang telah diimpor berupa *file* model Gedung X pada DesignBuilder. Pada Gambar 3.27 diperlihatkan model Gedung X pada DesignBuilder.

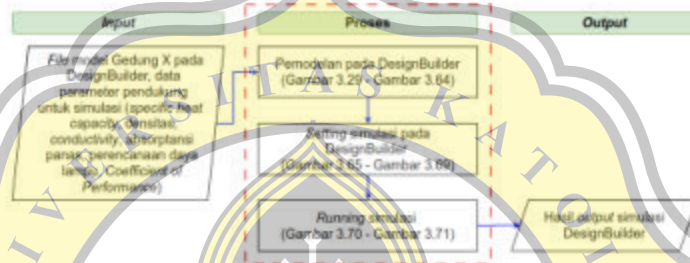


Gambar 3.27 Model Gedung X Pada DesignBuilder



2. Simulasi pada DesignBuilder

Pada proses ini membutuhkan *input* berupa *file* model Gedung X pada DesignBuilder dan data parameter untuk simulasi yang meliputi *specific heat capacity*, densitas, *conductivity*, absorptansi panas, pencahayaan daya lampu dan *Coefficient of Performance (CoP)*. Tahapan proses simulasi pada DesignBuilder diperlihatkan pada Gambar 3.28.

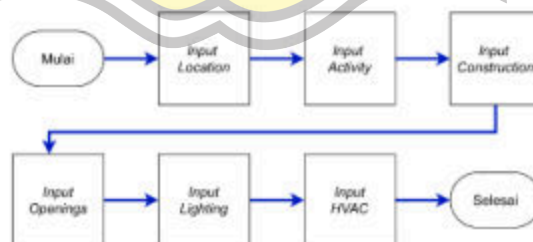


Gambar 3.28 Tahapan Proses Simulasi Pada DesignBuilder

Berdasarkan Gambar 3.28 dapat diketahui bahwa proses simulasi pada DesignBuilder harus melalui beberapa tahapan. Tahapan proses simulasi meliputi pemodelan pada DesignBuilder, *setting* simulasi dan *running* simulasi. Adapun penjelasan tahapan yang dilakukan untuk simulasi yaitu:

a. Pemodelan pada DesignBuilder

Pemodelan pada DesignBuilder lebih mengacu pada *input* data parameter yang diperlukan untuk melakukan simulasi. Proses pemodelan pada DesignBuilder ini mencakup serangkaian tahapan yang perlu dilakukan untuk menunjang proses simulasi. Adapun tahapan pemodelan untuk simulasi pada *software* DesignBuilder dapat dilihat pada Gambar 3.29.



Gambar 3.29 Tahapan Pemodelan Untuk Simulasi Pada DesignBuilder



Pada Gambar 3.29 diperlihatkan serangkaian tahapan melakukan pemodelan untuk simulasi pada DesignBuilder yang meliputi *input location*, *activity*, *construction*, *openings*, *lighting* dan HVAC. Adapun penjelasan dari tiap tahapan pemodelan untuk simulasi adalah sebagai berikut:

a.1 *Input location*

Input location berfungsi untuk menentukan posisi geografis dari bangunan. Adapun tahapan dalam melakukan *input location* adalah sebagai berikut:

a.1.1 *Pilih menu location*

Langkah pertama adalah dengan memilih menu *location*. Menu ini tersedia pada lembar kerja DesignBuilder yang dapat dilihat pada Gambar 3.30.



Gambar 3.30 Letak Menu *Location*

a.1.2 *Create location template*

DesignBuilder sudah menyediakan beberapa *template* lokasi yang dapat digunakan untuk proses simulasi. Lokasi Gedung X belum tersedia, sehingga dilakukan penambahan *template* baru. Pembuatan *template* baru dapat dilakukan dengan memilih *icon plus* pada bagian *location*. Pada Gambar 3.31 diperlihatkan tampilan penambahan *location template*.

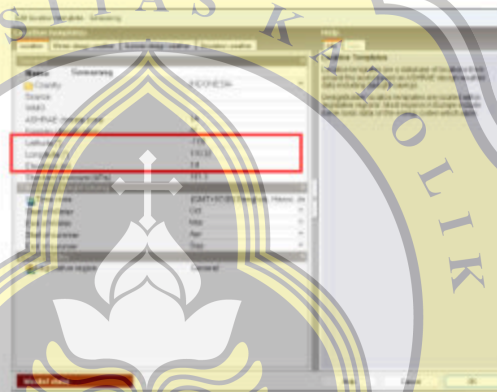


Gambar 3.31 Tampilan Penambahan *Location Template*



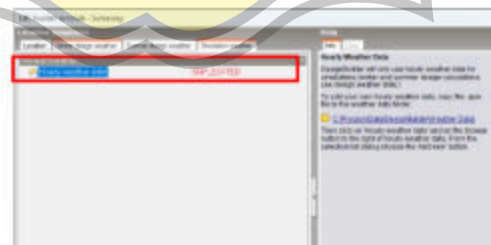
a.1.3 *Setting new location*

Setelah memilih *icon plus*, maka akan muncul tampilan jendela baru yaitu *edit location template*. Pada *edit location template* perlu dilakukan *setting* sesuai dengan lokasi dari Gedung X. *Setting* dapat dilakukan pada bagian tab *location* dan *simulation weather*. *Setting* pada tab *location* dapat dilakukan dengan *input* data koordinat lokasi, *elevasi*, dan *zona waktu*. Pada Gambar 3.32 diperlihatkan tampilan *setting* tab *location*.



Gambar 3.32 Tampilan *Setting* Tab *Location*

Setelah *setting* pada tab *location* selesai, maka dilanjutkan dengan *setting* tab *simulation weather*. *Setting* dilakukan dengan *input hourly weather data* dengan format file *.epw* pada DesignBuilder. Pada Gambar 3.33 diperlihatkan tampilan *setting* tab *simulation weather*.



Gambar 3.33 Tampilan *Setting* Tab *Simulation Weather*



DesignBuilder telah menyediakan *hourly weather data* untuk beberapa negara. *Hourly weather data* untuk Indonesia belum tersedia dan karena adanya keterbatasan dalam membuat *file .epw*, maka digunakan *file .epw* dari Singapore. Detail keterbatasan dapat dilihat pada Subbab 1.4.

a.2 *Input Activity*

Input activity pada DesignBuilder dilakukan dengan menambahkan data informasi mengenai aktivitas yang terjadi di dalam ruangan. Data yang dimasukkan mencakup data suhu, kelembaban, data *internal gains* seperti panas dari peralatan, pencahayaan dan penghuni, serta jenis aktivitas yang dilakukan di dalam ruangan. Adapun tahapan dalam melakukan *input activity* adalah sebagai berikut:

a.2.1 *Create new activity*

DesignBuilder telah menyediakan beberapa *template* untuk *input activity* pada tiap ruangan yang dapat digunakan sesuai dengan fungsi bangunan. Tahap ini dilakukan dengan menduplikasi *template* yang sudah tersedia dari DesignBuilder. Pada *template* baru ini dilakukan beberapa penyesuaian terhadap ruangan yang akan diinput *activity*. Duplikasi *template* dapat dilakukan dengan memilih opsi *copy* pada lembar kerja DesignBuilder. Pada Gambar 3.34 diperlihatkan tampilan opsi *copy template file activity* pada DesignBuilder.

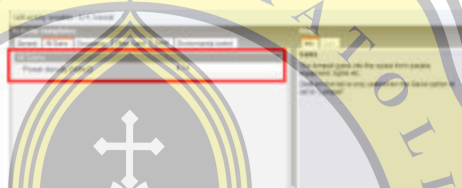


Gambar 3.34 Tampilan Opsi *Copy Template File Activity*



a.2.2 *Setting all gains*

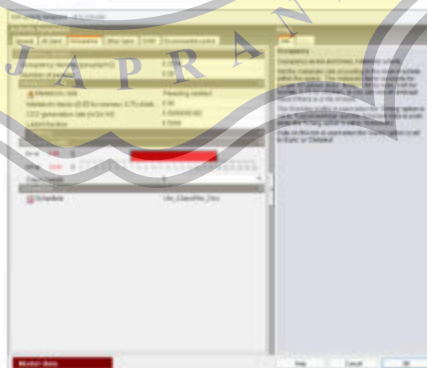
Setelah *template* berhasil diduplikasi, maka dapat dilanjutkan dengan melakukan beberapa penyesuaian pada tab yang tersedia pada tampilan *edit activity template*. Penyesuaian yang pertama dilakukan pada tab *all gains*. Pada tab ini dapat diinput nilai total dari keseluruhan beban panas yang dihasilkan pada ruangan atau dapat dibiarkan *default*. Nilai pada *setting all gains* dibiarkan *default* dari DesignBuilder. Pada Gambar 3.35 diperlihatkan *setting all gains*.



Gambar 3.35 *Setting All Gains*

a.2.3 *Setting occupancy*

Penyesuaian kedua yang dilakukan adalah pada tab *occupancy*. Pada tab ini memuat data mengenai pengguna dari ruangan tersebut. Nilai dalam *template* ini dibiarkan *default* dari DesignBuilder untuk memudahkan proses pemodelan untuk simulasi. Pada Gambar 3.36 diperlihatkan *setting occupancy*.



Gambar 3.36 *Setting Occupancy*



a.2.4 *Setting other gains*

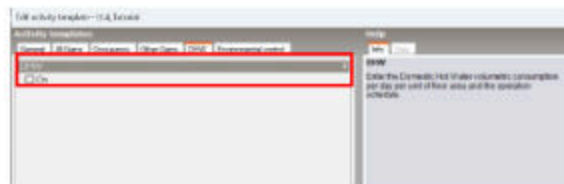
Penyesuaian ketiga dilakukan pada tab *other gains*. Pada tab ini memuat data mengenai komponen yang ada dalam ruangan yang memiliki pengaruh terhadap beban panas yang dihasilkan. Pada *setting* ini disesuaikan dengan komponen yang ada pada ruangan. Jika suatu komponen ada pada ruangan, maka dapat dipilih pada opsi yang tersedia kemudian sesuaikan nilai *power density* atau *default*. Pada Gambar 3.37 diperlihatkan *setting other gains*.



Gambar 3.37 *Setting Other Gains*

a.2.5 *Setting DHW (Domestic Hot Water)*

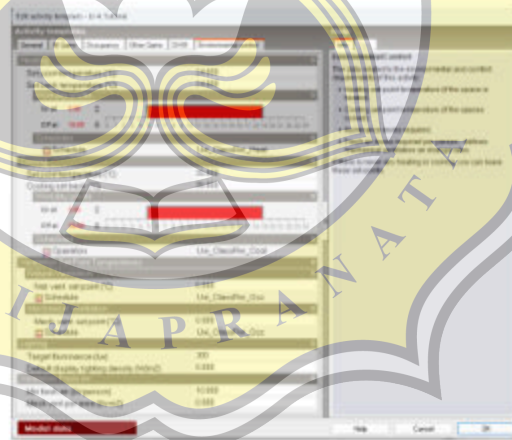
Penyesuaian keempat dapat dilakukan pada tab *DHW (Domestic Hot Water)*. *Setting* pada tab ini dapat dilakukan jika pada ruangan tersebut terdapat penggunaan air panas. Pada Gedung X dengan lantai yang ditinjau tidak terdapat penggunaan air panas, sehingga *setting* air panas dapat dinonaktifkan. Pada Gambar 3.38 diperlihatkan *setting DHW*.



Gambar 3.38 *Setting DHW*

a.2.6 Setting environmental control

Penyesuaian terakhir dapat dilakukan pada tab *environmental control*. Pada tab ini hal yang perlu diatur ulang adalah suhu pada sistem *heating*, *cooling*, dan *ventilation*. Selain itu target *illuminance* pada ruangan juga dapat diatur ulang pada bagian *lighting* dan pengaturannya dapat dibiarkan *default*. Pada bagian *heating* dapat diinput nilai 0 atau dibiarkan *default* karena pada gedung tidak ada komponen pemanas (*heating*). Pada bagian *cooling* dapat diinput nilai suhu ruangan yang harus dicapai oleh komponen pendingin (*cooling*). Detail data ini dapat dilihat pada RKS. Pada bagian ventilasi dapat diinput 0 atau dibiarkan *default* karena pengaturan ventilasi natural dan mekanis pada gedung tidak berdasarkan suhu. Pada bagian *lighting* dapat diinput nilai target *illuminance* yang diharapkan dari ruangan. Pada Gambar 3.39 diperlihatkan *setting environmental control*.



Gambar 3.39 *Setting Environmental Control*

a.2.7 Input activity template

Setelah melakukan penyesuaian *template* untuk suatu ruangan, maka *template* dapat diinput pada bagian *activity template*. Pengaturan lain pada tab *activity* akan otomatis berubah mengikuti



Setelah *template* baru telah diinput pada tab *activity*, maka selanjutnya dilakukan *setting humidity control*. *Setting* ini tidak tercantum pada *template*, melainkan harus diinput pada tab *activity* secara langsung. Nilai dari *humidity control* dapat disesuaikan dengan yang tercantum dalam RKS. Pada Gambar 3.41 diperlihatkan *setting humidity control*.





a.3 *Input construction*

Setelah *input activity* selesai, maka dapat dilanjutkan dengan *input construction*. *Input construction* dapat dilakukan pada level ruangan secara langsung. *Input construction* pada DesignBuilder digunakan untuk menentukan karakteristik dari suatu material dan lapisan penyusun elemen bangunan. *Input construction* mencakup seluruh elemen yang ada pada bangunan seperti dinding, lantai, pintu, *ceiling* dan atap. DesignBuilder telah menyediakan beragam *template construction* yang dapat digunakan, namun dapat juga dilakukan pembuatan *template construction* baru yang kemudian dilakukan beberapa penyesuaian sesuai kebutuhan. Pembuatan *template construction* baru dilakukan dengan cara mendefinisikan setiap tipe elemen pada bangunan. Proses pembuatan *template construction* baru dapat dilakukan dengan cara menyusun material pada suatu elemen secara berurutan. Material untuk menyusun suatu tipe elemen dapat didefinisikan sendiri sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan atau menggunakan *default* dari DesignBuilder. Adapun tahapan dalam melakukan *input construction* adalah sebagai berikut:

a.3.1 *Create new template*

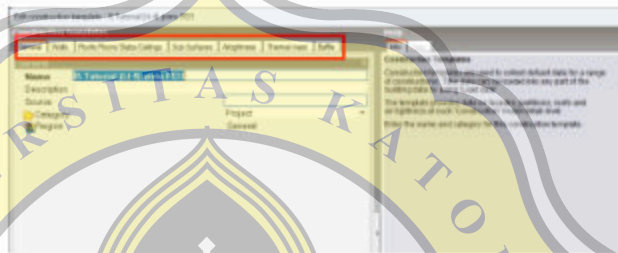
Langkah pertama adalah dengan membuat duplikasi dari *template* yang sudah ada. Hal ini dapat dilakukan dengan memilih opsi *copy* yang ada pada lembar kerja DesignBuilder. Pada Gambar 3.42 diperlihatkan tampilan opsi *copy template file construction* pada DesignBuilder.



Gambar 3.42 Tampilan Opsi *Copy Template File Construction*

a.3.2 Tampilan *edit construction template*

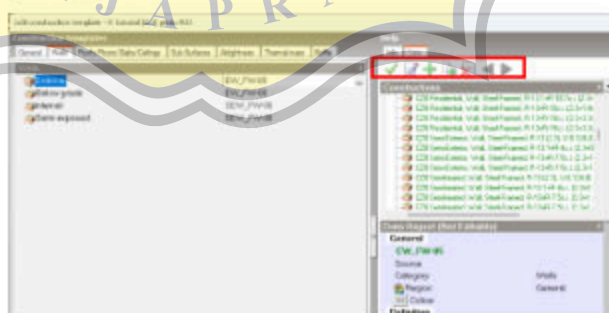
Setelah memilih opsi *copy*, maka akan muncul jendela baru yaitu *edit construction template*. Pada jendela *edit construction template* memuat tab yang berisikan elemen bangunan seperti dinding, *floor* atau *ceiling* atau *roof*, dan *sub surface* (pintu). Pada Gambar 3.43 diperlihatkan tampilan *edit construction template*.



Gambar 3.43 Tampilan *Edit Construction Template*

a.3.3 Create new element type

Pada tampilan *edit construction template* terdapat beragam tab untuk melakukan *input* tipe elemen yang digunakan pada bangunan. Pada pembahasan ini akan diberikan contoh mengenai *input* tipe elemen dinding. Setelah memilih tab *walls*, maka akan muncul tampilan opsi tipe dinding yang dapat digunakan. Dapat dipilih opsi penambahan tipe dinding baru yang dapat dilakukan dengan memilih *icon plus*. Pada Gambar 3.44 diperlihatkan tampilan opsi *new construction*.

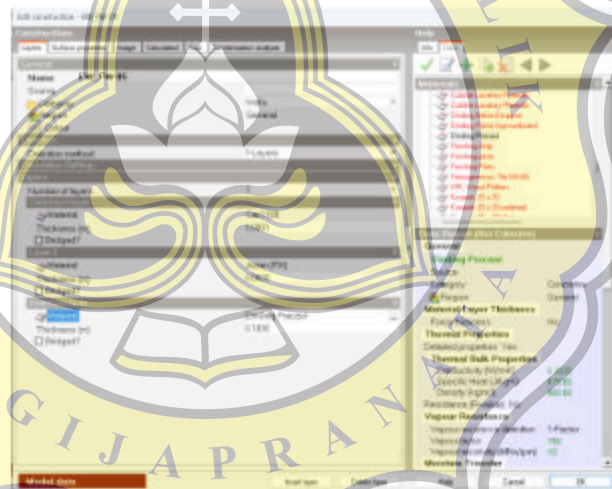


Gambar 3.44 Tampilan Opsi *New Construction*



a.3.4 *Create new material*

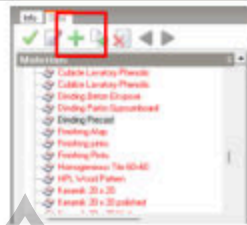
Setelah memilih *icon plus*, maka akan muncul jendela *edit construction*. Pada jendela ini akan terlihat beberapa tab yang dapat dilakukan penyesuaian, namun dalam hal ini hanya dilakukan penyesuaian pada bagian *layers*. Pada tab *layers* dapat dilakukan penyesuaian dengan cara memilih jumlah lapisan yang ada pada suatu tipe elemen dinding dan kemudian mendefinisikan lapisan tersebut. Lapisan tersebut dapat didefinisikan dengan cara melakukan *input material*. *Input material* dapat dilakukan dengan membuat material baru atau menggunakan *default* dari DesignBuilder. Pada Gambar 3.45 diperlihatkan tampilan tab *layers*.



Gambar 3.45 Tampilan Tab *Layers*

a.3.5 *Create new material*

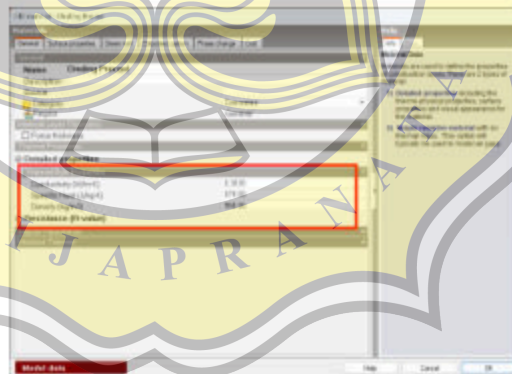
Pada kali ini dilakukan pembuatan material baru dengan cara menduplikasi material yang memiliki karakteristik yang hampir sama pada DesignBuilder. Hal ini dilakukan dengan cara memilih *icon copy* yang ada pada tampilan *edit construction*. Pada Gambar 3.46 diperlihatkan tampilan opsi *new material*.



Gambar 3.46 Tampilan Opsi *New Material*

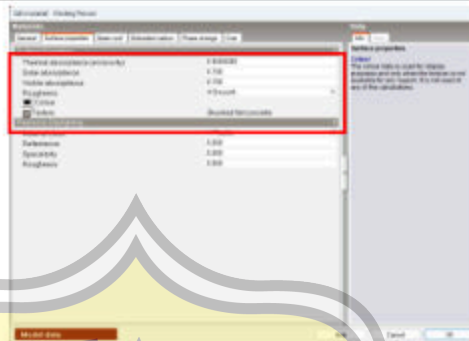
a.3.6 Input parameter material

Setelah memilih opsi *copy material*, maka akan muncul jendela *edit material* yang memuat beberapa tab yang dapat diatur sesuai spesifikasi material yang diinginkan. Tab tersebut berisikan parameter dari material yang digunakan. Pada proses ini hanya akan mengubah tab beberapa parameter dari tab *general* dan tab *surface properties*. Pada tab *general* dilakukan *input* parameter *conductivity*, *specific heat*, dan *density*. Detail data parameter dapat dilihat pada Tabel 4.1 hingga Tabel 4.3. Pada Gambar 3.47 diperlihatkan *input* tab *general*.



Gambar 3.47 *Input Tab General*

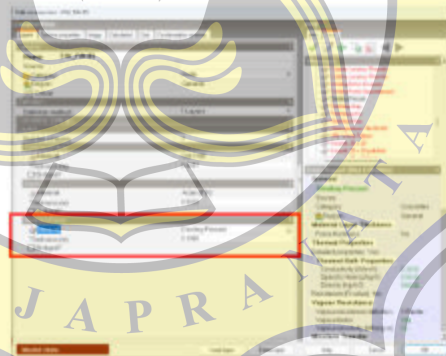
Selanjutnya adalah *input* tab *surface properties*. Pada tab ini hanya dilakukan *input* parameter *solar absorptance* atau nilai absorptansi panas material, sedangkan parameter lainnya dibiarkan *default*. Pada Gambar 3.48 diperlihatkan *input* tab *surface properties*.



Gambar 3.48 *Input Tab Surfaces Properties*

a.3.7 *Input material ke dalam pembuatan tipe elemen*

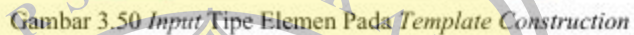
Setelah material baru terbentuk, maka dapat dilakukan *input* ke dalam lapisan yang ada pada jendela *edit construction* untuk membuat tipe elemen dinding baru. Setelah *input* material, maka dilakukan penyesuaian terhadap tebal material. Pada Gambar 3.49 diperlihatkan *input* material pada jendela *edit construction*.



Gambar 3.49 *Input Material Pada Jendela Edit Construction*

a.3.8 *Input tipe elemen ke dalam template construction*

Setelah tipe elemen baru terbentuk, maka dapat dilanjutkan untuk *input* tipe elemen tersebut ke dalam *template construction*. *Input* tipe elemen harus dipastikan sesuai dengan kebutuhan. Pada Gambar 3.50 diperlihatkan *input* tipe elemen pada *template construction*.



Setelah pembuatan *template construction* selesai, maka dapat dilanjutkan dengan *input template construction* ke dalam *zone* atau ruangan. Pada Gambar 3.51 diperlihatkan *input template construction* ke dalam *zone*.



Input openings ditujukan untuk semua bukaan yang ada pada bangunan, seperti jendela, ventilasi, dan pintu dengan material utama kaca. *Input openings* dapat dilakukan dengan membuat *template glazing* baru dengan cara melakukan duplikasi pada *template* yang sudah ada atau

menggunakan *default* dari DesignBuilder. Adapun tahapan dalam pembuatan *template glazing* sebagai berikut:

a.4.1 Create new glazing template

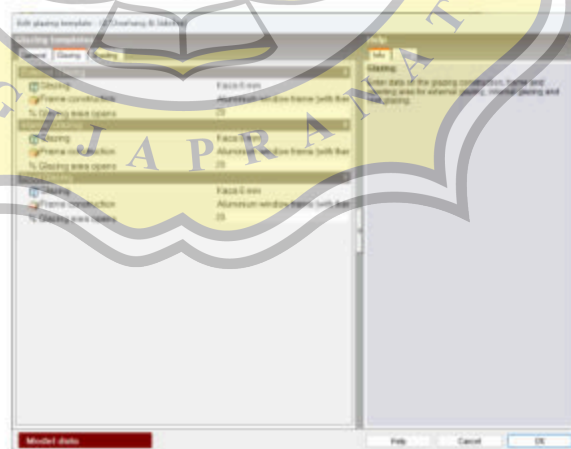
Create new glazing template dilakukan dengan memilih *icon plus* yang ada pada tampilan tab *openings*. Pada Gambar 3.52 diperlihatkan tampilan opsi *new glazing template*.



Gambar 3.52 Tampilan Opsi *New Glazing Template*

a.4.2 Input tab glazing

Setelah memilih opsi *new glazing template*, maka akan muncul jendela *edit glazing template*. Pada jendela *edit glazing template* terdapat beberapa tab yang hanya akan dilakukan penyesuaian pada tab *glazing* dan *shading*. Pada tab *glazing* terdapat parameter yang perlu disesuaikan dengan spesifikasi. Pada Gambar 3.53 diperlihatkan *input tab glazing*.

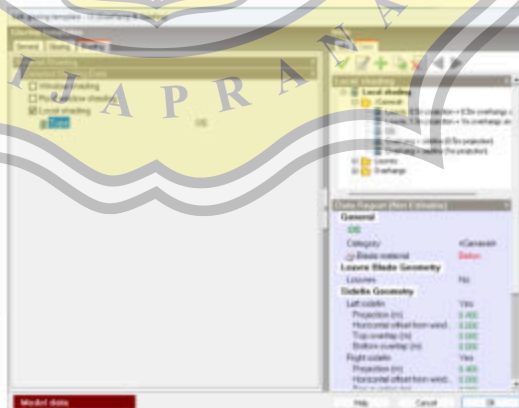


Gambar 3.53 *Input Tab Glazing*

Parameter yang dimaksud adalah tipe kaca, tipe *frame*, dan persentase bukaan. DesignBuilder telah menyediakan parameter tersebut dari berbagai produsen, sehingga pada *input* tab *glazing* menggunakan *default* yang tersedia dari DesignBuilder.

a.4.3 *Input tab shading*

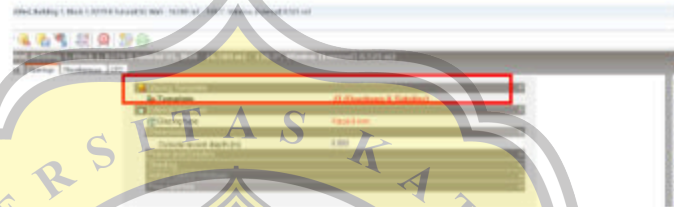
Seperti yang telah dijelaskan pada Subbab 1.4, pada penelitian ini dilakukan simplifikasi pada elemen *shading*. Elemen *shading* pada Gedung X memiliki bentuk arsitektur yang cukup rumit, seperti terdapat bidang melengkung. Hal ini dapat menyebabkan proses *import* dan *export* menjadi terganggu dan menghasilkan *file* yang rusak. Selain itu, rumitnya bentuk *shading* dapat mempengaruhi kinerja dari *software* simulasi dan dapat menyebabkan *error*. Pada penelitian ini dilakukan simplifikasi *shading* dengan menggunakan *template shading default* dari DesignBuilder tanpa melakukan perubahan pada komponen *default* tersebut. Jenis *shading* yang digunakan disesuaikan dengan yang ada pada bangunan, namun sisanya menyesuaikan dengan *template default* yang telah disediakan oleh DesignBuilder. Pada tab *shading* terdapat beberapa pilihan tipe *shading* yang dapat dipilih sesuai dengan kondisi gedung. Pada Gambar 3.54 diperlihatkan *input tab shading*.

Gambar 3.54 *Input Tab Shading*



a.4.4 *Input glazing template*

Setelah *setting* pada jendela *edit glazing template* selesai, maka dapat dilanjutkan dengan *input template* tersebut ke dalam tab *openings* pada DesignBuilder. Pada Gambar 3.55 diperlihatkan *input glazing template* pada tab *openings*.



Gambar 3.55 *Input Glazing Template* Pada Tab *Openings*

a.5 *Input lighting*

Input lighting dapat dilakukan untuk mengatur jumlah konsumsi energi yang diperlukan oleh suatu ruangan untuk penerangan. *Input lighting* digunakan untuk menetapkan karakteristik sistem pencahayaan dan memberikan gambaran kebutuhan pencahayaan pada suatu ruangan. *Input lighting* dapat dilakukan dengan membuat *template* baru atau menggunakan *default* yang tersedia dalam DesignBuilder. Adapun tahapan dalam *input lighting* adalah sebagai berikut:

a.5.1 *Create new template*

Pada hal ini dilakukan pembuatan *template* baru dengan memilih *icon plus* pada tab *lighting*. Pada Gambar 3.56 diperlihatkan tampilan opsi *new lighting template*.

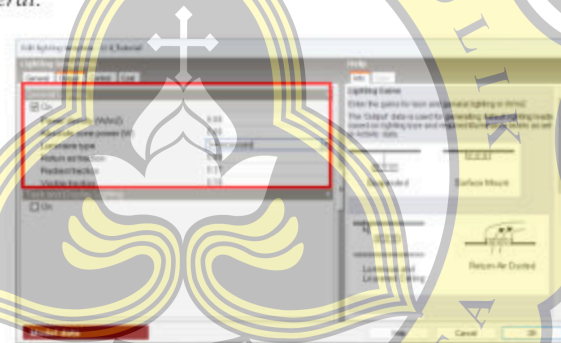


Gambar 3.56 Tampilan Opsi *New Lighting Template*



a.5.2 *Input tab general pada edit lighting template*

Setelah memilih opsi tersebut, maka akan muncul jendela *edit lighting template*. Pada jendela ini terdapat beberapa tab yang dapat disesuaikan dengan spesifikasi yang ada. Pada proses ini hanya dilakukan penyesuaian pada tab *output*. Pada tab *output* dapat dilakukan *input* nilai pada *power density* dan dapat dilakukan pemilihan pada *luminaire type*. Nilai *power density* dapat diinput berdasarkan data yang tersedia. Pemilihan *luminaire type* dapat dilakukan dengan menyesuaikan tipe pemasangan lampu pada ruangan tersebut. Parameter lain pada tab ini dibiarkan *default* dari DesignBuilder. Pada Gambar 3.57 diperlihatkan *input* pada tab *general*.



Gambar 3.57 *Input Tab General*

a.5.3 *Input template baru pada tab lighting*

Setelah *template* baru terbentuk, maka dapat dilanjutkan dengan *input template* pada tab *lighting*. Pada Gambar 3.58 diperlihatkan *input template* pada tab *lighting*.



Gambar 3.58 *Input Template Baru Pada Tab Lighting*



a.6 Input HVAC

Input HVAC dilakukan untuk mendefinisikan sistem kerja HVAC yang bekerja pada gedung. *Input HVAC* pada Gedung X hanya dilakukan pada bagian *ventilation*, *cooling*, dan *humidity control* sedangkan parameter lainnya akan disesuaikan dengan *default* dari DesignBuilder. *Input HVAC* dapat dilakukan dengan membuat *template* baru atau menggunakan *default* dari DesignBuilder. Adapun tahapan dalam *input HVAC* adalah sebagai berikut:

a.6.1 Create new template

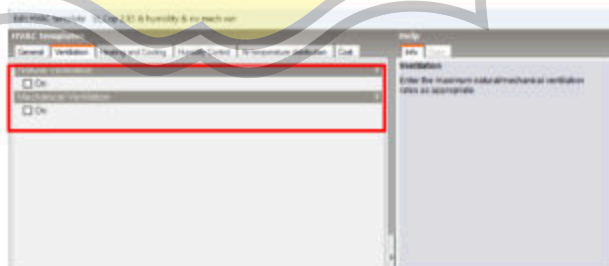
Create new template dapat dilakukan dengan memilih *icon plus* pada tab HVAC. Pada Gambar 3.59 diperlihatkan tampilan opsi *new HVAC template*.



Gambar 3.59 Tampilan Opsi New HVAC Template

a.6.2 Input tab ventilation

Setelah memilih *icon plus*, maka akan muncul jendela baru yaitu *edit HVAC template*. Pada jendela ini terdapat beberapa tab yang dapat disesuaikan dengan spesifikasi yang diinginkan. Pada Gambar 3.60 diperlihatkan *input tab ventilation*.



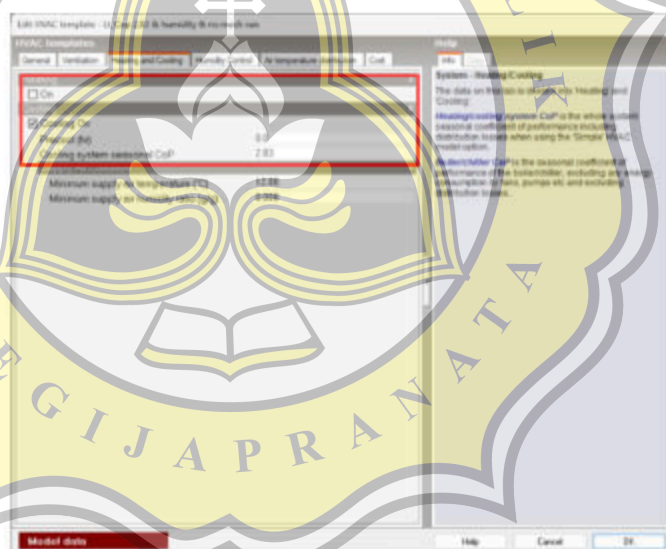
Gambar 3.60 Input Tab Ventilation



Penyesuaian pertama dilakukan pada tab *ventilation*. Jika dalam ruangan tidak ada sistem ventilasi maka tab *ventilation* dapat dinonaktifkan. Jika ada sistem ventilasi, maka dapat disesuaikan dengan spesifikasi pada gedung.

a.6.3 *Input tab heating and cooling*

Penyesuaian kedua dapat dilakukan pada tab *heating and cooling*. Pada Gedung X tidak ada sistem *heating* (pemanasan), maka hanya dilakukan penyesuaian pada sistem *cooling* (pendinginan). Penyesuaian sistem *cooling* dapat dilakukan dengan *input* nilai *Coefficient of Performance (CoP)*. Parameter lainnya dapat dibiarkan *default* dari DesignBuilder. Pada Gambar 3.61 diperlihatkan *input* tab *heating and cooling*.



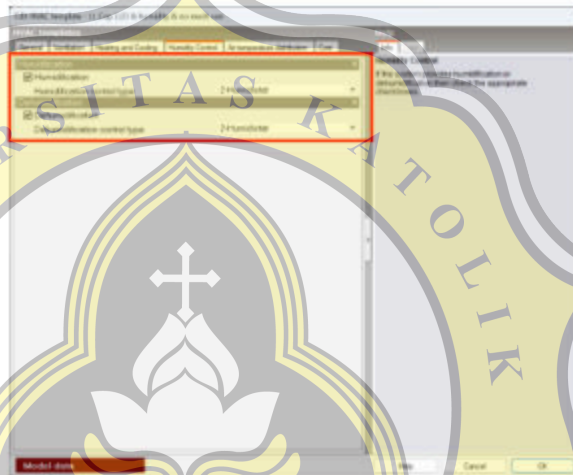
Gambar 3.61 *Input Tab Heating And Cooling*

a.6.4 *Input tab humidity control*

Penyesuaian ketiga dilakukan pada tab *humidity control*. Pada Gedung X terdapat ruangan yang tingkat kelembabannya perlu dikontrol sesuai dengan dokumen Rencana Kerja dan Syarat-syarat



(RKS), sehingga dilakukan penyesuaian pada *tab humidity control*. Penyesuaian ini dilakukan dengan mengaktifkan opsi *humidification* dan *dehumidification* pada *tab humidity control*. Pada opsi *humidification* dan *dehumidification* terdapat beberapa *control type* akan tetapi dapat dibiarkan *default* dari DesignBuilder. Pada Gambar 3.62 diperlihatkan *input humidity control*.



Gambar 3.62 *Input Humidity Control*

a.6.5 *Input template* baru ke dalam *tab HVAC*

Setelah *template* baru terbentuk, maka dapat dilanjutkan dengan *input template* tersebut pada *tab HVAC*. Pada Gambar 3.63 diperlihatkan *input template* baru pada *tab HVAC*.



Gambar 3.63 *Input Template* Baru Pada *Tab HVAC*



a.7 Hasil pemodelan pada DesignBuilder

Setelah dilakukan serangkaian tahapan pemodelan, maka dapat dilakukan pengecekan secara visual. Pengecekan ini dilakukan untuk memastikan bahwa pemodelan yang dilakukan pada DesignBuilder sudah sesuai dengan Gedung X secara visual. Pada Gambar 3.64 diperlihatkan hasil pemodelan pada DesignBuilder.



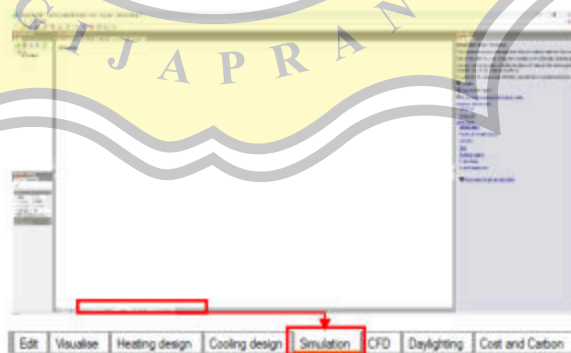
Gambar 3.64 Hasil Pemodelan Pada DesignBuilder

b. *Setting* simulasi pada DesignBuilder

Setelah dilakukan pemodelan pada DesignBuilder, maka perlu dilakukan *setting* simulasi terlebih dahulu. *Setting* simulasi pada DesignBuilder dilakukan untuk memastikan simulasi dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan. Adapun tahapan *setting* simulasi pada DesignBuilder adalah sebagai berikut:

b.1 Pilih menu *simulation*

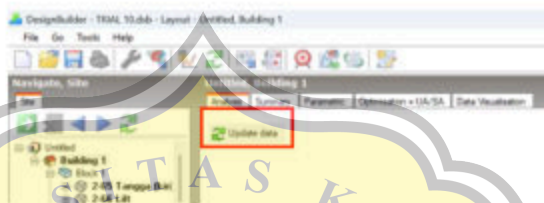
Langkah pertama dalam melakukan *run simulation* adalah dengan memilih tab *simulation*. Tab *simulation* terletak pada bagian bawah lembar kerja DesignBuilder. Pada Gambar 3.65 memperlihatkan letak tab *simulation* pada lembar kerja DesignBuilder.



Gambar 3.65 Letak Tab *Simulation* Pada Lembar Kerja DesignBuilder



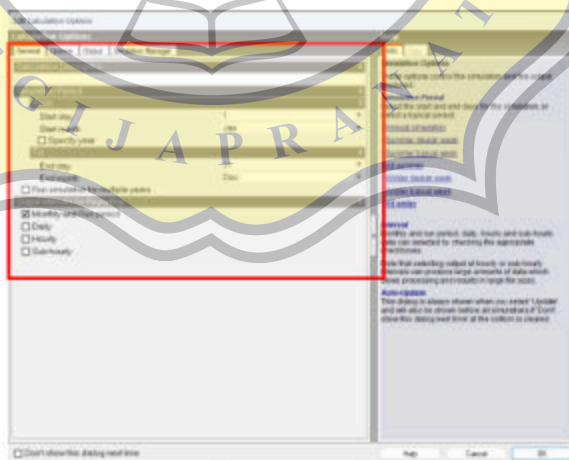
Setelah memilih tab *simulation*, maka dapat dilanjutkan dengan memilih opsi *update data* yang ada pada lembar kerja DesignBuilder. Opsi *update data* akan berisi *setting* untuk melakukan *run simulation*. Pada Gambar 3.66 diperlihatkan opsi *update data* pada lembar kerja DesignBuilder.



Gambar 3.66 Opsi *Update Data* Pada Lembar Kerja DesignBuilder

b.2 Setting tab *general*

Setelah memilih opsi *update data*, maka akan muncul jendela *edit calculation options*. Pada jendela ini terdapat beberapa tab yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Penyesuaian pertama dilakukan pada tab *general*. Pada tab ini berisi opsi untuk mengontrol periode simulasi yang diinginkan. Selain itu, *output* simulasi dapat ditampilkan dengan *interval* tertentu seperti tiap tahun, tiap bulan, tiap hari dan tiap jam. Pada penelitian ini dipilih *interval* pada periode bulanan dan tahunan. Pada Gambar 3.67 diperlihatkan *setting tab general*.



Gambar 3.67 Setting Tab *General*



b.3 Setting tab options

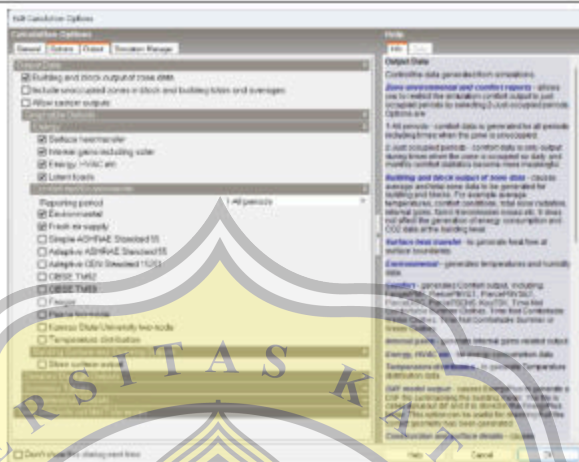
Penyesuaian kedua dilakukan pada tab *options*. Pada tab ini hanya dilakukan penyesuaian pada bagian *time steps per hour*. *Time steps per hour* adalah tingkat ketelitian waktu simulasi. Semakin tinggi tingkat ketelitian waktu simulasi maka akan semakin detail *output* yang dihasilkan akan tetapi dapat menyebabkan proses simulasi menjadi lebih kompleks. *DesignBuilder* dan *EnergyPlus* menyarankan tingkat ketelitian waktu simulasi pada tingkat 6 hingga tingkat 12. Pada penelitian ini digunakan ketelitian tingkat 6. Pada Gambar 3.68 diperlihatkan *setting tab options*.



Gambar 3.68 Setting Tab Options

b.4 Setting tab output

Penyesuaian ketiga dapat dilakukan pada tab *output*. Tab ini mengatur *output* atau hasil keluaran dari simulasi sesuai dengan yang diinginkan. *Output* ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan untuk tahap analisis berikutnya. Pada proses ini, *output* hasil simulasi yang digunakan akan difokuskan pada *output* yang memiliki keterkaitan dengan kategori penilaian bangunan hijau yang ditinjau yaitu kategori EEC dan WAC. Pada Gambar 3.69 diperlihatkan *setting tab output*.



Gambar 3.69 Setting Tab Output

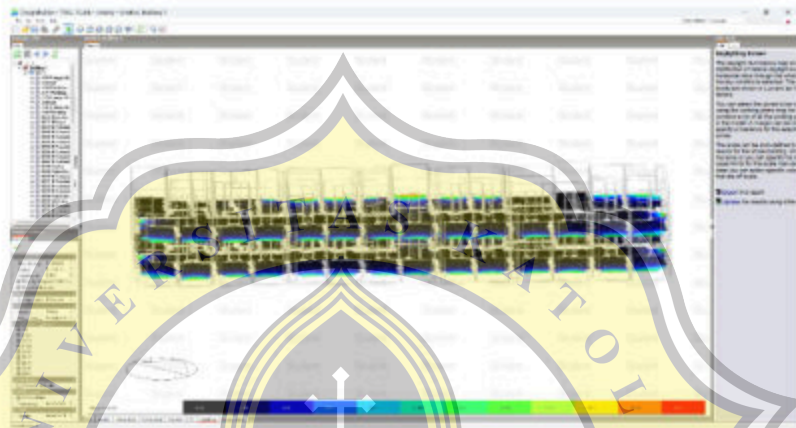
c. Running simulation

Setelah *setting* untuk *run simulation* selesai dilakukan, maka selanjutnya dapat dilakukan *run simulation*. Setelah *run simulation* selesai dilakukan, maka akan didapatkan hasil keluaran sesuai dengan *output* yang telah dipilih sebelumnya. Hasil keluaran dari *software* DesignBuilder umumnya berupa tabel yang dapat *diexport* ke dalam format *.html* atau *.xlsx* untuk memudahkan proses analisis. Pada Gambar 3.70 diperlihatkan contoh hasil simulasi berupa tabel.

Gambar 3.70 Contoh Hasil Simulasi Berupa Tabel



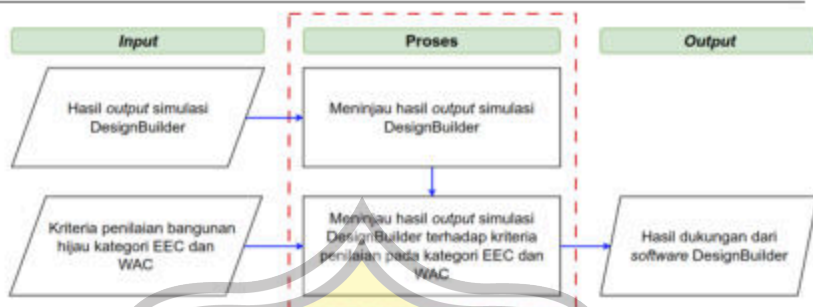
Selain *output* yang berupa tabel, DesignBuilder juga dapat memberikan *output* secara visual. Pada Gambar 3.71 diperlihatkan contoh hasil simulasi secara visual.



Gambar 3.71 Contoh Hasil Simulasi Secara Visual

3. Identifikasi dukungan DesignBuilder terhadap kriteria penilaian kategori EEC dan WAC

Proses yang kedua yaitu dilakukan identifikasi dukungan DesignBuilder terhadap kriteria penilaian kategori EEC dan WAC. Pada proses ini membutuhkan *input* berupa hasil *output* simulasi DesignBuilder dan kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Identifikasi dukungan DesignBuilder terhadap kriteria penilaian kategori EEC dan WAC dilakukan melalui dua proses. Proses yang pertama yaitu meninjau hasil *output* simulasi DesignBuilder dengan *input* berupa hasil *output* simulasi DesignBuilder. Proses yang kedua yaitu meninjau hasil *output* DesignBuilder untuk memenuhi kebutuhan penilaian bangunan hijau pada masing-masing kriteria untuk kategori EEC dan WAC. *Output* yang dihasilkan dari proses ini yaitu hasil dukungan dari *software* DesignBuilder. Proses identifikasi dilakukan dengan pemetaan hasil *output* simulasi DesignBuilder terhadap kriteria penilaian bangunan hijau kategori EEC dan WAC. Tahapan proses identifikasi dukungan DesignBuilder terhadap kriteria penilaian kategori EEC dan WAC diperlihatkan pada Gambar 3.72.



Gambar 3.72 Tahapan Proses Identifikasi Dukungan DesignBuilder Terhadap Kriteria Penilaian Kategori EEC dan WAC

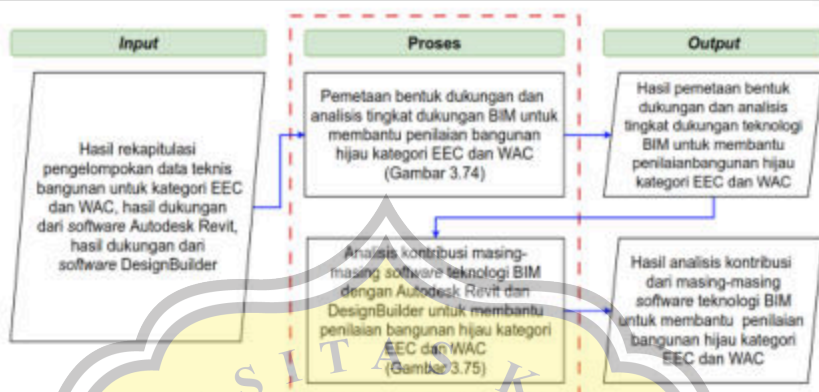
Hasil *output* dari proses ini yang berupa dukungan dari *software* DesignBuilder disajikan dalam sebuah tabel untuk mempermudah dalam melihat dukungan DesignBuilder terhadap kriteria penilaian bangunan hijau. Tabel pemetaan akan dipisah berdasarkan kategori penilaian yang ditinjau yaitu kategori EEC dan WAC. Formulir pemetaan hasil dukungan DesignBuilder diperlihatkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Formulir Pemetaan Hasil Dukungan DesignBuilder

No.	Hasil Dukungan DesignBuilder	Kriteria yang Dapat Didukung

3.6 Tahap IV

Tahap IV merupakan tahap analisis setelah proses pengolahan data selesai dilakukan. *Input* dari proses penelitian pada tahap IV yaitu hasil rekapitulasi pengelompokan data teknis bangunan untuk kategori EEC dan WAC, hasil dukungan dari *software* Autodesk Revit dan hasil dukungan dari *software* DesignBuilder. Data *input* yang diperoleh akan digunakan sebagai dasar untuk melakukan dua proses analisis pada tahap ini, sehingga dapat memperoleh *output* berupa dua hasil analisis. Tahapan proses penelitian pada tahap IV diperlihatkan pada Gambar 3.73.

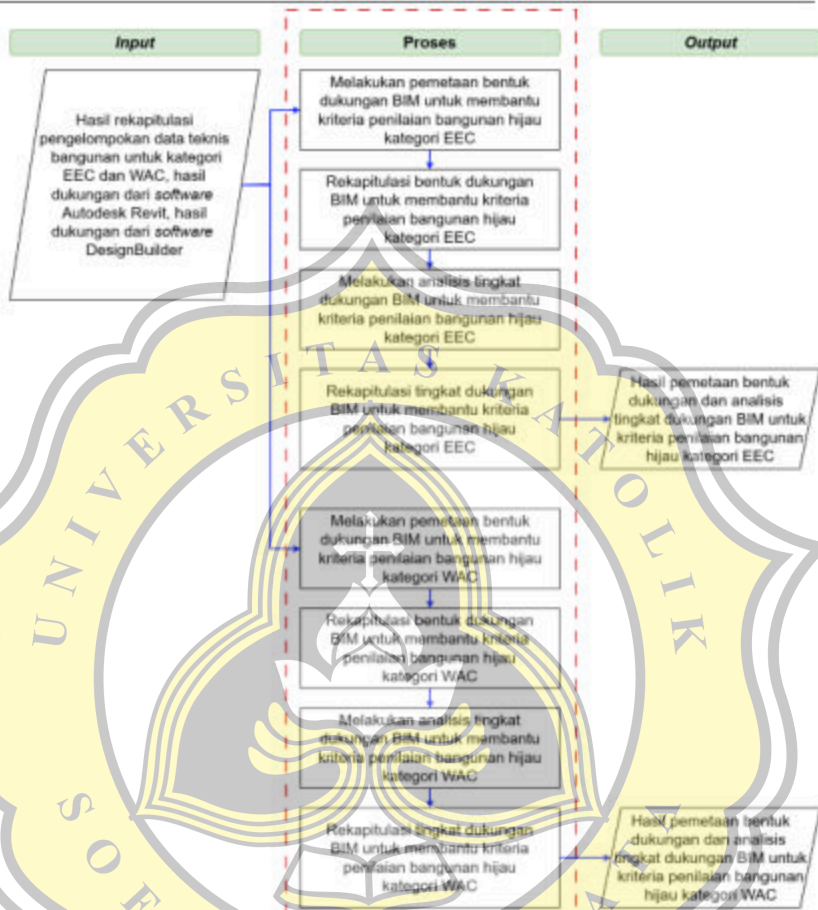


Gambar 3.73 Tahapan Proses Penelitian Pada Tahap IV

Berdasarkan Gambar 3.73 diperlihatkan bahwa kegiatan pada tahap IV dibagi menjadi 2. Kegiatan pertama yaitu kegiatan pemetaan bentuk dukungan dan analisis tingkat dukungan teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau. Setelah kegiatan pertama selesai dilakukan, maka selanjutnya adalah kegiatan analisis kontribusi dari masing-masing *software* BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau. Adapun kegiatan yang dilakukan pada tahap IV dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Kegiatan pemetaan bentuk dukungan dan analisis tingkat dukungan teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau

Kegiatan pertama yang dilakukan yaitu pemetaan bentuk dukungan teknologi BIM dan analisis tingkat dukungan teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau. *Input* yang diperlukan untuk kegiatan ini yaitu hasil rekapitulasi pengelompokan data teknis bangunan untuk kategori EEC dan WAC, hasil dukungan dari *software* Autodesk Revit dan hasil dukungan dari *software* DesignBuilder. Berdasarkan data *input* yang diperoleh akan dilakukan analisis yang akan menghasilkan *output* berupa hasil analisis bentuk dukungan dan tingkat dukungan teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau pada kategori EEC dan WAC. Tahapan proses pemetaan bentuk dukungan dan analisis tingkat dukungan BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau diperlihatkan pada Gambar 3.74.



Gambar 3.74 Tahapan Proses Pemetaan Bentuk Dukungan Dan Analisis Tingkat Dukungan BIM Untuk Membantu Penilaian Bangunan Hijau

Kegiatan ini menitikberatkan pemanfaatan teknologi BIM untuk membantu menyediakan data dalam pemenuhan kriteria penilaian bangunan hijau yang dapat juga didukung oleh dokumen teknis. Tujuan dari kegiatan ini yaitu tersusunnya hasil pemetaan bentuk dukungan dan analisis tingkat dukungan BIM melalui pemanfaatan *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder untuk membantu proses penilaian bangunan hijau pada kategori EEC dan WAC. Kegiatan ini dimulai dengan melakukan pemetaan bentuk dukungan teknologi



BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau pada kategori EEC dan WAC. Bentuk dukungan teknologi BIM dianalisis berdasarkan kebutuhan data pada kriteria penilaian yang dapat didukung melalui hasil simulasi *software* DesignBuilder, hasil dukungan *software* Autodesk Revit dan dukungan dari dokumen teknis. Hasil pemetaan bentuk dukungan teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau kemudian akan dirangkum dan disajikan ke dalam tabel. Adapun formulir bentuk dukungan BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau diperlihatkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Formulir Bentuk Dukungan BIM untuk Membantu Penilaian Bangunan Hijau

Kriteria	Dukungan Data		Dokumen Teknis yang Diperlukan	Lampiran
	Autodesk Revit	DesignBuilder		

Tabel 3.5 memperlihatkan bentuk dukungan data yang dapat diberikan oleh teknologi BIM melalui pemanfaatan *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder serta dukungan data dari dokumen teknis untuk pemenuhan kriteria penilaian bangunan hijau. Bentuk dukungan data akan diperlihatkan secara lebih jelas pada lampiran yang akan tertera pada kolom lampiran. Setelah pemetaan bentuk dukungan teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau dapat dilanjutkan dengan kegiatan analisis tingkat dukungan teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau. Tingkat dukungan yang dapat diberikan BIM dikelompokkan menjadi 4 kategori. Kategori ini mencakup *high*, *medium*, *conditional*, dan *none*. Tingkat dukungan *high* menunjukkan bahwa kriteria penilaian dapat didukung sepenuhnya oleh BIM. Tingkat dukungan *medium* menunjukkan bahwa kriteria penilaian dapat didukung sebagian oleh BIM. Pada kriteria dengan tingkat dukungan *medium* menunjukkan bahwa data yang dibutuhkan untuk penilaian dapat diperoleh sebagian dari BIM sedangkan data yang lainnya diperoleh dari dokumen teknis. Tingkat dukungan *conditional*



menunjukkan bahwa kriteria penilaian dapat didukung oleh BIM dengan kondisi khusus. Tingkat dukungan *none* menunjukkan bahwa kriteria penilaian tidak dapat didukung oleh BIM. Analisis ini kemudian akan dirangkum dan disajikan ke dalam tabel. Adapun formulir tingkat dukungan BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau diperlihatkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Formulir Tingkat Dukungan BIM untuk Membantu Penilaian Bangunan Hijau

Kriteria Penilaian	Keterangan Kombinasi Data	Tingkat Dukungan BIM			
		High	Medium	Conditional	None
Total		0	0	0	0

Berdasarkan Tabel 3.6, dapat diperoleh persentase dari jumlah kriteria penilaian yang memperoleh tingkat dukungan tertentu terhadap total keseluruhan kriteria penilaian bangunan hijau berdasarkan kategori penilaian yang ditinjau. Perhitungan persentase dilakukan untuk mengetahui besar proporsi kriteria yang memperoleh tingkat dukungan *high*, *medium*, *conditional* dan *none* dari bentuk dukungan BIM. Adapun persamaan perhitungan persentase kriteria sebagai berikut:

$$c = \frac{b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (\text{Persamaan 3.1})$$

Keterangan:

- a = Jumlah keseluruhan kriteria pada kategori penilaian yang ditinjau
- b = Jumlah kriteria penilaian pada kategori tingkat dukungan tertentu (*high/medium/conditional/none*)
- c = Persentase kriteria sesuai tingkat dukungan tertentu (%)

Hasil persentase dari setiap tingkat dukungan akan dirangkum ke dalam tabel yang kemudian akan disajikan dalam bentuk diagram. Hal ini dilakukan untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai proporsi dari tingkat



dukungan teknologi BIM dalam membantu penilaian bangunan hijau. Diagram digunakan untuk memberikan gambaran secara visual dan dapat memperlihatkan tingkat dukungan yang paling banyak.

2. Kegiatan analisis kontribusi dari masing-masing *software* BIM

Kegiatan selanjutnya adalah analisis kontribusi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau. *Input* yang diperlukan yaitu hasil pemetaan bentuk dukungan dan hasil analisis tingkat dukungan BIM. Berdasarkan data *input* akan dilakukan analisis kontribusi masing-masing *software* teknologi BIM untuk memperoleh hasil analisis kontribusi dari masing-masing *software* teknologi BIM dalam membantu penilaian bangunan hijau kategori EEC dan WAC. Tahapan proses analisis kontribusi masing-masing *software* teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau diperlihatkan pada Gambar 3.75.



Gambar 3.75 Tahapan Proses Analisis Kontribusi Masing-Masing *Software* BIM Untuk Membantu Penilaian Bangunan Hijau

Analisis kontribusi memiliki tujuan untuk mengetahui kontribusi dari *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder dalam mendukung penilaian bangunan hijau. Tujuan kegiatan ini yaitu tersusunnya hasil analisis kontribusi dari masing-



masing *software* BIM terhadap penilaian bangunan hijau dengan menggunakan Autodesk Revit dan DesignBuilder pada kategori EEC dan WAC. Tahap pertama yaitu penyusunan tabel kontribusi berdasarkan bentuk dukungan dan tingkat dukungan BIM. *Building Information Modeling* (BIM) dinyatakan memiliki kontribusi dan termasuk ke dalam kategori kontribusi Y apabila dapat memberikan dukungan data untuk kriteria penilaian. *Building Information Modeling* (BIM) dinyatakan memiliki kontribusi dan termasuk ke dalam kategori kontribusi Y_c apabila dapat memberikan dukungan data untuk kriteria penilaian, namun dalam kondisi khusus. *Building Information Modeling* (BIM) dinyatakan tidak memiliki kontribusi dan termasuk ke dalam kategori kontribusi N apabila tidak dapat memberikan dukungan data untuk kriteria penilaian. Analisis ini kemudian akan dirangkum dan disajikan ke dalam tabel yang dibedakan berdasarkan *software* yang digunakan. Formulir kontribusi *software* BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau diperlihatkan pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Formulir Kontribusi *Software* BIM untuk Membantu Penilaian Bangunan Hijau

Kriteria	Kategori Kontribusi Autodesk Revit		
	Y	Y_c	N
Total	0	0	0

Keterangan:

Y : Memiliki kontribusi

Y_c : Memiliki kontribusi dalam kondisi khusus

N : Tidak memiliki kontribusi

Tabel 3.6 merupakan contoh tabel kontribusi untuk mengetahui kriteria penilaian yang mendapat kontribusi dari Autodesk Revit. Berdasarkan tabel kontribusi, maka dapat diperoleh persentase kontribusi dari masing-masing *software* BIM yaitu Autodesk Revit dan DesignBuilder untuk membantu penilaian bangunan hijau. Perhitungan persentase dilakukan untuk mengetahui besar proporsi



kontribusi Autodesk Revit dan DesignBuilder terhadap kriteria penilaian yang ada pada kategori yang ditinjau. Adapun persamaan perhitungan persentase kriteria sesuai kategori kontribusi adalah sebagai berikut:

$$c = \frac{b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots \text{(Persamaan 3.2)}$$

Keterangan:

- a = Jumlah keseluruhan kriteria pada kategori penilaian yang ditinjau
- b = Jumlah kriteria penilaian pada kategori kontribusi tertentu (kategori kontribusi Y/ kategori kontribusi Yc/ kategori kontribusi N)
- c = Persentase kriteria sesuai tingkat dukungan tertentu (%)

Hasil persentase kontribusi Autodesk Revit dan DesignBuilder akan dirangkum ke dalam tabel yang kemudian akan disajikan dalam bentuk diagram. Hal ini dilakukan untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai proporsi dari kontribusi BIM untuk membantu kriteria penilaian bangunan hijau.

3.7 Tahap V

Tahap V merupakan kegiatan terakhir dari rangkaian proses penelitian yang mencakup penyusunan laporan akhir, penyusunan kesimpulan dan penyusunan saran. Berdasarkan pembahasan, maka diperoleh kesimpulan dari hasil penelitian untuk menjawab tujuan dari penelitian. Terdapat dua hasil analisis yang diperoleh dari penelitian. Hasil analisis yang pertama adalah bentuk dukungan dan tingkat dukungan teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau berdasarkan sertifikasi *Greenship* bangunan baru versi 1.2 kategori EEC dan WAC. Hasil analisis kedua adalah kontribusi dari masing-masing *software* BIM untuk penilaian bangunan hijau pada kategori EEC dan WAC berdasarkan *Greenship* versi 1.2.

Setelah melakukan penelitian, maka akan diperoleh saran yang disusun berdasarkan temuan dan analisis dari penelitian yang sudah dilakukan. Saran yang diajukan dapat digunakan sebagai masukan untuk penelitian selanjutnya. Saran merupakan masukan untuk penelitian yang berdasarkan dengan hasil analisis dan dapat memberikan arahan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

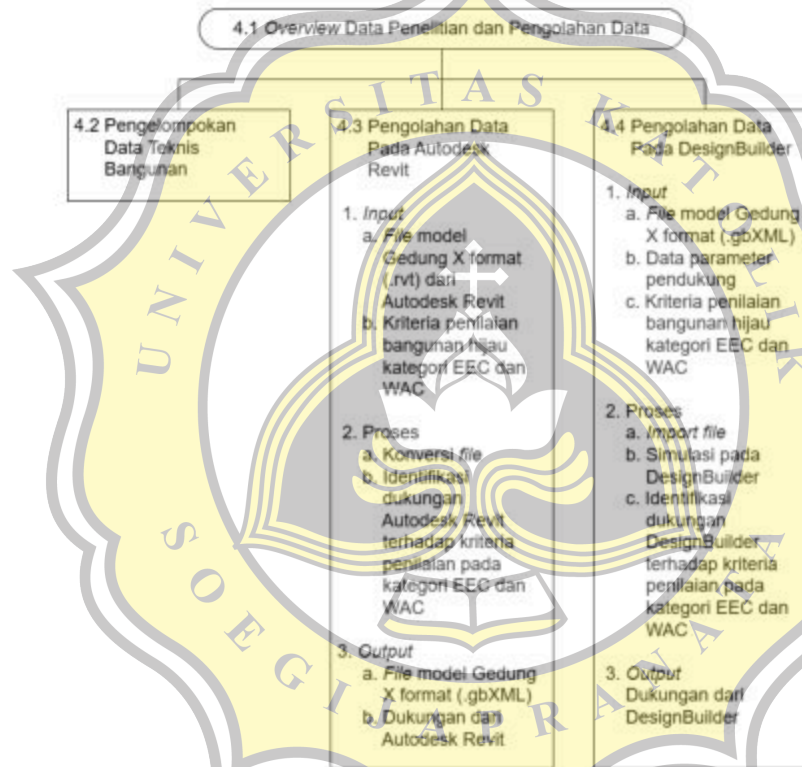


BAB 4

DATA PENELITIAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Overview Data Penelitian dan Pengolahan Data

Overview disusun dengan mengacu pada *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) yang diterbitkan oleh Project Management Institute (PMI). Berdasarkan panduan PMBOK, *overview* dalam bab ini menjelaskan cakupan kegiatan yang meliputi pengumpulan data penelitian dan pengolahan data. Penelitian dengan judul “Implementasi *Building Information Modeling* (BIM) dalam Penilaian Bangunan Hijau Berdasarkan *Rating Tools Greenship* Versi 1.2 pada Kategori *Energy Efficiency and Conservation* dan *Water Conservation* (Studi Kasus: Gedung X)” menggunakan data dari proyek Gedung X yang berada di kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Gedung X terdiri dari lantai *basement*, *ground floor* dan lantai 1 hingga lantai 6 dan memiliki fungsi sebagai gedung pendidikan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bentuk dukungan, tingkat dukungan dan kontribusi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau berdasarkan sistem penilaian *Greenship* dengan bantuan *software*. *Software* yang digunakan yaitu Autodesk Revit untuk model 3D dan DesignBuilder digunakan untuk proses simulasi gedung. Penelitian ini membutuhkan data yang diperoleh melalui kegiatan pengumpulan data. Data diperoleh dari dokumen teknis proyek Gedung X, dokumen standar SNI, ASHRAE dan panduan penilaian *Greenship* Bangunan Baru Versi 1.2. Data yang diperoleh adalah *file* model Gedung X format (.rvt) dari Autodesk Revit, gambar DED, RKS, spesifikasi teknis, dan parameter pendukung untuk proses simulasi. Penggunaan dokumen standar bertujuan agar data parameter yang dimasukkan sesuai dengan ketentuan teknis, acuan, dan kriteria bangunan hijau. Penelitian ini memiliki fokus yaitu menganalisis bentuk dukungan dan tingkat dukungan BIM serta kontribusi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau dengan *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder pada kategori EEC dan WAC. Pada bab ini terdapat *overview* yang berfungsi untuk memberikan gambaran umum mengenai ruang lingkup pembahasan pada Bab 4. *Overview* data penelitian dan pengolahan data diperlihatkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Overview Data Penelitian dan Pengolahan Data



4.2 Pengelompokan Data Teknis Bangunan

Data teknis yang digunakan dalam proses penilaian bangunan hijau diperoleh dari dokumen *Detail Engineering Design* (DED), Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) dan data spesifikasi teknis bangunan. Dokumen yang sudah diperoleh perlu dipilah dan dikelompokkan berdasarkan kebutuhan data untuk setiap kriteria penilaian bangunan hijau. Pemilahan dan pengelompokan data bertujuan untuk memudahkan proses identifikasi dan penyusunan data pendukung yang sesuai dengan kebutuhan kriteria penilaian bangunan hijau.

Pengelompokan data dilakukan dengan menyesuaikan perolehan data dari DED, RKS dan spesifikasi teknis terhadap kriteria penilaian pada kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC) berdasarkan *Greenship New Building* versi 1.2. Pengelompokan data dilakukan pada setiap kategori karena setiap kategori memiliki fokus penilaian yang berbeda-beda. Kategori EEC lebih berfokus pada penghematan energi dan kategori WAC lebih berfokus pada penghematan air.

4.2.1 Kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC)

Pengelompokan data teknis pada kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dilakukan pada setiap kriteria penilaian. Kategori EEC memiliki 7 kriteria yang meliputi 2 kriteria prasyarat, 4 kriteria kredit, dan 1 kriteria bonus. Data yang digunakan berasal dari dokumen *Detail Engineering Design* (DED), Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) dan data spesifikasi teknis bangunan. Setiap dokumen menyediakan informasi yang berbeda, namun saling berkaitan dalam mendukung penilaian bangunan hijau.

Pengelompokan data dilakukan untuk menyesuaikan ketersediaan data dengan kebutuhan penilaian bangunan hijau sesuai sistem penilaian *Greenship* bangunan baru versi 1.2. Pada penilaian kategori EEC, data yang digunakan pada penilaian lebih berfokus pada data yang berkaitan dengan sistem pencahayaan bangunan, tata udara, selubung bangunan dan penggunaan energi terbarukan. Pengelompokan data pada kategori EEC menjadi dasar untuk melakukan identifikasi bentuk dukungan



Building Information Modeling (BIM) pada setiap kriteria penilaian. Penjelasan pengelompokan data sesuai dengan kebutuhan kriteria penilaian bangunan hijau kategori EEC untuk setiap kriteria adalah sebagai berikut:

1. Kriteria EEC P1 (pemasangan submeter atau *electrical submetering*)

Kriteria EEC P1 yaitu pemasangan submeter. Kriteria ini merupakan kriteria prasyarat pertama yang wajib dipenuhi dalam kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC). Tujuan dari kriteria ini yaitu terdapat sistem pengukuran konsumsi listrik secara terpisah untuk setiap kelompok beban. Kriteria EEC P1 berfokus pada adanya pemasangan kWh meter untuk mengukur konsumsi listrik pada setiap kelompok beban yang meliputi sistem tata udara, sistem tata cahaya dan kotak kontak serta sistem beban lainnya. Pada kriteria ini hanya meninjau ada atau tidaknya pemasangan submeter pada setiap kelompok beban. Data yang diperlukan yaitu instalasi listrik, skema pembagian beban listrik dan rencana penggunaan submeter yang diperoleh dari dokumen DED MEP dan dokumen RKS. Dokumen DED yang digunakan yaitu gambar *wiring* dan skedul beban sedangkan penggunaan submeter digunakan dokumen RKS submeter.

2. Kriteria EEC P2 (perhitungan OTTV)

Kriteria EEC P2 yaitu perhitungan *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV). Kriteria ini merupakan kriteria prasyarat kedua yang wajib dipenuhi dalam kategori EEC. *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV) merupakan perpindahan panas yang masuk melalui dinding dan jendela. Kriteria EEC P2 berfokus pada perhitungan OTTV berdasarkan SNI 6389:2011 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung. Perhitungan OTTV dilakukan untuk memperoleh nilai OTTV yang meliputi beberapa perhitungan didalamnya. Perolehan nilai OTTV dilakukan dengan melakukan perhitungan konduksi dinding masif, konduksi dinding transparan (dinding kaca) dan radiasi dinding transparan (dinding kaca).

Pada perhitungan konduksi dinding masif, data yang diperlukan yaitu nilai absorptansi panas cat dinding, *u-value* dinding masif, nilai *Window to Wall Ratio* (WWR) dan nilai beda temperatur ekuivalen. Nilai *u-value* dinding masif diperoleh dari perhitungan yang membutuhkan nilai *conductivity* komponen



dinding, tebal konstruksi dari komponen dinding masif dan nilai densitas tiap komponen. Nilai *Window to Wall Ratio (WWR)* dapat diperoleh dari perhitungan luas dinding masif dan luas dinding transparan.

Pada perhitungan konduksi dinding transparan (dinding kaca), data yang diperlukan yaitu nilai *u-value* dinding transparan, nilai *Window to Wall Ratio (WWR)* dan nilai perbedaan temperatur. Nilai *u-value* dinding transparan dapat diperoleh melalui proses perhitungan yang membutuhkan nilai *conductivity* komponen dinding transparan (kaca) dan tebal dari kaca.

Pada perhitungan radiasi dinding transparan (dinding kaca), data yang diperlukan yaitu nilai *Shading Coefficient (SC)*, nilai *Window to Wall Ratio (WWR)* dan nilai *Solar Factor (SF)*. Nilai *Shading Coefficient (SC)* dapat diperoleh melalui data *Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)* dari material kaca biasa dan kaca yang digunakan dalam bangunan. Keseluruhan data-data tersebut dapat diperoleh melalui dokumen teknis sebagai berikut:

a. *Detail Engineering Design (DED)* arsitektur

Dokumen DED arsitektur dapat menyediakan gambar tampak bangunan, gambar denah bangunan, gambar perencanaan dinding dan gambar perencanaan jendela dan pintu. Gambar tampak dapat digunakan untuk melihat orientasi bangunan. Gambar denah dapat digunakan untuk memperoleh luas dinding masif dan luas dinding transparan (dinding kaca). Gambar perencanaan dinding dapat digunakan untuk memperoleh material dinding yang digunakan dan tebal komponen dinding. Gambar perencanaan jendela dan pintu dapat digunakan untuk memperoleh ukuran bukaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai *Window to Wall Ratio (WWR)*.

b. Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) arsitektur

Dokumen RKS arsitektur dapat menyediakan data spesifikasi untuk material kaca dan material dinding yang digunakan pada bangunan.

c. Dokumen SNI 6389:2011

Dokumen SNI 6389:2011 dapat menyediakan data untuk nilai *Solar Factor (SF)*, perbedaan temperatur, beda temperatur ekuivalen, nilai *conductivity*,



nilai densitas dan nilai absorptansi panas cat dinding. *Solar Factor (SF)* atau faktor radiasi matahari merupakan laju rata-rata setiap jam dari radiasi matahari pada selang waktu tertentu yang sampai pada suatu permukaan. Data perbedaan temperatur merupakan data beda temperatur perencanaan antara bagian luar dan bagian dalam yang memiliki nilai 5K sesuai SNI 6389:2011 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung. Nilai *conductivity* merupakan kemampuan suatu material untuk merambatkan panas dan densitas material merupakan menggambarkan jumlah massa per satuan volume suatu bahan. Nilai absorptansi panas merupakan kemampuan material menyerap energi termal akibat dari radiasi matahari.

d. Dokumen ASHRAE

Dokumen *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)* dapat menyediakan beberapa data *Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)* yang digunakan untuk memperoleh nilai *Shading Coefficient (SC)*. *Shading Coefficient (SC)* merupakan perolehan panas melalui fenestrasi (bukaan pada selubung bangunan) dengan atau tanpa peneduh yang dibandingkan dengan perolehan panas melalui kaca biasa tebal 3mm tanpa peneduh pada fenestrasi yang sama. Nilai SC dapat diperoleh dari nilai *Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)* pada suatu fenestrasi yang dibandingkan dengan nilai SHGC kaca biasa tebal 3mm. Nilai SHGC yaitu perbandingan antara total panas matahari yang masuk ke dalam ruangan melalui fenestrasi terhadap total radiasi matahari yang mengenai permukaan luar fenestrasi tersebut.

3. Kriteria EEC 1 (langkah penghematan energi)

Kriteria EEC 1 merupakan kriteria yang berfokus pada penghematan energi pada bangunan yang tergantung pada konsumsi energi pada bangunan. Kriteria ini merupakan kriteria kredit dalam kategori EEC yang perolehan nilainya disesuaikan dengan kondisi bangunan. Data yang dibutuhkan untuk penilaian kriteria EEC 1 yaitu data konsumsi energi pada gedung yang menitikberatkan penggunaan energi. Data yang dibutuhkan untuk menunjang perhitungan



konsumsi energi adalah luas bangunan, jumlah pengguna bangunan, data *Lighting Power Density* (LPD), penggunaan AC, pencahayaan alami dan suhu ruangan pada bangunan. Data – data tersebut dapat diperoleh melalui dokumen DED arsitektur, DED MEP, dokumen RKS MEP, dokumen LPD dan data umum bangunan. Dokumen DED arsitektur dapat menyediakan gambar denah untuk memperoleh data luas bangunan dan pencahayaan alami sedangkan DED MEP menyediakan gambar perencanaan AC untuk mengetahui penggunaan AC. Dokumen RKS MEP dapat menyediakan data suhu ruang pada bangunan. Dokumen lain yang diperlukan yaitu dokumen LPD dan data umum yang mencakup jumlah pengguna bangunan.

4. Kriteria EEC 2 (pencahayaan alami)

Kriteria EEC 2 merupakan kriteria yang memiliki tujuan untuk mendorong penggunaan pencahayaan alami, sehingga dapat mengurangi konsumsi listrik. Kriteria ini merupakan kriteria kredit dalam kategori EEC yang perolehan nilainya disesuaikan dengan kondisi bangunan. Pada kriteria ini meninjau intensitas cahaya alami yang masuk ke dalam bangunan. Data yang diperlukan untuk kriteria EEC 2 yaitu data intensitas cahaya alami. Data intensitas cahaya alami pada bangunan dapat diperoleh melalui perhitungan pencahayaan yang dapat didukung oleh beberapa dokumen. Dokumen DED arsitektur dapat menyediakan gambar tampak, gambar denah bangunan, denah rencana pintu dan jendela yang dapat menunjukkan lokasi bukaan, sisi bukaan dan ruangan aktif. Dokumen lainnya yang diperlukan yaitu denah penerangan yang dapat menunjukkan pengelompokan lampu.

5. Kriteria EEC 3 (ventilasi)

Kriteria EEC 3 merupakan kriteria yang memiliki tujuan untuk mendorong penggunaan ventilasi yang efisien untuk mengurangi beban sistem pendingin. Kriteria EEC 3 memiliki berfokus ada atau tidaknya penggunaan AC pada area yang tidak diperlukan (tidak dikondisikan) dan penggunaan ventilasi mekanik atau alami untuk area yang tidak dikondisikan seperti WC, tangga, koridor dan lift. Data yang diperlukan untuk kriteria EEC 3 yaitu visualisasi penggunaan



ventilasi yang dapat diketahui melalui gambar DED tampak, denah, rencana ventilasi dan perencanaan AC. Gambar DED tampak dan denah bangunan disediakan oleh dokumen DED arsitektur sedangkan rencana ventilasi dan perencanaan AC disediakan oleh dokumen DED MEP.

6. Kriteria EEC 4 (pengaruh perubahan iklim)

Kriteria EEC 4 merupakan kriteria yang memiliki tujuan untuk memberikan kesadaran kepada pemangku kepentingan proyek bahwa konsumsi energi yang berlebihan akan berdampak pada perubahan iklim. Konsumsi energi memiliki dampak emisi karbon, sehingga perhitungan pengurangan konsumsi energi harus dilakukan konversi untuk mengetahui pengurangan emisi CO₂. Konversi energi ke CO₂ dilakukan berdasarkan faktor emisi *grid* yang sudah ditetapkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi yang saat ini sudah diperbaharui menjadi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. Data konsumsi energi yang digunakan dapat diperoleh dari kriteria EEC 1.

7. Kriteria EEC 5 (energi terbarukan dalam tapak)

Kriteria EEC 5 merupakan kriteria bonus untuk penilaian bangunan hijau. Kriteria EEC 5 berfokus pada penggunaan energi terbarukan pada gedung yang dapat mengurangi penggunaan energi. Energi terbarukan dapat bersumber dari angin maupun dari sinar matahari. Data yang diperlukan pada EEC 5 yaitu penggunaan energi terbarukan pada gedung seperti solar panel yang dapat dilihat dari gambar DED solar panel.

Berdasarkan penjabaran dari kebutuhan data yang sudah dilakukan untuk setiap kriteria penilaian bangunan hijau pada kategori EEC, dapat dilakukan rekapitulasi pengelompokan data teknis. Pengelompokan data teknis dilakukan berdasarkan kriteria, kebutuhan data dan sumber data yang dapat mendukung kriteria penilaian. Rekapitulasi pengelompokan data teknis untuk penilaian bangunan hijau disajikan dalam sebuah tabel. Tabel yang disajikan memperlihatkan kebutuhan data untuk penilaian dan sumber data yang dapat digunakan untuk setiap kriteria. Rekapitulasi pengelompokan data teknis kategori EEC diperlihatkan pada Tabel 4.1.



Tabel 4.1 Rekapitulasi Pengelompokan Data Teknis Kategori EEC

Kriteria Penilaian Kategori EEC		Kebutuhan Data Penilaian		Sumber Data
Kriteria	Keterangan			
EEC P1 Pemasangan Submeter (<i>Electrical Sub Metering</i>)	Terdapat pemasangan submeter atau kWh meter pada setiap kelompok beban. Kelompok beban meliputi sistem tata udara, sistem tata cahaya dan kotak kontak serta sistem beban lainnya.	Instalasi listrik, skema pembagian beban listrik dan rencana penggunaan submeter.		Gambar <i>wiring</i> dan skedul beban, RKS untuk penggunaan submeter.
EEC P2 Perhitungan OTTV (<i>OTTV Calculation</i>)	Adanya perhitungan nilai <i>Overall Thermal Transfer Value</i> (OTTV). <i>Overall Thermal Transfer Value</i> (OTTV) merupakan perpindahan panas yang masuk melalui dinding dan jendela.	Orientasi bangunan, luas dinding masif, luas dinding transparan (dinding kaca), material dinding, material kaca, <i>u-value</i> , absorptansi panas cat dinding, beda temperatur, beda temperatur ekuivalen, nilai <i>conductivity</i> , nilai <i>Shading Coefficient</i> (SC), nilai <i>Solar Factor</i> (SF), nilai <i>Solar Heat Gain Coefficient</i> (SHGC) dan nilai <i>Window to Wall Ratio</i> (WWR).		Gambar tampak, gambar denah, perencanaan jendela dan pintu, RKS dinding dan kaca, SNI 6389:2011, ASHRAE.
EEC 1 Langkah Penghematan Energi (<i>Energy Efficiency Measures</i>)	Adanya perhitungan konsumsi energi pada bangunan untuk mengetahui penghematan energi pada bangunan.	Data konsumsi energi yang dapat diperhitungkan dengan meninjau luas bangunan, penggunaan AC, data LPD, jumlah pengguna bangunan, penggunaan AC, suhu ruangan.		Gambar denah, gambar perencanaan AC, RKS suhu ruangan, dokumen data umum bangunan, dokumen LPD.
EEC 2 Pencahaya Alam (<i>Natural Lighting</i>)	Penggunaan pencahayaan alami untuk mengurangi konsumsi listrik. Pencahayaan alami meninjau intensitas cahaya alami yang dapat masuk ke dalam ruangan pada bangunan.	Intensitas pencahayaan alami yang dapat diperhitungkan dengan meninjau lokasi bukaan, sisi bukaan dan ruangan aktif, pengelompokan lampu.		Gambar tampak, gambar denah, denah rencana pintu dan jendela, denah penerangan, spesifikasi kaca.



Tabel 4.1 Rekapitulasi Pengelompokan Data Teknis Kategori EEC (Lanjutan)

Kriteria Penilaian Kategori EEC		Keterangan	Kebutuhan Data Penilaian	Sumber Data
Kriteria				
EEC 3	Ventilasi (<i>Ventilation</i>)	Penggunaan ventilasi untuk mengurangi beban sistem pendingin. Meninjau ada atau tidaknya penggunaan AC pada area yang tidak diperlukan (tidak dikondisikan) dan penggunaan ventilasi mekanik atau alami untuk area yang tidak dikondisikan seperti WC, tangga, koridor dan <i>lift</i> .	Visualisasi penggunaan ventilasi mekanik atau alami untuk area tertentu, penggunaan AC pada bangunan.	Gambar tampak, gambar denah, rencana ventilasi, rencana instalasi AC.
EEC 4	Pengaruh Perubahan Iklim (<i>Climate Change Impact</i>)	Pengurangan konsumsi energi untuk mengurangi emisi CO ₂ dengan melakukan konversi energi ke CO ₂ . Konversi energi ke CO ₂ dilakukan berdasarkan faktor emisi grid yang sudah ditetapkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan.	Data konsumsi energi, faktor emisi <i>grid</i> .	Data konsumsi energi dari EEC 1, faktor emisi <i>grid</i> .
EEC 5	Energi Terbarukan Dalam Tapak (<i>On Site Renewable Energy</i>)	Penggunaan energi terbarukan pada gedung yang dapat mengurangi penggunaan energi. Energi terbarukan dapat bersumber dari angin maupun dari sinar matahari.	Penggunaan energi terbarukan seperti penggunaan solar panel.	Denah energi terbarukan seperti solar panel.



4.2.2 Kategori *Water Conservation* (WAC)

Pengelompokan data teknis pada kategori *Water Conservation* (WAC) dilakukan pada setiap kriteria yang ada pada kategori WAC. Kategori WAC memiliki 8 kriteria yang meliputi 2 kriteria prasyarat dan 6 kriteria kredit. Pada kategori WAC data teknis yang digunakan juga berasal dari dokumen *Detail Engineering Design* (DED), Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS), dan data spesifikasi teknis bangunan.

Pengelompokan data dilakukan untuk menyesuaikan ketersediaan data dengan kebutuhan penilaian bangunan hijau sesuai kriteria penilaian kategori WAC berdasarkan sistem penilaian *Greenship* bangunan baru versi 1.2. Pada penilaian kategori WAC, data yang digunakan lebih berfokus pada data yang berkaitan dengan sistem *plumbing* dan lansekap. Pengelompokan data pada kategori WAC menjadi dasar untuk melakukan identifikasi dukungan penerapan BIM pada setiap kriteria. Penjelasan pengelompokan data sesuai dengan kebutuhan penilaian bangunan hijau kategori WAC untuk setiap kriteria adalah sebagai berikut:

1. WAC P1 (pemasangan meteran air)

Syarat pertama yang harus dipenuhi dalam kategori *Water Conservation* (WAC) adalah pemasangan meteran air. Tujuan dari kriteria ini yaitu terdapat meteran air untuk lokasi tertentu pada sistem distribusi air yang meliputi sistem keluaran sumber air bersih seperti PDAM atau air tanah, keluaran sistem air daur ulang. Kriteria WAC P1 berfokus pada pemasangan meteran air untuk mengatur keluaran air pada suatu sistem distribusi air. Data yang diperlukan yaitu skema *plumbing* air bersih, skema *plumbing* air daur ulang, penggunaan meteran air. Data tersebut dapat diperoleh dari DED MEP dan RKS MEP. Dokumen DED MEP menyediakan gambar diagram skematik *plumbing* air bersih dan gambar diagram skematik *plumbing* air daur ulang. Penggunaan meteran air menggunakan Dokumen RKS MEP meteran air.

2. WAC P2 (perhitungan penggunaan air)

Syarat kedua yang harus dipenuhi dalam kategori *Water Conservation* (WAC) adalah perhitungan penggunaan air. Tujuan dari kriteria ini yaitu untuk



mengetahui penggunaan air pada bangunan. Kriteria WAC P2 berfokus pada konsumsi air berdasarkan fitur air dan kapasitas penggunaan air. Data yang dibutuhkan untuk kriteria WAC P2 yaitu daftar *sanitary* dan penggunaan fitur air. Dokumen yang dapat mendukung yaitu DED arsitektur yang mencakup daftar *sanitary* dan DED detail toilet dan area basah.

3. WAC 1 (pengurangan penggunaan air)

Kriteria WAC 1 berfokus pada pengurangan konsumsi air bersih dan keluaran air limbah. Data yang diperlukan Data yang diperlukan untuk kriteria WAC 1 yaitu daftar *sanitary*, penggunaan fitur air, standar penggunaan air dan standar penggunaan fitur air. Daftar *sanitary* diperoleh dari dokumen DED arsitektur yang mencakup daftar *sanitary*. Penggunaan fitur air dapat diperoleh dari DED detail toilet dan area basah. Data standar penggunaan air dapat diperoleh dari dokumen SNI 03-7065-2005 tentang tata cara perencanaan sistem plambing. Standar penggunaan fitur air dapat disediakan oleh dokumen *Greenship*.

4. WAC 2 (fitur air)

Kriteria WAC 2 berfokus pada penggunaan fitur air yang dapat menghemat penggunaan air. Data yang diperlukan Data yang diperlukan untuk kriteria WAC 2 yaitu daftar *sanitary*, penggunaan fitur air dan standar penggunaan fitur air. Daftar *sanitary* dapat diperoleh dari dokumen DED arsitektur yang mencakup daftar *sanitary*. Penggunaan fitur air dapat diperoleh dari DED detail toilet dan area basah. Standar penggunaan fitur air dapat disediakan oleh dokumen *Greenship*.

5. WAC 3 (daur ulang air)

Kriteria WAC 3 berfokus pada daur ulang air yang dapat menghemat penggunaan air. Kriteria ini menitikberatkan penggunaan seluruh air bekas pakai (*greywater*) untuk kebutuhan sistem *flushing* dan *cooling tower*. Data yang diperlukan skema *plumbing* air daur ulang dan skema *plumbing* air limbah. Data tersebut dapat diperoleh dari DED MEP. Dokumen DED MEP menyediakan gambar diagram skematik *plumbing* air daur ulang dan gambar diagram skematik *plumbing* air limbah.



6. WAC 4 (sumber air alternatif)

Kriteria WAC 4 berfokus pada penggunaan sumber air alternatif untuk menghasilkan air bersih dan mengurangi kebutuhan air dari sumber utama. Kriteria ini menitikberatkan penggunaan sumber air alternatif dari air kondensasi AC, air bekas wudhu atau air hujan sebagai air bersih. Data yang diperlukan skema *plumbing* air bersih, skema *plumbing* air daur ulang, skema *plumbing* air hujan dan skema *drain* AC. Data tersebut dapat diperoleh dari DED MEP. Dokumen DED MEP menyediakan gambar diagram skematik *plumbing* air bersih, gambar diagram skematik *plumbing* air daur ulang, gambar diagram skematik *plumbing* air hujan dan diagram skematik *drain* AC.

7. WAC 5 (penampungan air hujan)

Kriteria WAC 5 berfokus pada penggunaan air hujan sebagai salah satu sumber air untuk mengurangi kebutuhan air dari sumber utama. Kriteria ini menitikberatkan ketersediaan tangki atau penampungan air hujan. Data yang diperlukan skema *plumbing* air hujan. Data tersebut dapat diperoleh dari DED MEP. Dokumen DED MEP menyediakan gambar diagram skematik *plumbing* air hujan.

8. WAC 6 (efisiensi penggunaan air lanskap)

Kriteria WAC 6 berfokus pada penggantian sumber air bersih dari air tanah atau PDAM untuk kebutuhan irigasi. Kriteria ini menitikberatkan pada penggunaan air untuk irigasi seluruhnya tidak berasal dari sumber air utama dan menerapkan teknologi irigasi untuk mengontrol kebutuhan air. Data yang diperlukan skema *plumbing* air siram taman. Data tersebut dapat diperoleh dari DED MEP. Dokumen DED MEP menyediakan gambar diagram skematik *plumbing* air siram taman.

Berdasarkan penjabaran dari kebutuhan data yang sudah dilakukan untuk setiap kriteria penilaian bangunan hijau pada kategori WAC, dapat dilakukan rekapitulasi pengelompokan data teknis. Rekapitulasi pengelompokan data teknis untuk penilaian bangunan hijau disajikan dalam sebuah tabel. Rekapitulasi pengelompokan data teknis kategori WAC diperlihatkan pada Tabel 4.2.



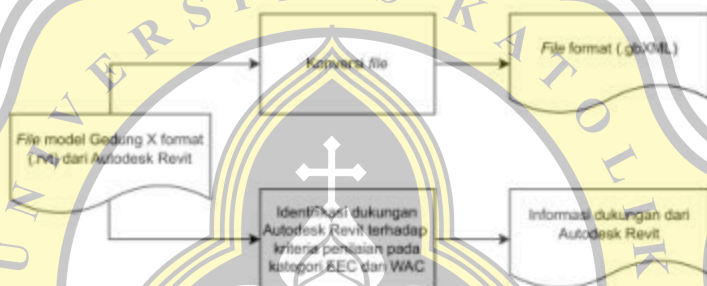
Tabel 4.2 Rekapitulasi Pengelompokan Data Teknis Kategori WAC

Kriteria Penilaian Kategori WAC			Kebutuhan Data Penilaian	Sumber Data
	Kriteria	Keterangan		
WAC P1	Meteran Air (<i>Water Metering</i>)	Adanya pemasangan meteran air untuk memantau air yang masuk ke bangunan dan keluar dari bangunan.	Skema <i>plumbing</i> air bersih, skema <i>plumbing</i> air daur ulang, penggunaan meteran air.	Diagram skematik <i>plumbing</i> air bersih, <i>plumbing</i> air daur ulang, RKS penggunaan meteran air.
WAC P2	Perhitungan Penggunaan Air (<i>Water Calculation</i>)	Adanya perhitungan konsumsi air pada bangunan.	Daftar <i>sanitary</i> , penggunaan fitur air, spesifikasi fitur air.	DED daftar <i>sanitary</i> , DED detail toilet dan area basah.
WAC 1	Pengurangan Penggunaan Air (<i>Water Use Reduction</i>)	Adanya perhitungan pengurangan penggunaan air berdasarkan hasil konsumsi air.	Daftar <i>sanitary</i> , penggunaan fitur air, standar penggunaan fitur air, standar penggunaan air.	DED daftar <i>sanitary</i> , DED detail toilet dan area basah, SNI 03-7065-2005, <i>GreenShip</i> .
WAC 2	Fitur Air (<i>Water Fixtures</i>)	Penggunaan fitur air yang efisien.	Daftar <i>sanitary</i> , penggunaan fitur air, standar penggunaan fitur air.	DED daftar <i>sanitary</i> , DED detail toilet dan area basah, <i>GreenShip</i>
WAC 3	Daur Ulang Air (<i>Water Recycling</i>)	Ketersediaan air dari sumber daur ulang limbah untuk <i>flushing</i> atau <i>cooling tower</i> .	Skema <i>plumbing</i> air daur ulang, skema <i>plumbing</i> air limbah.	Diagram skematik <i>plumbing</i> air daur ulang, diagram skematik <i>plumbing</i> air limbah.
WAC 4	Sumber Air Alternatif (<i>Alternative Water Resources</i>)	Adanya sumber air alternatif yang menghasilkan air bersih untuk mengurangi kebutuhan air pada sumber air utama yang dapat berasal dari air kondensasi AC, bekas wudhu atau air hujan.	Skema <i>plumbing</i> air bersih, skema <i>plumbing</i> air daur ulang, skema <i>plumbing</i> air hujan, skema <i>drain</i> AC.	Diagram skematik <i>plumbing</i> air bersih, diagram skematik <i>plumbing</i> air daur ulang, diagram skematik <i>plumbing</i> air hujan, diagram skematik <i>drain</i> AC.
WAC 5	Penampungan Air Hujan (<i>Rainwater Harvesting</i>)	Adanya penampungan air hujan untuk mendukung penggunaan air hujan.	Skema <i>plumbing</i> air hujan.	Diagram skematik <i>plumbing</i> air hujan.
WAC 6	Efisiensi Penggunaan Air Lanskap (<i>Water Efficiency Landscaping</i>)	Penggunaan air untuk siram taman tidak berasal dari sumber air utama.	Skema <i>plumbing</i> air siram taman.	Diagram skematik <i>plumbing</i> air siram taman.



4.3 Pengolahan Data Pada Autodesk Revit

Pengolahan data pada Autodesk Revit dilakukan dengan dua tahapan yaitu proses konversi *file* dan identifikasi dukungan Autodesk Revit terhadap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Konversi *file* model Gedung X pada Autodesk Revit perlu dilakukan sebagai langkah awal untuk melakukan proses simulasi pada *software* DesignBuilder. Selain konversi *file*, perlu dilakukan identifikasi dukungan Autodesk Revit terhadap kriteria penilaian yang ditinjau. Adapun tahapan dari pengolahan data pada Autodesk Revit diperlihatkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Tahapan Pengolahan Data Pada Autodesk Revit

Berdasarkan Gambar 4.2, data yang digunakan pada pengolahan data ini adalah *file* model Gedung X dalam format Revit (.rvt) dari Autodesk Revit. Tahap pertama yang dilakukan adalah konversi *file*. Simulasi dengan DesignBuilder memerlukan model 3D dari bangunan yang akan disimulasi. Model 3D dapat diperoleh melalui penggambaran secara manual pada DesignBuilder atau konversi *file* model bangunan dari *software* yang menerapkan konsep BIM. Penggambaran ulang berdasarkan gambar konstruksi membutuhkan waktu yang lebih lama dan tenaga yang cukup besar sehingga pemanfaatan fitur interoperabilitas yang dimiliki DesignBuilder menjadi solusi yang efisien. DesignBuilder sudah mendukung *import file* dari *software* BIM dengan format (.gbXML), sehingga memungkinkan integrasi data bangunan tanpa harus membuat model ulang. Salah satu *software* BIM yang mendukung proses ini adalah Autodesk Revit yang dapat mengekspor *file* format Revit (.rvt) menjadi format *Green Building XML* (.gbXML) dengan pengaturan tertentu (DesignBuilder, 2025; An, dkk., 2024). Oleh karena itu, pada



penelitian ini perlu dilakukan pengolahan data pada Autodesk Revit dengan proses konversi *file* model Gedung X. Adapun tahapan proses konversi *file* Gedung X pada Gambar 3.7. Proses konversi *file* Gedung X diawali dengan pembuatan *space* yang kemudian dilanjutkan dengan proses *setting* atau pengaturan model konversi untuk keperluan *export* hingga akhirnya *file* dapat di *export* ke format (.gbXML). Adapun penjelasan dari alur proses konversi *file* Gedung X pada Autodesk Revit adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan *space*

Pembuatan *space* dilakukan untuk mendefinisikan ruangan yang akan disimulasi dengan DesignBuilder secara jelas. *Space* yang dibuat untuk memberikan data ruang secara jelas dan juga menghubungkan informasi geometri bangunan dengan parameter untuk analisis energi. Pembuatan *space* pada model Gedung X dalam Autodesk Revit dapat dilakukan dengan:

- a. Pembuatan *space* untuk setiap ruangan pada lantai 3 dan lantai 4. Proses pembuatan *space* pada model Gedung X dalam Autodesk Revit diperlihatkan pada Gambar 3.8 dan Gambar 3.9.
- b. Pemberian nama *space* sesuai dengan nama ruangan yang disimulasi. Proses pemberian nama *space* diperlihatkan pada Gambar 3.10.
- c. *Setting volume computation* dilakukan untuk memastikan volume pada ruangan sudah terhitung. Proses *setting volume computation* diperlihatkan pada Gambar 3.11.
- d. *Setting level space* dilakukan untuk mengatur *space* secara vertikal. Proses *setting level* pada *space* diperlihatkan pada Gambar 3.12.
- e. Pengecekan *visual space* untuk memastikan *space* telah terbentuk secara menyeluruh. Proses pengecekan *visual space* diperlihatkan pada Gambar 3.13.

2. *Setting* model

Setting model dilakukan dengan pengaturan energi melalui fitur *energy setting* pada Autodesk Revit. *Setting energy* dilakukan dengan menyesuaikan parameter untuk melakukan simulasi dengan DesignBuilder. *Setting energy* pada Autodesk Revit dapat dilihat pada Gambar 3.14 hingga Gambar 3.16.



3. *Export file*

Export file dilakukan setelah pembuatan *space* dan *setting energy* pada Autodesk Revit selesai dilakukan. *Export file* dilakukan dengan memilih opsi format (.gbXML). Langkah *export file* dapat dilihat pada Gambar 3.17 hingga Gambar 3.19.

Selain proses konversi *file* model Gedung X, adapun pengolahan data pada Autodesk Revit melalui identifikasi dukungan Autodesk Revit terhadap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Proses identifikasi ini dilakukan berdasarkan fitur yang tersedia pada Autodesk Revit dan elemen yang sudah tersedia pada model Gedung X. Proses ini tidak menggunakan *file* Revit (.rvt) kosong, namun melalui *file* data model Gedung X. Adapun tahapan dari identifikasi dukungan Autodesk Revit terhadap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC dapat dilihat pada Gambar 3.20. Proses identifikasi ini dimulai dengan melakukan visualisasi model Gedung X pada Autodesk Revit terlebih dahulu. Setelah model gedung X divisualisasikan, maka dilanjutkan dengan meninjau fitur pada Autodesk Revit dan elemen yang sudah ada pada model Gedung X terhadap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Adapun penjelasan dari alur proses identifikasi dukungan Autodesk Revit sebagai berikut:

1. Visualisasi model Gedung X pada Autodesk Revit

Proses identifikasi dapat dilakukan dengan melakukan visualisasi terlebih dahulu untuk memperoleh gambaran mengenai elemen bangunan. Melalui visualisasi dapat terlihat elemen yang sudah ada pada data model Gedung X.

2. Meninjau fitur Autodesk Revit dan elemen model Gedung X terhadap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC

Pada proses ini dilakukan dengan meninjau ketersediaan fitur dan informasi yang ada pada Autodesk Revit. Melalui visualisasi model Gedung X, setiap fitur pada Autodesk Revit maupun elemen yang telah ada pada data model Gedung X akan ditinjau untuk menentukan potensi dukungan dalam kriteria penilaian. Potensi dukungan yang dimaksud adalah ketersediaan data yang dapat diberikan untuk setiap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Adapun kebutuhan



data pada setiap kriteria penilaian pada kategori EEC dapat dilihat pada Tabel 4.1. Kebutuhan data pada setiap kriteria penilaian pada kategori WAC dapat dilihat pada Tabel 4.2.

4.3.1 Hasil *output software Autodesk Revit*

Pengolahan data pada Autodesk Revit menghasilkan *output* atau keluaran yang dapat digunakan dalam proses selanjutnya. Hasil *output* Autodesk Revit yang pertama adalah *file* dengan format (.gbXML). *File* dengan format (.gbXML) merupakan format yang umum digunakan untuk mentransfer informasi model 3D bangunan ke *software* simulasi seperti DesignBuilder. Adanya kemampuan ini membuktikan bahwa Autodesk Revit dapat mendukung kebutuhan pemodelan 3D yang diperlukan untuk proses selanjutnya. *File* ini digunakan sebagai dasar dalam melakukan simulasi dengan *software* DesignBuilder. Hasil *output* berupa *file* dengan format (.gbXML) memudahkan dalam langkah awal melakukan proses simulasi dengan *software* DesignBuilder.

Selanjutnya adapun hasil pengolahan data berupa informasi mengenai ketersediaan fitur pada Autodesk Revit dan elemen pada model Gedung X untuk mendukung kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Hasil *output* ini menunjukkan fitur pada Autodesk Revit dan elemen pada model Gedung X yang relevan dengan kriteria penilaian pada kategori yang ditinjau. Adapun informasi yang relevan seperti fitur pengaturan orientasi, ketersediaan fitur submeter, meteran air, fitur air, fitur *plumbing*, dan visualisasi letak ventilasi dan jendela. Adapun penjelasan detail mengenai hasil *output* ini sebagai berikut:

1. Pengaturan Orientasi

Autodesk Revit menyediakan fitur pengaturan orientasi melalui opsi *rotate true north* yang dapat langsung diterapkan pada model Gedung X. Orientasi yang telah ditetapkan melalui Autodesk Revit dapat mempermudah proses simulasi pada DesignBuilder. Hal ini dikarenakan tidak perlu dilakukan penyesuaian ulang pada *software* DesignBuilder. Pengaturan orientasi perlu dilakukan untuk mendukung kriteria penilaian mengenai perhitungan OTTV yang ada pada



kategori EEC. Pada model Gedung X telah diterapkan orientasi. Adapun pengaturan orientasi pada Autodesk Revit dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pengaturan Orientasi Pada Autodesk Revit

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa pengaturan orientasi dapat dilakukan dengan opsi *rotate true north* pada tab *manage*. Orientasi pada model Gedung X telah ditetapkan. Adapun Gambar 4.4 memperlihatkan orientasi pada model Gedung X.



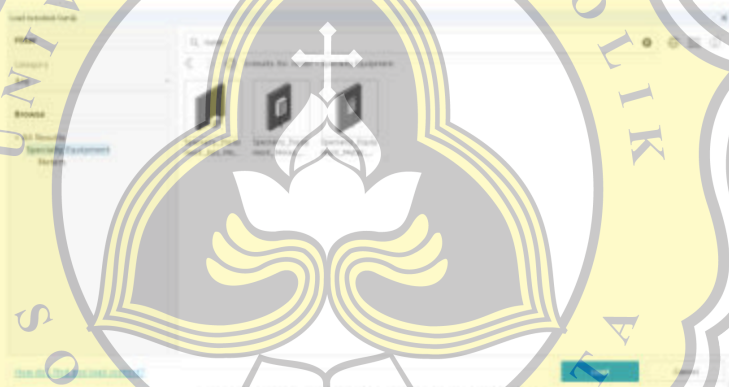
Gambar 4.4 Orientasi Pada Model Gedung X

Gambar 4.4 memperlihatkan orientasi pada model Gedung X telah disesuaikan dengan arah utara. Pada gambar tersebut terlihat bahwa posisi gedung tidak lagi sejajar secara horisontal dan *ViewCube* menunjukkan arah utara yang mengikuti orientasi lokasi Gedung X. Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan orientasi terhadap arah utara telah diterapkan pada model Gedung X.



2. Ketersediaan *family* submeter

Autodesk Revit menyediakan data elemen bangunan yang disebut dengan *family*. Autodesk Revit memiliki fitur untuk membuat objek *family* yang hanya dapat dibuat pada aplikasi Autodesk Revit itu sendiri yang kemudian dapat digunakan dan diterapkan pada model bangunan sesuai dengan kebutuhan. Adapun data *family* yang telah tersedia pada Autodesk Revit yang disebut Revit *family*. Apabila terdapat *family* submeter, maka Autodesk Revit dapat mendukung kriteria penilaian pada kategori EEC. Pada Revit *family* tersedia elemen *family electric meter* yang dapat digunakan untuk mendukung kriteria penilaian pada kategori EEC. Adapun *family electric meter* dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 *Family Electric Meter*

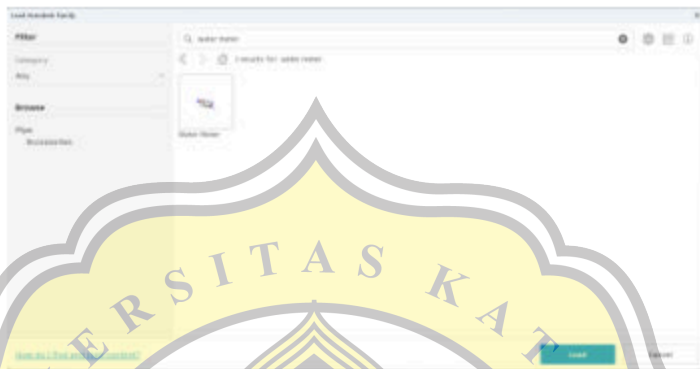
Pada Gambar 4.5 menunjukkan pilihan *family* dari *electric meter* yang tersedia di Autodesk Revit. *Family* ini dapat digunakan dan diposisikan sesuai dengan kebutuhan pada model gedung. Apabila pilihan *family electric meter* yang telah disediakan tidak sesuai dengan kebutuhan, maka dapat ditambahkan *family electric meter* baru.

3. Ketersediaan *family* meteran air

Autodesk Revit menyediakan data elemen bangunan yang disebut *family*. Apabila terdapat *family* meteran air, maka Autodesk Revit dapat mendukung kriteria penilaian pada kategori WAC. Pada Revit *family* tersedia elemen *family*



water meter yang dapat digunakan untuk mendukung kriteria penilaian pada kategori WAC. Adapun *family water meter* dapat dilihat pada Gambar 4.6.

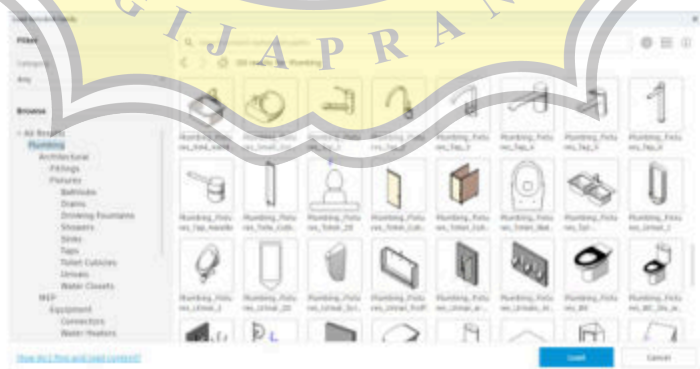


Gambar 4.6 *Family Water Meter*

Pada Gambar 4.6 diperlihatkan pilihan *family water meter* yang tersedia di Autodesk Revit. Apabila *family water meter* yang telah disediakan tidak sesuai, maka dapat ditambahkan *family water meter* baru. Setelah memilih *family water meter*, maka dapat diposisikan sesuai dengan kebutuhan pada model gedung.

4. Ketersediaan *family* fitur air

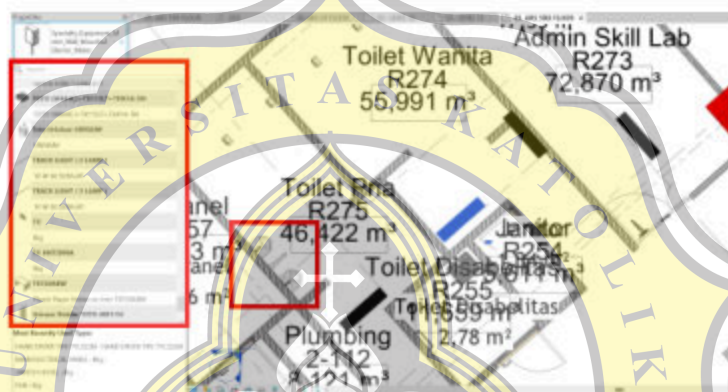
Pada Autodesk Revit terdapat Revit *family* mengenai berbagai fitur air (*water fixtures*). *Family* fitur air yang ada dapat diterapkan dalam model Gedung X, sehingga dapat digunakan untuk mendukung kriteria penilaian pada kategori WAC. Adapun *family* fitur air dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 *Family Fitur Air*



Pada Gambar 4.7 memperlihatkan beragam pilihan *family* fitur air yang dapat digunakan seperti keran air, urinoir, dan *water closet*. Apabila spesifikasi fitur air yang digunakan pada model bangunan tidak tersedia pada Revit *family*, maka dapat ditambahkan objek *family* baru sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Pada model Gedung X telah diterapkan *family* fitur air sesuai spesifikasi yang diperlihatkan pada Gambar 4.8.

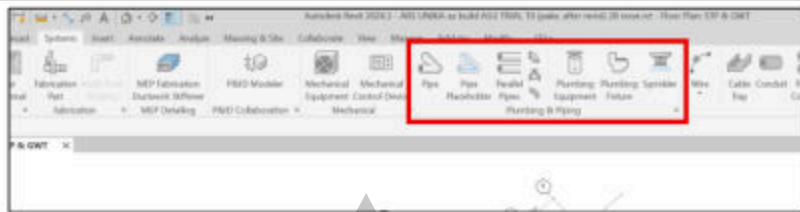


Gambar 4.8 *Family* Fitur Air Pada Model Gedung X

Pada Gambar 4.8 bagian kiri diperlihatkan daftar *family* yang digunakan pada model Gedung X. Pada daftar tersebut terdapat elemen fitur air yang telah ditambahkan. Pada Gambar 4.8 juga menunjukkan bahwa elemen fitur air (urinoir) telah diterapkan pada model Gedung X.

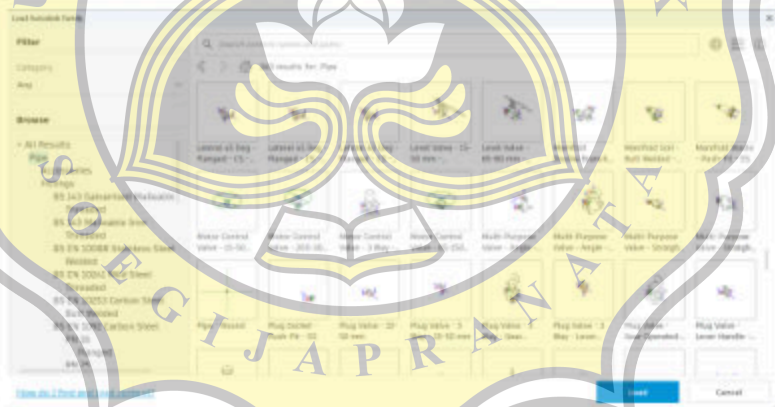
5. Ketersediaan fitur sistem *plumbing*

Autodesk Revit menyediakan fitur khusus pada MEP yang memungkinkan untuk melakukan pemodelan sistem *plumbing*. Pemodelan sistem *plumbing* dapat digunakan untuk mendukung kriteria penilaian pada kategori WAC. Pemodelan sistem *plumbing* umumnya dapat ditambahkan pada Autodesk Revit MEP, namun pada data model Gedung X tidak tersedia data Autodesk Revit MEP. Hal ini menyebabkan sistem *plumbing* tidak dapat diterapkan pada model Gedung X karena keterbatasan data. Pada penelitian ini tidak dapat menerapkan sistem *plumbing*, namun pada Autodesk Revit terdapat fitur untuk pemodelan sistem *plumbing* yang dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Fitur Pemodelan Sistem *Plumbing*

Pada Gambar 4.9 diperlihatkan fitur pemodelan sistem *plumbing* yang dapat digunakan melalui tab *systems* pada bagian *plumbing & piping*. Selain fitur pemodelan sistem *plumbing*, Autodesk Revit juga menyediakan *family* dari komponen sistem *plumbing* seperti pipa. Oleh karena itu, pada penelitian ini pemanfaatan fitur Autodesk Revit difokuskan pada identifikasi potensi dukungan fitur melalui ketersediaan fitur pemodelan sistem *plumbing* dan *family* komponen sistem *plumbing*. Adapun *family* komponen sistem *plumbing* diperlihatkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 *Family* Komponen Sistem *Plumbing*

Pada Gambar 4.10 diperlihatkan berbagai daftar *family* komponen *plumbing* seperti *valve* atau katup yang dapat digunakan dan diterapkan pada model gedung. Apabila spesifikasi komponen sistem *plumbing* yang digunakan pada model bangunan tidak tersedia pada Revit *family*, maka dapat ditambahkan objek *family* baru sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.



6. Ketersediaan *family water tank*

Pada Autodesk Revit terdapat Revit *family* mengenai berbagai *water tank*. *Family water tank* yang tersedia dapat diterapkan dalam model Gedung X, sehingga dapat digunakan untuk mendukung kriteria penilaian pada kategori WAC. Adapun *family water tank* dapat dilihat pada Gambar 4.11.

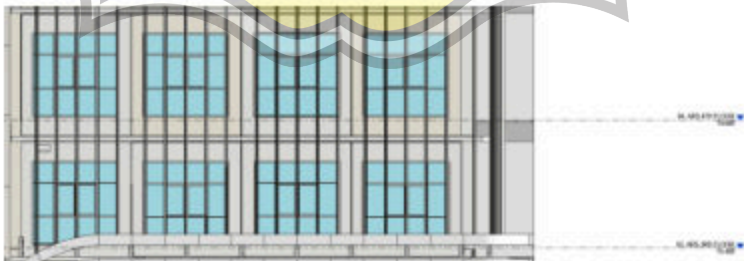


Gambar 4.11 *Family* Fitur *Water Tank*

Pada Gambar 4.11 diperlihatkan beragam pilihan *family* fitur *water tank* yang dapat digunakan pada model Gedung X. Apabila spesifikasi *water tank* yang digunakan pada model gedung tidak tersedia pada Revit *family*, maka dapat ditambahkan objek *family water tank* baru sesuai spesifikasi.

7. Visualisasi letak bukaan

Autodesk Revit dapat menyediakan visualisasi tata letak bukaan yang mencakup posisi jendela dan ventilasi. Pada model Gedung X terdapat elemen bukaan yang telah ditambahkan. Visualisasi letak bukaan diperlihatkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Visualisasi Letak Bukaan



Pada Gambar 4.12 diperlihatkan visualisasi letak bukaan pada model Gedung X berupa jendela yang ada pada lantai 3 dan lantai 4. Visualisasi pada Autodesk Revit dapat digunakan untuk mendukung kriteria penilaian yang ada pada kategori EEC.

4.3.2 Pemetaan hasil *output* terhadap kriteria penilaian

Berdasarkan hasil pengolahan data dari Autodesk Revit, maka dapat dilakukan pemetaan hasil *output* terhadap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Pemetaan dilakukan untuk mengidentifikasi kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC yang dapat didukung oleh Autodesk Revit. Setiap fitur yang ada pada Autodesk Revit dan elemen yang telah tersedia pada model Gedung X ditinjau dengan kebutuhan data pada masing-masing kriteria penilaian sehingga dapat diketahui kriteria penilaian yang dapat didukung oleh Autodesk Revit.

Penyusunan pemetaan ini dilakukan untuk mempermudah proses analisis pada tahap selanjutnya. Pemetaan akan disajikan dalam bentuk tabel untuk mempermudah dalam melihat dukungan Autodesk Revit terhadap kriteria penilaian. Tabel pemetaan akan dipisahkan berdasarkan kategori penilaian yang ditinjau yaitu EEC dan WAC. Adapun detail pemetaan berdasarkan kategori penilaian sebagai berikut:

1. *Energy Efficiency and Conservation (EEC)*

Hasil *output* berupa informasi dan fitur yang tersedia pada Autodesk Revit melalui data model Gedung X akan disesuaikan untuk menentukan kriteria pada kategori EEC yang dapat didukung Autodesk Revit. Kategori EEC memiliki 7 kriteria yang wajib dipenuhi. Detail penjelasan mengenai informasi dan fitur Autodesk Revit diperlihatkan pada Subbab 4.3.1. Detail penjelasan mengenai tiap kriteria dapat dilihat pada Subbab 4.2.1. Adapun penjelasan dukungan hasil *output* Autodesk Revit terhadap kriteria EEC sebagai berikut:

a. Pengaturan orientasi

Autodesk Revit memiliki fitur pengaturan orientasi yang dapat mendukung kriteria pada kategori EEC. Kriteria yang dapat didukung oleh pengaturan



orientasi adalah kriteria EEC P2 dan EEC 2. Kriteria EEC P2 berfokus pada perhitungan OTTV untuk mengetahui perpindahan panas yang masuk melalui dinding dan jendela. Orientasi memiliki pengaruh pada hasil perhitungan OTTV, sehingga penting untuk memastikan orientasi bangunan telah diatur sesuai kondisi. Kriteria EEC 2 berfokus pada penggunaan cahaya alami pada gedung. Orientasi memiliki pengaruh pada pencahayaan alami yang masuk.

b. Ketersediaan *family* submeter

Autodesk Revit memiliki fitur *family* submeter yang dapat mendukung kriteria EEC P1. Kriteria ini berfokus pada pemasangan submeter untuk mengukur konsumsi listrik. Pada Autodesk Revit tersedia *family electric meter* yang dapat digunakan dan divisualisasikan.

c. Visualisasi letak bukaan

Autodesk Revit dapat memberikan visualisasi letak bukaan pada model gedung. Kriteria yang dapat didukung melalui visualisasi bukaan adalah EEC 3. Kriteria EEC 3 berfokus pada penggunaan ventilasi pada gedung pada area tertentu. Autodesk Revit dapat memberikan visualisasi letak bukaan yang mencakup ventilasi pada gedung, sehingga Autodesk Revit dapat memberikan dukungan pada kriteria EEC 3.

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka dapat disusun tabel pemetaan hasil *output* Autodesk Revit pada kategori EEC. Adapun tabel pemetaan hasil *output* Autodesk Revit pada kategori EEC dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Pemetaan Hasil *Output* Autodesk Revit pada Kategori EEC

No.	Hasil <i>Output</i> Autodesk Revit	Kriteria yang Dapat Didukung
1.	Pengaturan orientasi	EEC P2 dan EEC 2
2.	Ketersediaan <i>family</i> submeter	EEC P1
3.	Visualisasi bukaan	EEC 3

2. *Water Conservation (WAC)*

Hasil *output* berupa informasi dan fitur yang tersedia pada Autodesk Revit melalui data model Gedung X akan disesuaikan untuk menentukan kriteria pada



kategori WAC yang dapat didukung Autodesk Revit. Kategori WAC memiliki 8 kriteria penilaian. Detail penjelasan mengenai informasi dan fitur yang ada pada Autodesk Revit diperlihatkan pada Subbab 4.3.1. Detail penjelasan mengenai tiap kriteria yang ada pada kategori WAC dapat dilihat pada Subbab 4.2.2. Adapun penjelasan dukungan hasil *output* Autodesk Revit terhadap kriteria WAC sebagai berikut:

a. Ketersediaan *family* meteran air

Autodesk Revit memiliki *family* meteran air yang dapat digunakan untuk mendukung kriteria WAC P1. Kriteria WAC P1 berfokus pada pemasangan meteran air untuk memantau air yang masuk dan keluar pada gedung. Autodesk Revit dapat menyediakan dan memberikan visualisasi pemasangan meteran air.

b. Ketersediaan *family* fitur air

Autodesk Revit memiliki berbagai *family* untuk fitur air yang dapat digunakan untuk mendukung kriteria WAC P2, WAC 1, dan WAC 2. Kriteria WAC P2 berfokus pada perhitungan penggunaan air pada bangunan. Kriteria WAC 1 berfokus pada perhitungan pengurangan penggunaan air. Kriteria WAC 2 berfokus pada penggunaan fitur air yang efisien. Autodesk Revit hanya dapat memberikan visualisasi posisi fitur air. Visualisasi fitur air dapat memudahkan proses dokumentasi yang secara tidak langsung dapat mendukung kriteria WAC P2, WAC 1, dan WAC 2.

c. Ketersediaan fitur sistem *plumbing*

Autodesk Revit memiliki berbagai *family* untuk komponen sistem *plumbing* yang dapat digunakan untuk mendukung kriteria WAC 3 dan WAC 4. Kriteria WAC 3 berfokus pada ketersediaan air dari sumber daur ulang limbah untuk keperluan *flushing* atau *cooling tower*. Kriteria WAC 4 berfokus pada adanya sumber air alternatif yang dapat menghasilkan air bersih untuk mengurangi kebutuhan air pada sumber air utama. Autodesk Revit dapat memberikan visualisasi pada sistem *plumbing* apabila terdapat data Autodesk Revit MEP. Pada penelitian ini terdapat keterbatasan data. Pada data model Gedung X



tidak tersedia data Autodesk Revit MEP, sehingga tidak dapat memodelkan sistem *plumbing*. Hal ini menyebabkan dukungan Autodesk Revit pada kriteria WAC 3 dan WAC 4 hanya terbatas pada ketersediaan fitur pemodelan sistem *plumbing* dan ketersediaan *family* komponen sistem *plumbing*.

d. Ketersediaan *family water tank*

Autodesk Revit memiliki berbagai *family* untuk *water tank* yang dapat digunakan untuk mendukung kriteria WAC 5. Kriteria WAC P2 menitikberatkan pada ketersediaan tangki atau penampungan air hujan. Autodesk Revit hanya dapat memberikan visualisasi posisi *water tank*. Visualisasi fitur air dapat memudahkan proses dokumentasi yang secara tidak langsung dapat mendukung kriteria WAC 5.

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka dapat disusun tabel pemetaan hasil *output* Autodesk Revit pada kategori WAC. Adapun tabel pemetaan hasil *output* Autodesk Revit pada kategori WAC dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Pemetaan Hasil *Output* Autodesk Revit pada Kategori WAC

No.	Hasil <i>Output</i> Autodesk Revit	Kriteria yang Dapat Didukung
1.	Ketersediaan <i>family</i> meteran air	WAC P1
2.	Ketersediaan <i>family</i> fitur air	WAC P2, WAC 1, dan WAC 2
3.	Ketersediaan fitur sistem <i>plumbing</i>	WAC 3 dan WAC 4
4.	Ketersediaan <i>family water tank</i>	WAC 5

4.4 Pengolahan Data Pada DesignBuilder

Pengolahan data pada DesignBuilder dibagi ke dalam 3 tahapan. Tahap pertama adalah proses *import file* format (.gbXML). Tahap kedua adalah simulasi yang dilakukan berdasarkan hasil dari tahap pengolahan data yang pertama. Tahap kedua merupakan pemodelan pada DesignBuilder yang dilakukan melalui *input* parameter yang kemudian dilanjutkan dengan simulasi. Tahap ketiga adalah identifikasi dukungan DesignBuilder terhadap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Tahap pertama pengolahan data pada DesignBuilder diperlihatkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Tahap Pertama Pengolahan Data Pada DesignBuilder

Berdasarkan Gambar 4.13, data yang diperlukan untuk pengolahan data tahap pertama pada DesignBuilder adalah *file format (.gbXML)*. *File* ini didapatkan dari hasil *output* pengolahan data pada Autodesk Revit. *Import file format (.gbXML)* dilakukan pada *software* DesignBuilder. Proses *import* ini memungkinkan data geometri, ruang, serta informasi pendukung lainnya yang sebelumnya sudah didefinisikan di Autodesk Revit dapat terbaca secara langsung tanpa perlu penggambaran ulang. Adapun tahapan proses *import file* dapat dilihat pada Gambar 3.22.

Proses *import* diawali dengan *import file format (.gbXML)* ke dalam DesignBuilder. Setelah *file* berhasil diimpor, maka dilanjutkan dengan *setting model* untuk memastikan kesesuaian *file import*. Adapun penjelasan alur *import file format (.gbXML)* pada DesignBuilder adalah sebagai berikut:

1. *Create new file.*

Create new file perlu dilakukan sebelum melakukan proses *import file (.gbXML)* ke dalam DesignBuilder. Cara *create new file* pada DesignBuilder dapat dilihat pada Gambar 3.23.

2. *Import 3D model*

Tahap ini dilakukan untuk memilih format *import* dalam DesignBuilder. Pada penelitian ini digunakan *import 3D model*. Cara *import 3D model* dapat dilihat pada Gambar 3.24.

3. *Pilih file*

Setelah memilih *import 3D model*, maka dapat dipilih *file* yang akan diimpor. Proses ini dapat dilihat pada Gambar 3.25.

4. *Setting import file*

Setelah *import file*, selanjutnya dilakukan proses *setting import file* yang dilakukan pada *import option* untuk memastikan data dari Autodesk Revit sesuai



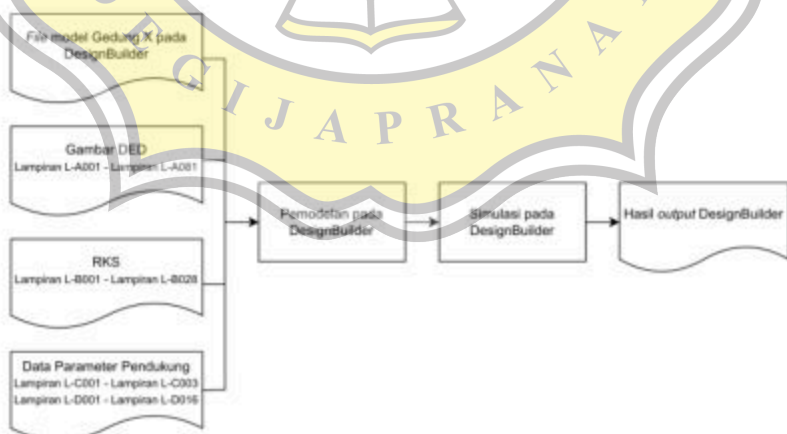
dengan kebutuhan simulasi energi. Proses *setting import file* dapat dilihat pada Gambar 3.20 hingga Gambar 3.26.

5. Hasil *import file*

Setelah proses *setting import file* selesai, maka akan terlihat hasil gedung yang telah berhasil diimpor. Hasil model Gedung X pada DesignBuilder dapat dilihat pada Gambar 3.27.

Proses *import file* format (.gbXML) ke dalam *software* DesignBuilder menghasilkan satu *output* berupa file model 3D Gedung X pada DesignBuilder. File ini selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menjalankan proses simulasi. File ini telah memuat informasi geometris bangunan yang diperlukan serta dapat dikombinasikan dengan data teknis lainnya untuk menjadi dasar dalam simulasi.

Tahap kedua pengolahan data DesignBuilder adalah simulasi. Simulasi menggunakan DesignBuilder tidak dapat dilakukan hanya dengan melakukan *import* model bangunan. Oleh karena itu, terdapat beberapa data yang harus dimasukkan agar simulasi dapat berjalan sesuai kondisi nyata. Data tersebut mencakup informasi spesifik Gedung X seperti data material yang dapat diperoleh dari dokumen DED, dokumen RKS Arsitektur, dokumen RKS MEP, spesifikasi teknis lainnya dan beberapa parameter pendukung yang relevan. Tahap kedua pengolahan data pada DesignBuilder diperlihatkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Tahap Kedua Pengolahan Data Pada DesignBuilder



Berdasarkan Gambar 4.14, data yang diperlukan untuk melakukan pengolahan data tahap kedua pada DesignBuilder adalah *file* model Gedung X, DED, RKS, dan data parameter pendukung. Proses pertama yang dilakukan pada tahap kedua adalah pemodelan pada DesignBuilder. Pemodelan pada DesignBuilder yang dimaksudkan adalah *input* data parameter ke dalam DesignBuilder. Ada beberapa *input* data parameter yang diperlukan sebelum melakukan simulasi. Adapun tahapan pemodelan data pada DesignBuilder dapat dilihat pada Gambar 3.29. Tahapan pemodelan untuk simulasi menggunakan *software* DesignBuilder dapat dilihat pada Gambar 3.30 hingga Gambar 3.64. Secara garis besar, tahapan pemodelan yang dilakukan pada saat kegiatan simulasi meliputi:

1. *Input location*

Langkah ini merupakan tahapan awal untuk melakukan simulasi. *Input location* bertujuan untuk memasukkan data mengenai lokasi gedung berada. Langkah untuk melakukan *input location* dapat dilihat pada Gambar 3.30 hingga Gambar 3.33.

2. *Input activity*

Input activity dilakukan setelah *input location* selesai dilakukan. *Input location* bertujuan untuk memasukkan informasi mengenai segala aktivitas yang ada pada ruangan. Langkah untuk melakukan *input activity* pada *software* DesignBuilder dapat dilihat pada Gambar 3.34 hingga Gambar 3.41.

3. *Input construction*

Input construction dilakukan setelah *input activity* selesai dilakukan. *Input construction* bertujuan untuk memasukkan detail data mengenai material yang digunakan pada gedung. Langkah untuk melakukan *input construction* pada *software* DesignBuilder dapat dilihat pada Gambar 3.42 hingga Gambar 3.51.

4. *Input openings*

Input openings dilakukan setelah *input construction* selesai dilakukan. *Input openings* bertujuan untuk memasukkan data mengenai bukaan seperti jendela dan ventilasi yang ada pada gedung. Langkah untuk melakukan *input openings* dapat dilihat pada Gambar 3.52 hingga Gambar 3.55.



5. *Input lighting*

Input lighting dilakukan setelah *input openings* selesai dilakukan. Langkah ini memiliki tujuan untuk memasukkan data *Lighting Power Density (LPD)* pada setiap ruangan. Langkah untuk melakukan *input lighting* dapat dilihat pada Gambar 3.56 hingga Gambar 3.58.

6. *Input HVAC*

Input HVAC dilakukan setelah *input lighting* selesai dilakukan. Langkah ini bertujuan untuk memasukkan data mengenai sistem HVAC yang bekerja pada suatu ruangan. Langkah untuk melakukan *input HVAC* dapat dilihat pada Gambar 3.59 hingga Gambar 3.64.

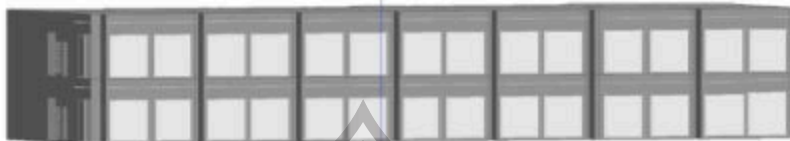
Selain *file model* Gedung X dalam bentuk 3D, proses pemodelan pada DesignBuilder juga memerlukan data lain yang meliputi DED, RKS, dan data parameter pendukung. Data parameter pendukung yang diperlukan dalam simulasi dapat diambil dari standar yang berlaku seperti SNI, ASHRAE, standar dari *Green Building Council Indonesia (GBCI)* dalam sistem penilaian *Greenship*, serta buku yang relevan dengan informasi mengenai data parameter. Data pendukung disesuaikan dengan kondisi bangunan yang dianalisis. Beberapa data *default* yang telah tersedia di DesignBuilder juga dapat digunakan, namun tetap dilakukan penyesuaian agar mendekati kondisi aktual bangunan. Proses pemodelan pada DesignBuilder melalui *input data parameter* menggunakan kombinasi dari data lapangan, dokumen teknis, dan standar acuan yang berlaku. Adapun data yang diperlukan untuk pemodelan pada DesignBuilder melalui *input data parameter* adalah sebagai berikut:

1. *File model Gedung X*

File model Gedung X dari Autodesk Revit yang telah berhasil diimpor ke dalam *software* DesignBuilder menjadi komponen utama dalam proses simulasi yang dilakukan pada penelitian ini. Selain berfungsi sebagai representasi bentuk fisik dan model 3D bangunan, model Gedung X juga memiliki peran sebagai dasar dalam proses *input* berbagai data teknis yang diperlukan untuk analisis. Data yang diperlukan untuk analisis meliputi data karakteristik material, sistem



HVAC, dan kondisi bangunan. Adapun tampilan model Gedung X pada *software* DesignBuilder diperlihatkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Tampilan Model 3D Bangunan Pada *Software* DesignBuilder

2. Gambar DED

Detail Engineering Design (DED) merupakan gambar perencanaan bangunan atau proyek sebelum diterapkan di lapangan. Gambar DED umumnya dibuat oleh konsultan perencana. Gambar DED merupakan produk perencanaan yang berupa detail gambar untuk pekerjaan bangunan sipil seperti gedung, kolam renang, jalan, jembatan dan pekerjaan konstruksi lainnya. Gambar DED dapat digunakan sebagai pedoman atau acuan dalam melakukan pekerjaan konstruksi bangunan. Penyusunan gambar DED harus diketahui dan disetujui oleh *owner* (Masruri, dkk., 2024 dan Firmansyah, dkk., 2021).

Simulasi yang dilakukan dengan *software* DesignBuilder memerlukan data DED sebagai acuan untuk melakukan pemodelan pada DesignBuilder. *Detail Engineering Design (DED)* yang digunakan untuk simulasi pada DesignBuilder adalah DED MEP dan arsitektur. Gambar DED MEP digunakan untuk mengetahui ruangan yang menggunakan sistem AC maupun ventilasi mekanis. Adapun rincian dan detail dari penggunaan gambar DED MEP digunakan diperlihatkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Detail Penggunaan Gambar DED MEP

No.	Nama Gambar	Fungsi	Lampiran
1.	Gambar diagram skematik ventilasi mekanik	Acuan penempatan ventilasi mekanik	L-A055
2.	Gambar rencana penerangan	Acuan penempatan tipe lampu	L-A056
3.	Gambar rencana instalasi AC	Acuan penempatan AC	L-A057 – L-A062

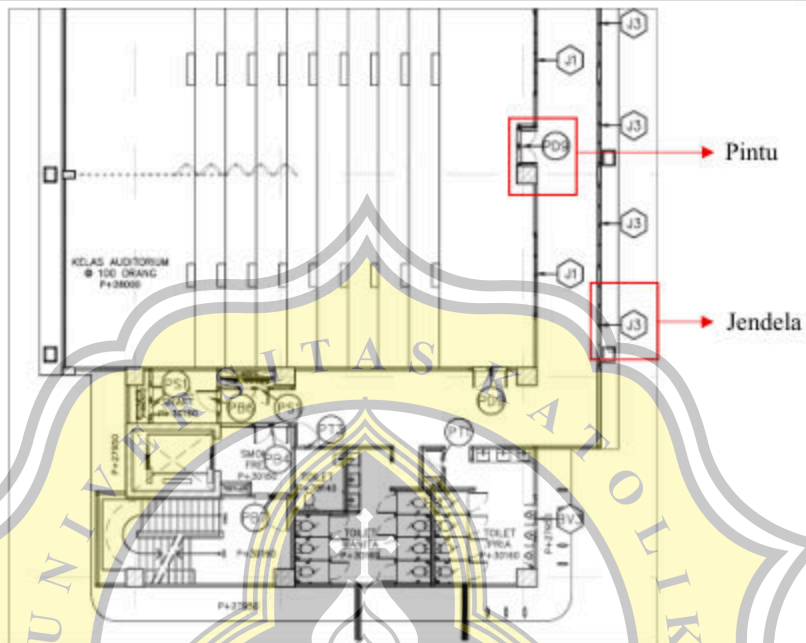


Berdasarkan Tabel 4.5, penggunaan gambar DED diagram skematik ventilasi mekanik dan rencana instalasi AC mengacu pada penempatan ventilasi mekanik dan AC yang ada pada gedung. Penggunaan gambar DED rencana penerangan mengacu pada penempatan tipe lampu pada tiap ruangan yang ada pada gedung. Selain gambar DED MEP, digunakan juga DED arsitektur. Gambar DED arsitektur digunakan untuk memastikan kesesuaian model 3D Gedung X pada DesignBuilder dengan komponen arsitektur yang ada pada gambar kerja. Gambar DED arsitektur juga digunakan sebagai acuan dalam melakukan pemodelan simulasi pada DesignBuilder. Adapun rincian dan detail dari penggunaan gambar DED arsitektur digunakan diperlihatkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Detail Penggunaan Gambar DED Arsitektur

No.	Nama Gambar	Fungsi	Lampiran
1.	Gambar tampak	Acuan penempatan jendela dan <i>shading</i>	L-A001 – L-A006
2.	Gambar denah	Acuan data fungsi ruangan	L-A007 – L-A012
3.	Gambar rencana <i>finishing</i> lantai	Acuan penempatan tipe lantai	L-A013
4.	Gambar rencana <i>finishing</i> dinding	Acuan penempatan tipe dinding	L-A014 – L-A019
5.	Gambar rencana <i>finishing</i> plafond	Acuan penempatan tipe <i>plafond</i>	L-A020
6.	Gambar rencana pintu dan jendela	Acuan penempatan tipe pintu dan jendela	L-A021
7.	Gambar detail pintu dan jendela	Acuan <i>input</i> data material	L-A022 – L-A028
8.	Daftar material dan daftar sanitair	Acuan spesifikasi material lantai, dinding, dan <i>plafond</i>	L-A074

Berdasarkan Tabel 4.6, penggunaan gambar DED arsitektur mengacu pada penempatan tipe dari komponen yang digunakan pada gedung untuk dimodelkan ke dalam DesignBuilder. Selain itu, pada gambar DED arsitektur terdapat rincian mengenai spesifikasi material. Rincian ini juga digunakan sebagai pedoman atau acuan untuk keperluan simulasi pada DesignBuilder. Adapun contoh gambar DED rencana pintu dan jendela diperlihatkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Contoh Gambar DED Rencana Pintu dan Jendela (Sumber: Dokumen Proyek Gedung X)

Gambar 4.16 memperlihatkan gambar DED arsitektur untuk perencanaan pintu dan jendela. Notasi awal P merupakan keterangan untuk pintu, notasi awal J merupakan keterangan untuk jendela, sedangkan notasi selanjutnya merupakan perbedaan tipe. Tipe jendela atau pintu yang direncanakan atau akan digunakan dan dapat dilihat lebih jelas melalui gambar detail dari perencanaan pintu dan jendela.

Gambar DED yang digunakan untuk menunjang proses simulasi juga dilengkapi dengan spesifikasi teknis (spektek) sebagai acuan pendukung. Spektek tersebut umumnya disajikan dalam bentuk tabel atau keterangan tambahan pada DED, yang memuat detail terkait material dinding, material lantai, jenis cat dinding, hingga tipe lampu yang digunakan. Informasi spesifikasi teknis ini kemudian diperkuat dengan dokumen Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS), sehingga data yang digunakan dalam simulasi lebih lengkap dan sesuai dengan kondisi rancangan bangunan.



3. Rencana Kerja dan Syarat – syarat (RKS)

Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) merupakan dokumen yang mencakup aspek teknis dan administratif dalam proyek konstruksi. Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) mencakup spesifikasi material, standar bahan, kualitas material bangunan, metode pelaksanaan, jaminan maupun aturan pembayaran. Segala aspek yang tercantum dalam dokumen RKS wajib dipenuhi oleh pihak-pihak yang terlibat dalam suatu proyek konstruksi. Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) tidak hanya diperlukan untuk bangunan baru, akan tetapi juga diperlukan untuk renovasi bangunan, pekerjaan pemeliharaan dan pekerjaan lain yang spesifik seperti listrik, plumbing, gas dan mesin (Rahman, dkk., 2024; Siswanto dan Salim, 2019). Proses simulasi juga menggunakan Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) arsitektur dan RKS MEP sebagai sumber data pendukung.

Rencana Kerja dan Syarat-syarat *Mechanical, Electrical and Plumbing* (MEP) diperlukan untuk memperoleh informasi teknis mengenai kondisi bangunan khususnya data suhu ruangan dan kelembaban yang diperlukan dalam proses simulasi. Data RKS MEP mengenai suhu dan kelembaban ruangan diperlihatkan pada Lampiran L-B028 – Lampiran L-B029. Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) arsitektur diperlukan untuk melakukan *cross-check* mengenai data yang digunakan untuk setiap elemen bangunan, seperti material dinding, lantai, plafond, pintu, dan jendela. Rencana Kerja dan Syarat-syarat arsitektur pada pemodelan simulasi di DesignBuilder hanya sebagai referensi pendukung untuk memastikan kesesuaian spesifikasi material yang digunakan. Hal ini dikarenakan sebagian besar data mengenai material gedung telah tercantum pada dokumen DED. Adapun detail penggunaan dokumen RKS arsitektur dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Detail Penggunaan Dokumen RKS Arsitektur

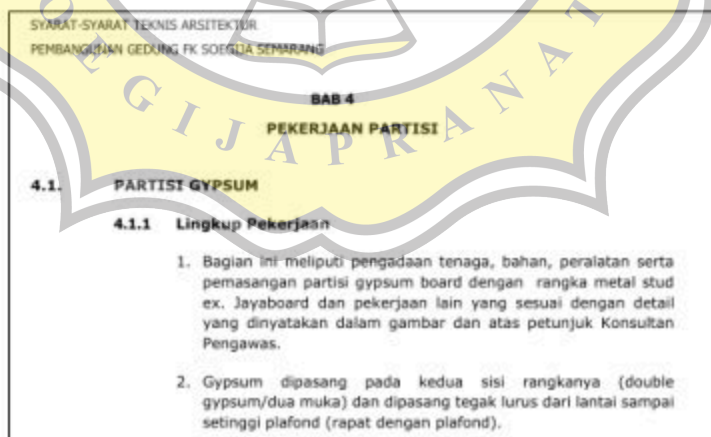
No.	Nama Subbagian RKS	Fungsi	Lampiran
1.	Pekerjaan perekat keramik/ <i>homogeneous tile</i> lantai/ dinding	<i>Cross-check</i> tebal acian untuk pekerjaan lantai dan dinding	L-B001 – L-B003



Tabel 4.7 Detail Penggunaan Dokumen RKS Arsitektur (Lanjutan)

No.	Nama Subbagian RKS	Fungsi	Lampiran
2.	Pekerjaan acian dengan MU-202	<i>Cross-check</i> tebal acian untuk pekerjaan dinding	L-B004 – L-B005
3.	Pekerjaan lantai <i>homogeneous tile</i>	<i>Cross-check</i> pekerjaan lantai dengan <i>homogeneous tile</i>	L-B006 – L-B009
4.	Partisi <i>gypsum</i>	<i>Cross-check</i> tebal <i>gypsum</i> dan rangka partisi	L-B010 – L-B011
5.	Pekerjaan langit-langit <i>gypsum board</i>	<i>Cross-check</i> tebal <i>gypsum board</i> untuk <i>plafond</i>	L-B012 – L-B016
6.	Pekerjaan kusen aluminium	<i>Cross-check</i> tebal kusen aluminium	L-B017 – L-B021
7.	Pekerjaan daun pintu kaca, <i>frameless</i> , dan jendela kaca mati	<i>Cross-check</i> merek kaca dan tebal kaca	L-B022 – L-B023
8.	Pekerjaan daun pintu <i>engineering</i> dessen	<i>Cross-check</i> material dan tebal daun pintu	L-B024 – L-B026

Berdasarkan Tabel 4.7, maka dapat dilihat detail dari penggunaan dokumen RKS arsitektur untuk simulasi di DesignBuilder. Penggunaan dokumen RKS arsitektur lebih mengacu pada ukuran dari setiap elemen arsitektur dari gedung. Selain dokumen RKS arsitektur, digunakan juga dokumen RKS MEP. Adapun dokumen RKS Arsitektur dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Dokumen RKS Arsitektur (Sumber: Dokumen Proyek Gedung X)



Pada Gambar 4.17 memperlihatkan contoh dokumen RKS arsitektur untuk pekerjaan partisi pada Gedung X. Dokumen RKS arsitektur pada Gambar 4.17 menjelaskan mengenai lingkup pekerjaan partisi *gypsum* yang ada pada Gedung X. Pada simulasi dengan *software* DesignBuilder, data yang digunakan hanya data spesifikasi teknis dari partisi *gypsum* saja seperti yang telah dijelaskan pada Tabel 4.7.

4. Data parameter pendukung

Data parameter pendukung diperlukan untuk menunjang proses simulasi pada *software* DesignBuilder. Selain *file* model Gedung X dari Autodesk Revit, *software* DesignBuilder memerlukan beberapa data parameter pendukung agar proses simulasi dapat berjalan mendekati kondisi aktual dari bangunan. Data parameter pendukung yang diperlukan mencakup data mengenai material konstruksi dan HVAC bangunan. Data material digunakan untuk mengetahui transfer panas material yang akan mempengaruhi konsumsi energi pada bangunan. Data sistem bangunan digunakan untuk mengetahui sistem pencahayaan, ventilasi dan *Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC)* yang berpengaruh juga terhadap konsumsi energi.

Adapun beberapa data *default* mengenai material atau kondisi HVAC yang telah tersedia di dalam *software* DesignBuilder. Apabila data *default* ini sudah sesuai dan relevan dengan kondisi gedung, maka data *default* tersebut dapat langsung digunakan tanpa perlu dilakukan penyesuaian ulang. Data parameter pendukung hanya diperlukan untuk melengkapi data yang belum tersedia atau tidak terdapat di dalam *software* DesignBuilder. Data parameter pendukung yang diperlukan untuk simulasi yaitu:

a. Nilai *specific heat capacity*

Specific heat capacity (C_p) atau perpindahan panas menunjukkan kemampuan material dalam menyimpan atau melepas panas. *Specific heat capacity* menunjukkan banyaknya energi yang dapat disimpan dalam material. Semakin tinggi nilai *specific heat capacity* maka kemampuan material dalam menyimpan panas juga semakin tinggi (Rosenlund, 2000).



Specific heat capacity dapat dinyatakan dalam satuan joule per kilogram kelvin (J/kg.K). Setiap material memiliki *specific heat capacity* yang berbeda-beda. Nilai ini digunakan untuk menunjang proses simulasi pada *software* DesignBuilder. Data material yang digunakan diperoleh dari data teknis Gedung X. Nilai *specific heat capacity* (C_p) mengacu pada standar ASHRAE yang dapat dilihat pada Lampiran L-D001 – Lampiran L-D002 dan buku *Materials Science and Engineering* yang dapat dilihat pada Lampiran L-D003. Nilai *specific heat capacity* (C_p) pada material Gedung X diperlihatkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Nilai *Specific Heat Capacity* (C_p) pada Material Gedung X

No.	Jenis Material	<i>Specific Heat</i> (C_p)
		(J/kg.K)
1.	Bata ringan	841
2.	Acian	806
3.	Keramik	754
4.	Beton ringan	879
5.	Baja	468
6.	Gypsum	1090
7.	Phenolic	1760
8.	Beton	879
9.	Kayu lapis	2380
10.	Carpet	1360

(Sumber: Diolah kembali dari data Gedung X; ASHRAE, 2021; Callister dan Rethwisch, 2020)

b. Nilai densitas

Nilai densitas material juga diperlukan sebagai salah satu parameter penting dalam proses simulasi energi bangunan. Densitas material berfungsi untuk menggambarkan massa jenis suatu material. Beberapa data densitas dari suatu material telah tersedia secara *default* pada *software* DesignBuilder. Adapun beberapa data densitas material yang belum tersedia secara *default* dalam *software* DesignBuilder, sehingga perlu ditambahkan secara manual



berdasarkan sumber acuan yang relevan. Pada penelitian ini nilai densitas material yang digunakan mengacu pada SNI 6389:2011 yang dapat dilihat pada Lampiran L-D005 dan buku *Materials Science and Engineering* yang dapat dilihat pada Lampiran L-D004 sesuai dengan jenis material bangunan yang digunakan. Data mengenai jenis material yang digunakan untuk nilai densitas diperoleh dari data teknis Gedung X. Nilai densitas pada material proyek Gedung X diperlihatkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Nilai Densitas pada Material Proyek Gedung X

No.	Jenis Material	Nilai Densitas
		(kg/m ³)
1.	Bata ringan	1760
2.	Acian	1568
3.	Keramik	2640
4.	Beton ringan	960
5.	Baja	7840
6.	Gypsum	880
7.	Phenolic	1280
8.	Beton	2400
9.	Kayu lapis	528
10.	Carpet	32

(Sumber: Diolah kembali dari data Gedung X; SNI 6389:2011; Callister dan Rethwisch, 2020)

c. Nilai *conductivity* (k)

Selain *specific heat capacity* dan densitas material, nilai *conductivity* juga diperlukan sebagai salah satu parameter dalam proses simulasi energi bangunan dengan *software* DesignBuilder. Beberapa data *conductivity* dari suatu material telah tersedia secara *default* pada DesignBuilder. Adapun beberapa data *conductivity* yang belum tersedia secara *default* pada *software* DesignBuilder, sehingga perlu ditambahkan secara manual berdasarkan sumber acuan yang relevan. Pada penelitian ini nilai *conductivity* material yang digunakan mengacu pada SNI 6389:2011 yang dapat dilihat pada



Lampiran L-D005 dan buku *Materials Science and Engineering* yang dapat dilihat pada Lampiran L-D003. Data mengenai jenis material yang digunakan untuk nilai densitas diperoleh dari data teknis Gedung X. Nilai *conductivity* pada material proyek Gedung X diperlihatkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Nilai *Conductivity* pada Material Proyek Gedung X

No.	Jenis Material	Nilai k (<i>Conductivity</i>)
		(W/m.k)
1.	Bata ringan	0,807
2.	Acian	0,533
3.	Keramik	1,298
4.	Beton ringan	0,303
5.	Baja	47,6
6.	Gypsum	0,17
7.	Phenolic	0,15
8.	Beton	1,448
9.	Kayu lapis	0,148
10.	Carpet	0,035
11.	Granit	2,927

(Sumber: Diolah kembali dari data Gedung X; SNI 6389:2011; Callister dan Rethwisch, 2020)

d. Nilai absorptansi panas

Parameter lain yang juga diperlukan dalam proses simulasi yaitu nilai absorptansi panas dari material terluar bangunan. Absorptansi panas merupakan kemampuan suatu material permukaan dalam menyerap radiasi matahari. Material terluar yang dimaksud adalah lapisan cat dinding luar bangunan. Nilai absorptansi panas untuk beberapa material sudah tersedia secara *default* pada *software* DesignBuilder, namun terdapat beberapa material yang belum tersedia secara *default* sehingga perlu dilakukan *input* manual. Salah satu material yang perlu dilakukan *input* secara manual adalah cat dinding yang disesuaikan dengan spesifikasi pada Gedung X. Nilai absorptansi panas cat dinding mengacu pada data standar sesuai SNI



6389:2011 yang dapat dilihat pada Lampiran L-D006. Pada Gedung X, lapisan cat dinding terluar bangunan berwarna soya milk atau putih, sehingga nilai absorptansi panas yang digunakan adalah 0,210.

e. *Lighting Power Density (LPD)*

Lighting power density atau ukuran daya listrik pada lampu juga diperlukan sebagai salah satu parameter simulasi. Nilai daya listrik pada lampu yang digunakan dalam simulasi harus sesuai dengan perencanaan sistem pencahayaan bangunan. *Lighting power density* dinyatakan dalam watt per meter persegi (W/m^2) atau watt per kaki persegi (W/ft^2). Standar daya maksimum pada pencahayaan sudah diatur dalam SNI 6197:2011. Data *lighting power density* diperoleh dari data teknis Gedung X yang dapat dilihat pada Lampiran L-C001 – Lampiran L-C002. Perencanaan *lighting power density* pada Gedung X diperlihatkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Perencanaan *Lighting Power Density* pada Gedung X

No.	Nama Ruang	<i>Lighting Power Density</i> (W/m^2)	No.	Nama Ruang	<i>Lighting Power Density</i> (W/m^2)
1.	Ruang Skill Lab 1	3,45	14.	Ruang Tutorial 1	7,12
2.	Ruang Skill Lab 2	3,91	15.	Ruang Tutorial 2	8,08
3.	Ruang Skill Lab 3	3,60	16.	Ruang Tutorial 3	7,44
4.	Ruang Skill Lab 4	3,60	17.	Ruang Tutorial 4	7,44
5.	Ruang Skill Lab 5	3,91	18.	Ruang Tutorial 5	8,08
6.	Ruang Skill Lab 6	3,91	19.	Ruang Tutorial 6	8,08
7.	Ruang Skill Lab 7	3,91	20.	Ruang Tutorial 7	8,08
8.	Ruang Skill Lab 8	3,91	21.	Ruang Tutorial 8	8,08
9.	Ruang Skill Lab 9	3,91	22.	Ruang Tutorial 9	8,08
10.	Ruang Skill Lab 10	3,91	23.	Ruang Tutorial 10	8,08
11.	Ruang Skill Lab 11	3,91	24.	Ruang Tutorial 11	8,08
12.	Ruang Skill Lab 12	3,91	25.	Ruang Tutorial 12	8,08
13.	Ruang Skill Lab 13	3,91	26.	Ruang Tutorial 13	8,08

Tabel 4.11 Perencanaan *Lighting Power Density* pada Gedung X (Lanjutan)

No.	Nama Ruang	Lighting Power Density	No.	Nama Ruang	Lighting Power Density
		(W/m ²)			(W/m ²)
27.	Ruang <i>Skill</i> Lab 14	3,45	44.	Ruang <i>Tutorial</i> 14	7,12
28.	Ruang Admin <i>Skill</i> Lab	8,00	45.	Ruang Admin <i>Skill</i> Lab	8,00
29.	Ruang <i>Skill</i> Lab 15	4,22	46.	Ruang <i>Tutorial</i> 15	8,71
30.	Ruang <i>Skill</i> Lab 16	4,22	47.	Ruang <i>Tutorial</i> 16	8,71
31.	Ruang <i>Skill</i> Lab 17	4,01	48.	Ruang <i>Tutorial</i> 17	8,27
32.	Ruang <i>Skill</i> Lab 18	4,58	49.	Ruang <i>Tutorial</i> 18	9,47
33.	Ruang <i>Skill</i> Lab 19	4,58	50.	Ruang <i>Tutorial</i> 19	9,37
34.	Ruang <i>Skill</i> Lab 20	4,58	51.	Ruang <i>Tutorial</i> 20	7,67
35.	Ruang Penyimpanan	2,25	52.	Ruang Penyimpanan	2,25
36.	Koridor Lantai 3	6,92	53.	Koridor Lantai 4	6,92
37.	Toilet Lantai 3	4,57	54.	Toilet Lantai 4	4,57
38.	<i>Lobby Lift</i> Utama	2,31	55.	<i>Lobby Lift</i> Utama	2,31
39.	<i>Lobby Lift</i> Kedua	3,04	56.	<i>Lobby Lift</i> Kedua	3,04
40.	Ruang Panel	3,28	57.	Ruang Panel	3,28
41.	Tangga Utama	1,29	58.	Tangga Utama	1,29
42.	Tangga Pertama	1,47	59.	Tangga Pertama	1,47
43.	Tangga Kedua	1,41	60.	Tangga Kedua	1,41

(Sumber: Diolah kembali dari data Gedung X)

f. Nilai CoP

Nilai *Coefficient of Performance* (CoP) juga diperlukan sebagai salah satu parameter pada sistem HVAC. Input nilai CoP diperlukan agar hasil simulasi konsumsi energi pada bangunan dapat mencerminkan kondisi operasional sesuai spesifikasi peralatan yang direncanakan. Acuan standar nilai minimum CoP diatur dalam SNI 6390:2011. Nilai CoP pada penelitian ini diperoleh dari data teknis Gedung X yang dapat dilihat pada Lampiran L-C003. Nilai CoP pada sistem pendingin Gedung X diperlihatkan pada Tabel 4.12.



Tabel 4.12 Nilai CoP pada Sistem Pendingin Gedung X

No.	Nama Ruang	Nilai CoP	No.	Nama Ruang	Nilai CoP
1.	Ruang <i>Skill</i> Lab 1	3,45	23.	Ruang <i>Tutorial</i> 1	7,12
2.	Ruang <i>Skill</i> Lab 2	3,91	24.	Ruang <i>Tutorial</i> 2	8,08
3.	Ruang <i>Skill</i> Lab 3	3,60	25.	Ruang <i>Tutorial</i> 3	7,44
4.	Ruang <i>Skill</i> Lab 4	3,60	26.	Ruang <i>Tutorial</i> 4	7,44
5.	Ruang <i>Skill</i> Lab 5	3,91	27.	Ruang <i>Tutorial</i> 5	8,08
6.	Ruang <i>Skill</i> Lab 6	3,91	28.	Ruang <i>Tutorial</i> 6	8,08
7.	Ruang <i>Skill</i> Lab 7	3,91	29.	Ruang <i>Tutorial</i> 7	8,08
8.	Ruang <i>Skill</i> Lab 8	3,91	30.	Ruang <i>Tutorial</i> 8	8,08
9.	Ruang <i>Skill</i> Lab 9	3,91	31.	Ruang <i>Tutorial</i> 9	8,08
10.	Ruang <i>Skill</i> Lab 10	3,91	32.	Ruang <i>Tutorial</i> 10	8,08
11.	Ruang <i>Skill</i> Lab 11	3,91	33.	Ruang <i>Tutorial</i> 11	8,08
12.	Ruang <i>Skill</i> Lab 12	3,91	34.	Ruang <i>Tutorial</i> 12	8,08
13.	Ruang <i>Skill</i> Lab 13	3,91	35.	Ruang <i>Tutorial</i> 13	8,08
14.	Ruang <i>Skill</i> Lab 14	3,45	36.	Ruang <i>Tutorial</i> 14	7,12
15.	Ruang Admin <i>Skill</i> Lab	8,00	37.	Ruang Admin <i>Skill</i> Lab	8,00
16.	Ruang <i>Skill</i> Lab 15	4,22	38.	Ruang <i>Tutorial</i> 15	8,71
17.	Ruang <i>Skill</i> Lab 16	4,22	39.	Ruang <i>Tutorial</i> 16	8,71
18.	Ruang <i>Skill</i> Lab 17	4,01	40.	Ruang <i>Tutorial</i> 17	8,27
19.	Ruang <i>Skill</i> Lab 18	4,58	41.	Ruang <i>Tutorial</i> 18	9,47
20.	Ruang <i>Skill</i> Lab 19	4,58	42.	Ruang <i>Tutorial</i> 19	9,37
21.	Ruang <i>Skill</i> Lab 20	4,58	43.	Ruang <i>Tutorial</i> 20	7,67
22.	Ruang Penyimpanan	7,12	44.	Ruang Penyimpanan	2,25

(Sumber: Diolah kembali dari data Gedung X)

Setelah proses pertama pada tahap kedua selesai, maka dapat dilanjutkan dengan proses kedua. Proses kedua pada tahap kedua merupakan simulasi. Pada proses kedua ini, model Gedung X yang telah siap disimulasi selanjutnya akan diproses melalui *run simulation* untuk menghasilkan informasi mengenai bangunan.



Sebelum melakukan *run simulation*, ada beberapa langkah awal yang harus dilakukan. Langkah ini merupakan *setting* simulasi yang bertujuan agar hasil yang diperoleh sesuai dengan kebutuhan. *Setting* simulasi yang dilakukan berhubungan dengan hasil *output* yang ingin dihasilkan dari proses simulasi. Penetapan hasil *output* merupakan langkah penting untuk memastikan data yang dihasilkan relevan dengan kebutuhan analisis. Adapun alur simulasi pada DesignBuilder dapat dilihat pada Gambar 3.65 hingga Gambar 3.71. Tahapan untuk melakukan simulasi dengan menggunakan *software* DesignBuilder telah dijelaskan secara lengkap pada Subbab 3.5.3. Secara garis besar alur dalam melakukan simulasi pada DesignBuilder adalah sebagai berikut:

1. *Setting* simulasi

Setting dilakukan dengan memilih hasil *output* sesuai dengan kebutuhan. Adapun langkah dalam melakukan *setting* simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.65 hingga Gambar 3.69.

2. *Run simulation*

Setelah *setting* simulasi selesai dilakukan, maka dapat dilanjutkan dengan *run simulation* untuk mendapatkan hasil *output*. Hasil *output* dari *run simulation* dapat berupa tabel maupun visualisasi. Adapun hasil *output* berupa tabel dapat dilihat pada Gambar 3.70 sedangkan hasil *output* berupa visualisasi dapat dilihat pada Gambar 3.71.

Hasil *output* yang diperoleh dari alur proses simulasi menggunakan *software* DesignBuilder merupakan hasil dari perhitungan dan pemodelan yang dilakukan oleh DesignBuilder. *Output* simulasi yang dihasilkan dapat berupa tabel maupun visualisasi secara grafis. Selanjutnya, hasil *output* simulasi ini akan digunakan sebagai dasar untuk tahap ketiga.

Tahap ketiga merupakan identifikasi dukungan DesignBuilder terhadap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Proses identifikasi ini dilakukan berdasarkan hasil *output* yang dapat diberikan oleh DesignBuilder terhadap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Adapun tahap ketiga pengolahan data pada DesignBuilder dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Tahap Ketiga Pengolahan Data Pada DesignBuilder

Pada Gambar 4.18 memperlihatkan bahwa tahap ketiga dilakukan berdasarkan hasil *output* simulasi DesignBuilder untuk mendapatkan hasil dukungan dari DesignBuilder. Proses pada tahap ketiga adalah identifikasi dukungan DesignBuilder terhadap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Adapun tahapan dari proses identifikasi dukungan DesignBuilder diperlihatkan pada Gambar 3.72.

Proses identifikasi dukungan DesignBuilder diawali dengan meninjau hasil *output* simulasi dari DesignBuilder. Setelah meninjau hasil *output* simulasi DesignBuilder, maka hasil *output* simulasi akan ditinjau terhadap kriteria penilaian yang ada pada kategori EEC dan WAC untuk menentukan dukungan DesignBuilder terhadap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Adapun penjelasan dari alur proses identifikasi dukungan DesignBuilder sebagai berikut:

1. Meninjau hasil *output* simulasi DesignBuilder

Proses identifikasi dapat dilakukan dengan meninjau hasil *output* simulasi DesignBuilder terlebih dahulu. Hasil *output* perlu ditinjau untuk memahami data dan informasi yang dihasilkan dari simulasi DesignBuilder.

2. Meninjau hasil *output* simulasi DesignBuilder terhadap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC

Setelah meninjau hasil *output* simulasi DesignBuilder, maka dapat diketahui hasil *output* yang memiliki potensi untuk mendukung kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Potensi dukungan yang dimaksud adalah ketersediaan data yang dapat diberikan untuk setiap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Adapun kebutuhan data pada setiap kriteria penilaian pada kategori EEC dapat dilihat pada Tabel 4.1. Kebutuhan data pada setiap kriteria penilaian pada kategori WAC dapat dilihat pada Tabel 4.2.



4.4.1 Hasil output software DesignBuilder

Proses simulasi pada *software* DesignBuilder menghasilkan data yang memuat berbagai informasi penting mengenai karakteristik dan performa dari gedung yang ditinjau. Data hasil simulasi tersebut mencakup informasi mengenai konsumsi energi, beban pendinginan, beban pemanasan, kondisi pencahayaan alami, hingga tingkat emisi karbon. Informasi yang dihasilkan dari proses simulasi pada dasarnya sangat luas dan mencakup berbagai aspek teknis. Oleh karena itu, dilakukan seleksi terhadap hasil *output* simulasi DesignBuilder yang disesuaikan dengan kebutuhan untuk analisis, sehingga tidak semua data hasil *output* simulasi digunakan dan diolah pada penelitian ini.

Pada penelitian ini, pemilihan hasil *output* DesignBuilder difokuskan pada informasi yang berkaitan dengan kategori penilaian yang ditinjau yaitu EEC dan WAC. Data yang memiliki keterkaitan dan dapat membantu dalam proses penilaian bangunan hijau pada kedua kategori tersebut akan digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisis. Adapun detail dari data yang digunakan dan diolah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Conditioned window-wall ratio*

Data hasil *output* simulasi DesignBuilder pertama yang diperlukan adalah *conditioned window-wall ratio*. Data *conditioned window-wall ratio* termasuk ke dalam *report output input verification and results summary* pada bagian *envelope*. Pada *report output input verification and results summary* terdapat beberapa hasil keluaran, namun yang digunakan hanya data *conditioned window-wall ratio* saja. Adapun data *conditioned window-wall ratio* dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Data *Conditioned Window-Wall Ratio*

	Total	North (315 to 45 deg)	East (45 to 135 deg)	South (135 to 225 deg)	West (225 to 315 deg)
Gross wall area (m ²)	1114,41	298,10	188,35	495,52	132,44
Above ground wall area (m ²)	1114,41	298,10	188,35	495,52	132,44

Tabel 4.13 Data *Conditioned Window-Wall Ratio* (Lanjutan)

	Total	North (315 to 45 deg)	East (45 to 135 deg)	South (135 to 225 deg)	West (225 to 315 deg)
Window opening area (m ²)	377,47	115,35	17,72	234,62	9,77
Gross window-wall ratio (%)	33,87	38,70	9,41	47,35	7,38
Above ground window-wall ratio (%)	33,87	38,70	9,41	47,35	7,38

Pada Tabel 4.13 diperlihatkan data perbandingan antara luas bukaan jendela terhadap luas seluruh luar dinding pada setiap orientasi bangunan. Data yang ditampilkan mencakup beberapa komponen penting seperti *gross wall area*, *above ground wall area*, *window opening area*, *gross window-wall ratio*, dan *above ground window-wall ratio*. Data dari tiap komponen tersebut disajikan ke dalam berbagai orientasi bangunan, seperti *north* (utara), *east* (timur), *south* (selatan), dan *west* (barat). Selain itu disajikan juga nilai total dari tiap komponen yang ada.

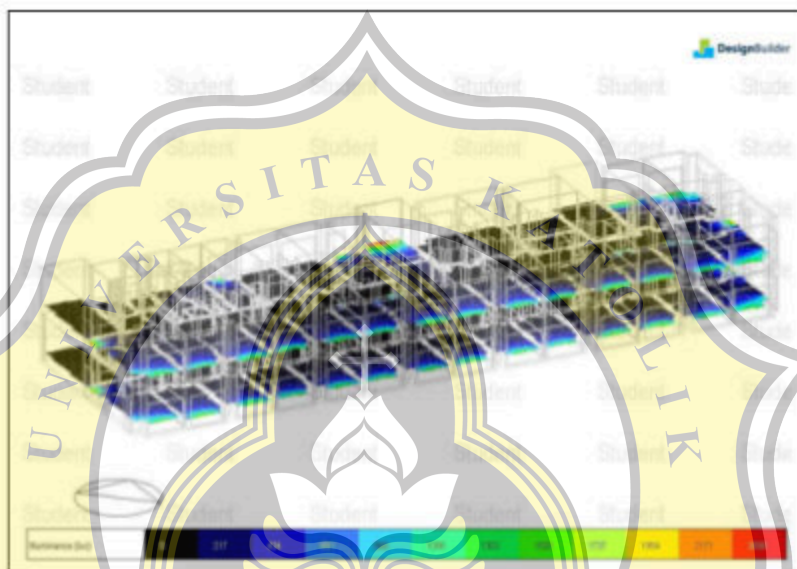
Komponen *gross wall area* merupakan luas dinding gedung secara keseluruhan, sedangkan komponen *above ground wall area* merupakan luas dinding dari gedung yang berada di atas permukaan tanah. Komponen *window opening area* merupakan luas bukaan jendela yang ada pada gedung. Adapun komponen *gross window-wall ratio* merupakan perbandingan luas bukaan jendela dengan luas dinding secara keseluruhan. Komponen *above ground window-wall ratio* merupakan perbandingan luas bukaan jendela dengan luas dinding yang berada di atas permukaan tanah. Detail dari data *conditioned window-wall ratio* dapat dilihat pada Lampiran L-E001.

2. Daylighting

Data hasil *output* simulasi DesignBuilder kedua yang diperlukan adalah data *daylighting*. Data *daylighting* merupakan simulasi pencahayaan alami pada gedung. Simulasi pencahayaan alami bertujuan untuk mengetahui tingkat intensitas pencahayaan alami (*illuminance*) yang masuk dan menyebar ke dalam



ruangan. Intensitas pencahayaan alami yang masuk dipengaruhi oleh bukaan, orientasi, dan kondisi sekitar gedung. Data *daylighting* pada *software* DesignBuilder ditampilkan ke dalam bentuk visual 3D dan tabel. Adapun visual 3D *daylighting* dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Visual 3D *Daylighting*

Pada Gambar 4.19 memperlihatkan visualisasi 3D dari distribusi pencahayaan alami yang masuk dan menyebar pada gedung. Visualisasi *daylighting* menampilkan sebaran nilai *illuminance* (intensitas pencahayaan alami) yang masuk dan tersebar pada lantai dalam bentuk warna. Setiap warna merepresentasikan tingkat intensitas cahaya yang masuk. Warna biru hingga biru gelap menunjukkan area dengan tingkat pencahayaan alami yang rendah, sedangkan warna hijau ke merah menunjukkan area dengan tingkat pencahayaan alami yang tinggi. Visualisasi *daylighting* dapat dilihat dan ditinjau pada setiap lantai. Detail dari visual 3D data *daylighting* dapat dilihat pada Lampiran L-E002 – Lampiran L-E003. Selain dalam bentuk visual 3D, DesignBuilder juga menyediakan data *daylighting* dalam bentuk tabel. Pada Tabel 4.14 diperlihatkan data *daylighting*.



Tabel 4.14 Data *Daylighting*

Block	Zone	Floor Area	Floor Area above Threshold	Floor Area above Threshold	Average Daylight Factor	Minimum Daylight Factor	Maximum Daylight Factor	Uniformity ratio	Uniformity ratio	Min Illuminance	Max Illuminance
		m ²	m ²	%	%	%	%	Min/Avg	Min/Max	lux	lux
Block 1	2-65 Tangga (kiri)	27,145	0,327	1,205	0,147	0,004	3,413	0,024	0,001	0,36	341,69
Block 1	2-66 Lift	7,968	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
Block 1	R277 RPanel	5,317	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
Block 1	R432 Koridor	195,497	10,867	5,559	0,638	0,003	23,347	0,004	0,000	0,28	2336,72
Block 1	2-71 Plumbing	1,761	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
Block 1	R305 Toilet Pria	10,464	0,000	0,000	0,535	0,011	1,393	0,020	0,008	1,09	139,48
Block 1	R289 Toilet Disabilitas	2,607	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
Block 1	R292 R Tutorial 11	23,215	10,136	43,662	3,214	0,250	16,735	0,078	0,015	24,98	1675,39
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...



Pada Tabel 4.14 diperlihatkan data *daylighting* secara numerik. Data *daylighting* didapatkan melalui perhitungan dengan *software* DesignBuilder berdasarkan bukaan, material bukaan, dan kondisi pencahayaan alami yang masuk ke gedung melalui proses simulasi. Kondisi sekitar gedung yang mempengaruhi pencahayaan alami juga memiliki pengaruh. Bukaan pada gedung mencakup jendela, kaca, dan ventilasi. Data *daylighting* yang disajikan dalam bentuk tabel menyediakan berbagai informasi mengenai tingkat pencahayaan alami. Setiap baris memperlihatkan informasi pada satu *zone* atau ruangan. Setiap kolom memperlihatkan parameter atau komponen dari pencahayaan alami seperti luas area, nilai *daylight factor*, dan intensitas cahaya alami dalam satuan lux pada satu ruangan.

Komponen *floor area* menunjukkan nilai dari luas lantai pada ruangan yang ditinjau, sedangkan komponen *floor area above threshold* menunjukkan nilai luas area yang mendapat pencahayaan alami di atas ambang batas tertentu. Ambang batas tertentu mengacu pada *default* dari DesignBuilder. Komponen *average daylight factor*, *minimum daylight factor*, dan *maximum daylight factor* menyatakan rasio antara nilai *illuminance* di dalam ruangan dengan nilai *illuminance* di luar ruangan yang diterima melalui bukaan dalam kondisi rata-rata, minimum, dan maksimum. Komponen *uniformity ratio* menilai keseragaman distribusi pencahayaan pada ruangan melalui perbandingan nilai *daylight factor*. Perbandingan tersebut mencakup perbandingan nilai minimum terhadap nilai rata-rata dan perbandingan nilai minimum terhadap nilai maksimum. Komponen *min illuminance* dan *max illuminance* menunjukkan nilai intensitas cahaya terendah dan tertinggi di dalam ruangan tersebut dalam satuan lux. Detail data *daylighting* dapat dilihat pada Lampiran L-E004 – Lampiran L-E005.

3. *Site and source energy*

Data hasil *output* simulasi DesignBuilder ketiga yang diperlukan adalah data *site and source energy*. Data *site and source energy* termasuk ke dalam *report Annual Building Utility Performance Summary (ABUPS)*. Data *site and source*



energy merupakan hasil dari perhitungan penggunaan energi tahunan pada gedung. Data *site and source energy* menunjukkan total konsumsi energi yang digunakan oleh gedung. Adapun dari data *site and source energy* dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Data *Site and Source Energy*

	Total energy (kWh)	Energy per total building area (kWh/m ²)	Energy per conditioned building area (kWh/m ²)
Total site energy	264.798,54	156,76	249,29
Net site energy	264.798,54	156,76	249,29
Total source energy	399.447,73	236,47	376,06
Net source energy	399.447,73	236,47	376,06

Pada Tabel 4.15 memperlihatkan informasi yang tercantum pada data *site and source energy*. Informasi ini mencakup total konsumsi energi pada gedung. Nilai total konsumsi energi pada gedung tersedia ke dalam dua tingkat yaitu tingkat *site* dan tingkat *source*. Konsumsi energi pada tingkat *site* adalah total keseluruhan konsumsi energi yang diperlukan oleh gedung untuk dapat beroperasi. Adapun konsumsi energi pada tingkat *source* adalah total konsumsi energi yang diperlukan dari sumber awal, proses penyaluran hingga akhirnya dapat digunakan pada gedung. Umumnya nilai total konsumsi energi pada tingkat *source* lebih besar jika dibandingkan dengan nilai total konsumsi energi pada tingkat *site*.

Pada data ini terdapat 4 komponen utama yaitu *total site energy*, *net site energy*, *total source energy*, dan *net source energy*. *Total site energy* merupakan total konsumsi energi yang langsung digunakan oleh gedung. *Net site energy* merupakan total konsumsi energi yang digunakan gedung setelah memperhitungkan kontribusi dari penggunaan sistem energi terbarukan pada gedung. *Total source energy* merupakan total konsumsi energi yang diperlukan gedung dengan memperhitungkan secara keseluruhan, dari sumber awal hingga energi tersebut akhirnya dapat digunakan oleh gedung. Adapun *net source*



energy merupakan total konsumsi energi dari sumber awal hingga akhirnya dapat digunakan gedung, namun memperhitungkan kontribusi dari penggunaan sistem energi terbarukan yang ada pada gedung. Umumnya nilai *net site energy* dan *net source energy* lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai *total site energy* dan *total source energy*.

Data dari setiap komponen tersedia ke dalam beberapa tingkat keluaran seperti *total energy*, *energy per total building area*, dan *energy per conditioned building area*. Komponen *Total energy* merupakan nilai total keseluruhan konsumsi energi tahunan pada gedung. Nilai ini menunjukkan besarnya total kebutuhan konsumsi energi yang diperlukan agar gedung dapat beroperasi dengan baik. *Total energy* dinyatakan dalam kWh. Komponen *energy per total building area* merupakan nilai konsumsi energi bangunan yang dihitung berdasarkan luas keseluruhan bangunan. Nilai *energy per total building area* dinyatakan dalam kWh/m². Umumnya nilai ini yang digunakan untuk mengetahui tingkat efisiensi energi pada gedung. Selanjutnya komponen *energy per conditioned building area* merupakan nilai konsumsi energi bangunan yang dihitung berdasarkan luas area atau ruangan yang dikondisikan. Area atau ruangan yang dikondisikan merupakan area atau ruangan yang memiliki sistem pengkondisian udara untuk mengatur suhu dan kelembaban pada daerah tersebut. Adapun contoh dari area atau ruangan yang dikondisikan adalah ruang kelas dengan sistem AC. Nilai *energy per conditioned building area* juga dinyatakan dalam kWh/m². Detail dari data *site and source energy* dapat dilihat pada Lampiran L-E006 – Lampiran L-E009.

4. *Opaque exterior*

Data hasil *output* simulasi DesignBuilder keempat yang diperlukan adalah data *opaque exterior*. Data *opaque exterior* termasuk ke dalam report *envelope summary*. Data *opaque exterior* menampilkan informasi mengenai elemen selubung bangunan yang bersifat masif atau tidak tembus cahaya, seperti dinding. Data ini umumnya digunakan untuk melakukan analisis *thermal* pada elemen selubung bangunan. Adapun dari data *opaque exterior* dapat dilihat pada Tabel 4.16.



Tabel 4.16 Data *Opaque Exterior*

	<i>Construction</i>	<i>Reflectance</i>	<i>U-Factor with film (W/m²-K)</i>	<i>U-Factor no film (W/m²-K)</i>	<i>Gross area (m²)</i>	<i>Net area (m²)</i>	<i>Azimuth (deg)</i>	<i>Tilt (deg)</i>	<i>Cardinal direction</i>
Block1:2X65TanggaXKiriX_Wall_3_0_0	SEW_FW-02	0,79	3,601	7,812	5,94	5,94	48,54	90,00	E
Block1:2X65TanggaXKiriX_Wall_4_0_0	SEW_FW-02	0,79	3,601	7,812	16,29	16,29	318,54	90,00	N
Block1:2X65TanggaXKiriX_Wall_5_0_0	SEW_FW-02	0,79	3,601	7,812	33,26	33,26	228,90	90,00	W
Block1:2X65TanggaXKiriX_Wall_7_0_0	SEW_FW-02	0,79	3,601	7,812	0,27	0,27	48,54	90,00	E
Block1:2X65TanggaXKiriX_Roof_1_0_0	SEC_B1 (GF)	0,12	0,466	0,498	0,05	0,05	138,54	0,00	
Block1:2X65TanggaXKiriX_Roof_1_0_1	SEC_B1 (GF)	0,12	0,466	0,498	10,90	10,90	138,54	0,00	
Block1:2X65TanggaXKiriX_Roof_1_0_2	SEC_B1 (GF)	0,12	0,466	0,498	12,71	12,71	138,54	0,00	
Block1:2X65TanggaXKiriX_Roof_1_0_3	SEC_B1 (GF)	0,12	0,466	0,498	5,49	5,49	138,54	0,00	N
Block1:2X66Lift_Wall_4_0_0	SEW_FW-09	0,79	3,470	7,223	10,23	10,23	318,54	90,00	E
Block1:2X66Lift_Wall_9_0_0	SEW_FW-09	0,79	3,470	7,223	0,53	0,53	48,54	90,00	W
Block1:2X66Lift_Wall_11_0_0	SEW_FW-09	0,79	3,470	7,223	0,52	0,52	228,54	90,00	
Block1:2X66Lift_Roof_1_0_0	SEC_Plumbing	0,30	3,956	8,667	0,06	0,06	138,54	0,00	
Block1:2X66Lift_Roof_1_0_1	SEC_Plumbing	0,30	3,956	8,667	2,59	2,59	138,54	0,00	
Block1:2X66Lift_Roof_1_0_2	SEC_Plumbing	0,30	3,956	8,667	6,79	6,79	138,54	0,00	W
Block1:R277RPanel_Roof_1_0_0	SEC_B1 (GF)	0,12	0,466	0,498	6,03	6,03	138,54	0,00	W
Block1:R432Koridor_Wall_8_0_0	EW_FW-05	0,79	2,067	2,993	0,27	0,27	228,54	90,00	E
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...



Pada Tabel 4.16 memperlihatkan data dari *opaque exterior* yang menampilkan Informasi mengenai karakteristik fisik dan *thermal* pada setiap elemen bangunan. Karakteristik fisik pada elemen bangunan yang dimaksudkan mengacu pada penempatan dan jenis material yang digunakan. Karakteristik termal pada elemen bangunan yang dimaksudkan mengacu pada kemampuan material dalam menghantarkan panas. Pada kolom pertama memuat informasi mengenai identitas, lokasi, dan sisi permukaan elemen pada gedung. Informasi ini berisi lantai yang dinyatakan dalam *block*, nama ruangan, dan jenis permukaan (dinding, atap, atau lantai). Selain itu pada kolom ini terdapat kode identifikasi material yang digunakan DesignBuilder untuk membedakan setiap permukaan yang ada pada tiap elemen gedung. Kode identifikasi ini dinyatakan dalam bentuk angka.

Pada kolom *construction* menunjukkan jenis konstruksi (*construction template*) dari elemen tersebut. Pada kolom *reflectance* menunjukkan tingkat pantulan permukaan elemen terhadap radiasi matahari. Pada kolom *U-factor with film* dan *U-factor no film* menunjukkan nilai perpindahan panas total dari elemen bangunan, dengan dan tanpa mempertimbangkan lapisan film udara. Pada kolom *gross area* menunjukkan luas total dari permukaan elemen, sedangkan *net area* menunjukkan luas bersih dari permukaan elemen tanpa memperhitungkan luas bukaan yang ada. Pada kolom *azimuth* menunjukkan orientasi permukaan elemen terhadap utara, sedangkan pada kolom *tilt* menunjukkan kemiringan elemen terhadap bidang *horizontal*. Pada kolom terakhir, *cardinal direction* menunjukkan arah mata angin yang menjadi orientasi utama elemen tersebut. Detail dari data ini dapat dilihat pada Lampiran L-E010 – Lampiran L-E043.

5. Exterior fenestration

Data hasil *output* simulasi DesignBuilder yang terakhir diperlukan adalah data *exterior fenestration*. Data *exterior fenestration* termasuk ke dalam *report envelope summary*. Data *exterior fenestration* menampilkan informasi mengenai elemen gedung yang tidak bersifat masif, seperti kaca dan jendela. Adapun dari data *exterior fenestration* dapat dilihat pada Tabel 4.17.



Tabel 4.17 Data *Exterior Fenestration*

	<i>Construction</i>	<i>Glass area (m²)</i>	<i>Frame area (m²)</i>	<i>Divider area (m²)</i>	<i>Area of one opening (m²)</i>	<i>Area of multiplied openings (m²)</i>	<i>Glass U-Factor (W/m²-K)</i>	<i>Glass SHGC</i>	<i>Glass Visible Transmittance</i>
Block1:R432Koridor_Wall_11_0_0_0_0_0_Win	Kaca 6 MM - 1001	3,66	0,33	0,08	4,07	4,07	2,908	0,726	0,796
Block1:R432Koridor_Wall_78_0_0_0_0_0_Win	Kaca 6 MM - 1001	3,66	0,33	0,08	4,07	4,07	2,908	0,726	0,796
Block1:R305Toilet Pria_Wall_7_0_0_0_0_0_Win	Kaca 6 MM - 1001	0,93	0,18	0,04	1,15	1,15	2,908	0,726	0,796
Block1:R292RTutorial11_Wall_7_0_0_0_0_0_Win	Kaca 6 MM - 1001	7,95	0,46	0,11	8,52	8,52	2,908	0,726	0,796
Block1:R284RTutorial10_Wall_11_0_0_0_0_0_Win	Kaca 6 MM - 1001	7,97	0,46	0,11	8,54	8,54	2,908	0,726	0,796
Block1:R285RTutorial09_Wall_2_0_0_0_0_0_Win	Kaca 6 MM - 1001	7,77	0,46	0,11	8,34	8,34	2,908	0,726	0,796
Block1:R293RTutorial12_Wall_11_0_0_0_0_0_Win	Kaca 6 MM - 1001	7,97	0,46	0,11	8,54	8,54	2,908	0,726	0,796
Block1:R282RTutorial13_Wall_9_0_0_0_0_0_Win	Kaca 6 MM - 1001	7,69	0,45	0,11	8,25	8,25	2,908	0,726	0,796
Block1:R287RTutorial14_Wall_6_0_0_0_0_1_Win	Kaca 6 MM - 1001	1,47	0,23	0,06	1,76	1,76	2,908	0,726	0,796
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...



Pada Tabel 4.17 memperlihatkan dari data *exterior fenestration* yang mencakup informasi mengenai karakteristik *thermal* dari elemen gedung yang tidak bersifat masif atau tembus cahaya seperti kaca atau jendela. Informasi yang tercantum dalam data ini dapat digunakan untuk melakukan analisis performa selubung bangunan, khususnya perpindahan panas dan transmisi cahaya yang terjadi pada gedung. Pada kolom pertama memuat informasi mengenai identitas, lokasi, dan sisi permukaan yang memiliki elemen kaca atau jendela. Informasi ini mencakup lantai yang dinyatakan dalam *block*, nama ruangan, dan jenis permukaan yang memiliki elemen kaca atau jendela. Selain itu pada kolom ini terdapat kode identifikasi material yang digunakan DesignBuilder untuk membedakan setiap permukaan yang memiliki elemen kaca atau jendela pada gedung. Kode identifikasi ini dinyatakan dalam bentuk angka.

Pada kolom *construction* menunjukkan jenis material yang digunakan pada elemen. Pada kolom *glass area* dan *frame area* menunjukkan luas dari bidang kaca dan luas dari rangka pada elemen jendela. Pada kolom *divider area* menunjukkan luas komponen pembagi antar bidang kaca. Pada kolom *area of one opening* dan *area of multiplied openings* menunjukkan luas bukaan tunggal dan total luas bukaan yang ada pada elemen kaca. Pada kolom *glass U-factor* menunjukkan laju perpindahan panas dari udara pada satu sisi material ke udara pada sisi lainnya melalui elemen kaca. Pada kolom *glass Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)* menunjukkan kemampuan kaca dalam mentransmisikan panas matahari. Pada kolom *glass visible transmittance* menunjukkan proporsi cahaya tampak yang dapat menembus kaca. Data yang ditampilkan pada Tabel 4.17 hanya sebagian saja. Detail data *exterior fenestration* dapat dilihat pada Lampiran L-E044 – Lampiran L-E058.

4.4.2 Pemetaan hasil *output* terhadap kriteria penilaian

Berdasarkan hasil pengolahan data dari DesignBuilder, maka dapat dilakukan pemetaan hasil *output* terhadap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Pemetaan dilakukan untuk mengidentifikasi kriteria penilaian pada kategori EEC



dan WAC yang dapat didukung oleh DesignBuilder. Setiap hasil *output* simulasi DesignBuilder ditinjau dengan kebutuhan data pada masing-masing kriteria penilaian, sehingga dapat diketahui kriteria penilaian yang dapat didukung oleh DesignBuilder.

Penyusunan pemetaan ini dilakukan untuk mempermudah proses analisis pada tahap selanjutnya. Pemetaan akan disajikan dalam bentuk tabel untuk mempermudah dalam melihat dukungan DesignBuilder terhadap kriteria penilaian. Tabel pemetaan akan dipisahkan berdasarkan kategori penilaian yang ditinjau yaitu EEC dan WAC. Adapun detail pemetaan berdasarkan kategori penilaian sebagai berikut:

1. *Energy Efficiency and Conservation (EEC)*

Hasil *output* simulasi DesignBuilder akan disesuaikan untuk menentukan kriteria pada kategori EEC yang dapat didukung oleh DesignBuilder. Kategori EEC memiliki 7 kriteria yang wajib dipenuhi. Detail penjelasan mengenai hasil *output* simulasi DesignBuilder diperlihatkan pada Subbab 4.4.1. Detail penjelasan mengenai tiap kriteria dapat dilihat pada Subbab 4.2.1. Adapun penjelasan dukungan hasil *output* simulasi DesignBuilder terhadap kriteria EEC sebagai berikut:

a. *Conditioned window-wall ratio*

Data *conditioned window-wall ratio* merupakan hasil perbandingan luas bukaan jendela dengan luas dinding pada setiap orientasi bangunan. Informasi ini dapat digunakan untuk membantu kriteria penilaian EEC P2. Kriteria EEC P2 berfokus pada perhitungan OTTV yang memerlukan berbagai data yang salah satunya adalah data *Window to Wall Ratio (WWR)*. Nilai WWR dapat disediakan oleh DesignBuilder melalui data *conditioned window-wall ratio*. Adapun komponen dari data *conditioned window-wall ratio* yang dapat digunakan adalah *gross Window to Wall Ratio (WWR)* yang merupakan perbandingan luas bukaan jendela dengan luas dinding secara keseluruhan.

b. *Daylighting*

Data *daylighting* merupakan simulasi pencahayaan alami untuk mengetahui



intensitas cahaya alami yang masuk ke gedung. Informasi ini dapat digunakan untuk membantu penilaian kriteria EEC 2. Kriteria EEC 2 berfokus pada penggunaan cahaya alami pada gedung dengan meninjau intensitas cahaya alami yang masuk ke dalam bangunan. DesignBuilder dapat menyediakan data tersebut melalui data *daylighting* pada komponen *floor area above threshold* dan *max illuminance*.

c. *Site and source energy*

Data *site and source energy* mencakup informasi konsumsi energi yang diperlukan oleh gedung. Data ini dapat mendukung kriteria penilaian EEC 1 dan EEC 4. Kriteria EEC 1 berfokus pada penghematan konsumsi energi pada bangunan, sedangkan kriteria EEC 4 berfokus pada pengurangan konsumsi energi untuk mengurangi emisi CO₂. Kedua kriteria ini memerlukan data konsumsi energi gedung yang dapat disediakan secara langsung oleh DesignBuilder melalui data *site and source energy*. Adapun komponen dari data *site and source energy* yang dapat digunakan adalah *energy total per building area*.

d. *Opaque exterior*

Data *opaque exterior* mencakup segala informasi mengenai elemen bangunan yang bersifat masif. Data ini dapat mendukung kriteria penilaian EEC P2. Kriteria EEC P2 berfokus pada perhitungan OTTV yang memerlukan berbagai data yang mencakup nilai *u-value (u-factor)* dinding masif dan luas dinding masif. Kedua data ini dapat disediakan oleh DesignBuilder melalui data *opaque exterior*. Adapun komponen dari data *opaque exterior* yang dapat digunakan adalah *u-factor with film* dan *net area*.

e. *Exterior fenestration*

Data *exterior fenestration* mencakup segala informasi mengenai elemen bangunan yang bersifat tidak masif. Data ini dapat mendukung kriteria penilaian EEC P2. Kriteria EEC P2 berfokus pada perhitungan OTTV yang memerlukan berbagai data yang mencakup nilai *u-value (u-factor)* kaca, luas dinding kaca, dan SHGC. Ketiga data ini dapat disediakan oleh



DesignBuilder melalui data *exterior fenestration*. Adapun komponen dari data *exterior fenestration* yang dapat digunakan adalah *glass u-factor*, *glass area*, dan *glass SHGC*.

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka dapat disusun tabel pemetaan hasil *output* DesignBuilder pada kategori EEC. Adapun tabel pemetaan hasil *output* DesignBuilder pada kategori EEC dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Pemetaan Hasil *Output* DesignBuilder pada Kategori EEC

No.	Hasil <i>Output</i> DesignBuilder	Kriteria yang Dapat Didukung
1.	<i>Conditioned window-wall ratio</i>	EEC P2
2.	<i>Daylighting</i>	EEC 2
3.	<i>Site and source energy</i>	EEC 1 dan EEC 4
4.	<i>Opaque exterior</i>	EEC P2
5.	<i>Exterior fenestration</i>	EEC P2

2. *Water Conservation (WAC)*

Hasil *output* simulasi DesignBuilder akan disesuaikan untuk menentukan kriteria pada kategori WAC yang dapat didukung oleh DesignBuilder. Kategori WAC memiliki 8 kriteria penilaian. Detail penjelasan mengenai hasil *output* simulasi DesignBuilder diperlihatkan pada Subbab 4.4.1. Detail penjelasan mengenai tiap kriteria dapat dilihat pada Subbab 4.2.2. Berdasarkan kebutuhan data pada tiap kriteria dan hasil *output* simulasi DesignBuilder, tidak ada kriteria penilaian pada kategori WAC yang dapat didukung oleh DesignBuilder.

Kategori WAC berfokus pada aspek air seperti penggunaan dan efisiensi fitur air hingga penyediaan sistem daur ulang. Hal ini menyebabkan data yang diperlukan pada kategori air berfokus pada data yang berkaitan dengan sistem *plumbing* dan lansekap. Hasil *output* DesignBuilder lebih berfokus pada analisis performa bangunan yang berkaitan dengan energi, termal, pencahayaan hingga kondisi selubung bangunan, sehingga DesignBuilder tidak dapat memberikan dukungan untuk setiap kriteria penilaian pada kategori WAC.



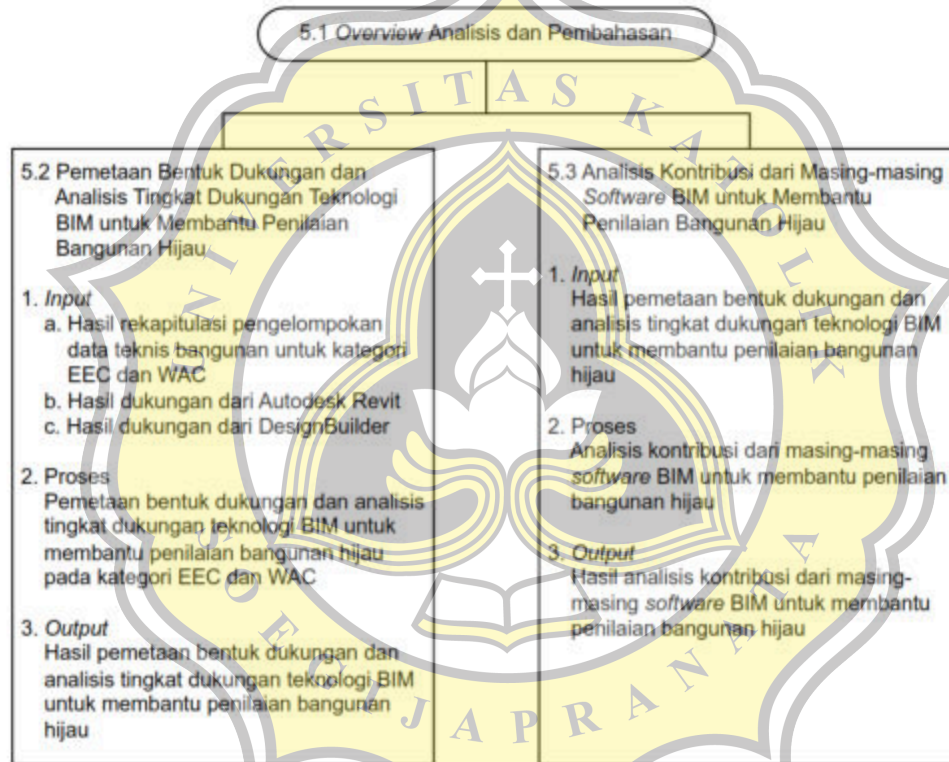
BAB 5

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Overview Analisis dan Pembahasan

Pada bab ini terdapat *overview* yang berfungsi untuk memberikan gambaran umum mengenai ruang lingkup pembahasan pada Bab 5. *Overview* disusun dengan mengacu pada *Project Management Body of Knowledge (PMBOK)* yang diterbitkan oleh *Project Management Institute (PMI)*. Berdasarkan panduan *PMBOK*, *overview* dalam bab ini menjelaskan mengenai cakupan kegiatan yang meliputi analisis dan pembahasan. Pada Bab ini menyajikan analisis dan pembahasan dari hasil simulasi dengan *software DesignBuilder* yang didukung oleh *Autodesk Revit* untuk membantu penilaian bangunan hijau. Analisis dan pembahasan disusun ke dalam dua bagian utama. Analisis dan pembahasan yang pertama yaitu bentuk dukungan dan tingkat dukungan teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau. Analisis dan pembahasan yang kedua yaitu kontribusi dari masing-masing *software BIM* untuk membantu penilaian bangunan hijau. Analisis dan pembahasan akan dilakukan berdasarkan kriteria pada dua kategori yaitu *Energy Efficiency and Conservation* dan *Water Conservation*.

Analisis dan pembahasan yang pertama yaitu bentuk dukungan dan tingkat dukungan teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau. Analisis ini memiliki tujuan untuk mengetahui bentuk dukungan dan tingkat dukungan teknologi BIM dalam menunjang proses penilaian bangunan hijau berdasarkan kriteria penilaian pada tiap kategori yang ditinjau. Analisis dan pembahasan akan difokuskan pada pemanfaatan data dari hasil simulasi *software DesignBuilder* dengan dukungan dari *Autodesk Revit* dan dokumen teknis untuk mendukung pemenuhan kriteria dalam penilaian bangunan hijau. Selanjutnya, dilakukan analisis kontribusi dari masing-masing *software BIM* untuk membantu penilaian bangunan hijau. Analisis kontribusi bertujuan untuk mengetahui kontribusi dari masing-masing *software BIM* untuk membantu penilaian bangunan hijau melalui simulasi *DesignBuilder* dan dukungan dari *Autodesk Revit*. *Overview* analisis dan pembahasan dapat dilihat pada Gambar 5.1.

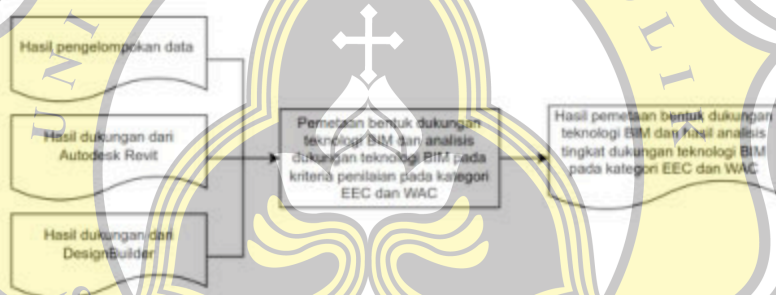


Gambar 5.1 Overview Analisis dan Pembahasan



5.2 Pemetaan Bentuk Dukungan dan Analisis Tingkat Dukungan Teknologi BIM untuk Membantu Penilaian Bangunan Hijau

Pemetaan bentuk dukungan dan analisis tingkat dukungan teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau dilakukan berdasarkan data yang telah diolah sebelumnya. Analisis ini diawali dengan proses pemetaan bentuk dukungan teknologi BIM terhadap setiap kriteria penilaian yang ada pada kategori EEC dan WAC. Informasi ini kemudian akan menjadi dasar untuk melakukan analisis tingkat dukungan teknologi BIM terhadap setiap kriteria penilaian yang ada pada kategori EEC dan WAC. Adapun proses pemetaan bentuk dukungan dan analisis tingkat dukungan teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Proses Pemetaan Bentuk Dukungan Dan Analisis Tingkat Dukungan Teknologi BIM Untuk Membantu Penilaian Bangunan Hijau

Berdasarkan proses yang diperlihatkan pada Gambar 5.2, adapun data yang diperlukan untuk melakukan pemetaan dan analisis adalah hasil pengelompokan data, hasil dukungan dari Autodesk Revit, dan hasil dukungan dari DesignBuilder. Berdasarkan data tersebut dilakukan pemetaan bentuk dukungan teknologi BIM pada setiap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Pemetaan bentuk dukungan teknologi BIM dilakukan berdasarkan kebutuhan data teknis pada setiap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC yang dapat didukung oleh Autodesk Revit dan DesignBuilder.

Kebutuhan data teknis akan ditinjau dengan hasil dukungan Autodesk Revit dan DesignBuilder untuk mengetahui kriteria penilaian yang dapat didukung oleh



teknologi BIM melalui Autodesk Revit dan DesignBuilder. Kebutuhan data teknis untuk setiap kriteria penilaian dapat dilihat pada Subbab 4.2. Hasil dukungan Autodesk Revit dapat dilihat pada Subbab 4.3.2, sedangkan hasil dukungan DesignBuilder dapat dilihat pada Subbab 4.4.2. Pemetaan bentuk dukungan teknologi BIM akan menghasilkan rekap bentuk dukungan teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau pada setiap kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Hasil rekap bentuk dukungan teknologi BIM menjadi dasar untuk melakukan analisis tingkat dukungan teknologi BIM pada kategori EEC dan WAC.

Tujuan dari analisis tingkat dukungan teknologi BIM yaitu tersusunnya hasil analisis tingkat dukungan teknologi BIM melalui pemanfaatan *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder dalam menunjang proses penilaian bangunan hijau pada kategori EEC dan WAC. Tingkat dukungan teknologi BIM dianalisis berdasarkan rekap analisis dukungan teknologi BIM yang telah dilakukan sebelumnya. Analisis tingkat dukungan teknologi BIM dilakukan pada setiap kriteria penilaian yang ada pada kategori EEC dan WAC. Hasil analisis tingkat dukungan teknologi BIM akan dikelompokkan ke dalam 4 kategori tingkat dukungan. Tingkat dukungan teknologi BIM dikategorikan berdasarkan data yang dapat didukung oleh BIM. Adapun penjelasan dari setiap kategori tingkat dukungan adalah sebagai berikut:

1. *High*

Tingkat dukungan *high* menunjukkan bahwa kriteria penilaian dapat didukung sepenuhnya oleh BIM. Pada kriteria dengan tingkat dukungan *high* menunjukkan bahwa data yang dibutuhkan untuk penilaian dapat diperoleh langsung dari BIM.

2. *Medium*

Tingkat dukungan *medium* menunjukkan bahwa kriteria penilaian dapat didukung sebagian oleh BIM. Pada kriteria dengan tingkat dukungan *medium* menunjukkan bahwa data yang dibutuhkan untuk penilaian dapat diperoleh sebagian dari BIM sedangkan data yang lainnya diperoleh dari dokumen teknis. Dukungan dari BIM yang diberikan juga dapat berupa visualisasi atau pemodelan.



3. *Conditional*

Tingkat dukungan *conditional* menunjukkan bahwa kriteria penilaian dapat didukung oleh BIM dengan kondisi khusus. Kondisi yang dimaksud yaitu keterbatasan lisensi *software* yang digunakan.

4. *None*

Tingkat dukungan *none* menunjukkan bahwa kriteria penilaian tidak dapat didukung oleh BIM. Pada kriteria dengan tingkat dukungan *none* menunjukkan bahwa data yang dibutuhkan untuk penilaian hanya diperoleh dari dokumen teknis.

5.2.1 Kategori *Energy Efficiency and Conservation (EEC)*

Analisis tingkat dukungan BIM untuk penilaian bangunan hijau pada kategori EEC dilakukan dengan meninjau kebutuhan data teknis dengan hasil dukungan Autodesk Revit dan DesignBuilder. Proses ini dilakukan pada setiap kriteria penilaian untuk mengetahui bentuk dukungan teknologi BIM yang dapat membantu penilaian pada kategori EEC berdasarkan sistem sertifikasi *Greenship* Bangunan Baru versi 1.2. Kategori EEC memiliki 7 kriteria yang meliputi 2 kriteria prasyarat, 4 kriteria kredit, dan 1 kriteria bonus. Kriteria prasyarat (P) wajib terpenuhi, sedangkan untuk kriteria kredit dan kriteria kredit menyesuaikan kondisi bangunan.

Bentuk dukungan yang diberikan oleh BIM dapat berupa dukungan langsung maupun dukungan tidak langsung. Bentuk dukungan langsung dapat berupa data dari hasil simulasi *software* yang dapat digunakan langsung memenuhi kebutuhan data penilaian bangunan hijau. Bentuk dukungan tidak langsung dapat berupa data hasil simulasi *software* atau visualisasi pemodelan dan dikombinasikan dengan data teknis lainnya. Kriteria penilaian yang tidak mendapatkan dukungan dari BIM akan mendapat dukungan dari dokumen teknis sesuai data yang sudah dikelompokkan pada Tabel 4.1. Penjelasan dukungan BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau pada setiap kriteria pada kategori EEC adalah sebagai berikut:

1. Kriteria EEC P1 (pemasangan submeter atau *electrical submetering*)

Kriteria EEC P1 berfokus pada adanya pemasangan kWh meter untuk mengukur



konsumsi listrik pada setiap kelompok beban yang meliputi sistem tata udara, sistem tata cahaya dan kotak kontak serta sistem beban lainnya. Autodesk Revit hanya dapat membantu memberikan visualisasi letak submeter pada bangunan apabila pada Autodesk Revit memiliki *family* untuk submeter. Pemasangan submeter dapat dilihat pada dokumen DED dan RKS. Dokumen DED yang dapat mendukung yaitu DED *wiring* dan *skedul* beban, sedangkan untuk RKS dapat menggunakan RKS MEP bagian *penerangan* dan *sumber daya listrik*.

2. Kriteria EEC P2 (perhitungan OTTV)

Kriteria EEC P2 berfokus pada perhitungan *Overall Thermal Transfer Value (OTTV)* berdasarkan SNI 6389:2011 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung. Pada kriteria ini beberapa data untuk perhitungan OTTV dapat disediakan oleh BIM melalui hasil simulasi DesignBuilder sedangkan untuk data lainnya di luar hasil BIM masih diperlukan dokumen teknis. Autodesk Revit dapat membantu dengan menyediakan model 3D dan orientasi untuk simulasi. Data yang dapat disediakan oleh BIM meliputi luasan dinding masif, luasan dinding kaca, *u-value* dinding masif, *u-value* dinding kaca, nilai *Window to Wall Ratio (WWR)* dan nilai *Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)*. Beberapa data yang dapat diperoleh melalui BIM yaitu:

a. Luas dinding masif

Luas dinding masif dapat diperoleh melalui data *opaque exterior* dari hasil simulasi dengan menggunakan DesignBuilder seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.16 dan Lampiran L-E010 - Lampiran L-E043. Data *opaque exterior* yang digunakan untuk luasan dinding masif yaitu *net area* (m²). Data *net area* dari *opaque exterior* diperlihatkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Data *Net Area* dari *Opaque Exterior*

No.	Nama Block	Nama Zona	Surface	Net Area (m ²)
1.	Block 1	Tangga kiri	Wall 3	5,94
2.	Block 1	Tangga kiri	Wall 4	16,29
3.	Block 1	Tangga kiri	Wall 5	33,26

Tabel 5.1 Data *Net Area* dari *Opaque Exterior* (Lanjutan)

No.	Nama Block	Nama Zona	Surface	Net Area (m ²)
4.	Block 1	Tangga kiri	Wall 7	0,27
5.	Block 1	Tangga kiri	Roof 1	0,05
6.	Block 1	Lift	Wall 4	10,23

(Sumber: Diolah kembali dari data hasil simulasi DesignBuilder)

Pada Tabel 5.1 diperlihatkan nilai *net area* yang digunakan untuk memperoleh nilai luasan dinding masif. Data *net area* dipisahkan berdasarkan letak dan permukaan. Nama *block* menunjukkan lantai atau tingkat bangunan. Nama zona menunjukkan nama ruangan, sedangkan *surface* menunjukkan permukaan atau sisi dinding yang ditinjau. Nilai *net area* menunjukkan luasan dinding masif untuk setiap sisi atau permukaan pada suatu ruangan.

b. Luas dinding kaca

Luas dinding kaca dapat diperoleh melalui data *exterior fenestration* dari hasil simulasi dengan menggunakan DesignBuilder seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.17 dan Lampiran L-E044 – Lampiran L-E058. Data *exterior fenestration* yang digunakan untuk luasan dinding kaca yaitu *glass area* (m²). Data *glass area* dari *exterior fenestration* diperlihatkan pada Tabel 5.2

Tabel 5.2 Data *Glass Area* dari *Exterior Fenestration*

No.	Nama Block	Nama Zona	Surface	Glass Area (m ²)
1.	Block 1	Koridor	Wall 11	3,66
2.	Block 1	Koridor	Wall 78	3,66
3.	Block 1	Toilet pria	Wall 7	0,93
4.	Block 1	Tutorial	Wall 7	7,95
5.	Block 1	Tutorial	Wall 11	7,97
6.	Block 1	Tutorial	Wall 6	1,47

(Sumber: Diolah kembali dari data hasil simulasi DesignBuilder)



Pada Tabel 5.2, nama *block* menunjukkan lantai atau tingkat bangunan. Nama zona menunjukkan nama ruangan, sedangkan *surface* menunjukkan permukaan atau sisi dinding yang ditinjau. Nilai *glass area* menunjukkan luasan dinding kaca untuk setiap sisi atau permukaan yang ada pada ruangan.

c. Nilai *Window to Wall Ratio (WWR)*

Nilai *Window to Wall Ratio (WWR)* untuk setiap orientasi dapat diperoleh melalui data *Conditioned Window-Wall Ratio* dari hasil simulasi DesignBuilder seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.13 dan Lampiran L-E001. Data yang digunakan untuk memperoleh nilai *Window to Wall Ratio* yaitu *gross window-wall ratio*. Nilai WWR dari data *Conditioned Window-Wall Ratio* diperlihatkan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Nilai WWR dari Data *Conditioned Window-Wall Ratio*

Orientasi	Gross Wall Area (m ²)	Window Opening Area (m ²)	Gross Window-Wall Ratio (%)
Utara (North)	298,10	115,35	38,70
Timur (East)	188,35	17,72	9,41
Selatan (South)	495,52	234,62	47,35
Barat (West)	132,44	9,77	7,38

(Sumber: Diolah kembali dari data hasil simulasi DesignBuilder)

Pada Tabel 5.3 diperlihatkan nilai *Window Wall to Ratio (WWR)* untuk setiap orientasi. *Gross wall area* memperlihatkan luasan dinding masif dan *window opening area* menunjukkan luas kaca untuk setiap orientasi. Orientasi yang diperlihatkan hanya orientasi Utara, Timur, Barat dan Selatan.

d. *U-value* dinding masif

Data *u-value* dinding masif dapat diperoleh melalui data *opaque exterior* dari hasil simulasi DesignBuilder seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.16 dan Lampiran L-E010 - Lampiran L-E043. Data *opaque exterior* yang digunakan untuk memperoleh data *u-value* dinding masif yaitu *u-factor* (W/m².K). Data *u-factor* dari *opaque exterior* diperlihatkan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Data *U-Factor* dari *Opaque Exterior*

No.	Nama Block	Nama Zona	Surface	U-factor ($W/m^2.K$)
1.	Block 1	Tangga kiri	Wall 3	3,601
2.	Block 1	Tangga kiri	Wall 4	3,601
3.	Block 1	Tangga kiri	Wall 5	3,601
4.	Block 1	Tangga kiri	Wall 7	3,601
5.	Block 1	Tangga kiri	Roof 2	0,466

(Sumber: Diolah kembali dari data hasil simulasi DesignBuilder)

Pada Tabel 5.4, nama *block* menunjukkan lantai atau tingkat bangunan. Nama zona menunjukkan nama ruangan, sedangkan *surface* menunjukkan sisi atau permukaan dinding yang ditinjau. Data *u-factor* menunjukkan nilai *u-value* untuk dinding masif.

e. *U-value* dinding transparan

Data *u-value* dinding transparan dapat diperoleh melalui data *exterior fenestration* dari hasil simulasi DesignBuilder seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.17 dan Lampiran L-E044 – Lampiran L-E058. Data *exterior fenestration* yang digunakan untuk memperoleh data *u-value* dinding transparan yaitu *glass u-factor* ($W/m^2.K$). Data *glass u-factor* dari *exterior fenestration* diperlihatkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 *U-value* Kaca Hasil Simulasi DesignBuilder

No.	Nama Block	Nama Zona	Surface	Glass U-factor ($W/m^2.K$)
1.	Block 1	Koridor	Wall 11	2,908
2.	Block 1	Koridor	Wall 78	2,908
3.	Block 1	Toilet pria	Wall 7	2,908
4.	Block 1	Tutorial	Wall 7	2,908
5.	Block 1	Tutorial	Wall 11	2,908

(Sumber: Diolah kembali dari data hasil simulasi DesignBuilder)



Pada Tabel 5.5, nama *block* menunjukkan lantai atau tingkat bangunan. Nama zona menunjukkan nama ruangan, sedangkan *surface* menunjukkan sisi atau permukaan dinding yang ditinjau. Data *glass u-factor* menunjukkan nilai *u-value* untuk dinding transparan (kaca).

f. *Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)*

Nilai SHGC digunakan untuk menunjang perhitungan *Solar Coefficient (SC)* pada perhitungan OTTV. Nilai SHGC suatu fenestrasi (bukaan pada selubung bangunan) dapat diperoleh melalui data *exterior fenestration* dari hasil simulasi DesignBuilder seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.17 dan Lampiran-L-E044 – Lampiran-L-E058. Data *exterior fenestration* yang digunakan untuk memperoleh nilai SHGC yaitu *glass SHGC*. Data *glass SHGC* dari *exterior fenestration* diperlihatkan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Data *Glass SHGC* dari *Exterior Fenestration*

No.	Nama <i>Block</i>	Nama Zona	<i>Surface</i>	<i>Glass SHGC</i>
1.	<i>Block 1</i>	Koridor	<i>Wall 11</i>	0,796
2.	<i>Block 1</i>	Koridor	<i>Wall 78</i>	0,796
3.	<i>Block 1</i>	Toilet pria	<i>Wall 7</i>	0,796
4.	<i>Block 1</i>	Tutorial	<i>Wall 7</i>	0,796
5.	<i>Block 1</i>	Tutorial	<i>Wall 11</i>	0,796

(Sumber: Diolah kembali dari data hasil simulasi DesignBuilder)

Pada Tabel 5.6, nama *block* menunjukkan lantai atau tingkat bangunan. Nama zona menunjukkan nama ruangan, sedangkan *surface* menunjukkan sisi atau permukaan dinding yang ditinjau. Data *glass SHGC* menunjukkan nilai SHGC yang akan digunakan.

3. Kriteria EEC 1 (langkah penghematan energi)

Kriteria EEC 1 merupakan kriteria yang berfokus pada penghematan energi pada bangunan yang tergantung pada konsumsi energi pada gedung. Pada kriteria EEC 1, hasil konsumsi energi dapat diperoleh melalui data *site and source energy* dari hasil simulasi DesignBuilder seperti yang diperlihatkan pada Tabel



4.15 atau lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran L-E006 – Lampiran L-E009. Data *site and source energy* yang digunakan adalah *energy per total building area* (kWh/m^2) untuk *total site energy* dan *net site energy*. Data *energy per total building area* dari *site and source energy* diperlihatkan pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Data *Energy Per Total Building Area* dari *Site and Source Energy*

Energi	Energy Per Total Building Area (kWh/m^2)
Total site energy	156,76
Net site energy	156,76

(Sumber: Diolah kembali dari data hasil simulasi DesignBuilder)

Tabel 5.7 memperlihatkan data konsumsi energi pada bangunan dari hasil simulasi DesignBuilder pada tingkat *site*. *Total site energy* menunjukkan besarnya energi yang digunakan bangunan per luas area total. *Net site energy* menunjukkan besarnya energi yang digunakan bangunan per luas area total yang memanfaatkan sumber energi terbarukan. Pada Tabel 5.7, *total site energy* dan *net site energy* memiliki nilai yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa pada simulasi DesignBuilder belum ada penambahan untuk pemanfaatan sumber energi terbarukan.

4. Kriteria EEC 2 (pencahayaan alami)

Kriteria EEC 2 merupakan kriteria yang memiliki tujuan untuk mendorong penggunaan pencahayaan alami pada gedung, sehingga dapat mengurangi konsumsi listrik. Data pencahayaan alami atau *daylighting* dapat didukung oleh BIM melalui *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder. Autodesk Revit dapat memberikan visualisasi pemodelan bukaan dan menentukan zona ruangan yang digunakan pada DesignBuilder untuk simulasi. DesignBuilder dapat memberikan hasil simulasi pencahayaan alami (*daylighting*) dalam bentuk data tabel dan visualisasi untuk intensitas pencahayaan alami. Hasil data *daylighting* dari simulasi diperlihatkan pada Tabel 4.14 dan Lampiran L-E004 – Lampiran L-E005, sedangkan untuk hasil visualisasi diperlihatkan pada Gambar 4.17 dan Lampiran L-E002 – Lampiran L-E003. Pada penilaian kriteria EEC 2, data yang



dihasilkan dari DesignBuilder tidak semua digunakan. Data yang dapat menunjang penilaian kriteria pencahayaan alami yaitu *floor area above threshold* dan *max illuminance*. Data *daylighting* dari hasil simulasi DesignBuilder diperlihatkan pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Data *Daylighting* Hasil Simulasi DesignBuilder

<i>Block</i>	<i>Zone</i>	<i>Floor Area Above Threshold (%)</i>	<i>Max Illuminance (lux)</i>
Block 2	Skill Lab 11	38,967	1598,26
Block 2	Skill Lab 10	38,679	1604,51
Block 2	Skill Lab 09	38,967	1609,78
Block 2	Skill Lab 12	38,679	1597,79
Block 2	Skill Lab 13	43,304	1834,23

(Sumber: Diolah kembali dari data hasil simulasi DesignBuilder)

Berdasarkan Tabel 5.8 dapat diketahui besarnya tingkat intensitas cahaya alami yang masuk pada setiap ruangan. *Floor area above threshold* menunjukkan persentase area pada sebuah ruangan yang sudah memenuhi standar minimum intensitas cahaya alami yang masuk pada ruangan. *Max illuminance* menunjukkan besarnya intensitas cahaya maksimal yang diterima oleh area pada sebuah ruangan. Sebagai bukti pendukung untuk penilaian kriteria, DesignBuilder dapat memberikan visualisasi untuk pencahayaan alami yang diperlihatkan pada Gambar 4.19 atau lebih jelas pada Lampiran L-E002 – Lampiran L-E003.

5. Kriteria EEC 3 (ventilasi)

Kriteria EEC 3 memiliki berfokus pada penggunaan ventilasi mekanik atau alami untuk area yang tidak dikondisikan (tidak menggunakan AC) seperti WC, tangga, koridor dan *lift*. Pada kriteria EEC 3, Autodesk Revit hanya dapat membantu untuk memberikan visualisasi penggunaan ventilasi. Gambar DED tampak, denah, rencana ventilasi dan perencanaan AC juga dapat mendukung untuk penilaian kriteria EEC 3.



6. Kriteria EEC 4 (pengaruh perubahan iklim)

Kriteria EEC 4 yaitu pengurangan emisi CO₂ yang diperoleh dari pengurangan konsumsi energi dengan melakukan konversi. Konversi energi ke CO₂ menggunakan faktor emisi *grid* yang sudah ditetapkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi. Data konsumsi energi dapat didukung oleh BIM dengan menggunakan *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder. Hasil konsumsi energi dapat diperoleh dari hasil simulasi DesignBuilder seperti yang diperlihatkan pada Tabel 5.7.

7. Kriteria EEC 5 (energi terbarukan dalam tapak)

Kriteria EEC 5 berfokus pada penggunaan energi terbarukan pada gedung yang dapat mengurangi penggunaan energi. Hasil konsumsi energi yang sudah memanfaatkan energi terbarukan dapat diperoleh dari hasil simulasi DesignBuilder seperti pada Tabel 5.7. *Net site energy* yang diperlihatkan pada Tabel 5.7 mengindikasikan hasil penggunaan energi setelah memanfaatkan sistem energi terbarukan. Nilai *total site energy* dan *net site energy* yang diperlihatkan pada Tabel 5.7 memiliki nilai yang sama. Hal ini dikarenakan pada penelitian ini tidak dilakukan pemodelan energi terbarukan untuk simulasi dengan DesignBuilder karena keterbatasan lisensi *software*. Keterbatasan ini telah dijelaskan sebelumnya pada Subbab 1.4 bagian Ruang Lingkup Penelitian. Meskipun tidak dapat dimodelkan dengan menggunakan BIM, pada kriteria EEC 5 dapat didukung oleh dokumen teknis seperti DED. Dokumen DED yang dapat mendukung adalah DED solar panel.

Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan pada setiap kriteria penilaian bangunan hijau kategori EEC, dapat dilakukan rekapitulasi dengan tabel. Tabel yang disajikan memperlihatkan hasil pemetaan bentuk dukungan yang dapat diberikan oleh teknologi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau melalui pemanfaatan *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder. Tabel yang disajikan juga memperlihatkan dokumen teknis yang dapat mendukung kriteria penilaian untuk kriteria yang membutuhkan data teknis lainnya. Rekapitulasi bentuk dukungan BIM untuk penilaian bangunan hijau pada kategori EEC diperlihatkan pada Tabel 5.9.



Tabel 5.9 Rekapitulasi Bentuk Dukungan BIM untuk Penilaian Bangunan Hijau pada Kategori EEC

Kriteria Penilaian Kategori EEC		Bentuk Dukungan BIM		Dokumen Teknis yang Mendukung	Lampiran
Kriteria	Keterangan	Autodesk Revit	DesignBuilder		
EEC P1	Pemasangan Submeter (<i>Electrical Sub Metering</i>)	Terdapat pemasangan submeter atau kWh meter pada setiap kelompok beban. Kelompok beban meliputi sistem tata udara, sistem tata cahaya dan kotak kontak serta sistem beban lainnya.	Membantu memberikan visualisasi pemasangan submeter apabila memiliki <i>family</i> untuk submeter.	DED wiring dan skedul beban, RKS penggunaan sub-meter.	L-A029 – L-A054, L-B027
EEC P2	Perhitungan OTTV (<i>Overall Thermal Transfer Value</i>)	Adanya perhitungan nilai OTTV (<i>Overall Thermal Transfer Value</i>) yang merupakan perpindahan panas yang masuk melalui dinding dan jendela.	Orientasi bangunan, pemodelan 3D bangunan.	Luas dinding masif, luas dinding kaca, <i>u-value</i> dinding masif, <i>u-value</i> dinding kaca, nilai WWR, nilai SHGC.	DED perencanaan dinding, SNI 6389:2011.
EEC 1	Langkah Penghematan Energi (<i>Energy Efficiency Measures</i>)	Adanya perhitungan konsumsi energi pada bangunan untuk mengetahui penghematan energi pada bangunan.	Pemodelan 3D bangunan	Konsumsi energi	L-E006 – L-E009
EEC 2	Pencahaya Alam (<i>Natural Lighting</i>)	Penggunaan pencahayaan alami untuk mengurangi konsumsi listrik. Pencahaya alam meninjau intensitas cahaya alami yang dapat masuk ke dalam ruangan pada bangunan	Pemodelan 3D bangunan, visualisasi pemodelan jendela, orientasi bangunan, zona ruangan	Persentase area yang memenuhi standar pencahayaan alami, intensitas cahaya alami minimal dan maksimal ruangan.	L-E002 – L-E005



Tabel 5.9 Rekapitulasi Bentuk Dukungan BIM untuk Penilaian Bangunan Hijau pada Kategori EEC (Lanjutan)

Kriteria Penilaian Kategori EEC			Bentuk Dukungan BIM		Dokumen Teknis yang Mendukung	Lampiran
Kriteria		Keterangan	Autodesk Revit	DesignBuilder		
EEC 3	Ventilasi (<i>Ventilation</i>)	Penggunaan ventilasi untuk mengurangi beban sistem pendingin. Meninjau ada atau tidaknya penggunaan AC pada area yang tidak diperlukan (tidak dikondisikan) dan penggunaan ventilasi mekanik atau alami untuk area yang tidak dikondisikan seperti WC, tangga, koridor dan <i>lift</i> .	Membantu visualisasi letak ventilasi	-	DED tampak, denah, rencana ventilasi, dan rencana instalasi AC	L-A001 – L-A012, L-A055, L-A057 – L-A062
EEC 4	Pengaruh Perubahan Iklim (<i>Climate Change Impact</i>)	Pengurangan konsumsi energi untuk mengurangi emisi CO ₂ dengan melakukan konversi energi ke CO ₂ . Konversi energi ke CO ₂ dilakukan berdasarkan faktor emisi grid yang sudah ditetapkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan.	Pemodelan 3D bangunan	Konsumsi energi	Faktor emisi <i>grid</i> untuk membantu konversi	L-D008 – L-D014
EEC 5	Energi Terbarukan Dalam Tapak (<i>On Site Renewable Energy</i>)	Penggunaan energi terbarukan pada gedung yang dapat mengurangi penggunaan energi. Energi terbarukan dapat bersumber dari angin maupun dari sinar matahari.	-	Konsumsi energi dapat dimodelkan jika memiliki lisensi untuk pemodelan energi terbarukan.	DED solar panel	L-A063



Tabel 5.9 memperlihatkan bentuk dukungan data yang dapat diberikan oleh BIM untuk menunjang penilaian bangunan hijau pada kategori EEC melalui *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder. Bentuk dukungan yang dapat diberikan oleh *software* Autodesk Revit sebagian besar hanya berupa pemodelan 3D atau visualisasi, sedangkan *software* DesignBuilder dapat memberikan dukungan beberapa data. Berdasarkan dukungan data yang diberikan oleh BIM, beberapa kriteria dapat didukung secara langsung oleh BIM karena data yang dibutuhkan untuk penilaian sudah tersedia langsung dari hasil simulasi. Pada kriteria lainnya, dukungan BIM bersifat tidak langsung karena data yang dapat diberikan oleh BIM masih harus dilengkapi dengan data tambahan di luar hasil BIM. Selain itu, ada beberapa kriteria memiliki kondisi khusus yang bergantung pada kemampuan *software* seperti adanya fitur yang memadai atau lisensi yang tidak terbatas.

Berdasarkan bentuk dukungan data yang diberikan oleh BIM untuk penilaian bangunan hijau, dapat diketahui tingkat dukungan dari BIM untuk penilaian bangunan hijau. Terdapat 4 kategori tingkat dukungan BIM yaitu *high*, *medium*, *conditional* dan *none*. Tingkat dukungan *high* menunjukkan bahwa kriteria penilaian dapat didukung sepenuhnya oleh BIM. Tingkat dukungan *medium* menunjukkan bahwa kriteria penilaian dapat didukung sebagian oleh BIM. Tingkat dukungan *conditional* menunjukkan bahwa kriteria penilaian dapat didukung oleh BIM dengan kondisi khusus. Tingkat dukungan *none* menunjukkan bahwa kriteria penilaian tidak dapat didukung oleh BIM. Penjelasan tingkat dukungan BIM pada kategori EEC untuk setiap kriteria dijabarkan sebagai berikut:

1. EEC P1 (pemasangan submeter)

Pada kriteria EEC P1, BIM dapat memberikan tingkat dukungan pada kategori *medium*. Hal ini dikarenakan pada penilaian bangunan hijau kriteria EEC P1, Autodesk Revit dapat membantu memberikan visualisasi letak submeter atau kWh meter pada bangunan melalui Revit *family* untuk submeter. Selain itu pemasangan dari submeter juga dapat dilihat pada dokumen teknis. Dokumen teknis yang diperlukan yaitu DED *wiring* dan skedul beban yang diperlihatkan pada Lampiran L-A029 – Lampiran L-A054 dan dokumen RKS pemasangan submeter yang diperlihatkan pada Lampiran L-B027.



2. EEC P2 (perhitungan OTTV)

Pada kriteria EEC P2, tingkat dukungan BIM termasuk dalam kategori *medium*. Hal ini dikarenakan pada kriteria EEC P2 hanya sebagian data penilaian yang dapat didukung oleh BIM. Data yang dapat didukung oleh BIM yaitu luas dinding masif dan *u-value* dinding masif yang diperlihatkan pada Lampiran L-E010 – Lampiran L-E043. Luas dinding kaca, *u-value* dinding kaca dan nilai SHGC yang diperlihatkan pada Lampiran L-E044 – Lampiran L-E058. Nilai *Window to Wall Ratio* (WWR) diperlihatkan pada Lampiran L-E001. Data ini dapat digunakan untuk melakukan perhitungan OTTV, namun tetap diperlukan dokumen teknis lainnya untuk data yang tidak dapat diberikan oleh BIM. Dokumen teknis yang diperlukan yaitu DED perencanaan dinding untuk mengetahui jenis cat yang diperlihatkan pada Lampiran L-A014 – Lampiran L-A019. Adapun nilai *Solar Factor* dan perbedaan suhu dapat diperoleh dari SNI 6389:2011 yang diperlihatkan pada Lampiran L-D007. Autodesk Revit hanya mendukung melalui pemodelan 3D untuk orientasi bangunan dan keberlanjutan analisis pada DesignBuilder.

3. EEC 1 (langkah penghematan energi)

Pada kriteria EEC 1, tingkat dukungan BIM termasuk dalam kategori *high*. Hal ini dikarenakan penilaian pada kriteria EEC 1, data penilaian dapat didukung langsung dari BIM. Data yang dapat didukung yaitu hasil konsumsi energi yang diperlihatkan pada Lampiran L-E006 – Lampiran L-E009. Autodesk Revit hanya dapat memberikan dukungan dalam bentuk pemodelan 3D untuk melihat orientasi bangunan sebelum simulasi.

4. EEC 2 (pencahaya alam)

Pada kriteria EEC 2, tingkat dukungan BIM termasuk dalam kategori *high*. Hal ini dikarenakan data yang diperlukan untuk penilaian pada kriteria EEC 2 dapat didukung langsung dari BIM. Data ini yaitu persentase area pada sebuah ruangan yang sudah memenuhi standar minimum intensitas cahaya alami yang masuk pada suatu ruangan. Adapun data besarnya intensitas cahaya maksimal yang diterima oleh area pada sebuah ruangan. Kedua data tersebut diperlihatkan pada



Lampiran L-E004 – Lampiran L-E005. Autodesk Revit dapat memberikan dukungan dalam bentuk pemodelan 3D untuk orientasi bangunan dan keberlanjutan simulasi pada DesignBuilder.

5. EEC 3 (ventilasi)

Pada kriteria EEC 3, tingkat dukungan BIM termasuk dalam kategori *medium*. Hal ini dikarenakan Autodesk Revit dapat memberikan visualisasi letak ventilasi pada gedung. Dokumen teknis yang diperlukan yaitu DED tampak, DED denah, DED rencana ventilasi dan DED rencana instalasi AC. Gambar DED tampak diperlihatkan pada Lampiran L-A001 – Lampiran L-A006 dan gambar DED denah diperlihatkan pada Lampiran L-A007 – Lampiran L-A012. Gambar DED rencana ventilasi diperlihatkan pada Lampiran L-A055 dan DED rencana instalasi AC diperlihatkan pada Lampiran L-A057 – Lampiran L-A062.

6. EEC 4 (pengaruh perubahan iklim)

Pada kriteria EEC 4, tingkat dukungan BIM termasuk dalam kategori *medium*. Hal ini dikarenakan penilaian pada kriteria EEC 4 untuk data penilaian yang berupa konsumsi energi dapat didukung langsung oleh BIM. Data hasil konsumsi energi yang diperlihatkan pada Lampiran L-E006 – Lampiran L-E009. Autodesk Revit hanya dapat memberikan dukungan dalam bentuk pemodelan 3D untuk melihat orientasi bangunan sebelum simulasi. Pada kriteria EEC 4, diperlukan perhitungan konversi dari energi ke CO₂, sehingga memerlukan faktor untuk konversi. Faktor konversi energi ke CO₂ menggunakan faktor emisi *grid* yang sudah ditetapkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi yang diperlihatkan pada Lampiran L-D008 – Lampiran L-D014.

7. EEC 5 (energi terbarukan dalam tapak)

Pada kriteria EEC 5, tingkat dukungan BIM termasuk dalam kategori *conditional*. Pada kriteria penilaian EEC 5 merupakan kondisi khusus karena *solar panel* seharusnya dapat dimodelkan dengan menggunakan *software* DesignBuilder. Pada penelitian ini tidak dilakukan pemodelan energi terbarukan untuk simulasi dengan DesignBuilder karena keterbatasan lisensi *software*.



Keterbatasan ini telah dijelaskan sebelumnya pada Subbab 1.4 bagian Ruang Lingkup Penelitian. Kriteria EEC 5 dapat didukung oleh dokumen teknis seperti DED solar panel yang diperlihatkan pada Lampiran L-A063.

Berdasarkan analisis tingkat dukungan BIM yang sudah dilakukan pada setiap kriteria penilaian bangunan hijau pada kategori EEC, dapat disajikan dalam tabel. Tabel yang disajikan memperlihatkan tingkat dukungan BIM dan kombinasi data yang diperlukan untuk penilaian. Tingkat dukungan BIM untuk penilaian bangunan hijau kategori EEC diperlihatkan pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Tingkat Dukungan BIM untuk Penilaian Bangunan Hijau Kategori EEC

Kriteria	Keterangan Kombinasi Data	Tingkat Dukungan BIM			
		High	Medium	Conditional	None
EEC P1 Pemasangan Submeter (<i>Electrical Sub Metering</i>)	BIM (jika memiliki <i>family</i> pada Autodesk Revit) dan dokumen teknis		✓		
EEC P2 Perhitungan OTTV (<i>OTTV Calculation</i>)	BIM dan dokumen teknis		✓		
EEC 1 Langkah Penghematan Energi (<i>Energy Efficiency Measures</i>)	BIM	✓			
EEC 2 Pencahaya Alam (<i>Natural Lighting</i>)	BIM	✓			
EEC 3 Ventilasi (<i>Ventilation</i>)	BIM dan dokumen teknis		✓		
EEC 4 Pengaruh Perubahan Iklim (<i>Climate Change Impact</i>)	BIM dan dokumen teknis		✓		
EEC 5 Energi Terbarukan Dalam Tapak (<i>On Site Renewable Energy</i>)	BIM (jika dapat dimodelkan) dan dokumen teknis			✓	
Total		2	4	1	0



Tabel 5.10 memperlihatkan tingkat dukungan BIM untuk penilaian bangunan hijau pada kategori EEC pada setiap kriteria berdasarkan sistem penilaian *Greenship* bangunan baru versi 1.2. Berdasarkan Tabel 5.10, dapat dilihat bahwa terdapat 2 kriteria penilaian yang memperoleh tingkat dukungan pada kategori *high*, 4 kriteria penilaian memperoleh tingkat dukungan pada kategori *medium* dan 1 kriteria penilaian memperoleh tingkat dukungan pada kategori *conditional* atau kondisi khusus. Berdasarkan hasil analisis dari tingkat dukungan BIM pada setiap kriteria penilaian, maka dapat diperoleh persentase maka dapat diperoleh persentase jumlah kriteria yang mendapat tingkat dukungan BIM kategori tertentu pada kategori EEC. Perhitungan persentase dilakukan dengan membandingkan jumlah kriteria pada tingkat dukungan tertentu terhadap total kriteria untuk setiap kategori penilaian bangunan hijau. Perhitungan persentase dilakukan untuk mengetahui besar proporsi kriteria yang memperoleh tingkat dukungan *high*, *medium*, *conditional* dan *none* yang diperoleh berdasarkan bentuk dukungan BIM. Perhitungan persentase tingkat dukungan BIM untuk penilaian bangunan hijau pada kategori EEC dapat dilihat pada Persamaan 3.1. Contoh perhitungan persentase tingkat dukungan BIM pada kategori EEC adalah sebagai berikut:

Contoh perhitungan persentase tingkat dukungan *high*

Jumlah keseluruhan kriteria pada kategori EEC (a) = 7

Jumlah kriteria pada tingkat dukungan *high* (b) = 2

$$\begin{aligned}\text{Persentase kriteria pada tingkat dukungan } high (c) &= \frac{b}{a} \times 100\% \\ &= \frac{2}{7} \times 100\% \\ &= 28,57\%\end{aligned}$$

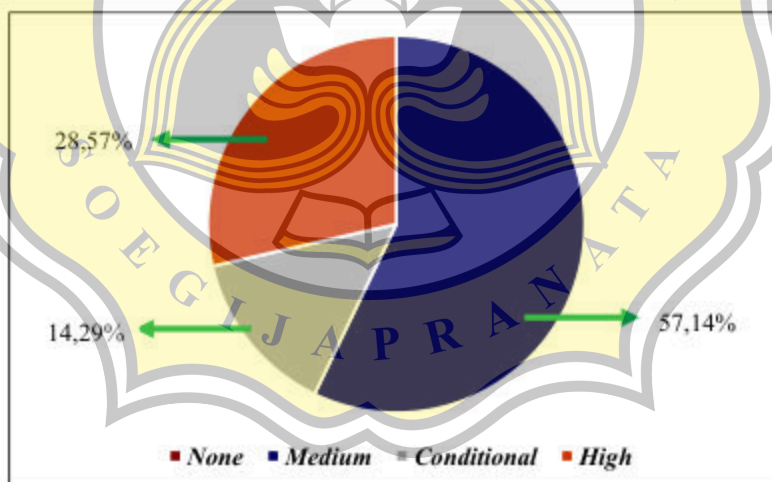
Perhitungan persentase dilakukan pada setiap tingkat dukungan BIM yang meliputi tingkat dukungan *high*, *medium*, *conditional* dan *none*. Setelah dilakukan perhitungan untuk setiap tingkat dukungan, maka dapat diperoleh hasil rekap dari perhitungan persentase tingkat dukungan. Adapun rekap perhitungan persentase tingkat dukungan BIM pada kategori EEC diperlihatkan pada Tabel 5.11.



Tabel 5.11 Rekap Perhitungan Persentase Tingkat Dukungan BIM Pada Kategori EEC

Kategori Tingkat Dukungan	Jumlah Kriteria	Persentase (%)
	b	$c = (b/a) \times 100$
High	2	28,57
Medium	4	57,14
Conditional	1	14,29
None	0	0,00
Total	7	100

Hasil persentase disajikan dalam bentuk diagram untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai proporsi dari tingkat dukungan BIM terhadap penilaian bangunan hijau pada kategori EEC. Diagram digunakan untuk memberikan gambaran secara visual dan dapat memperlihatkan tingkat dukungan yang paling banyak untuk membantu proses penilaian bangunan hijau. Diagram persentase tingkat dukungan BIM pada kategori EEC diperlihatkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Diagram Persentase Tingkat Dukungan BIM Pada Kategori EEC

Berdasarkan Gambar 5.3, dapat diketahui bahwa 28,57% kriteria dari total keseluruhan kriteria dapat didukung oleh BIM dengan tingkat dukungan *high*. Adapun sebesar 57,14% kriteria dari total keseluruhan kriteria dapat didukung



dengan tingkat dukungan *medium*. Sebesar 14,29% kriteria dari total keseluruhan kriteria dapat didukung dengan tingkat dukungan *conditional*. Selain itu tidak ada kriteria pada kategori EEC yang mendapat tingkat dukungan *none*. Berdasarkan persentase yang diperoleh dapat diketahui bahwa BIM dapat berperan dalam memberikan dukungan untuk menunjang penilaian bangunan hijau pada kategori EEC. Hal ini dapat diperlihatkan melalui hasil persentase tingkat dukungan BIM pada kategori *high* dan *medium* lebih besar daripada hasil persentase tingkat dukungan pada kategori *conditional* dan *none*, meskipun ada beberapa kriteria yang belum sepenuhnya didukung oleh BIM. Kriteria pada kategori EEC yang dapat didukung oleh BIM umumnya merupakan kriteria yang berhubungan dengan performa bangunan. Hal ini mencakup konsumsi energi, kondisi selubung bangunan, dan pencahayaan alami.

Numan, dkk., (2024), menyatakan bahwa BIM dapat mengoptimalkan analisis energi pada suatu bangunan. *Building Information Modeling* (BIM) dapat menyediakan dokumentasi secara otomatis yang dapat digunakan untuk keperluan sertifikasi sejak tahap desain bangunan. Penggunaan BIM dengan alat pendukung analisis kinerja bangunan berbasis BIM dapat membantu perhitungan rumit terkait penggunaan energi pada bangunan. Penggunaan atau konsumsi energi pada gedung dipengaruhi oleh karakteristik termal dari selubung bangunan (*building envelope*) yang mencakup lantai, atap, dinding, pintu, dan jendela. Karakteristik termal dari selubung bangunan dapat dihitung dengan memperhitungkan orientasi dan material yang digunakan. Orientasi gedung serta material yang digunakan gedung dapat dimodelkan dan dianalisis menggunakan BIM. *Building Information Modeling* (BIM) terbukti dapat melakukan perhitungan dan memberikan informasi secara otomatis mengenai karakteristik termal dari selubung bangunan, seperti nilai *u-value* dan SHGC. Nilai ini yang kemudian dapat digunakan untuk menghitung konsumsi energi pada gedung (Abanda dan Byers, 2016).

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka dapat membuktikan bahwa BIM dengan alat pendukung analisis kinerja bangunan berbasis BIM dapat memberikan dukungan pada penilaian bangunan hijau pada kategori energi. Dukungan ini berfokus pada



kemampuan BIM dalam menghitung dan menyediakan informasi mengenai karakteristik termal dari selubung bangunan yang berhubungan dengan perhitungan konsumsi energi pada gedung. Adanya bantuan dari BIM dapat mengurangi perhitungan rumit pada suatu sistem penilaian, sehingga penilaian bangunan hijau khususnya pada kategori energi dapat terlaksana secara efisien (Abanda dan Byers, 2016; Numan, dkk., 2024 dan). Pada penelitian ini, BIM dapat memberikan dukungan pada kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dengan kriteria yang berkaitan dengan konsumsi energi pada gedung, maka temuan pada penelitian ini relevan dengan temuan penelitian terdahulu.

Santiago, dkk., (2020), melakukan penelitian mengenai penggunaan BIM 6D untuk analisis efisiensi energi pada gedung. Pada penelitian tersebut dilakukan pemodelan dan perhitungan menggunakan BIM untuk menghitung efisiensi energi dan pencahayaan alami (*daylighting*) pada gedung. Melalui pemodelan dan perhitungan ini, maka didapatkan hasil simulasi pencahayaan alami yang mencakup nilai *illuminance* dan *daylight factor*. Melalui penelitian tersebut membuktikan bahwa BIM memiliki kemampuan untuk mendukung analisis energi dan pencahayaan alami pada gedung. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa BIM dapat mendukung kriteria *daylighting*, maka temuan pada penelitian ini relevan dengan temuan penelitian terdahulu.

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka membuktikan bahwa BIM dapat membantu menyediakan data dan informasi yang berkaitan dengan performa bangunan yang mencakup konsumsi energi, kondisi selubung bangunan, dan pencahayaan alami. Data dan informasi tersebut dapat digunakan untuk mendukung kriteria pada kategori EEC yang diperoleh melalui simulasi energi. Simulasi energi dilakukan berdasarkan *input* parameter teknis bangunan, sehingga pendekatan BIM ini berpotensi untuk diterapkan pada bangunan lain menyesuaikan kondisi bangunan.

Selain analisis performa bangunan melalui simulasi, adapun fitur utama lain dari BIM yang mencakup visualisasi (Wu, dkk., 2019). Visualisasi model gedung dapat dilakukan secara 2D maupun 3D. Secara khusus, model 3D dapat merepresentasikan fisik bangunan yang mencakup bentuk, ukuran, dan lokasi



geometri secara akurat untuk mengidentifikasi komponen nyata yang ada pada bangunan. Adanya kemampuan visualisasi memungkinkan untuk melakukan peninjauan elemen bangunan dengan BIM melalui model 2D maupun 3D. Representasi 3D dari model gedung umumnya dapat digunakan untuk memudahkan dalam melihat geometri bangunan hingga kuantitas dan properti dari setiap elemen bangunan (Putera, 2022 dan Ivson, dkk., 2018). Berdasarkan pernyataan tersebut, maka membuktikan bahwa BIM dapat digunakan untuk membantu kriteria penilaian pada kategori EEC yang berhubungan dengan visualisasi, seperti EEC P1. Selain itu, visualisasi yang disediakan BIM memiliki peran penting dalam berbagai aspek analisis. Penggunaan visualisasi dapat mendukung untuk analisis kinerja energi pada bangunan. Visualisasi melalui model 3D memungkinkan representasi model bangunan yang akurat untuk melakukan simulasi energi dan evaluasi keberlanjutan (Ivson, dkk., 2018). Pernyataan ini mendukung bahwa visualisasi dengan BIM secara tidak langsung memiliki peran pada analisis kinerja energi.

5.2.2 Kategori *Water Conservation* (WAC)

Analisis tingkat dukungan BIM untuk penilaian bangunan hijau pada kategori WAC dilakukan dengan meninjau kebutuhan data teknis dengan hasil dukungan Autodesk Revit dan DesignBuilder. Proses ini dilakukan pada setiap kriteria penilaian untuk mengetahui bentuk dukungan teknologi BIM yang dapat membantu penilaian pada kategori WAC berdasarkan sistem sertifikasi *Greenship* Bangunan Baru versi 1.2. Kategori WAC memiliki 8 kriteria yang meliputi 2 kriteria prasyarat dan 6 kriteria kredit. Setiap kriteria memiliki fokus dan tujuan yang berbeda, sehingga kebutuhan data yang diperlukan juga berbeda.

Pada kategori WAC, bentuk dukungan yang dapat diberikan oleh BIM dapat berupa dukungan langsung maupun dukungan tidak langsung. Bentuk dukungan langsung yang diberikan dapat berupa dukungan data dari hasil simulasi *software* yang dapat digunakan langsung untuk memenuhi kriteria penilaian bangunan hijau. Bentuk dukungan tidak langsung dapat berupa data dari hasil simulasi *software* maupun berupa visualisasi pemodelan yang dikombinasikan dengan data teknis lainnya.



Tidak semua kriteria pada kategori WAC dapat didukung sepenuhnya oleh BIM. Kriteria penilaian yang tidak mendapatkan dukungan dari BIM akan mendapat dukungan dari dokumen teknis yang sudah dikelompokkan pada Tabel 4.2. Penjelasan dukungan BIM untuk penilaian bangunan hijau pada setiap kriteria pada kategori WAC adalah sebagai berikut:

1. WAC P1 (pemasangan meteran air)

Kriteria WAC P1 merupakan kriteria prasyarat yang harus dipenuhi dalam penilaian bangunan hijau. Kriteria ini berfokus pada adanya pemasangan meteran air pada bangunan yang ditinjau. Kriteria ini memiliki tujuan untuk memantau air yang masuk ke bangunan maupun air yang keluar dari bangunan. Pemasangan meteran air diperlukan untuk mengendalikan konsumsi air. Lingkup pemasangan meteran air yang ada pada kriteria WAC P1 meliputi beberapa titik. Pertama, adanya meteran air untuk keluaran sumber air bersih utama seperti Perumda Air Minum (PDAM) atau air tanah. Kedua, adanya meteran air untuk keluaran sistem air daur ulang. Ketiga, adanya meteran air untuk mengukur tambahan keluaran air bersih apabila air daur ulang tidak mencukupi. Teknologi BIM khususnya *software* Autodesk Revit dapat memberikan dukungan tertentu. Autodesk Revit dapat membantu memberikan dukungan berupa visualisasi letak meteran air apabila pada Autodesk Revit memiliki *family* untuk meteran air. Selain melalui Autodesk Revit, pemasangan meteran air dapat dilihat pada dokumen teknis yaitu dokumen DED diagram skematik *plumbing* air bersih dan diagram skematik *plumbing* air daur ulang. Selain itu, dapat juga menggunakan dokumen RKS MEP bagian air kerja.

2. WAC P2 (perhitungan penggunaan air)

Kriteria WAC P2 juga merupakan kriteria prasyarat yang harus dipenuhi dalam penilaian bangunan hijau. Kriteria WAC P2 berfokus pada perhitungan penggunaan air pada gedung. Perhitungan ini mencakup seluruh penggunaan air yang dapat berasal dari fitur air, penggunaan air pada *cooling tower* (jika ada) dan penggunaan air untuk irigasi tanaman. Pada kriteria WAC P2, Autodesk Revit hanya dapat membantu memberikan visualisasi posisi dan penyebaran fitur-fitur air pada bangunan apabila pada Autodesk Revit memiliki *family* untuk



fitur air. Visualisasi yang diberikan oleh Autodesk Revit dapat membantu memberikan gambaran mengenai jumlah dan jenis pemasangan sanitair. Spesifikasi fitur air dapat dilihat pada daftar *sanitary* yang termasuk ke dalam dokumen DED arsitektur dan DED detail toilet dan area basah.

3. WAC 1 (pengurangan penggunaan air)

Kriteria WAC 1 berfokus pada perhitungan pengurangan penggunaan air berdasarkan hasil konsumsi penggunaan air pada kriteria WAC P2. Pengurangan penggunaan air mengacu pada penggunaan fitur air pada gedung. Autodesk Revit hanya dapat membantu memberikan visualisasi untuk posisi fitur air pada bangunan apabila pada Autodesk Revit memiliki *family* untuk fitur air. Spesifikasi fitur air dapat dilihat pada daftar *sanitary* yang termasuk ke dalam dokumen DED arsitektur dan DED detail toilet dan area basah. Dokumen selain DED yang dapat mendukung perhitungan pengurangan penggunaan air yaitu SNI 03-7065-2005 tentang tata cara perencanaan sistem plambing dan *Greenship* yang digunakan sebagai acuan.

4. WAC 2 (fitur air)

Kriteria WAC 2 berfokus pada penggunaan fitur air yang memiliki efisiensi tinggi. Kriteria WAC 2 mengacu pada penggunaan fitur air dengan kapasitas buangan di bawah standar kemampuan alat keluaran air. Autodesk Revit hanya dapat membantu memberikan visualisasi untuk fitur air pada bangunan apabila pada Autodesk Revit memiliki *family* untuk fitur air sedangkan untuk spesifikasinya dapat dilihat pada daftar sanitair. Dokumen DED lainnya yang dapat mendukung adalah DED detail toilet dan area basah. Dokumen selain DED yang dapat mendukung yaitu *Greenship* yang digunakan sebagai acuan standar maksimum keluaran air pada fitur air.

5. WAC 3 (daur ulang air)

Kriteria WAC 3 berfokus pada ketersediaan air dari sumber daur ulang air limbah pada gedung. Kriteria ini menitikberatkan pada penggunaan seluruh air bekas pakai (*greywater*) yang telah didaur ulang untuk *flushing* atau *cooling tower*. Pada kriteria ini, Autodesk Revit hanya dapat memperlihatkan visualisasi



plumbing jika memiliki data Revit untuk MEP. Dokumen lainnya yang dapat mendukung kriteria WAC 3 yaitu DED skema *plumbing* air daur ulang dan skema *plumbing* air limbah.

6. WAC 4 (sumber air alternatif)

Kriteria WAC 4 berfokus pada ketersediaan sumber air alternatif yang menghasilkan air bersih untuk mengurangi kebutuhan air pada sumber air utama. Kriteria ini menitikberatkan pada penggunaan sumber air alternatif dari air kondensasi AC, air bekas wudhu atau air hujan. Pada kriteria ini, Autodesk Revit hanya dapat memperlihatkan visualisasi *plumbing* jika memiliki data Revit untuk MEP. Dokumen lainnya yang dapat mendukung kriteria WAC 4 yaitu DED skema *plumbing* air bersih, skema *plumbing* air daur ulang, skema *plumbing* air hujan dan skema *drain* AC.

7. WAC 5 (penampungan air hujan)

Kriteria WAC 5 berfokus pada penggunaan air hujan sebagai salah satu sumber air. Kriteria ini menitikberatkan pada ketersediaan tangki penampungan air hujan. Pada kriteria ini, Autodesk Revit dapat membantu memberikan visualisasi *water tank* apabila memiliki *family water tank*. Pada kriteria ini dokumen yang dapat mendukung kriteria penilaian yaitu dokumen skema *plumbing* air hujan.

8. WAC 6 (efisiensi penggunaan air lanskap)

Kriteria WAC 6 berfokus pada penggunaan sumber air utama untuk kebutuhan air lansekap yang diganti dengan sumber air lainnya. Kriteria ini menitikberatkan pada penggunaan air untuk kebutuhan air lansekap tidak bersumber dari air tanah dan menggunakan teknologi inovatif untuk kebutuhan penyiraman tanaman. Pada kriteria ini dokumen yang dapat mendukung kriteria penilaian yaitu dokumen skema *plumbing* air siram taman.

Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan pada setiap kriteria penilaian bangunan hijau kategori WAC dapat diperoleh tabel rekapitulasi. Tabel yang disajikan memperlihatkan data yang dapat diberikan oleh BIM. Tabel yang disajikan juga memperlihatkan bentuk dukungan data teknis. Rekapitulasi bentuk dukungan BIM untuk penilaian bangunan hijau kategori WAC diperlihatkan pada Tabel 5.12.



Tabel 5.12 Rekapitulasi Bentuk Dukungan BIM untuk Penilaian Bangunan Hijau pada Kategori WAC

Kriteria Penilaian Kategori WAC		Bentuk Dukungan BIM		Dokumen Teknis yang Mendukung	Lampiran
Kriteria	Keterangan	Autodesk Revit	DesignBuilder		
WAC P1	Meteran Air (<i>Water Metering</i>)	Adanya pemasangan meteran air untuk memantau air yang masuk ke bangunan dan keluar dari bangunan.	Memberikan visualisasi untuk pemasangan meteran air hanya jika memiliki <i>family</i> untuk meteran air.	DED diagram skematik <i>plumbing</i> air bersih, DED diagram skematik <i>plumbing</i> air daur ulang, RKS meteran air.	L-A064 – L-A065, L-B027
WAC P2	Perhitungan Penggunaan Air (<i>Water Calculation</i>)	Adanya perhitungan penggunaan air pada bangunan.	Posisi fitur air jika memiliki <i>family</i> untuk fitur air.	Daftar <i>sanitary</i> dalam DED, detail toilet dan area basah.	L-A072 – L-A081
WAC 1	Pengurangan Penggunaan Air (<i>Water Use Reduction</i>)	Adanya perhitungan pengurangan penggunaan air berdasarkan hasil konsumsi air.	Posisi fitur air jika memiliki <i>family</i> untuk fitur air.	Daftar <i>sanitary</i> dalam DED, detail toilet dan area basah, SNI, <i>Greenship</i> .	L-A072 – L-A081, L-D015 – L-D016
WAC 2	Fitur Air (<i>Water Fixtures</i>)	Penggunaan fitur air yang efisien.	Visualisasi fitur air jika memiliki <i>family</i> untuk fitur air.	Daftar <i>sanitary</i> dalam DED, detail toilet dan area basah, <i>Greenship</i> .	L-A072 – L-A081, L-D016
WAC 3	Daur Ulang Air (<i>Water Recycling</i>)	Ketersediaan air dari sumber daur ulang limbah untuk <i>flushing</i> atau <i>cooling tower</i> .	Hanya visualisasi <i>plumbing</i> pada Revit MEP.	DED diagram skematik <i>plumbing</i> air limbah, DED diagram skematik <i>plumbing</i> air daur ulang.	L-A065 – L-A066



Tabel 5.12 Rekapitulasi Bentuk Dukungan BIM untuk Penilaian Bangunan Hijau pada Kategori WAC (Lanjutan)

Kriteria Penilaian Kategori WAC		Bentuk Dukungan BIM		Dokumen Teknis yang Mendukung	Lampiran
Kriteria	Keterangan	Autodesk Revit	DesignBuilder		
WAC 4	Sumber Air Alternatif (<i>Alternative Water Resources</i>)	Adanya sumber air alternatif yang menghasilkan air bersih untuk mengurangi kebutuhan air pada sumber air urama. Sumber air alternatif dapat berasal dari air kondensasi AC, air bekas wudhu atau air hujan.	Visualisasi <i>plumbing</i> pada Revit MEP.	-	L-A064 – L-A065, L-A067, L-A071
WAC 5	Penampungan Air Hujan (<i>Rainwater Harvesting</i>)	Adanya penampungan air hujan untuk mendukung penggunaan air hujan sebagai salah satu sumber air.	Visualisasi <i>water tank</i> jika memiliki <i>family water tank</i> .	-	L-A067
WAC 6	Efisiensi Penggunaan Air Lanskap (<i>Water Efficiency Landscaping</i>)	Penggunaan air untuk siram taman tidak berasal dari sumber air utama.	-	-	L-A068 – L-A070



Tabel 5.12 memperlihatkan bentuk dukungan data yang dapat diberikan oleh BIM untuk menunjang penilaian bangunan hijau pada kategori WAC dengan memanfaatkan *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder. Bentuk dukungan yang dapat diberikan oleh *software* Autodesk Revit sebagian hanya berupa pemodelan 3D dan visualisasi dengan kondisi tertentu, sedangkan DesignBuilder belum dapat memberikan dukungan. Berdasarkan dukungan data yang diberikan oleh BIM pada kategori WAC, tidak ada kriteria yang mendapatkan dukungan langsung dari BIM. Dukungan BIM beberapa kriteria bersifat tidak langsung karena data yang dapat diberikan oleh BIM masih harus dilengkapi dengan data tambahan di luar hasil BIM. Selain itu, ada beberapa kriteria memiliki kondisi khusus yang bergantung pada kemampuan *software* seperti adanya fitur yang memadai.

Berdasarkan bentuk dukungan data yang diberikan oleh BIM untuk penilaian bangunan hijau pada kategori WAC, dapat diketahui tingkat dukungan dari BIM untuk penilaian bangunan hijau. Terdapat 4 kategori tingkat dukungan BIM yaitu *high*, *medium*, *conditional* dan *none*. Tingkat dukungan *high* menunjukkan bahwa kriteria penilaian dapat didukung sepenuhnya oleh BIM. Tingkat dukungan *medium* menunjukkan bahwa kriteria penilaian dapat didukung sebagian oleh BIM. Tingkat dukungan *conditional* menunjukkan bahwa kriteria penilaian dapat didukung oleh BIM dengan kondisi khusus. Tingkat dukungan *none* menunjukkan bahwa kriteria penilaian tidak dapat didukung oleh BIM. Penjelasan tingkat dukungan BIM pada kategori WAC untuk setiap kriteria dijabarkan sebagai berikut:

1. WAC P1 (pemasangan meteran air)

Pada kriteria WAC P1, BIM dapat memberikan tingkat dukungan pada kategori *medium*. Pada kriteria WAC P1, Autodesk Revit hanya dapat membantu memberikan visualisasi letak meteran air pada bangunan apabila pada Autodesk Revit memiliki *family* untuk meteran air sedangkan untuk pemasangannya dapat dilihat pada dokumen teknis. Dokumen teknis yang dapat mendukung yaitu DED diagram skematik *plumbing* air bersih yang diperlihatkan pada Lampiran L-A064 dan diagram skematik *plumbing* air daur ulang yang diperlihatkan pada L-A065. Dokumen lain yang dapat mendukung yaitu dokumen RKS pemasangan submeter yang diperlihatkan pada Lampiran L-B027.



2. WAC P2 (perhitungan penggunaan air)

Pada kriteria WAC P2, BIM dapat memberikan tingkat dukungan pada kategori *medium*. Hal ini dikarenakan penilaian pada kriteria WAC P2, Autodesk Revit dapat membantu memberikan visualisasi letak fitur air pada bangunan apabila pada Autodesk Revit memiliki *family* untuk fitur air sedangkan untuk pemasangan dan spesifikasinya dapat dilihat pada dokumen teknis. Dokumen teknis yang dapat mendukung yaitu DED arsitektur yang mencakup daftar *sanitair*. Daftar *sanitair* diperlihatkan pada Lampiran L-A081. Dokumen lain yang dapat mendukung yaitu DED detail toilet dan area basah yang diperlihatkan pada Lampiran L-A072 – Lampiran L-A080.

3. WAC 1 (pengurangan penggunaan air)

Pada kriteria WAC 1, BIM dapat memberikan tingkat dukungan pada kategori *medium*. Hal ini dikarenakan penilaian pada kriteria WAC 1, Autodesk Revit dapat membantu memberikan visualisasi letak fitur air apabila pada Autodesk Revit memiliki *family* untuk fitur air, sedangkan untuk pemasangan dan spesifikasinya dapat dilihat pada dokumen teknis. Dokumen teknis yaitu DED arsitektur yang mencakup daftar *sanitair*. Daftar *sanitair* diperlihatkan pada Lampiran L-A081. Dokumen lain yaitu DED detail toilet dan area basah yang diperlihatkan pada Lampiran L-A072 – Lampiran L-A080. Pada kriteria WAC 1, dokumen selain DED yang dapat mendukung penilaian kriteria ini yaitu dokumen SNI dan standar *GreenShip*. SNI yang digunakan yaitu SNI 03-7065-2005 tentang tata cara perencanaan sistem plambing yang digunakan sebagai acuan penggunaan minimum air yang diperlihatkan pada Lampiran L-D015. Standar *GreenShip* digunakan sebagai acuan standar penggunaan fitur air dan konsumsi air yang diperlihatkan pada Lampiran L-D016.

4. WAC 2 (fitur air)

Pada kriteria WAC 2, BIM dapat memberikan tingkat dukungan pada kategori *medium*. Hal ini dikarenakan penilaian pada kriteria WAC 2, Autodesk Revit dapat membantu memberikan visualisasi fitur air pada bangunan apabila pada Autodesk Revit memiliki *family* untuk fitur air sedangkan untuk pemasangan



dan spesifikasinya dapat dilihat pada dokumen teknis. Dokumen teknis yang dapat mendukung yaitu DED arsitektur yang mencakup daftar *sanitair*. Daftar *sanitair* diperlihatkan pada Lampiran L-A081. Dokumen lain yang dapat mendukung yaitu DED detail toilet dan area basah yang diperlihatkan pada Lampiran L-B017. Pada kriteria WAC 2, dokumen selain DED yang dapat mendukung penilaian kriteria ini yaitu dokumen standar *Greenship*. Standar *Greenship* digunakan sebagai acuan standar penggunaan fitur air yang diperlihatkan pada Lampiran L-D016.

5. WAC 3 (daur ulang air)

Pada kriteria WAC 3, BIM dapat memberikan tingkat dukungan pada kategori *medium*. Hal ini dikarenakan penilaian pada kriteria WAC 3, Autodesk Revit dapat membantu memberikan visualisasi *plumbing* apabila memiliki *family* komponen *plumbing* dan *file* Revit MEP. Dokumen teknis yang dapat mendukung yaitu DED diagram skematik *plumbing* air limbah yang diperlihatkan pada Lampiran L-A066 dan diagram skematik *plumbing* air daur ulang yang diperlihatkan pada L-A065.

6. WAC 4 (sumber air alternatif)

Pada kriteria WAC 4, BIM dapat memberikan tingkat dukungan pada kategori *medium*. Hal ini dikarenakan Autodesk Revit dapat membantu memberikan visualisasi *plumbing* apabila memiliki *family* komponen *plumbing* dan *file* Revit MEP. Dokumen teknis yang dapat mendukung yaitu DED diagram skematik *plumbing* air bersih yang diperlihatkan pada Lampiran L-A064 dan diagram skematik *plumbing* air hujan yang diperlihatkan pada Lampiran L-A067. Dokumen DED lainnya yaitu diagram skematik *plumbing* air daur ulang yang diperlihatkan pada Lampiran L-A065 dan diagram skematik *plumbing drain* AC yang diperlihatkan pada Lampiran L-A071.

7. WAC 5 (penampungan air hujan)

Pada kriteria WAC 5, BIM dapat memberikan tingkat dukungan pada kategori *medium*. Hal ini dikarenakan Autodesk Revit dapat membantu memberikan visualisasi *water tank* apabila memiliki *family water tank*. Adapun dokumen



teknis yang dapat mendukung yaitu DED diagram skematik *plumbing* air hujan yang diperlihatkan pada Lampiran L-A067.

8. WAC 6 (efisiensi penggunaan air lanskap)

Pada kriteria WAC 6, BIM tidak dapat memberikan dukungan, sehingga termasuk dalam tingkat dukungan *none*. Pada kriteria WAC 6 hanya mendapat dukungan dari dokumen teknis. Dokumen teknis yang dapat mendukung yaitu DED diagram skematik *plumbing* air siram taman yang diperlihatkan pada Lampiran L-A068 – Lampiran L-A070.

Berdasarkan analisis tingkat dukungan BIM yang sudah dilakukan pada setiap kriteria penilaian bangunan hijau pada kategori WAC, dapat disajikan dalam tabel. Tabel yang disajikan memperlihatkan tingkat dukungan BIM dan kombinasi data yang diperlukan untuk penilaian. Tingkat dukungan BIM untuk penilaian bangunan hijau kategori WAC diperlihatkan pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Tingkat Dukungan BIM untuk Penilaian Bangunan Hijau Kategori WAC

Kriteria		Keterangan Kombinasi Data	Tingkat Dukungan BIM			
			High	Medium	Conditional	None
WAC P1	Meteran Air (<i>Water Metering</i>)	BIM (jika memiliki <i>family</i> pada Autodesk Revit) dan dokumen teknis		✓		
WAC P2	Perhitungan Penggunaan Air (<i>Water Calculation</i>)	BIM (jika memiliki <i>family</i> pada Autodesk Revit) dan dokumen teknis		✓		
WAC I	Pengurangan Penggunaan Air (<i>Water Use Reduction</i>)	BIM (jika memiliki <i>family</i> pada Autodesk Revit) dan dokumen teknis		✓		
WAC 2	Fitur Air (<i>Water Fixtures</i>)	BIM (jika memiliki <i>family</i> pada Autodesk Revit) dan dokumen teknis		✓		
WAC 3	Daur Ulang Air (<i>Water Recycling</i>)	BIM (jika memiliki <i>family</i> pada Autodesk Revit) dan dokumen teknis		✓		



Tabel 5.13 Tingkat Dukungan BIM untuk Penilaian Bangunan Hijau Kategori WAC (Lanjutan)

Kriteria		Keterangan Kombinasi Data	Tingkat Dukungan BIM			
			High	Medium	Conditional	None
WAC 4	Sumber Air Alternatif (<i>Alternative Water Resources</i>)	BIM (jika memiliki <i>family</i> pada Autodesk Revit) dan dokumen teknis		✓		
WAC 5	Penampungan Air Hujan (<i>Rainwater Harvesting</i>)	BIM (jika memiliki <i>family</i> pada Autodesk Revit) dan dokumen teknis		✓		
WAC 6	Efisiensi Penggunaan Air Lanskap (<i>Water Efficiency Landscaping</i>)	Dokumen teknis				✓
Total			0	7	0	1

Berdasarkan Tabel 5.13, dapat dilihat bahwa terdapat 7 kriteria memperoleh kategori tingkat dukungan *medium* dan 1 kriteria memperoleh tingkat dukungan pada *none*. Berdasarkan hasil analisis dari tingkat dukungan BIM pada setiap kriteria penilaian, maka dapat diperoleh persentase jumlah kriteria yang mendapat tingkat dukungan BIM kategori tertentu pada kategori WAC. Perhitungan persentase dilakukan untuk mengetahui besar proporsi kriteria yang memperoleh tingkat dukungan *high*, *medium*, *conditional* dan *none*. Perhitungan persentase dapat dilihat pada Persamaan 3.1. Contoh perhitungan persentase tingkat dukungan BIM pada kategori WAC adalah sebagai berikut:

Contoh perhitungan persentase tingkat dukungan *medium*

Jumlah keseluruhan kriteria pada kategori WAC (a) = 8

Jumlah kriteria pada tingkat dukungan *medium* (b) = 7

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase kriteria pada tingkat dukungan } \textit{medium} \text{ (c)} &= \frac{b}{a} \times 100\% \\
 &= \frac{7}{8} \times 100\% \\
 &= 87,50\%
 \end{aligned}$$

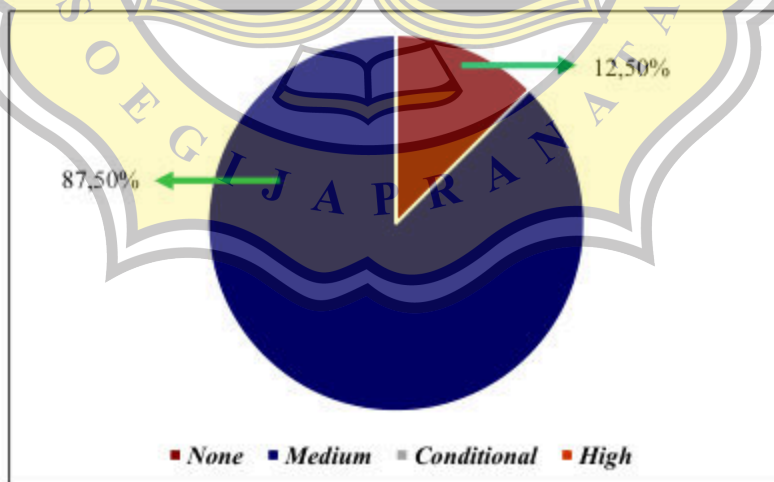


Perhitungan persentase dilakukan pada setiap kategori tingkat dukungan BIM yaitu *high*, *medium*, *conditional* dan *none*. Adapun rekap perhitungan persentase tingkat dukungan BIM pada kategori WAC diperlihatkan pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Rekap Perhitungan Persentase Tingkat Dukungan BIM pada Kategori WAC

Kategori Tingkat Dukungan	Jumlah Kriteria	Persentase (%)
	b	$c = (b/a) \times 100$
High	0	0,00
Medium	7	87,50
Conditional	0	0,00
None	1	12,50
Total	8	100

Hasil persentase dapat disajikan dalam bentuk diagram untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai proporsi dari tingkat dukungan BIM terhadap penilaian bangunan hijau kategori WAC. Diagram digunakan untuk memberikan gambaran secara visual untuk memperlihatkan tingkat dukungan yang paling banyak untuk membantu proses penilaian bangunan hijau. Diagram persentase tingkat dukungan BIM pada kategori WAC diperlihatkan pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Diagram Persentase Tingkat Dukungan BIM Pada Kategori WAC



Berdasarkan Gambar 5.4, dapat diketahui bahwa sebesar 87,50% kriteria dari total keseluruhan kriteria dapat didukung oleh BIM dengan tingkat dukungan *medium*. Selain itu, sebesar 12,50% kriteria dari total keseluruhan kriteria pada kategori WAC tidak mendapat dukungan BIM, sehingga termasuk tingkat dukungan kategori *none*. Berdasarkan persentase yang diperoleh dapat diketahui bahwa BIM dapat berperan dalam memberikan dukungan untuk menunjang penilaian bangunan hijau pada kategori WAC meskipun belum sepenuhnya. Kategori WAC pada sistem penilaian *Greenship* berfokus pada efisiensi penggunaan air di bangunan. Kriteria penilaian pada kategori WAC berfokus pada pengurangan konsumsi air, optimalisasi sistem *plumbing*, pemanfaatan air alternatif, penggunaan fitur air yang efisien hingga pengelolaan air lansekap. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat diindikasikan bahwa sebagian besar kebutuhan data yang diperlukan oleh kategori WAC berfokus pada visualisasi. Terdapat kriteria yang berfokus pada perhitungan penggunaan air, namun BIM yang digunakan pada penelitian ini untuk membantu kategori WAC hanya berfokus pada visualisasi.

Building Information Modeling (BIM) dapat menyediakan informasi geometri dan data komponen bangunan melalui visualisasi model gedung secara 2D maupun 3D. Melalui visualisasi, BIM dapat merepresentasikan fisik bangunan untuk mengidentifikasi komponen pada bangunan, sehingga memungkinkan untuk melakukan peninjauan elemen bangunan dengan BIM melalui model 2D maupun 3D. (Putra, 2022 dan Ivson, dkk., 2018). Berdasarkan pernyataan tersebut, maka membuktikan bahwa BIM dapat digunakan untuk membantu kategori WAC melalui visualisasi dari model gedung. Visualisasi model gedung melalui BIM didasarkan pada input data dan parameter dari gedung, sehingga berpotensi untuk diterapkan pada gedung lain dengan menyesuaikan kondisi gedung yang ditinjau.

5.3 Analisis Kontribusi BIM pada Penilaian Bangunan Hijau

Analisis kontribusi BIM dilakukan untuk mengetahui kontribusi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau berdasarkan sistem sertifikasi *Greenship* Bangunan Baru versi 1.2 melalui *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder.



Analisis kontribusi dilakukan untuk setiap kriteria penilaian pada kategori *Energy Efficiency and Conservation* (EEC) dan *Water Conservation* (WAC). Melalui analisis ini dapat diperoleh hasil berupa kontribusi dari masing-masing *software* BIM untuk mendukung penilaian bangunan hijau. Tujuan kegiatan ini yaitu tersusunnya hasil analisis kontribusi BIM untuk membantu penilaian bangunan hijau dengan menggunakan Autodesk Revit dan DesignBuilder pada kategori EEC dan WAC. Adapun proses dari analisis kontribusi diperlihatkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Proses Analisis Kontribusi

Pada Gambar 5.5 dapat dilihat bahwa analisis kontribusi disusun berdasarkan hasil analisis bentuk dukungan dan tingkat dukungan BIM. Hasil analisis bentuk dukungan BIM berupa dukungan data yang dapat disediakan oleh BIM untuk kriteria penilaian. Analisis kontribusi dilakukan berdasarkan analisis bentuk dukungan yang dapat dilihat pada Tabel 5.9 untuk kategori EEC dan Tabel 5.12 untuk kategori WAC. Tabel tersebut menunjukkan dukungan data dari Autodesk Revit, DesignBuilder, dan data teknis pada setiap kriteria penilaian. Berdasarkan Tabel tersebut akan ditentukan kategori kontribusi yang meliputi Y, Y_c, dan N. *Building Information Modeling* (BIM) dinyatakan memiliki kontribusi dan termasuk ke dalam kategori kontribusi Y apabila dapat memberikan dukungan data untuk kriteria penilaian. *Building Information Modeling* (BIM) dinyatakan memiliki kontribusi dan termasuk ke dalam kategori kontribusi Y_c apabila dapat memberikan dukungan data untuk kriteria penilaian, namun dalam kondisi khusus. *Building Information Modeling* (BIM) dinyatakan tidak memiliki kontribusi dan termasuk ke dalam kategori kontribusi N apabila tidak dapat memberikan dukungan data untuk kriteria penilaian. Berdasarkan kategori kontribusi, maka akan didapatkan persentase kontribusi dari BIM. Hasil analisis kontribusi akan dipisahkan berdasarkan *software* BIM yang digunakan yaitu Autodesk Revit dan DesignBuilder.



5.3.1 Autodesk Revit

Pada Subbab ini, analisis kontribusi BIM difokuskan pada penggunaan Autodesk Revit untuk mendukung penilaian bangunan hijau. Analisis ini dilakukan berdasarkan kriteria yang ada pada kategori *Energy Efficiency and Conservation* dan *Water Conservation*. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui kontribusi BIM dengan *software* Autodesk Revit melalui setiap kriteria penilaian yang ada pada kategori EEC dan WAC. Penyusunan analisis kontribusi dilakukan dengan menyusun tabel kontribusi terlebih dahulu. Tabel kontribusi digunakan sebagai penunjang untuk melakukan analisis kontribusi BIM melalui *software* Autodesk Revit pada kategori EEC dan WAC.

Tabel kontribusi disusun untuk menampilkan hasil pemetaan kategori kontribusi Autodesk Revit terhadap setiap kriteria penilaian yang ada pada kategori EEC dan WAC. Tabel kontribusi disusun berdasarkan hasil analisis bentuk dukungan BIM yang diperlihatkan pada Tabel 5.9 untuk kategori EEC dan Tabel 5.12 untuk kategori WAC. Autodesk Revit dinyatakan ke dalam kategori kontribusi Y apabila pada tabel tersebut Autodesk Revit dapat memberikan dukungan data. Autodesk Revit dinyatakan ke dalam kategori kontribusi Y_c apabila pada tabel tersebut Autodesk Revit dapat memberikan dukungan data, namun dalam kondisi khusus. Autodesk Revit dinyatakan ke dalam kategori kontribusi N apabila pada tabel tersebut Autodesk Revit tidak dapat memberikan dukungan data. Kategori kontribusi yang didapatkan Autodesk Revit akan disusun ke dalam tabel kontribusi. Analisis ini dipisahkan berdasarkan kategori yang ditinjau. Hal ini dilakukan untuk menunjukkan kontribusi dari Autodesk Revit untuk mendukung penilaian bangunan hijau pada masing-masing kategori. Adapun detail penjelasan mengenai kontribusi Autodesk Revit pada masing-masing kategori sebagai berikut:

1. *Energy Efficiency and Conservation (EEC)*

Analisis kontribusi Autodesk Revit pada kategori EEC didasarkan pada hasil analisis bentuk dukungan BIM pada kategori EEC. Hasil analisis bentuk dukungan BIM pada kategori EEC dapat dilihat pada Tabel 5.9. Adapun tabel kontribusi Autodesk Revit terhadap kategori EEC diperlihatkan Pada Tabel 5.15.



Tabel 5.15 Kontribusi Autodesk Revit pada Kategori EEC

Kriteria		Kategori Kontribusi Autodesk Revit		
		Y	Y _C	N
EEC P1	Pemasangan Submeter (Adanya pemasangan submeter)	✓		
EEC P2	Perhitungan OTTV (Adanya perhitungan OTTV)	✓		
EEC 1	Langkah Penghematan Energi (Adanya perhitungan konsumsi energi)	✓		
EEC 2	Pencahaya Alam (Penggunaan pencahayaan alami)	✓		
EEC 3	Ventilasi (Penggunaan ventilasi pada area tidak dikondisikan)	✓		
EEC 4	Pengaruh Perubahan Iklim (Perhitungan CO ₂ dari konversi konsumsi energi)	✓		
EEC 5	Energi Terbarukan Dalam Tapak (Penggunaan energi terbarukan)			✓
Total		6	0	1

Keterangan:

Y : Memiliki kontribusi

Y_C : Memiliki kontribusi dalam kondisi khusus

N : Tidak memiliki kontribusi

Berdasarkan Tabel 5.15, Autodesk Revit dapat memberikan kontribusi pada 6 kriteria penilaian. Kriteria ini meliputi pemasangan submeter, perhitungan OTTV, langkah penghematan energi, pencahayaan alami, ventilasi, dan pengaruh perubahan iklim. Autodesk Revit tidak dapat memberi kontribusi pada 1 kriteria penilaian yaitu energi terbarukan dalam tapak. Pembahasan detail mengenai bentuk dukungan dari Autodesk Revit dapat dilihat pada Subbab 5.2.1. Kontribusi dari Autodesk Revit akan dirangkum ke dalam persentase. Rumus perhitungan persentase kontribusi *software* dapat dilihat pada Persamaan 3.2. Adapun contoh perhitungan dari persentase kontribusi sebagai berikut:

Contoh perhitungan persentase kontribusi N

Jumlah keseluruhan kriteria pada kategori EEC (a) = 7



Jumlah kriteria pada kontribusi N (b) = 7

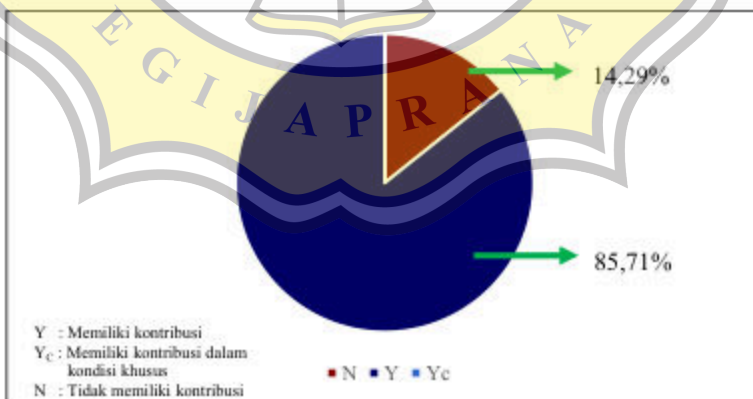
Persentase kriteria pada kategori kontribusi N (c) $= \frac{b}{a} \times 100\%$
 $= \frac{1}{7} \times 100\%$
 $= 14,29\%$

Perhitungan persentase dilakukan pada setiap kategori kontribusi yang ada yaitu pada kategori kontribusi N, Y, dan Y_c. Adapun rekap perhitungan persentase kontribusi Autodesk Revit pada kategori EEC diperlihatkan pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Rekap Perhitungan Persentase Kontribusi Autodesk Revit pada Kategori EEC

Kategori Kontribusi	Autodesk Revit	Persentase Kontribusi (%)
	b	c = (b/a) × 100
Y	6	85,71
Y _c	0	0,00
N	1	14,29
Total	7	100

Tabel 5.16 menunjukkan proporsi kontribusi Autodesk Revit pada kategori EEC. Persentase ini dapat digambarkan ke dalam diagram. Diagram persentase kontribusi Autodesk Revit pada kategori EEC dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Diagram Persentase Kontribusi Autodesk Revit Pada Kategori EEC



Berdasarkan Gambar 5.6, dapat diketahui bahwa Autodesk Revit dapat memberikan kontribusi terhadap 85,71% kriteria dari keseluruhan kriteria yang ada pada kategori EEC. Adapun Autodesk Revit tidak dapat memberikan kontribusi terhadap 14,29% kriteria dari keseluruhan kriteria yang ada pada kategori EEC. Berdasarkan persentase ini dapat diketahui bahwa Autodesk Revit memiliki peluang dalam membantu penilaian bangunan hijau pada kategori EEC. Hal ini ditunjukkan dengan nilai persentase kriteria yang mendapat kontribusi lebih besar. Autodesk Revit memiliki peran dalam menyediakan data geometri gedung dalam bentuk model 3D gedung. Selain itu, Autodesk Revit dapat memberikan visualisasi terhadap elemen bangunan. Adapun penjelasan detail mengenai dukungan Autodesk Revit dalam penilaian bangunan hijau pada kategori EEC dapat dilihat pada Subbab 5.2.1.

2. *Water Conservation (WAC)*

Analisis kontribusi Autodesk Revit pada kategori WAC didasarkan pada hasil analisis bentuk dukungan BIM pada kategori WAC. Hasil analisis bentuk dukungan BIM pada kategori WAC dapat dilihat pada Tabel 5.12. Adapun tabel 5.17 memperlihatkan kontribusi Autodesk Revit terhadap kategori WAC.

Tabel 5.17 Kontribusi Autodesk Revit pada Kategori WAC

Kriteria	Kategori Kontribusi Autodesk Revit		
	Y _a	Y _c	N
WAC P1 Meteran Air (Adanya pemasangan meteran air)	✓		
WAC P2 Perhitungan Penggunaan Air (Adanya perhitungan penggunaan air)	✓		
WAC 1 Pengurangan Penggunaan Air (Ada perhitungan pengurangan penggunaan air)	✓		
WAC 2 Fitur Air (Penggunaan fitur air yang efisien)	✓		
WAC 3 Daur Ulang Air (Penggunaan air daur ulang untuk <i>flushing</i>)	✓		
WAC 4 Sumber Air Alternatif (Penggunaan sumber air alternatif untuk air bersih)	✓		



Tabel 5.17 Kontribusi Autodesk Revit pada Kategori WAC (Lanjutan)

Kriteria		Kategori Kontribusi Autodesk Revit		
		Y	Y _c	N
WAC 5	Penampungan Air Hujan (Ada penampungan air hujan)	✓		
WAC 6	Efisiensi Penggunaan Air Lanskap (Penggunaan air siram taman tidak dari sumber air utama)			✓
Total		7	0	1

Keterangan:

Y : Memiliki kontribusi

Y_c : Memiliki kontribusi dalam kondisi khusus

N : Tidak memiliki kontribusi

Berdasarkan Tabel 5.17, Autodesk Revit dapat memberikan kontribusi terhadap 7 kriteria pada kategori WAC. Kriteria ini meliputi meteran air, perhitungan penggunaan air, pengurangan penggunaan air, fitur air, daur ulang air, sumber air alternatif, dan penampungan air hujan. Adapun Autodesk Revit tidak dapat memberikan kontribusi terhadap 1 kriteria pada kategori WAC. Kriteria ini meliputi efisiensi penggunaan air lanskap. Pembahasan detail mengenai dukungan Autodesk Revit dalam memberikan kontribusi untuk penilaian bangunan hijau pada setiap kriteria pada kategori WAC dapat dilihat pada Subbab 5.2.2. Kontribusi dari Autodesk Revit akan dirangkum ke dalam persentase untuk memberikan proporsi kontribusi yang diberikan terhadap kategori WAC. Rumus perhitungan persentase kontribusi *software* dapat dilihat pada Persamaan 3.2. Adapun contoh perhitungan dari persentase kontribusi sebagai berikut:

Contoh perhitungan persentase kontribusi N

Jumlah keseluruhan kriteria pada kategori WAC (a) = 8

Jumlah kriteria pada kontribusi N (b) = 1

Persentase kriteria pada kategori kontribusi N (c) = $\frac{b}{a} \times 100\%$



$$= \frac{1}{8} \times 100\%$$

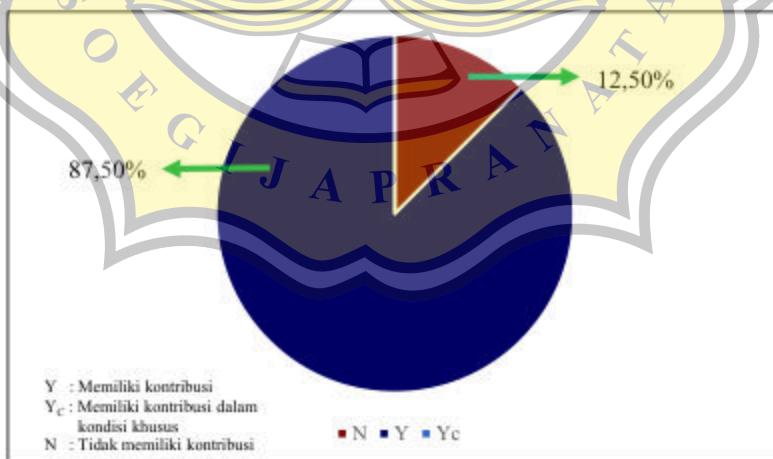
$$= 12,50\%$$

Perhitungan persentase dilakukan pada setiap kategori kontribusi yang ada yaitu pada kategori kontribusi N, Y, dan Y_C. Adapun rekap perhitungan persentase kontribusi Autodesk Revit pada kategori WAC diperlihatkan pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Rekap Perhitungan Persentase Kontribusi Autodesk Revit pada Kategori WAC

Kategori Kontribusi	Autodesk Revit	Persentase Kontribusi (%)
	b	c = (b/a) × 100
Y	6	87,50
Y _C	0	0,00
N	2	12,50
Total	8	100

Berdasarkan Tabel 5.18, maka dapat diketahui bahwa proporsi kontribusi dari Autodesk Revit pada kategori WAC. Persentase ini dapat digambarkan ke dalam diagram. Adapun diagram persentase kontribusi dari Autodesk Revit pada kategori WAC dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Diagram Persentase Kontribusi Autodesk Revit Pada Kategori WAC



Pada Gambar 5.7, dapat diketahui bahwa Autodesk Revit memiliki kontribusi terhadap 87,50% kriteria dari keseluruhan kriteria yang ada pada kategori WAC. Adapun Autodesk Revit tidak dapat memberikan kontribusi terhadap 12,50% kriteria. Berdasarkan persentase ini dapat diketahui bahwa Autodesk Revit dapat memberikan dukungan untuk penilaian bangunan hijau pada kategori WAC, namun belum maksimal. Detail dukungan dari Autodesk Revit untuk penilaian bangunan hijau pada kategori WAC dapat dilihat pada Subbab 5.2.2.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa Autodesk Revit memiliki kontribusi untuk membantu penilaian pada kategori EEC dan WAC. Hal ini dapat dilihat bahwa Autodesk Revit dapat memberikan kontribusi terhadap 85,71% kriteria dari total keseluruhan kriteria pada kategori EEC. Adapun penjelasan detail mengenai dukungan Autodesk Revit dalam membantu penilaian bangunan hijau pada kategori EEC dapat dilihat pada Subbab 5.2.1. Selain itu, Autodesk Revit dapat memberikan kontribusi terhadap 87,50% kriteria dari total keseluruhan kriteria yang ada pada kategori WAC. Adapun penjelasan detail dari mengenai dukungan Autodesk Revit dalam membantu penilaian bangunan hijau pada kategori WAC dapat dilihat pada Subbab 5.2.2.

Solla, dkk., (2016), melakukan penelitian terkait kontribusi BIM terhadap sistem penilaian bangunan hijau. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui kontribusi dari setiap BIM yang digunakan pada setiap kriteria dan kategori yang ada pada sistem penilaian bangunan hijau yang ditinjau. Pada penelitian ini digunakan tiga sistem penilaian bangunan hijau sebagai perbandingan meliputi LEED dari US, BEAM Plus dari Hongkong, dan *Green Star* dari Australia. Azhar, dkk., (2011), melakukan penelitian terkait kontribusi BIM terhadap sistem penilaian bangunan hijau LEED. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui kemampuan BIM dalam menunjang penilaian bangunan hijau berdasarkan sistem penilaian LEED melalui suatu studi kasus.

Pada penelitian Solla, dkk., (2016), menunjukkan bahwa BIM dapat memberikan kontribusi terhadap kriteria pada kategori energi pada semua sistem penilaian bangunan hijau (LEED, BEAM Plus, dan *Green Star*), namun BIM yang digunakan



pada setiap sistem penilaian berbeda-beda. Pada sistem penilaian LEED, BIM yang digunakan adalah IES-VE untuk kategori energi, sedangkan untuk kategori air digunakan Autodesk Revit. Pada sistem penilaian BEAM Plus, BIM yang digunakan adalah Autodesk Revit dan IES-VE untuk kategori energi, sedangkan untuk kategori air digunakan Autodesk Revit. Pada sistem penilaian *Green Star*, BIM yang digunakan adalah Ener-Win dan Trace untuk kategori energi sedangkan untuk kategori air digunakan Autodesk Revit. Pada penelitian Azhar, dkk., (2009), BIM dapat memberikan kontribusi pada kategori energi dan air dengan sistem penilaian LEED. Pada kategori energi digunakan BIM berupa IES-VE, sedangkan untuk kategori air digunakan BIM berupa Autodesk Revit dan IES-VE.

Hasil penelitian Solla, dkk., (2016) menunjukkan bahwa kategori energi pada sistem penilaian LEED memiliki bobot sebesar 24,6% dari total keseluruhan kategori yang ada, namun kontribusi IES-VE hanya terhadap 14,5% bobot. Pada sistem penilaian BEAM Plus, kategori energi memiliki bobot sebesar 35% dari total keseluruhan kategori yang ada, namun kontribusi Autodesk Revit dan IES-VE hanya terhadap 22% bobot. Pada sistem penilaian *Green Star*, kategori energi memiliki bobot sebesar 25% dari total keseluruhan kategori yang ada, namun kontribusi Ener-Win dan Trace hanya terhadap 13% bobot. Hasil penelitian Azhar, dkk., (2011) menunjukkan bahwa IES-VE memiliki kontribusi pada kategori energi dengan sistem penilaian LEED. Hasil penelitian menunjukkan bahwa IES-VE dapat memberikan kontribusi terhadap 2 kriteria.

Pada penelitian Solla, dkk., (2016), kategori air pada sistem penilaian LEED memiliki bobot sebesar 7,2% dari total keseluruhan kategori yang ada, namun Autodesk Revit dan IES-VE dapat memberikan kontribusi terhadap 7,2% bobot. Hal ini menunjukkan bahwa BIM dapat memberikan kontribusi penuh untuk penilaian bangunan hijau pada kategori air berdasarkan sistem penilaian LEED. Pada sistem penilaian BEAM Plus, kategori air memiliki bobot sebesar 12% dari total keseluruhan kategori yang ada, namun kontribusi Autodesk Revit hanya terhadap 6% bobot. Pada sistem penilaian *Green Star*, kategori energi memiliki bobot sebesar 12% dari total keseluruhan kategori yang ada, namun kontribusi



Autodesk Revit hanya terhadap 11% bobot. Hal ini menunjukkan bahwa BIM dapat memberikan kontribusi pada sebagian besar kriteria yang ada pada kategori air menurut *Green Star*. Pada penelitian Azhar, dkk., (2011), Autodesk Revit dan IES-VE memiliki kontribusi penuh pada kategori air untuk penilaian dengan sistem LEED. Hal ini ditunjukkan dengan keseluruhan kriteria pada kategori air mendapat kontribusi dari BIM.

Adapun kesamaan *software* BIM yang digunakan pada penelitian terdahulu dengan penelitian ini adalah Autodesk Revit. Pada penelitian terdahulu, Autodesk Revit tidak dapat memberikan kontribusi secara menyeluruh pada kategori energi. Hal ini dikarenakan Autodesk Revit memiliki fokus pada pemodelan bangunan dari segi struktur, arsitektur, dan MEP (Abakumov dan Naumov, 2018). Pemodelan menggunakan Autodesk Revit dapat dilakukan secara 2D maupun 3D (Pratama dan Beatrix, 2024). Oleh karena itu, pada penelitian terdahulu Autodesk Revit tidak memiliki kontribusi yang maksimal pada kategori energi, namun pada penelitian ini Autodesk Revit dinilai memiliki kontribusi pada kategori energi. Hal ini dikarenakan pada penelitian ini kontribusi Autodesk Revit dinilai dari dukungan yang dapat diberikan melalui fitur yang tersedia pada Autodesk Revit dan elemen yang ada pada model Gedung X.

Autodesk Revit dapat menghasilkan pemodelan bangunan secara 3D. Model 3D yang dihasilkan memuat informasi geometri bangunan, selubung bangunan, serta data yang diperlukan sebagai dasar dalam melakukan simulasi pada *software* lain seperti DesignBuilder (Walch, dkk., 2024). Berdasarkan informasi tersebut, maka Autodesk Revit dinilai mampu memberikan kontribusi secara tidak langsung dalam membantu kriteria penilaian pada kategori EEC dengan model 3D. Pada kategori EEC, kontribusi Autodesk Revit lebih berfokus pada penyedia data awal yang diperlukan untuk proses simulasi pada *software* DesignBuilder melalui *file* model 3D Gedung X yang telah dikonversi menjadi format (.gbXML).

Pada penelitian terdahulu, Autodesk Revit dinilai mampu memberikan kontribusi penuh terhadap kriteria yang ada pada kategori air. Pada penelitian ini Autodesk Revit dapat memberikan kontribusi pada kategori WAC, namun belum maksimal.



Kontribusi yang diberikan Autodesk Revit untuk membantu kriteria penilaian pada kategori WAC berfokus pada ketersediaan fitur Autodesk Revit dan visualisasi dari elemen yang diperlukan. Khoshdelnezhamiha, dkk., (2020) menjelaskan kontribusi Autodesk Revit dalam membantu sistem penilaian bangunan hijau pada kategori air. Pada penelitian ini dijelaskan bahwa Autodesk Revit lebih difokuskan pada pembuatan model dan dokumentasi bangunan, sehingga dapat memudahkan proses penyusunan data fitur air maupun komponen *plumbing* yang digunakan tetapi tidak untuk menghitung konsumsi air secara langsung. Autodesk Revit hanya memiliki kemampuan untuk memudahkan proses dokumentasi melalui visualisasi. Selanjutnya proses perhitungan mengenai konsumsi air dapat dilakukan dengan bantuan *software* lain. Pada penelitian ini, Autodesk Revit dapat memberikan kontribusi terhadap kriteria yang kebutuhan datanya berfokus pada visualisasi.

Berdasarkan pernyataan tersebut, maka dapat diketahui bahwa Autodesk Revit memiliki kontribusi untuk membantu kriteria penilaian pada kategori EEC dan WAC. Kontribusi Autodesk Revit pada kategori EEC berfokus pada penyedia data awal berupa model 3D Gedung X dengan *file* yang sudah dikonversi dalam format (.gbXML). Kontribusi Autodesk Revit pada kategori WAC berfokus pada ketersediaan fitur Autodesk Revit dan visualisasi elemen (komponen *plumbing* dan fitur air). Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu, sehingga membuktikan bahwa hasil pada penelitian ini relevan dengan penelitian terdahulu.

5.3.2 DesignBuilder

Pada Subbab ini, analisis kontribusi BIM difokuskan pada penggunaan DesignBuilder untuk mendukung penilaian bangunan hijau. Analisis ini dilakukan berdasarkan kriteria yang ada pada kategori EEC dan WAC. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui kontribusi BIM melalui DesignBuilder melalui setiap kriteria penilaian yang ada pada kategori EEC dan WAC. Penyusunan analisis kontribusi dilakukan dengan menyusun tabel kontribusi terlebih dahulu. Tabel kontribusi digunakan sebagai penunjang untuk melakukan analisis kontribusi BIM melalui *software* DesignBuilder pada kategori EEC dan WAC.



Tabel kontribusi disusun untuk menampilkan hasil pemetaan kategori kontribusi DesignBuilder terhadap setiap kriteria penilaian yang ada pada kategori EEC dan WAC. Tabel kontribusi disusun berdasarkan hasil analisis bentuk dukungan BIM yang diperlihatkan pada Tabel 5.9 untuk kategori EEC dan Tabel 5.12 untuk kategori WAC. DesignBuilder dinyatakan ke dalam kategori kontribusi Y apabila pada tabel tersebut DesignBuilder dapat memberikan dukungan data. DesignBuilder dinyatakan ke dalam kategori kontribusi Y_C apabila pada tabel tersebut DesignBuilder dapat memberikan dukungan data, namun dalam kondisi khusus. DesignBuilder dinyatakan ke dalam kategori kontribusi N apabila pada tabel tersebut DesignBuilder tidak dapat memberikan dukungan data. Kategori kontribusi yang didapatkan DesignBuilder akan disusun ke dalam tabel kontribusi. Analisis kontribusi dipisahkan berdasarkan kategori yang ditinjau yaitu kategori EEC dan WAC. Hal ini dilakukan untuk menunjukkan kontribusi dari DesignBuilder untuk mendukung penilaian bangunan hijau pada masing-masing kategori. Adapun detail penjelasan mengenai kontribusi DesignBuilder pada masing-masing kategori sebagai berikut:

1. *Energy Efficiency and Conservation* (EEC)

Analisis kontribusi DesignBuilder pada kategori EEC didasarkan pada hasil analisis tingkat dukungan BIM pada kategori EEC. Hasil analisis tingkat dukungan BIM pada kategori EEC dapat dilihat pada Tabel 5.9. Tabel kontribusi DesignBuilder terhadap kategori EEC diperlihatkan Pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Kontribusi DesignBuilder pada Kategori EEC

Kriteria		Kategori Kontribusi DesignBuilder		
		Y	Y _C	N
EEC P1	Pemasangan Submeter (Adanya pemasangan submeter)			✓
EEC P2	Perhitungan OTTV (Adanya perhitungan OTTV)	✓		
EEC 1	Langkah Penghematan Energi (Adanya perhitungan konsumsi energi)	✓		



Tabel 5.19 Kontribusi DesignBuilder pada Kategori EEC (Lanjutan)

Kriteria		Kategori Kontribusi DesignBuilder		
		Y	Y _C	N
EEC 2	Pencahayaan Alami (Penggunaan pencahayaan alami)	✓		
EEC 3	Ventilasi (Penggunaan ventilasi pada area tidak dikondisikan)			✓
EEC 4	Pengaruh Perubahan Iklim (Perhitungan CO ₂ dari konversi konsumsi energi)	✓		
EEC 5	Energi Terbarukan Dalam Tapak (Penggunaan energi terbarukan)		✓	
Total		4	1	2

Keterangan:

Y : Memiliki kontribusi

Y_C : Memiliki kontribusi dalam kondisi khusus

N : Tidak memiliki kontribusi

Berdasarkan Tabel 5.19, DesignBuilder dapat memberikan kontribusi terhadap 4 kriteria penilaian. Kriteria ini meliputi perhitungan OTTV, langkah penghematan energi, pencahayaan alami, dan pengaruh perubahan iklim. DesignBuilder dapat memberikan kontribusi terhadap 1 kriteria, namun hanya dalam kondisi khusus yaitu energi terbarukan dalam tapak. DesignBuilder tidak dapat memberikan kontribusi terhadap 2 kriteria yaitu pemasangan submeter dan ventilasi. Pembahasan detail mengenai dukungan DesignBuilder terhadap penilaian bangunan hijau pada kategori EEC dapat dilihat pada Subbab 5.2.1. Kontribusi dari DesignBuilder akan dirangkum ke dalam persentase. Rumus perhitungan persentase kontribusi *software* dapat dilihat pada Persamaan 3.2. Adapun contoh perhitungan dari persentase kontribusi sebagai berikut:

Contoh perhitungan persentase kontribusi N

Jumlah keseluruhan kriteria pada kategori EEC (a) = 7

Jumlah kriteria pada kontribusi N (b) = 2



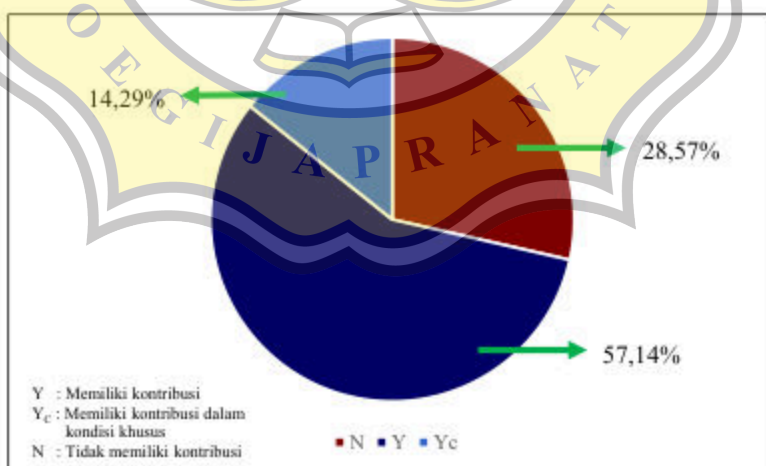
$$\begin{aligned}\text{Persentase kriteria pada kategori kontribusi N (c)} &= \frac{b}{a} \times 100\% \\ &= \frac{2}{7} \times 100\% \\ &= 28,57\%\end{aligned}$$

Perhitungan persentase dilakukan pada setiap kategori kontribusi yang ada yaitu pada kategori kontribusi N, Y, dan Y_c. Adapun rekap perhitungan persentase kontribusi DesignBuilder pada kategori EEC diperlihatkan pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Rekap Perhitungan Persentase Kontribusi DesignBuilder pada Kategori EEC

Kategori Kontribusi	DesignBuilder	Persentase Kontribusi (%)
	b	c = (b/a) × 100
Y	4	57,14
Y _c	1	14,29
N	2	28,57
Total	7	100

Pada Tabel 5.20 dapat diketahui proporsi kontribusi dari DesignBuilder pada kategori EEC yang dapat digambarkan ke dalam diagram. Diagram persentase kontribusi dari DesignBuilder pada kategori EEC dapat dilihat pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Diagram Persentase Kontribusi DesignBuilder Pada Kategori EEC



Berdasarkan Gambar 5.8, dapat diketahui bahwa DesignBuilder dapat memberikan kontribusi terhadap 57,14% kriteria dari keseluruhan kriteria yang ada pada kategori EEC. Selain itu DesignBuilder dapat memberikan kontribusi, namun dalam kondisi khusus terhadap 14,29% kriteria dari total keseluruhan kriteria. Adapun DesignBuilder tidak dapat memberikan kontribusi terhadap 28,57% kriteria dari total keseluruhan kriteria. Berdasarkan nilai persentase ini dapat diketahui bahwa DesignBuilder memiliki peluang dalam membantu penilaian bangunan hijau pada kategori EEC. Persentase ini menunjukkan adanya kontribusi BIM untuk penilaian bangunan hijau pada kategori EEC. DesignBuilder memiliki peran dalam menyediakan data hasil simulasi gedung mengenai performa bangunan yang dapat digunakan untuk membantu penilaian bangunan hijau pada kategori EEC. Penjelasan detail mengenai dukungan DesignBuilder dalam penilaian bangunan hijau pada kategori EEC dapat dilihat pada Subbab 5.2.1.

2. *Water Conservation (WAC)*

Analisis kontribusi DesignBuilder pada kategori WAC didasarkan pada hasil analisis tingkat dukungan BIM pada kategori WAC. Detail hasil analisis tingkat dukungan BIM pada kategori WAC dapat dilihat pada Tabel 5.12. Adapun pada Tabel 5.21 diperlihatkan tabel kontribusi DesignBuilder terhadap kategori WAC.

Tabel 5.21 Kontribusi DesignBuilder pada Kategori WAC

Kriteria		Kategori Kontribusi DesignBuilder		
		Y	Yc	N
WAC P1	Meteran Air (Adanya pemasangan meteran air)			✓
WAC P2	Perhitungan Penggunaan Air (Adanya perhitungan penggunaan air)			✓
WAC 1	Pengurangan Penggunaan Air (Ada perhitungan pengurangan penggunaan air)			✓
WAC 2	Fitur Air (Penggunaan fitur air yang efisien)			✓



Tabel 5.21 Kontribusi DesignBuilder pada Kategori WAC (Lanjutan)

Kriteria		Kategori Kontribusi DesignBuilder		
		Y	Y _C	N
WAC 3	Daur Ulang Air (Penggunaan air daur ulang untuk flushing)			✓
WAC 4	Sumber Air Alternatif (Penggunaan sumber air alternatif untuk air bersih)			✓
WAC 5	Penampungan Air Hujan (Ada penampungan air hujan)			✓
WAC 6	Efisiensi Penggunaan Air Lanskap (Penggunaan air siram taman tidak dari sumber air utama)			✓
Total		0	0	8

Keterangan:

Y : Memiliki kontribusi

Y_C : Memiliki kontribusi dalam kondisi khusus

N : Tidak memiliki kontribusi

Berdasarkan Tabel 5.21, dapat dilihat bahwa DesignBuilder tidak dapat memberikan kontribusi terhadap kriteria yang ada pada kategori WAC. Hal ini dapat dilihat bahwa tidak ada kriteria penilaian yang mendapat kontribusi dari DesignBuilder. Adapun sebanyak 8 kriteria penilaian pada kategori WAC mendapat kategori kontribusi N. Pembahasan detail mengenai bentuk dukungan DesignBuilder dalam membantu penilaian bangunan hijau pada kategori WAC dapat dilihat pada Subbab 5.2.2. Kontribusi dari DesignBuilder akan dirangkum ke dalam persentase untuk memberikan proporsi kontribusi yang diberikan. Rumus perhitungan persentase kontribusi *software* dapat dilihat pada Persamaan 3.2. Adapun contoh perhitungan dari persentase kontribusi sebagai berikut:

Contoh perhitungan persentase kontribusi N

Jumlah keseluruhan kriteria pada kategori EEC (a) = 8

Jumlah kriteria pada kontribusi N (b) = 8

Persentase kriteria pada kategori kontribusi N (c) = $\frac{b}{a} \times 100\%$



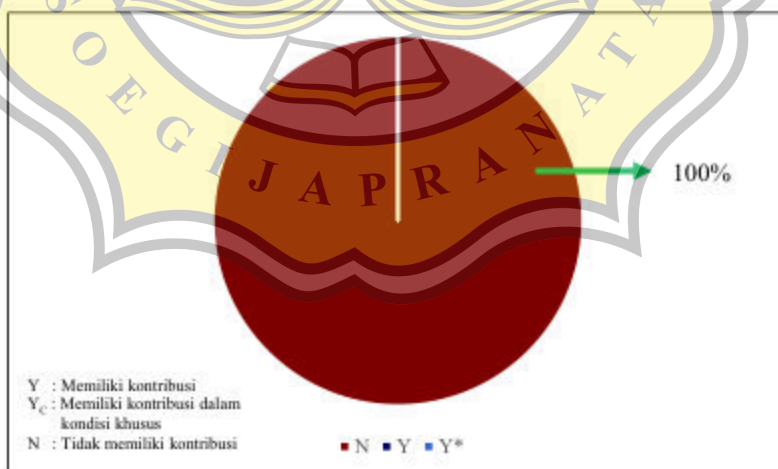
$$\begin{aligned}\text{Persentase kriteria pada kategori kontribusi N (c)} &= \frac{8}{8} \times 100\% \\ &= 100\%\end{aligned}$$

Perhitungan persentase dilakukan pada setiap kategori kontribusi yang ada yaitu pada kategori kontribusi N, Y, dan Y_C. Adapun rekap perhitungan persentase kontribusi DesignBuilder pada kategori WAC diperlihatkan pada Tabel 5.22.

Tabel 5.22 Rekap Perhitungan Persentase Kontribusi DesignBuilder pada Kategori WAC

Kategori Kontribusi	DesignBuilder	Persentase Kontribusi (%)
	b	$c = (b/a) \times 100$
Y	0	0,00
Y _C	0	0,00
N	8	100,00
Total	8	100

Berdasarkan Tabel 5.22, maka dapat diketahui bahwa proporsi kontribusi dari DesignBuilder pada kategori WAC. Persentase ini dapat digambarkan ke dalam diagram. Adapun diagram persentase kontribusi dari DesignBuilder pada kategori WAC dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Diagram Persentase Kontribusi DesignBuilder Pada Kategori WAC



Berdasarkan Gambar 5.9, maka dapat diketahui bahwa DesignBuilder tidak dapat memberikan kontribusi terhadap kriteria pada kategori WAC. Adapun DesignBuilder tidak dapat memberikan kontribusi terhadap 100% kriteria dari total keseluruhan kriteria. Berdasarkan persentase ini dapat diketahui bahwa DesignBuilder tidak dapat memberikan kontribusi untuk membantu penilaian bangunan hijau pada kategori WAC.

Pada kategori EEC, DesignBuilder dapat memberikan kontribusi terhadap 57,14% kriteria dari total kriteria, sedangkan pada kategori WAC, DesignBuilder tidak dapat memberikan kontribusi. DesignBuilder memiliki kemampuan untuk melakukan pemodelan kinerja energi melalui proses simulasi. Simulasi secara khusus berfokus pada analisis performa bangunan seperti efisiensi energi, kenyamanan termal, dan pencahayaan. Selain itu, DesignBuilder dapat memberikan alternatif desain terbaik untuk memaksimalkan kenyamanan termal, *daylight*, dan ventilasi alami dalam bangunan. DesignBuilder memodelkan sistem HVAC, *daylight systems*, dan *airflow* pada bangunan dengan tujuan untuk meminimalkan konsumsi energi, emisi karbon, dan biaya pada bangunan (Kirimtat, dkk., 2016; Vargas dan Hamui, 2021; DesignBuilder, 2025; Elnabawi, 2020). Berdasarkan kemampuan ini, maka DesignBuilder tergolong ke dalam *Building Energy Modeling (BEM)*. *Building Energy Modeling (BEM)* merupakan alat pendukung analisis kinerja bangunan berbasis BIM karena pada prosesnya memerlukan data dan model dari BIM (Gao, dkk., 2019). *Building Energy Modeling (BEM)* seperti DesignBuilder menyediakan *tools* untuk melakukan analisis performa bangunan melalui simulasi. Analisis performa bangunan meliputi konsumsi energi, kondisi termal, *daylight* hingga karakteristik selubung bangunan (Gao, dkk., 2019; Elnabawi, 2020). Analisis yang disediakan BEM relevan dengan kebutuhan data yang diperlukan kriteria penilaian pada kategori EEC, sehingga BEM seperti DesignBuilder dinilai dapat memberikan kontribusi terhadap kategori EEC.

Pada kategori WAC, DesignBuilder tidak dapat memberikan kontribusi terhadap kriteria penilaian yang ada. Hal ini dikarenakan DesignBuilder tidak menyediakan fitur untuk melakukan pemodelan *plumbing* maupun fitur air. DesignBuilder



berfokus pada analisis performa bangunan yang mencakup konsumsi energi hingga karakteristik selubung bangunan yang tidak relevan dengan kriteria penilaian pada kategori WAC. Adapun kebutuhan data untuk kriteria penilaian pada kategori WAC lebih berfokus pada dokumentasi dari komponen *plumbing* hingga fitur air, sehingga cukup menggunakan BIM seperti Autodesk Revit atau data teknis. Berdasarkan pernyataan tersebut, maka DesignBuilder dinilai tidak dapat memberikan kontribusi pada kategori WAC.

Pada penelitian terdahulu, kategori air mendapat kontribusi secara penuh karena ada perbedaan *software* yang digunakan. Solla, dkk., (2016) dan Azhar, dkk., (2011), menggunakan *software* lain seperti IES-VE sehingga setiap kriteria pada kategori air mendapat kontribusi secara penuh dari BIM. Azhar, dkk., (2011) menjelaskan adanya kriteria yang tidak mendapat kontribusi dari BIM dapat disebabkan oleh kurangnya fitur integrasi dari sistem penilaian ke dalam BIM. Berdasarkan pernyataan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa pada penelitian sebelumnya, BIM melalui IES-VE dapat memberikan kontribusi. Pada penelitian ini digunakan DesignBuilder, namun tidak dapat memberikan kontribusi pada kategori WAC. Hasil penelitian ini berbeda dengan penelitian terdahulu sebagai akibat dari perbedaan *software* yang digunakan pada penelitian.



BAB 6 PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun serta hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan. Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Building Information Modeling* (BIM) dapat memberikan dukungan dalam penilaian bangunan hijau pada kategori EEC dan WAC sebagai berikut:
 - a. Pada kategori EEC, BIM dapat memberikan dukungan sebesar 28,57% kriteria tingkat dukungan *high*, 57,14% kriteria pada tingkat dukungan *medium*, dan 14,29% kriteria pada tingkat dukungan *conditional* dikarenakan keterbatasan lisensi *software* yang digunakan.
 - b. Pada kategori EEC, BIM dapat memberikan dukungan pada kriteria yang berhubungan dengan performa bangunan yang meliputi konsumsi energi, kondisi selubung bangunan, dan *daylighting*. Selain itu, BIM dapat memberikan dukungan pada kriteria yang berhubungan dengan visualisasi dan dokumentasi dari elemen.
 - c. Pada kategori WAC, BIM dapat memberikan dukungan sebesar 87,50% kriteria pada tingkat dukungan *medium*.
 - d. Pada kategori WAC, BIM dapat memberikan dukungan pada kriteria yang berhubungan dengan visualisasi dan dokumentasi dari elemen.
2. Masing-masing *software* BIM yang digunakan dapat memberikan kontribusi pada kategori EEC dan WAC sebagai berikut:
 - a. Autodesk Revit dapat memberikan kontribusi sebesar 85,71% kriteria dari total keseluruhan kriteria yang ada pada kategori EEC. Kontribusi Autodesk Revit pada berfokus pada visualisasi melalui model 3D bangunan dan penyedia data awal mengenai bangunan untuk keperluan simulasi.
 - b. Autodesk Revit dapat memberikan kontribusi sebesar 87,50% kriteria dari total keseluruhan kriteria yang ada pada kategori WAC. Kontribusi Autodesk pada kategori WAC berfokus pada visualisasi melalui model 3D bangunan.



- c. DesignBuilder dapat memberikan kontribusi terhadap 57,14% kriteria dari total keseluruhan kriteria pada kategori EEC. Selain itu, DesignBuilder dapat memberikan kontribusi terhadap 14,29% kriteria dari total keseluruhan kriteria, namun dalam kondisi khusus. Hal ini dikarenakan pada penelitian ini digunakan DesignBuilder versi *student*, sehingga tidak dapat dilakukan pemodelan terhadap *solar panel*. Kontribusi DesignBuilder pada kategori EEC berfokus pada penyedia hasil simulasi performa bangunan yang meliputi data konsumsi energi, kondisi selubung bangunan, dan *daylighting*.
 - d. DesignBuilder tidak dapat memberikan kontribusi terhadap setiap kriteria penilaian yang ada pada kategori WAC.
3. *Building Information Modeling* (BIM) tidak dapat menggantikan proses penilaian bangunan hijau secara menyeluruh, namun BIM dapat memberikan dukungan pada penilaian bangunan hijau. Dukungan yang diberikan oleh BIM hanya dukungan secara parsial.
 4. Pada penilaian bangunan hijau, BIM berperan sebagai alat pendukung dalam menyediakan visualisasi dan data awal untuk keperluan simulasi. Penggunaan BIM sebagai alat pendukung pada proses penilaian bangunan hijau memungkinkan proses analisis dilakukan secara sistematis dan terstruktur.
 5. Penelitian ini menunjukkan potensi penggunaan BIM dalam membantu penilaian bangunan hijau melalui studi kasus dari Gedung X. Pada penerapannya dapat diterapkan dan digunakan untuk gedung lain, namun tetap perlu dilakukan penyesuaian sesuai dengan gedung yang ditinjau.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa saran yang dapat digunakan pada penelitian selanjutnya. Adapun saran yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebelum melakukan analisis dengan simulasi melalui *software* seperti DesignBuilder, model 3D yang digunakan harus disederhanakan terlebih dahulu. Penyederhanaan model 3D memiliki tujuan untuk mengoptimalkan proses



simulasi dan mempercepat waktu analisis. Penyederhanaan model 3D harus didasarkan pada standar atau penelitian yang telah dilakukan agar tidak mengurangi ketepatan hasil penelitian secara berlebihan.

2. Sebelum melakukan proses *export* model 3D ke format (.gbXML), perlu dipastikan terlebih dahulu bahwa *space* yang terbentuk pada model 3D sudah terbentuk dengan baik tanpa ada celah, lubang, atau area yang belum terbentuk. Selain itu, pada tahap *import* model 3D, perlu dipastikan bahwa model 3D bangunan telah terbentuk secara menyeluruh dengan baik. Hal ini dilakukan untuk menghindari *error* yang terjadi saat proses simulasi berlangsung.
3. Kategori WAC tidak dapat didukung secara menyeluruh oleh *software* Autodesk Revit dan DesignBuilder. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya dapat digunakan *software* lain yang memiliki kemampuan untuk memodelkan dan melakukan simulasi pada sistem *plumbing* agar analisis terhadap kategori WAC dapat dilakukan.
4. *Software* DesignBuilder memiliki berbagai *output* atau hasil keluaran, seperti *environmental and comfort* yang belum dimanfaatkan pada penelitian ini. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya dapat memanfaatkan hasil keluaran yang belum dimanfaatkan pada penelitian ini untuk analisis pada kategori lain.