

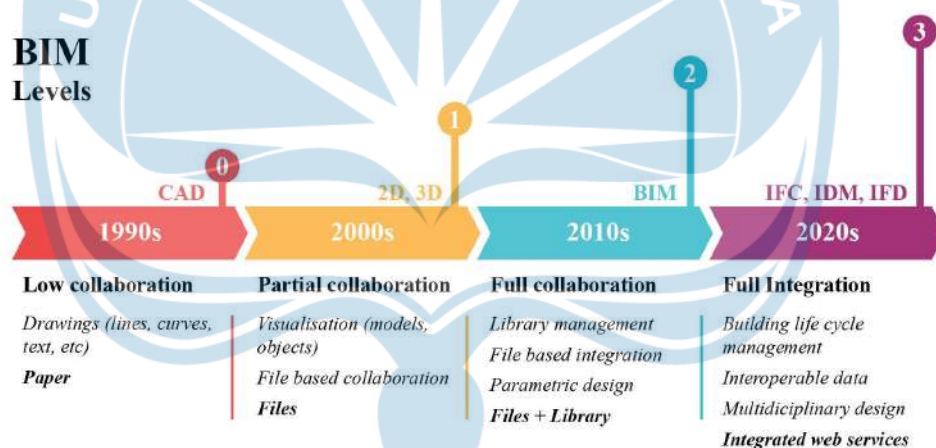
BAB II

LANDASAN TEORI

Landasan teori yang ada untuk mengidentifikasi kajian-kajian yang membahas BIM, BEM, EEC dan pengembangan *fleksibel shading*. Basis data elektronik yang dicari sebagian besar adalah Google Scholar ("Google Scholar," 2022) dan Crossreff ("Crossreff," 2022).

2.1 Pengertian BIM

Saat ini, BIM dapat didefinisikan sebagai proses menciptakan model bangunan tiga dimensi yang cerdas yang memungkinkan pemangku kepentingan untuk mengelola dan mengoordinasikan seluruh siklus hidup bangunan, termasuk rencana, desain, konstruksi, operasi, dan pemeliharaan[70]. Sejak diperkenalkan pertama kali, BIM telah berkembang dan matang menjadi enam arah: desain, estimasi, konstruksi, *building life cycle*, kinerja, dan teknologi.[24]



Gambar 2.1 Linimasa Pengembangan BIM [24]

Aspek yang sama pentingnya dari BIM adalah tingkat kematangan yang menggambarkan bagaimana metode ini berkembang dan terbentuk sepanjang waktu (Gambar 2.1). Level nol mencakup desain berbantuan komputer (CAD) dan bisa digambarkan sebagai tingkat kolaborasi yang rendah karena proses desain tidak dapat dioperasikan dan informasi dipertukarkan melalui dokumen berbasis kertas atau elektronik. Pemangku kepentingan yang berbeda tidak berkolaborasi karena setiap orang membuat data mereka sendiri. Meskipun pada profesional industri jarang menggunakan level ini, namun masih bisa diterapkan [24].

Level satu menggunakan informasi CAD 2D dan 3D untuk visualisasi dan pembuatan dokumentasi yang diperlukan. Tingkat ini adalah kolaborasi parsial karena informasi yang dibagikan secara elektronik menggunakan lingkungan data umum (CDE). CDE adalah platform berbagi data, yang dapat mengumpulkan, menyimpan, dan mengatur data selama proses desain. Namun, level ini masih disebut sebagai "BIM yang sepi" karena pemangku kepentingan yang berbeda jarang berkolaborasi dan biasanya, mereka bekerja sendiri, menghasilkan *file* terpisah.

Ketika perangkat lunak CAD menjadi lebih cerdas, pengguna ingin berbagi desain dan data yang terkait dengannya. Akibatnya, lebih banyak perhatian diberikan pada data daripada 3D *visualizations*. Beberapa poin penting dari level dua termasuk pengenalan manajemen waktu dan perhitungan biaya. Pemodelan parametrik berbasis objek diperkenalkan, yang merupakan salah satu perbedaan utama antara BIM dan pemodelan 3D tradisional. Secara khusus, objek diwakili oleh parameter dan aturan yang menentukan bentuk dan bentuk bersama dengan beberapa data non-geometris.

BIM level tiga adalah tujuan akhir dari praktik desain dan konstruksi. Ini sering disebut sebagai "Open BIM" dan mencakup integrasi penuh informasi dalam lingkungan berbasis *cloud*, yang memungkinkan semua pemangku kepentingan untuk bekerja pada model yang sama secara bersamaan. Terlepas dari pengurutan konstruksi dan perhitungan biaya, dengan BIM level tiga seluruh siklus hidup bangunan dapat dinilai, menghasilkan hasil bisnis yang lebih baik. Layanan web terintegrasi dan desain multidisiplin mengeliminasi peluang informasi yang saling bertentangan [24].

Saat ini, sebagian besar proyek arsitektur dirancang dengan BIM, ini merupakan salah satu instrumen yang digunakan dengan baik dalam arsitektur, teknik, dan konstruksi (AEC). Dengan bantuan teknologi BIM, model bangunan yang dihasilkan komputer dapat dibangun, memungkinkan koordinasi informasi untuk berbagai disiplin ilmu yang diperlukan untuk mendukung konstruksi, fabrikasi, dan sistem mekanik, listrik, dan plumbing (MEP) yang diperlukan untuk mendirikan gedung [24]. Meskipun BIM memungkinkan optimalisasi parameter desain seperti lokasi, orientasi, kaca, dan sifat lain dari tahap desain awal, namun diperlukan alat tambahan untuk menilai kebutuhan energi bangunan.

2.2 Pengertian BEM

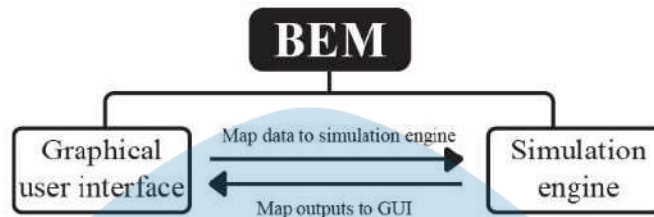
Perangkat lunak BIM seperti Archicad dan Revit saat ini sering digunakan untuk membuat model BIM, dan juga dibutuhkan alat bantu tambahan untuk analisis energi pada BIM 6D. Di sinilah BEM (*Building Energy Modeling*) masuk. BEM dapat digambarkan sebagai perangkat lunak simulasi berbasis computer untuk melakukan penilaian energi terperinci terhadap bangunan dan sistemnya [71]. Simulasi yang dilakukan didasarkan pada model matematika yang diberlakukan oleh perangkat lunak dan memberikan representasi perkiraan energi. *Input* data tambahan diperlukan untuk pembuatan model bangunan lengkap. Data *input*, yang diperlukan untuk menjalankan analisis kinerja bangunan, sebagai berikut:

- Iklim : data cuaca khas untuk lokasi tertentu.
- Situs : Lokasi, orientasi bangunan, naungan dengan konteks dilokasi bangunan ada pohon, atau bangunan di sekitarnya.
- Geometri : bentuk bangunan dan distribusi zona.
- Zone : karakteristik bahan, konstruksi, bukaan, jembatan termal, infiltrasi dan peneduh.
- Keuntungan panas internal : dihasilkan oleh penghuni, pencahayaan, dan peralatan.
- Jadwal : jadwal penghuni dan operasi.
- Spesifikasi sistem pemanas, ventilasi, dan pendingin udara (HVAC).

Kompleksitas *input* HVAC sangat tergantung pada alat simulasi itu sendiri. Beberapa alat memiliki mode yang memungkinkan penilaian beban pemanasan dan pendinginan tanpa detail sistem apa pun. Namun, perlu untuk menentukan persyaratan kondisi untuk zona tersebut, seperti suhu min dan max *indoor*. Beberapa alat hanya memerlukan detail, seperti koefisien kinerja (COP) dan ada alat yang juga membutuhkan jenis sistem HVAC yang ditentukan.

Ketika semua data yang diperlukan disediakan, perangkat lunak siap untuk menjalankan simulasi. Ini berarti bahwa mesin bawaan akan menyelesaikan persamaan yang terhubung dengan termodinamika dan ilmu bangunan. Waktu yang diperlukan untuk perhitungan dapat bervariasi tergantung pada ukuran bangunan, level detail dan kompleksitas analisis [24]. Kinerja bangunan dapat disimulasikan dengan berbagai cara. Beberapa jenis simulasi yang paling umum termasuk analisis iklim, kenyamanan termal, perhitungan energi, penilaian siang hari, dll. Output tergantung pada jenis dan alat

simulasi. Biasanya, hasil dilaporkan untuk kinerja tahunan dan termasuk permintaan pemanasan dan pendinginan, beban puncak, dampak siang hari, HVAC dan kinerja sistem terbarukan, emisi karbon yang diwujudkan dan operasional, konsumsi sumber daya, biaya energi, dan variabel terkait kinerja lainnya [24].



Gambar 2.2 Proses Simulasi BEM [24]

Alat BEM biasanya terdiri dari dua unit: antarmuka pengguna grafis (GUI) dan mesin simulasi (Gambar 2.2). GUI dapat digambarkan sebagai sistem elemen visual interaktif yang memfasilitasi proses pemodelan energi bangunan dengan menyediakan antarmuka grafis bagi pengguna [24]. Komponen kedua, mesin simulasi, bekerja di belakang dan memberikan hasil berdasarkan input dari GUI. Dengan kata lain, ada proses pemetaan yang berkelanjutan dari GUI ke mesin simulasi dan biasanya, di sinilah sebagian besar tantangan interoperabilitas terjadi. Saat ini, tidak ada mesin simulasi yang mampu mengimpor skema *file* BIM secara independen seperti *international foundation class* (IFC) dan *green building XML* (gbXML) [24].

Metode gabungan mempertimbangkan paket perangkat lunak yang memungkinkan desain dan BPS secara bersamaan[24]. Integrasi model gabungan memiliki beberapa manfaat: umpan balik instan mengenai kinerja bangunan pada setiap tahap desain, tingkat interoperabilitas yang tinggi, dan akurasi. Meskipun demikian, dibandingkan dengan metode lain, integrasi model gabungan agak terbatas.

2.3 Gabungan BIM dan BEM

Menurut Bracht et al., 2021; Chong dkk., 2017 interoperabilitas penuh antara alat BIM dan BEM belum tercapai [24]. Sebagian besar jurnal yang ditinjau setuju bahwa masalah utama dengan integrasi BIM ke BEM adalah terbatasnya kemampuan pertukaran data di antara perangkat lunak BIM dan BEM yang berbeda, sehingga sulit untuk membuat model unik yang berisi semua jenis informasi. Optimalisasi proses interoperabilitas rawan error dan rumit karena berbagai format *file* ekspor BIM dan mesin energi yang tersedia di

pasaran. Penggunaan format *file* GBXML dan IFC, yaitu, metode integrasi model pusat untuk berbagi informasi antara BIM dan BEM adalah alur kerja yang paling umum [24]. Meskipun kedua skema adalah format *file* yang komprehensif, perangkat lunak BIM mungkin masih berjuang untuk mentransfer data yang diperlukan dengan benar ke IFC dan gbXML[72]. Masalah lain muncul ketika alat BEM tidak dapat dengan benar mengambil data yang disediakan dengan *file* BIM. Dengan model BIM yang akurat, masih ada masalah informasi dan pengenalan yang hilang. Kadang-kadang bahkan yang paling canggih dan lengkap juga gagal menghasilkan model BEM yang andal yang memanfaatkan semua informasi yang diperlukan dari skema *file* BIM [24].

Meskipun metode gabungan dari model terintegrasi adalah solusi yang sedang naik daun untuk BIM untuk tantangan interoperabilitas BEM, namun hanya beberapa studi yang berfokus pada mereka. Beberapa studi yang menyelidiki alat BEM berbasis BIM menunjukkan bahwa alur kerja semacam ini bisa seakurat alat *Building performance simulation* (BPS) tingkat lanjut. Selain itu, metode gabungan dapat mengurangi waktu komputasi simulasi dan membutuhkan lebih sedikit sumber daya [24].

2.4 Software Building Performance Simulation (BPS)

Eco Designer adalah aplikasi tambahan untuk Archicad yang memungkinkan arsitek untuk mengevaluasi bangunan dengan antarmuka BIM dan memberikan umpan balik yang cepat tentang alternatif desain, efisiensi, dan keberlanjutan [73]. Hasil evaluasi energi didasarkan pada geometri bangunan, data cuaca untuk lokasi tertentu, profil operasional dan sistem mekanik. Evaluasi energi menyediakan template untuk berbagai profil operasional berdasarkan standar DIN 18599 (DIN - Deutsches Institut für Normung). Evaluasi energi bangunan dinamis dilakukan dengan meneruskan data analisis ke mesin perhitungan VIP-Energy, dikembangkan oleh perusahaan Swedia StruSoft [74][75]. Data yang didapatkan dari hasil analisis antara lain konsumsi energi tahunan, jejak karbon (yang termasuk hanya karbon dioksida yang dipancarkan selama operasi bangunan) dan keseimbangan energi bulanan. Hasil analisis tahunan ditampilkan pada laporan evaluasi yang dibuat secara otomatis.

Mesin perhitungan VIP-Energy yang terintegrasi dengan Archicad tergantung pada model dinamis. Data dihitung setiap jam. Mesin perhitungan VIP-Energy divalidasi dengan standar ANSI/ASHRAE 140-2007, LEED dan BREEAM [76]. Perhitungan dinamis dalam VIP-Energy telah dikembangkan melalui penelitian bertahun-tahun

dengan model perhitungan berkualitas tinggi untuk memastikan hasil yang valid bahkan pada arsitektur yang menantang seperti rumah pasif [76].

Dalam metode integrasi model, Archicad dan Eco Designer dapat disebut sebagai sistem gabungan karena BEM diproduksi langsung dari BIM dan proses desain / simulasi energi dilakukan secara bersamaan. Sebagian besar data dari model BIM digunakan oleh Eco Designer.

2.5 Energy Efficiency and Conservation (EEC)

Efisiensi penggunaan energi ditujukan untuk mencapai tingkat energi yang optimal sesuai dengan fungsi bangunan gedung, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, serta mengurangi biaya yang terkait penggunaan energi yang berlebihan [77]. Menurut peraturan Menteri PUPR tahun 2015 tentang Bangunan Gedung Hijau, efisiensi penggunaan energi diperhitungkan dengan menerapkan persyaratan teknis efisiensi penggunaan energi sesuai dengan pedoman dan standar teknis terkait, yang diperkirakan mampu mencapai konservasi energi dengan kisaran 20-25% [77][47].

Efisiensi penggunaan energi pada bangunan gedung hijau secara akurat harus mempertimbangkan nilai akumulasi *Roof Thermal Transfer Value* (RTTV) dan/atau *Overall Thermal Transfer Value* (OTTV). Menurut tolak ukur GREENSHIP GBCI tahun 2013 dan peraturan Menteri PUPR tahun 2015, nilai akumulasi RTTV dan OTTV yang diperkenankan adalah maksimum 35 Watt/m² sesuai SNI 6389:2020, yang dapat dicapai secara bertahap [78][79]. Temperatur udara dalam ruang-ruang hunian pada bangunan gedung hijau ditetapkan berkisar 25°C (dua puluh lima derajat Celcius) $\pm$ 1°C dan kelembaban relatif berkisar antara 60% $\pm$ 10% [77][47]. Beberapa survei menunjukkan suhu operasi yang dianggap nyaman bagi pengguna gedung adalah berkisar 26,7°C [80].

Sekitar 50 % penggunaan energi pada bangunan disebabkan oleh proses-proses yang diperlukan untuk menciptakan iklim buatan dalam ruangan melalui pemanasan, pendinginan, ventilasi, dan pencahayaan. Konsumsi energi bangunan pada umumnya memakan sekitar 25 % dari total biaya operasi bangunan. Perkiraan menunjukkan bahwa desain yang ramah lingkungan dengan menggunakan teknologi yang tersedia di dalam bangunan dapat mengurangi konsumsi energi ventilasi dan pendinginan hingga 30 % dan keperluan energi pencahayaan hingga setidaknya 50%. Bangunan gedung juga merupakan sumber dari 30% emisi rumah kaca dan menghabiskan 30% dari bahan mentah. [81]

Di Indonesia, Standar Nasional Indonesia mengatur prosedur audit energi bangunan melalui SNI 6196:2001, yang didasarkan pada laporan penelitian oleh *Association of Southeast Asian Nations–United States Agency for International Development's* (ASEAN–USAID). Lembaga lain bernama Green Building Council of Indonesia (GBCI) menyediakan Greenship (alat untuk menentukan peringkat yang berisi pedoman konservasi dan efisiensi energi). ASEAN-USAID dan GBCI menargetkan audit energi mereka sesuai dengan intensitas konsumsi energi (IEC), yang didasarkan pada total nilai energi bangunan. Intensitas konsumsi energi untuk pendinginan (IECC) adalah 65% IEC dari rasio konsumsi energi listrik terhadap luas lantai ber-AC kWh/m² tahun [36].

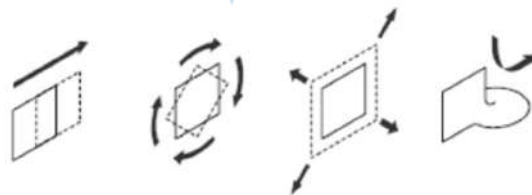
Table 2.1 IEC dan IECC dari ASEAN–USAID dan GBCI

No.	Klasifikasi	ASEAN–USAID	GBCI
		IEC/IECC (kWh/m ² .tahun)	
1	Kantor	240/156	250/162.5
2	Hotel (apartemen)	300/195	350/227.5
3	Pusat perbelanjaan (komersial)	330/214.5	450/292.5

Konsumsi energi dari sebuah bangunan gedung pada umumnya menghabiskan sebesar 25% dari total biaya operasional. Perkiraan-perkiraan yang ada mengindikasikan bahwa desain yang dapat mengendalikan beban eksternal akibat iklim dan cuaca di luar gedung dengan mengimplementasikan teknologi-teknologi mutakhir yang ada dalam bangunan gedung dapat menurunkan konsumsi energi untuk pendinginan dan ventilasi sebesar 30% dan kebutuhan energi untuk penerangan sebesar 50% [81].

2.6 Fleksibel Shading

Menurut Moloney (2011), pada fasad kinetik terdapat tiga penjabaran bentuk transformasi fasad kinetik secara umum yaitu translation, rotation, scaling, dan material deformation.[51]



Gambar 2.3 Jenis Pergerakan [51]

Translation adalah gerakan sebuah bidang atau komponen pada arah yang sama, rotation adalah gerakan sebuah bidang atau komponen dengan memutar pada sumbu axis

tertentu, dan scaling bergerak dengan cara merubah ukuran, memuai atau kontraksi dari ukuran semula. Gerakan pada tipe material deformation dengan cara memanipulasi sifat material.[51]

Sesuai studi (Kuru, 2019) fasad adaptif dapat mengurangi beban pendingin sebesar 19% dan meningkatkan kenyamanan 67,5% [48]. Pendekatan biomimikri, meniru perilaku tumbuhan mimosa (gambar 2.4) menggunakan algoritma model generatif dapat direinterpretasi menjadi fleksibel shading untuk merespon radiasi dan sudut matahari bisa mereduksi radiasi sebesar 26.3% [48].



Gambar 2.4 Fasad Kinetik Mimosa [48]