

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Building Information Modeling (BIM)*

Building Information Modelling (BIM) adalah sebuah pendekatan untuk membangun dan memproses pembagian data antara para pemangku kepentingan dengan menggunakan teknologi dan metode yang canggih. BIM adalah seperangkat alat digital yang dapat mengelola siklus hidup proyek secara efektif. BIM juga digambarkan sebagai metode kolaboratif berdasarkan berbagai solusi perangkat lunak yang dipraktikkan dalam industri *Architecture, Engineering, and Construction* (AEC). (Biswas, Humayun et al., 2024). *Building Information Modelling* (BIM) adalah metode digital untuk mengelola informasi proyek konstruksi. BIM melibatkan pembuatan dan penggunaan model 3D yang mencakup semua aspek proyek, termasuk geometri, geografi, struktur, sistem mekanikal, listrik, dan plumbing (MEP). BIM menyediakan platform data terpusat dengan *update real-time*, meningkatkan kolaborasi, transparansi informasi, dan koordinasi multi-pihak (Emmanuel, I. Et al, 2024).

BIM paling sering digunakan di seluruh fase desain diikuti oleh desain rinci dan fase tender, fase konstruksi, fase kelayakan, dan fase pemeliharaan. (Ghaffarianhoseini, Ali et al., 2017). BIM digunakan oleh semua elemen di proyek konstruksi untuk kolaborasi antar lapisan elemen. Hal ini sangat berguna dalam kolaborasi dari masing-masing bidang untuk mengerjakan tanggungjawabnya secara bersamaan sehingga memiliki efektifitas yang sangat baik.

Studi kuantitatif melaporkan rata-rata pengurangan durasi proyek ~20% dan biaya ~15%, dengan penurunan *error* desain 30–60%, *clash* 40%, *rework* 40–50%, dan perubahan tak *ter-budget* 32–62% (Das, K., Khursheed, S., & Paul, V., 2025). Penggunaan BIM menjadi standar baru dalam industri konstruksi. Dengan demikian Indonesia mulai gencar untuk implementasi penggunaan BIM di proyek-proyek konstruksi dalam negeri, hal tersebut dipertegas dengan dibuatnya Permen PUPR No. 22/2018 dan Surat Edaran 11/SE/Db/2021.

Metode yang digunakan dalam BIM 5D (*Building Information Modeling* 5 Dimensi) merupakan pengembangan dari pemodelan 3D yang diintegrasikan

dengan dimensi waktu (4D) dan biaya (5D), sehingga seluruh proses perencanaan hingga pengendalian proyek dapat dilakukan secara terkoordinasi dan berbasis data. Dalam penerapannya, metode BIM 5D diawali dengan pembuatan model tiga dimensi yang merepresentasikan seluruh elemen bangunan secara detail, baik arsitektur, struktur, maupun MEP. Model ini kemudian dikembangkan ke tingkat detail tertentu (Level of Development/LOD) sehingga mampu menghasilkan informasi kuantitas secara otomatis melalui proses quantity take-off.

Selanjutnya, kuantitas yang dihasilkan dari model tersebut dihubungkan dengan analisis harga satuan pekerjaan (AHSP) atau database biaya, sehingga terbentuk estimasi biaya proyek secara dinamis. Setiap perubahan desain pada model akan secara otomatis memperbarui volume pekerjaan dan total biaya, sehingga proses estimasi menjadi lebih cepat dan akurat. Dalam beberapa kasus, BIM 5D juga diintegrasikan dengan penjadwalan (4D), sehingga dapat dilakukan simulasi keterkaitan antara waktu pelaksanaan dan biaya proyek. Metode ini sering dimanfaatkan dalam proses *Value Engineering*, karena memungkinkan perbandingan beberapa alternatif desain secara kuantitatif berdasarkan biaya, volume material, serta dampaknya terhadap durasi pekerjaan.

BIM meningkatkan kualitas gambar/desain, mengurangi konflik/perubahan desain, dan memudahkan *quantity take-off* serta estimasi biaya yang lebih akurat (Aziz, R., Nasreldin, T., & Hashem, O., 2024). Dengan sistem yang terintegrasi, risiko kesalahan perhitungan volume dan biaya dapat diminimalkan, serta potensi cost overrun dapat dikendalikan sejak tahap awal desain. Selain itu, BIM 5D memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan berbasis data, karena setiap alternatif desain dapat langsung dianalisis dampaknya terhadap biaya dan waktu. Transparansi juga menjadi keunggulan penting, di mana seluruh pihak yang terlibat dalam proyek—mulai dari perencana, kontraktor, hingga owner—dapat mengakses informasi yang sama secara real-time. Dengan demikian, BIM 5D tidak hanya meningkatkan efisiensi biaya, tetapi juga mendukung kolaborasi yang lebih baik serta menghasilkan perencanaan yang lebih optimal dan berkelanjutan.

2.1.1 *Building Information Modeling 5D*

Perkembangan teknologi dalam industri konstruksi telah mendorong pergeseran pendekatan perencanaan dari metode konvensional yang bersifat fragmentatif menuju sistem yang terintegrasi dan berbasis data. *Building Information Modeling* (BIM) 5D hadir sebagai respons atas tantangan tersebut, dengan menawarkan kerangka kerja digital yang menghubungkan seluruh aspek proyek — mulai dari geometri bangunan, analisis struktur, estimasi biaya, hingga penjadwalan konstruksi — dalam satu ekosistem model yang saling terhubung. Lebih dari sekadar alat pemodelan tiga dimensi, BIM 5D merupakan metodologi kolaboratif yang mengintegrasikan dimensi waktu (4D) dan biaya (5D) ke dalam model digital, sehingga setiap keputusan desain dapat langsung dievaluasi dampaknya terhadap jadwal dan anggaran proyek secara real-time. Untuk memahami bagaimana sistem ini bekerja secara menyeluruh, terdapat empat aspek teknis yang perlu dikaji lebih dalam, yaitu: alur kerja (*workflow*) BIM 5D yang mengatur tahapan proses dari input data hingga output terintegrasi; *interoperability* yang memastikan kelancaran pertukaran data antar perangkat lunak; *clash detection* yang berperan dalam mengidentifikasi konflik desain sebelum konstruksi dilaksanakan; serta mekanisme integrasi biaya dan jadwal yang menjadi inti dari pendekatan 4D dan 5D itu sendiri.

2.1.2 *Workflow BIM 5D*

Proses penerapan BIM 5D dalam suatu proyek konstruksi bukan sekadar penggunaan *software* secara terpisah, melainkan sebuah alur kerja yang saling terhubung dari hulu ke hilir. Secara umum, *workflow* BIM 5D dapat dibagi ke dalam empat fase utama: (1) pengumpulan data dan *preliminary design*, (2) analisis struktur dan pemodelan 3D, (3) ekstraksi kuantitas dan estimasi biaya, serta (4) integrasi penjadwalan dan visualisasi konstruksi.

Fase pertama dimulai dari pengumpulan data proyek, meliputi data teknis bangunan, kondisi lapangan, standar perencanaan yang berlaku, serta spesifikasi material. Data ini kemudian menjadi dasar untuk menetapkan konfigurasi awal struktur (*preliminary design*), termasuk estimasi dimensi elemen struktural sebelum dilakukan analisis lebih lanjut. Pada fase ini, tingkat detail model (*Level of Development/LOD*) ditetapkan sesuai kebutuhan proyek — mulai dari LOD 100

(konseptual) hingga LOD 400 (fabrikasi), yang menentukan seberapa rinci informasi yang dikandung oleh tiap elemen dalam model.

Fase kedua mencakup analisis struktur menggunakan perangkat lunak seperti ETABS, di mana model analitik dibangun berdasarkan konfigurasi pembebanan dan parameter material yang telah ditetapkan. Hasil analisis ini kemudian digunakan sebagai acuan dalam pembuatan model tiga dimensi pada *Autodesk Revit*. Di sinilah seluruh elemen bangunan — mulai dari kolom, balok, pelat, hingga sistem arsitektur dan MEP — dimodelkan secara terintegrasi dalam satu *common data environment* (CDE).

Fase ketiga adalah ekstraksi kuantitas (*quantity take-off/QTO*) secara otomatis dari model Revit, yang kemudian dihubungkan dengan database harga satuan pekerjaan (AHSP) untuk menghasilkan Rencana Anggaran Biaya (RAB) secara dinamis. Setiap perubahan pada model akan langsung memperbarui volume pekerjaan dan perhitungan biaya, sehingga proses estimasi menjadi jauh lebih efisien dibandingkan metode manual. Fase keempat adalah integrasi jadwal pelaksanaan (Microsoft Project) ke dalam model melalui Navisworks, menghasilkan simulasi 4D (waktu) dan laporan biaya terintegrasi 5D secara visual.

2.1.3 *Interoperability* dalam BIM

Salah satu kunci keberhasilan implementasi BIM 5D terletak pada kemampuan *interoperability*, yaitu kemampuan berbagai perangkat lunak untuk saling bertukar data tanpa kehilangan informasi yang signifikan. Dalam konteks proyek ini, *interoperability* diwujudkan melalui rantai transfer data dari ETABS → *Autodesk Revit* → Navisworks → Microsoft Project.

Format pertukaran data yang umum digunakan dalam ekosistem BIM adalah *Industry Foundation Classes* (IFC), sebuah standar terbuka yang memungkinkan model dari satu platform dibaca oleh platform lain tanpa perlu konversi manual. Selain IFC, format *proprietary* seperti .nwc dan .nwf dari Autodesk juga digunakan untuk transfer model dari Revit ke Navisworks dengan mempertahankan informasi parameter elemen secara penuh.

Dalam alur proyek ini, model analitik ETABS dapat diekspor ke format yang kompatibel dengan Revit, sehingga geometri elemen struktural tidak perlu

dimodelkan ulang dari awal. Selanjutnya, model Revit yang sudah lengkap diekspor ke Navisworks menggunakan Navisworks Exporter yang tertanam langsung di dalam antarmuka Revit. Di Navisworks, model dapat digabungkan (*federated model*) dari berbagai disiplin — arsitektur, struktur, dan MEP — dalam satu tampilan terpadu. Penjadwalan dari Microsoft Project dihubungkan ke Navisworks melalui format .mpp atau .csv, sehingga setiap *task* dalam jadwal dapat dipetakan ke elemen model yang bersangkutan.

Tantangan utama dalam *interoperability* adalah potensi kehilangan data (*data loss*) saat proses ekspor-impor antar platform, terutama pada parameter non-geometris seperti spesifikasi material, informasi tulangan, atau parameter khusus yang tidak dikenali oleh format target. Untuk mengatasinya, diperlukan pemeriksaan konsistensi model secara berkala dan penetapan protokol *naming convention* yang seragam di semua platform sejak awal proyek.

2.1.4 Clash Detection

Clash detection merupakan salah satu fitur paling strategis dalam BIM, khususnya untuk proyek dengan kompleksitas koordinasi multidisiplin yang tinggi. Secara definisi, *clash detection* adalah proses otomatis untuk mengidentifikasi potensi benturan atau konflik geometris antar elemen bangunan dari disiplin yang berbeda, sebelum konstruksi fisik dilaksanakan.

Dalam praktiknya, terdapat tiga jenis *clash* yang umum dijumpai. Pertama, *hard clash*, yaitu kondisi di mana dua elemen secara fisik menempati ruang yang sama — misalnya pipa MEP yang menembus balok struktur, atau elemen dinding yang berpotongan dengan kolom. Jenis benturan ini paling mudah diidentifikasi dan berdampak langsung pada pelaksanaan di lapangan. Kedua, *soft clash* (atau *clearance clash*), yaitu kondisi di mana dua elemen tidak bersentuhan secara langsung tetapi jarak di antara keduanya berada di bawah toleransi minimum yang dipersyaratkan — misalnya jalur kabel yang terlalu dekat dengan sistem perpipaan bertekanan tinggi. Ketiga, *4D clash* atau *workflow clash*, yaitu konflik yang muncul dalam dimensi waktu, di mana dua kegiatan yang secara fisik tidak berbenturan tetapi tidak dapat dilaksanakan secara bersamaan karena kendala urutan pekerjaan atau akses sumber daya.

Proses clash detection dalam penelitian ini dilakukan menggunakan Autodesk Navisworks melalui fitur *Clash Detective*. Setelah federated model terbentuk dari gabungan model struktural (Revit) dan disiplin lainnya, *Clash Detective* menjalankan pemeriksaan otomatis berdasarkan aturan yang ditetapkan (*clash rules*). Setiap benturan yang terdeteksi dikelompokkan berdasarkan tingkat keparahan dan disiplin yang terlibat, kemudian ditandai (*flagged*) untuk ditinjau dan diselesaikan oleh tim perencanaan sebelum gambar kerja diterbitkan. Hasilnya adalah laporan *clash* yang terdokumentasi secara sistematis, yang dapat dijadikan dasar revisi desain. Penerapan *clash detection* di tahap perencanaan secara signifikan menurunkan kejadian konflik desain dan kebutuhan *rework* di lapangan, serta berkontribusi pada efisiensi biaya dan jadwal proyek secara keseluruhan (Voitovych, V., 2025).

2.1.5 Integrasi Biaya (4D) dan Penjadwalan (5D)

Integrasi dimensi keempat dan kelima merupakan inti dari konsep BIM 5D. Pada dimensi keempat (4D), model tiga dimensi bangunan dihubungkan dengan jadwal konstruksi, sehingga menghasilkan simulasi visual pelaksanaan proyek yang dapat menampilkan kondisi bangunan pada setiap titik waktu tertentu. Simulasi ini sangat berguna untuk mengidentifikasi potensi konflik sekuens pekerjaan, mengoptimalkan urutan konstruksi, serta mengomunikasikan rencana pelaksanaan kepada semua pemangku kepentingan secara lebih intuitif.

Dalam penelitian ini, integrasi 4D dilakukan dengan menghubungkan elemen-elemen model pada Navisworks dengan *task* yang ada pada jadwal Microsoft Project. Setiap elemen — misalnya kolom lantai 1, balok lantai 2, atau pelat atap — dipetakan ke *task* pelaksanaan yang bersesuaian, sehingga simulasi animasi konstruksi dapat dijalankan secara otomatis berdasarkan durasi yang telah direncanakan.

Pada dimensi kelima (5D), informasi biaya ditambahkan ke dalam model melalui mekanisme *quantity-linked costing*. Volume pekerjaan yang diekstrak secara otomatis dari model Revit dihubungkan dengan database AHSP, sehingga terbentuk estimasi biaya yang bersifat *parametric* — artinya, setiap perubahan dimensi atau jumlah elemen pada model akan secara otomatis memperbarui

estimasi biaya yang terkait. Pendekatan ini jauh lebih andal dibandingkan estimasi konvensional yang mengandalkan perhitungan manual, karena meminimalkan risiko kesalahan hitung dan ketidakkonsistenan antara gambar desain dengan volume yang digunakan sebagai dasar RAB. BIM meningkatkan akurasi *quantity take-off* serta estimasi biaya secara signifikan dibandingkan metode tradisional (Aziz, R., Nasreldin, T., & Hashem, O., 2024). Dengan demikian, BIM 5D tidak hanya mengefisienkan proses estimasi, tetapi juga memberikan transparansi penuh kepada seluruh pihak yang terlibat dalam proyek mengenai dasar perhitungan biaya yang digunakan.

Penggunaan BIM di seluruh siklus hidup proyek akan meningkatkan efisiensi proyek, yang mengarah pada perubahan mendasar dalam cara aset direncanakan, dirancang, dibangun, dikelola, dan dimusnahkan. Bangunan diperiksa secara virtual sebelum dibangun di lokasi. Data grafis dan non-grafis yang terdapat dalam model virtual membantu meningkatkan efisiensi operasional dan pemeliharaan. Simulasi dapat dilakukan selama tahap pengembangan lainnya, serta pengoperasian, pemeliharaan, perbaikan, dan bahkan pembongkaran (Wang dan Chong, 2015).

2.1.6 Building Information Modeling Software

Software Building Information Modeling (BIM) yang digunakan dalam proses perencanaan ulang berperan sebagai platform digital terintegrasi untuk mendukung pemodelan, analisis, koordinasi, serta pengelolaan data proyek secara lebih efisien. Dalam redesain bangunan, *software* seperti *Autodesk Revit* memungkinkan perencana untuk membuat model tiga dimensi yang akurat, melakukan penyesuaian desain struktur maupun arsitektur, serta menghasilkan informasi teknis secara otomatis, seperti gambar kerja, volume material, dan kebutuhan elemen konstruksi. Penggunaan *software* BIM juga meningkatkan koordinasi antar disiplin, seperti struktur, arsitektur, dan MEP, sehingga potensi kesalahan desain dapat diminimalkan sejak tahap awal perencanaan. Dengan kemampuan visualisasi yang detail dan pembaruan data secara *real-time*, *software* BIM menjadi alat utama dalam menghasilkan perencanaan ulang yang lebih optimal, presisi, dan sesuai dengan kebutuhan proyek. Berikut *software* yang digunakan dalam perencanaan

ulang gedung Lanjutan GOR Terpadu Kota Bekasi :

1. *Autodesk Revit*

Autodesk Revit adalah *software* BIM yang digunakan untuk mendesain bangunan secara terintegrasi, mencakup arsitektur, struktur, dan MEP (*Mechanical, Electrical, Plumbing*). Penggunaan Building Information Modeling (BIM), seperti *Autodesk Revit*, memungkinkan proses perencanaan, perancangan, dan manajemen proyek dilakukan secara lebih efisien serta akurat. BIM mendukung kolaborasi tim yang lebih baik, pengelolaan data yang terpusat, serta visualisasi proyek yang lebih jelas, sehingga secara keseluruhan berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi pelaksanaan proyek (Rendra, Taufik et al., 2025). *Revit* memungkinkan pembuatan model 3D yang detail, otomatisasi dokumentasi, serta visualisasi bangunan. Insinyur struktur dan MEP dapat memodelkan elemen-elemen struktural, jaringan listrik, HVAC, dan perpipaan, serta melakukan analisis langsung pada model. Selain itu, *Revit* mendukung koordinasi multidisiplin dengan fitur *clash detection*, serta memungkinkan simulasi energi dan analisis performa bangunan untuk meningkatkan efisiensi desain dan konstruksi. Fitur utama dari *Revit* yang digunakan dalam proses perencanaan menggunakan BIM 5D adalah sebagai berikut:

- a. *3D Modeling (Parametric BIM)*: Membuat model arsitektur, struktur, dan MEP secara detail.
- b. *Clash Detection* (awal): Identifikasi konflik antar disiplin (arsitektur vs struktur vs MEP).
- c. *Quantity Take-Off (QTO)*: Menghasilkan volume pekerjaan otomatis (beton, tulangan, dinding, dll).
- d. *Family & Parameter*: Menyimpan data material, spesifikasi, dan biaya (basic 5D input).
- e. Shop Drawing otomatis: Gambar kerja langsung dari model.

Integrasi dari *Autodesk Revit* adalah sebagai berikut:

- a. Ke ETABS → untuk analisis struktur (*export* model struktur).
- b. Ke Navisworks → untuk koordinasi & simulasi konstruksi.

- c. Ke MS Project (melalui Navisworks) → untuk integrasi waktu (4D).



Gambar 2. 1 Autodesk Revit

Sumber : Google.com

2. ETABS

ETABS (*Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems*) adalah salah satu *software* utama yang digunakan untuk menganalisis dan mendesain gedung bertingkat karena mempermudah perhitungan beban dan respon struktur, sehingga desain bisa lebih aman, efisien, dan cepat (Surendra, A., Et al, 2024). ETABS mampu melakukan analisis beban statik dan dinamik seperti beban gempa, beban angin, serta kombinasi pembebanan lainnya sesuai standar perencanaan. Dengan antarmuka yang terintegrasi, ETABS memudahkan proses pemodelan, analisis, serta desain elemen struktur seperti balok, kolom, pelat, dan dinding geser. Fitur utama pada ETABS yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. *Structural Analysis*: Analisis beban (mati, hidup, gempa, angin).
- b. *Design Code* (SNI): Perencanaan sesuai standar (misalnya SNI beton & baja).
- c. *Modeling Struktur*: Balok, kolom, pelat, *shear wall*.
- d. *Optimization*: Efisiensi dimensi elemen struktur (*Value Engineering*).

Integrasi dari ETABS adalah sebagai berikut

- a. *Import* dari Revit → model struktur dianalisis.
- b. *Export* kembali ke Revit → hasil desain (dimensi final) di-update ke model BIM.



Gambar 2. 2 ETABS

Sumber : Google

3. Autodesk Naviswork

Autodesk Navisworks adalah *software* review BIM yang dipakai untuk menggabungkan model 3D, mendeteksi clash, mensimulasikan 4D (waktu), dan membantu estimasi kuantitas/biaya (Bombale, P., Et al, 2025). *Software* ini digunakan dalam industri konstruksi untuk memfasilitasi kolaborasi, koordinasi, dan simulasi proyek berbasis model 3D, terutama dalam proyek yang menggunakan Building Information Modeling (BIM). Navisworks memungkinkan integrasi berbagai model dari platform desain yang berbeda, memudahkan tim untuk mendeteksi konflik (clash detection) antara elemen-elemen desain seperti struktur, mekanikal, dan elektrik. Selain itu, *software* ini mendukung visualisasi proyek secara real-time, simulasi 4D (waktu), serta estimasi biaya (5D), sehingga membantu manajemen proyek dalam mengidentifikasi potensi masalah, mengoptimalkan alur kerja, dan memastikan akurasi serta efisiensi selama tahap konstruksi. Fitur utama dari Navisworks adalah sebagai berikut:

- a. *Clash Detection (advanced)*: Deteksi tabrakan antar sistem secara detail.
- b. *4D Simulation*: Simulasi urutan konstruksi berdasarkan waktu.
- c. *Model Aggregation*: Menggabungkan model dari Revit, ETABS, dll.
- d. *Quantification*: Estimasi volume dan biaya (5D).

e. *Timeliner*: Menghubungkan model dengan jadwal proyek.

Integrasi dari Navisworks adalah sebagai berikut:

- a. *Import* model dari Revit & ETABS.
- b. *Link* dengan MS Project → jadwal proyek dimasukkan.
- c. Simulasi progres konstruksi (4D)
- d. Estimasi biaya berbasis waktu (5D)



Gambar 2. 3 Autodesk Naviswork

Sumber : Google

4. MS Project

Microsoft Project adalah perangkat lunak manajemen proyek buatan Microsoft yang dipakai untuk merencanakan, menjadwalkan, mengalokasikan sumber daya, memantau progres, dan mengendalikan biaya proyek secara terstruktur (S., P., Suryawanshi, Et al., 2024). Kegunaannya meliputi pembuatan jadwal proyek, alokasi sumber daya, pengelolaan anggaran, dan pelacakan kemajuan proyek. MS Project memungkinkan pengguna untuk membuat diagram Gantt, yang memvisualisasikan *timeline* proyek, serta mengelola tugas, dependensi, dan tenggat waktu. Selain itu, *software* ini memfasilitasi kolaborasi tim, analisis risiko, serta pelaporan kinerja proyek secara *real-time*, sehingga membantu manajer proyek mengoptimalkan efisiensi, menghindari penundaan, dan memastikan proyek berjalan sesuai rencana dan anggaran. Fitur utama dari Ms. Project adalah sebagai berikut:

- a. *Work Breakdown Structure* (WBS): Pembagian pekerjaan proyek.
- b. *Scheduling*: Penjadwalan aktivitas (durasi, dependensi).
- c. *Resource Allocation*: Tenaga kerja & alat.
- d. *Progress Tracking*: Monitoring kemajuan proyek.

Integrasi dari Ms. Project adalah sebagai berikut:

- a. Di-import ke Navisworks (*Timeliner*).
- b. Menghubungkan aktivitas proyek dengan elemen model BIM (4D).



Gambar 2. 4 MS Project

Sumber : Google

2.2 Pembebanan Struktur

Struktur bangunan yang aman dan efisien selalu berkaitan dengan elemen elemen yang ada pada suatu bangunan, dimana hal tersebut mengacu pada gaya, tekanan dan beban yang ada pada struktur. Menurut peraturan pembebanan SNI 1727 – 2013, perencanaan suatu struktur bangunan selalu dikaitkan dengan kekuatan yang mencakup stabilitas dalam menjaga bagian struktural dan nonastruktural pada suatu bangunan.

2.2.1 Beban Mati

Beban mati merupakan salah satu hal pada gedung dimana berat yang ada memiliki sifat tetap selama berada pada masa layan struktur. Unsur-unsur tambahan, *finishing*, peralatan dan juga mesin yang mana merupakan bagian yang paten di gedung tersebut. Adapun beban tersebut, seperti struktur, *plumbing*, plafond, dan sebagainya (Rohmat et al., 2019). Berikut tabel beban mati dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Pembebanan Bangunan Gedung dan Rumah
(Sumber : SNI 03-1727-1989-F)

No	Konstruksi	Berat	Satuan
1	Baja	7850	Kg/m ³
2	Beton Bertulang	2400	Kg/m ³
3	Beton	2200	Kg/m ³
4	Dinding Pas Bata (1/2 Bata)	250	Kg/m ²
5	Dinding Pas. 1 Bata	450	Kg/m ²
6	Curtain wall+rangka	60	Kg/m ²
7	Cladding + rangka	20	Kg/m ²
8	Pasangan batu kali	2200	Kg/m ³
9	Finishing Lantai (tegel)	2200	Kg/m ³
10	Plafon+Penggantung	20	Kg/m ²
11	Mortar	2200	Kg/m ³
12	Tanah, Pasir	1700	Kg/m ³
13	Air	1000	Kg/m ³
14	Kayu	900	Kg/m ³
15	Aspal	1400	Kg/m ³
16	Instalasi Plumbing	50	Kg/m ²

2.2.2 Beban Hidup

Pada struktur bangunan, kategori yang bersifat sementara seperti manusia, barang, peralatan dan segala bentuk aktivitas bergerak lainnya yang dapat dipengaruhi oleh kemampuan daya dukung dan stabilitas pada struktur merupakan bagian dari beban hidup. Berikut tabel beban hidup dapat dilihat pada tabel 2.2 dan tabel faktor elemen beban hidup pada tabel 2.3.

Tabel 2. 2 Pembebanan Bangunan Gedung dan Rumah

No	Lantai Bangunan	Beban Hidup	Satuan
1	<i>Hall, corridor, balcony</i>	300	Kg/m ²
2	Tangga dan Bordes	400	Kg/m ²
3	Lantai Bangunan	250	Kg/m ²
4	Lantai atap bangunan	100	Kg/m ²

Adapun faktor elemen beban hidup (KLL) yang digunakan dalam perencanaan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Faktor Elemen Beban Hidup, KLL

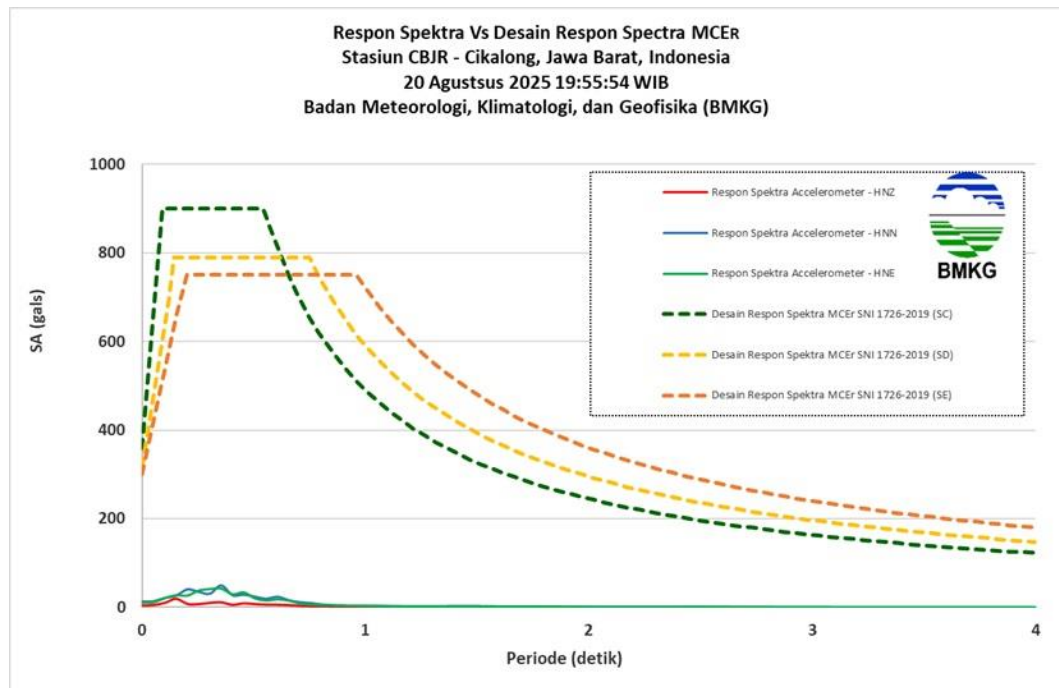
Elemen	K _{LL} ^a
Kolom-kolom interior	4
Kolom-kolom eksterior tanpa pelat kantilever	4
Kolom-kolom tepi dengan pelat kantilever	3
Kolom-kolom sudut dengan pelat kantilever	2
Balok-balok tepi tanpa pelat-pelat kantilever	2
Balok-balok interior	2
Semua komponen struktur yang tidak disebut diatas: Balok-balok tepi dengan pelat-pelat kantilever Balok-balok kantilever Pelat-pelat satu arah Pelat-pelat dua arah Komponen struktur tanpa ketentuan-ketentuan untuk penyaluran Geser menerus tegak lurus terhadap bentangnya	1

2.2.3 Beban Gempa

Menurut PPPURG 1887 atau Perancangan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung, menjelaskan bahwa defenisi dari beban gempa itu sendiri dapat dilihat dari keseluruhan beban statik ekivalen yang meniru pengaruh gerakan tanah akibat gempa pada gedung atau bagian gedung. Beban gempa juga merupakan salah satu beban yang paling penting karena sangat berpotensi dalam merusak bangunan dan sebagian alam diakibatkan pergeseran lempeng bawah tanah.

Pendekatan modern dalam perencanaan ketahanan gempa bangunan gedung tidak lagi menggunakan gaya gempa statik sederhana yang seragam untuk semua jenis bangunan. Sebagai gantinya, SNI 1726-2019 mengadopsi konsep *respons spektra desain*, yaitu kurva yang menggambarkan hubungan antara percepatan respons struktur (S_a) dengan perioda getar alaminya (T). Kurva ini mencerminkan

karakteristik seismisitas lokasi proyek sekaligus perilaku dinamis struktur, sehingga gaya gempa yang diperoleh lebih representatif terhadap kondisi sebenarnya dibandingkan pendekatan gaya statik ekuivalen yang bersifat kaku.



Gambar 2.5 Respons Spektra Region Jawa Barat

Sumber : bmkg.go.id

Respons spektra desain dibangun dari dua parameter utama yang diturunkan dari peta gempa nasional Indonesia (Peta Gempa 2021), yaitu: S_{DS} sebagai parameter percepatan spektral pada periode pendek (0,2 detik), dan S_{D1} sebagai parameter pada periode 1 detik. Kedua parameter ini setelah dimodifikasi terhadap kelas situs menjadi acuan utama dalam menentukan gaya desain seismik, kategori desain seismik, serta skema kombinasi pembebanan.

Berikut merupakan beberapa faktor dalam menghitung beban gempa :

A. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Gedung Lanjutan GOR Terpadu Kota Bekasi merupakan fasilitas olahraga yang berpotensi menampung banyak orang sekaligus dalam satu waktu. Berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 3, bangunan ini diklasifikasikan ke dalam Kategori Risiko III, yaitu gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia apabila terjadi kegagalan,

termasuk di dalamnya stadion dan gedung pertemuan publik. Berdasarkan kategori ini, faktor keutamaan gempa yang ditetapkan sesuai SNI 1726-2019 Tabel 4 adalah:

$$I_e = 1,25$$

Nilai I_e lebih besar dari 1,0 berarti gaya gempa desain diperbesar, sehingga bangunan didesain dengan cadangan keamanan yang lebih tinggi untuk melindungi pengguna.

B. Parameter Gempa Lokasi Proyek

Berdasarkan Peta Gempa Indonesia 2021 untuk koordinat lokasi proyek di Kota Bekasi ($-6,2368^\circ$; $106,9916^\circ$), diperoleh parameter percepatan gempa MCE_R pada batuan dasar sebagai berikut:

$$S_s = 0,7962 \text{ g} \quad (\text{percepatan periode pendek, } T = 0,2 \text{ detik})$$

$$S_1 = 0,3805 \text{ g} \quad (\text{percepatan periode 1 detik})$$

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah di lokasi proyek, dengan nilai N-SPT rata-rata pada kedalaman 30 m yang mengacu pada ketentuan SNI 1726-2019 Pasal 5.3, tanah diklasifikasikan ke dalam Kelas Situs SE (tanah lunak). Kelas situs ini kemudian digunakan untuk menentukan koefisien amplifikasi situs F_a dan F_v dari Tabel 6 dan Tabel 7 SNI 1726-2019:

$$F_a = 1,263 \quad (\text{koefisien amplifikasi periode pendek})$$

$$F_v = 2,478 \quad (\text{koefisien amplifikasi periode 1 detik})$$

Selanjutnya, parameter percepatan spektral MCE_R yang telah disesuaikan terhadap kelas situs dihitung sebagai:

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,263 \times 0,7962 = 1,005 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2,478 \times 0,3805 = 0,943 \text{ g}$$

Kemudian parameter percepatan spektral desain ditetapkan sebagai dua pertiga dari nilai MCE_R:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1,005 = 0,670 \text{ g}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,943 = 0,630 \text{ g}$$

Dengan kedua parameter desain ini, kurva respons spektra dapat dikonstruksi sepenuhnya. Periode transisi T_0 dan T_S yang membentuk

batas-batas plateau spektra dihitung sebagai:

$$T_0 = 0,2 \times (S_{D1} / S_{DS}) = 0,2 \times (0,630 / 0,670) = 0,188 \text{ detik}$$

$$T_S = S_{D1} / S_{DS} = 0,630 / 0,670 = 0,940 \text{ detik}$$

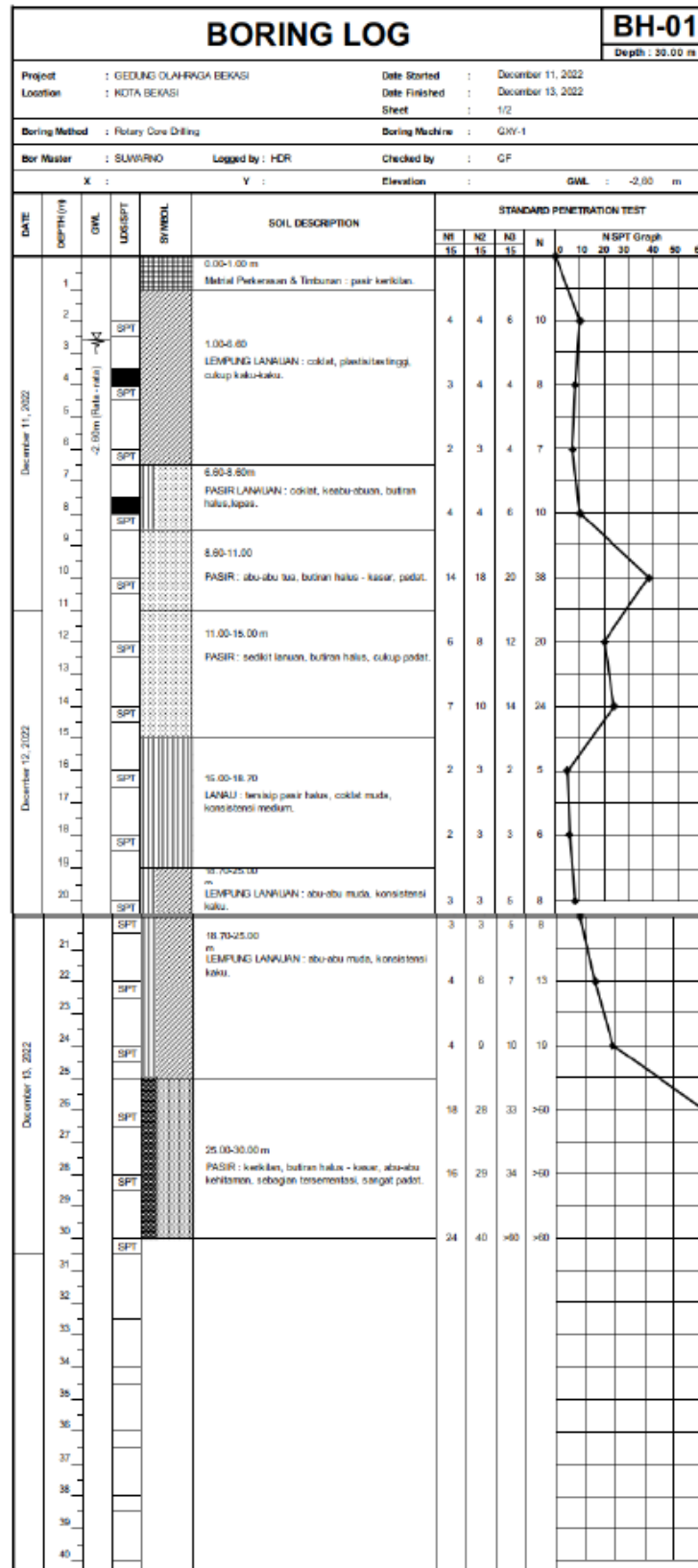
Artinya, pada rentang perioda $T_0 \leq T \leq T_S$, percepatan desain bernilai konstan pada puncak $S_{DS} = 0,670 \text{ g}$. Untuk perioda di bawah T_0 , percepatan meningkat secara linier dari $0,4 S_{DS}$, sedangkan untuk perioda di atas T_S , percepatan menurun mengikuti fungsi S_{D1} / T .

C. Klasifikasi Situs

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah (bor log) pada lokasi proyek hingga kedalaman 30 m, diperoleh nilai N-SPT rata-rata sebesar:

$$\bar{N}_{SPT} = 11,93 \text{ pukulan/30 cm}$$

Mengacu pada SNI 1726-2019 Tabel 5, nilai $\bar{N}_{SPT} \leq 15$ mengklasifikasikan tanah ke dalam Kelas Situs SE (Tanah Lunak). Klasifikasi ini penting karena tanah lunak memiliki potensi amplifikasi gelombang seismik yang lebih besar, yang tercermin pada nilai koefisien situs yang lebih tinggi. Kategori Situs. Hasil boring log dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Boring Log

D. Parameter Percepatan Spektral Desain

Berdasarkan Peta Gempa Indonesia 2021 untuk koordinat lokasi proyek di Kota Bekasi ($-6,2368^\circ$; $106,9916^\circ$), diperoleh parameter percepatan gempa MCE_R pada batuan dasar sebagai berikut:

$$S_s = 0,7962 \text{ g} \quad (\text{percepatan periode pendek, } T = 0,2 \text{ detik})$$

$$S_1 = 0,3805 \text{ g} \quad (\text{percepatan periode 1 detik})$$

Dengan kelas situs SE, koefisien amplifikasi situs diambil dari SNI 1726-2019 Tabel 6 dan Tabel 7 melalui interpolasi:

$$F_a = 1,263 \quad (\text{koefisien amplifikasi periode pendek})$$

$$F_v = 2,478 \quad (\text{koefisien amplifikasi periode 1 detik})$$

Parameter percepatan spektral yang telah disesuaikan terhadap kelas situs:

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,263 \times 0,7962 = 1,005 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2,478 \times 0,3805 = 0,943 \text{ g}$$

Parameter percepatan spektral desain (dua pertiga dari nilai MCE_R):

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 1,005 = 0,670 \text{ g}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 0,943 = 0,630 \text{ g}$$

Periode transisi kurva respons spektra:

$$T_0 = 0,2 \times (S_{D1} / S_{DS}) = 0,2 \times (0,630 / 0,670) = 0,188 \text{ detik}$$

$$T_S = S_{D1} / S_{DS} = 0,630 / 0,670 = 0,940 \text{ detik}$$

E. Kategori Desain Seismik (KDS)

Berdasarkan nilai $S_{DS} = 0,670 \text{ g}$ dan $S_{D1} = 0,630 \text{ g}$, dengan mengacu pada SNI 1726-2019 Tabel 8 dan Tabel 9:

$$S_{DS} = 0,670 \text{ g} > 0,50 \text{ g} \rightarrow \text{KDS D (berdasarkan periode pendek)}$$

$$S_{D1} = 0,630 \text{ g} > 0,20 \text{ g} \rightarrow \text{KDS D (berdasarkan periode 1 detik)}$$

Kategori Desain Seismik D merupakan kategori dengan tingkat seismisitas tinggi, yang membatasi pilihan sistem struktur dan mensyaratkan pendetailan elemen yang lebih ketat dibandingkan KDS di bawahnya.

F. Sistem Struktur dan Koefisien Seismik

Dalam redesain ini, sistem pemikul gaya seismik yang digunakan adalah Sistem Ganda (Dual System), yaitu kombinasi antara Dinding Geser Beton Bertulang Khusus (Special Reinforced Concrete Shear Wall) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dari beton bertulang. Sistem ini dipilih karena pada Sistem Ganda, dinding geser berperan sebagai komponen kaku utama yang memikul sebagian besar gaya lateral, sementara rangka PMK berfungsi sebagai lini pertahanan kedua yang harus mampu memikul paling sedikit 25% dari total gaya geser dasar secara mandiri, sesuai persyaratan SNI 1726-2019 Tabel 12 Baris D.3.

Dari sisi kinerja seismik, kehadiran dinding geser meningkatkan kekakuan lateral bangunan secara signifikan, sehingga simpangan antar lantai dapat dikendalikan dengan lebih baik dibandingkan sistem rangka murni. Di sisi lain, integrasi SRPMK mempertahankan daktilitas sistem secara keseluruhan, sehingga struktur tetap mampu mendisipasi energi gempa melalui mekanisme sendi plastis yang terkendali. Pemilihan Sistem Ganda juga tidak memiliki batasan tinggi pada KDS D, yang berarti sistem ini sepenuhnya diizinkan untuk diterapkan pada bangunan ini tanpa pembatasan elevasi.

Koefisien modifikasi respons $R = 7$ mencerminkan kemampuan Sistem Ganda dalam mendisipasi energi gempa melalui mekanisme inelastis yang terkontrol. Nilai ini lebih rendah dibandingkan SRPMK murni ($R = 8$) karena kehadiran dinding geser yang kaku sedikit membatasi rotasi bebas portal, namun kompensasinya adalah kekakuan dan kontrol simpangan yang jauh lebih baik. Faktor kuat lebih $\Omega_0 = 2\frac{1}{2}$ — lebih kecil dari nilai pada SRPMK ($\Omega_0 = 3$) — digunakan dalam desain elemen kritis yang tidak boleh meleleh saat gempa, seperti kolom, fondasi, dan elemen kolektor. Faktor pembesaran defleksi $C_d = 5\frac{1}{2}$ digunakan untuk mengkonversi simpangan elastis hasil analisis ke nilai simpangan inelastis aktual yang diperkirakan terjadi saat gempa desain.

G. Periode Fundamental Pendekatan

Karena sistem struktur bukan lagi rangka momen murni melainkan Sistem Ganda dengan dinding geser, parameter periode pendekatan yang digunakan berubah. Sesuai SNI 1726-2019 Tabel 18, untuk semua sistem struktur lainnya (termasuk sistem ganda dengan dinding geser), nilai koefisien yang digunakan adalah $C_t = 0,0488$ dan $x = 0,75$.

Dengan ketinggian total bangunan $h_n = 29$ m:

$$T_a = C_t \times h_n^x = 0,0488 \times 29^{0,75} = 0,0488 \times 12,18 = 0,594 \text{ detik}$$

Batas atas periode fundamental sesuai SNI 1726-2019 Tabel 17, dengan $S_{D1} = 0,630 \text{ g} > 0,4 \text{ g} \rightarrow C_u = 1,4$:

$$T_{maks} = C_u \times T_a = 1,4 \times 0,594 = 0,832 \text{ detik}$$

Nilai $T_a = 0,594$ detik lebih pendek dibandingkan periode pada SRPMK murni (0,935 detik), yang mencerminkan penambahan kekakuan lateral akibat dinding geser. Periode yang lebih pendek pada umumnya menghasilkan koefisien respons seismik yang lebih tinggi, sehingga gaya desain yang diperoleh lebih konservatif.

H. Koefisien Respons Seismik (C_s) dan Gaya Geser Dasar

Koefisien respons seismik dihitung berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.1:

$$C_s = S_{DS} / (R / I_e) = 0,670 / (7 / 1,25) = 0,670 / 5,6 = 0,1196$$

Kontrol batas atas C_s (berlaku untuk $T \leq T_L = 20$ detik):

$$C_{s,maks} = S_{D1} / (T \times R / I_e) = 0,630 / (0,594 \times 5,6) = 0,630 / 3,326 = 0,1895$$

Kontrol batas bawah C_s :

$$C_{s,min} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e = 0,044 \times 0,670 \times 1,25 = 0,0369 \geq 0,01 \checkmark$$

Karena $C_s = 0,1196 < C_{s,maks} = 0,1895$ dan $C_s > C_{s,min}$, maka nilai yang digunakan adalah:

$$C_s = 0,1196$$

Nilai ini lebih besar dibandingkan C_s pada sistem SRPMK murni (0,1047), yang berarti gaya geser dasar yang harus ditanggung struktur lebih besar — konsekuensi langsung dari penurunan nilai R dari 8

menjadi 7.

2.2.4 Beban Angin

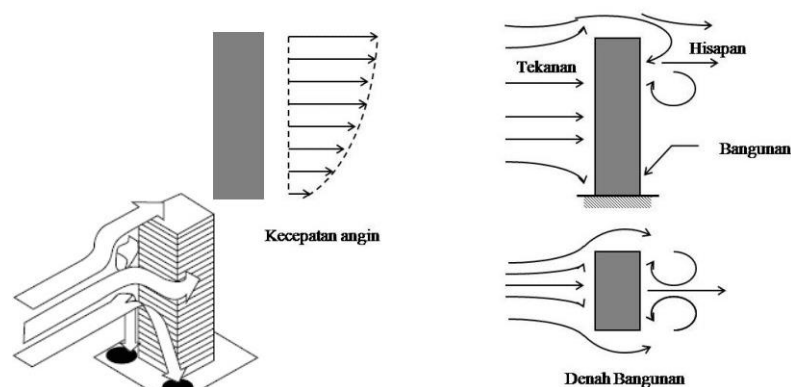
Untuk menahan beban angin harus dilakukan perencanaan suatu bangunan gedung dan struktur, adapun hal yang termasuk dalam kategori ini seperti Komponen dan Klading (K&K) dan Sistem Penahan Gaya Angin Utama sesuai ketentuan Pasal 26 hingga 31 dalam SNI 1727:2020. Pasal tersebut menetapkan parameter angin dasar yang digunakan bersama aturan lainnya dalam standar ini. Ini memastikan bahwa semua elemen bangunan dapat bertahan menghadapi beban angin secara aman dan sesuai dengan persyaratan yang berlaku. Berikut tabel beban angin dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2. 7 Arah Angin (Kd)

Sumber :SNI 1727-2013

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d^*
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

* Faktor arah K_d telah dikalibrasi dengan kombinasi beban yang ditetapkan dalam Pasal 2. Faktor ini hanya diterapkan bila digunakan sesuai dengan kombinasi beban yang disyaratkan dalam Pasal 2.3 dan Pasal 2.4.



Gambar 2.7 Pengaruh Arah Angin Terhadap Gedung

Sumber : repository.unikom.ac.id

2.2.5 Kombinasi Pembebanan

Dalam perencanaan struktur bangunan gedung, beban-beban yang bekerja tidak ditinjau secara sendiri-sendiri, melainkan dikombinasikan untuk mensimulasikan kondisi pembebanan paling kritis yang mungkin terjadi selama umur layan bangunan. Dasar penentuan kombinasi pembebanan dalam perencanaan ini mengacu pada dua standar utama, yaitu SNI 1727-2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain serta SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

Terdapat dua metode pendekatan kombinasi pembebanan yang diterapkan sesuai dengan jenis elemen yang didesain, yaitu metode kekuatan (Strength Design/LRFD) dan metode tegangan izin (Allowable Stress Design/ASD). Metode kekuatan digunakan untuk desain elemen struktur atas seperti balok, kolom, pelat, dan dinding, sementara metode tegangan izin digunakan untuk desain elemen struktur bawah yang menyangkut aspek geoteknik, seperti pondasi dan daya dukung tanah.

A. Kombinasi Pembebanan Metode Kekuatan (LRFD) — Struktur Atas

Kombinasi pembebanan dasar untuk metode kekuatan mengacu pada SNI 1727-2020 Pasal 2.3.6, sebagai berikut:

- (1) $1,4 D$
- (2) $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- (3) $1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
- (4) $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- (5) $0,9 D + 1,0 W$

Apabila beban gempa (E) bekerja pada struktur, maka mengacu pada SNI 1726-2019, kombinasi yang digunakan adalah:

- (6) $1,2 D + E_v + E_h + L$
- (7) $0,9 D - E_v + E_h$

di mana E_v adalah komponen vertikal beban gempa dan E_h adalah komponen horizontal beban gempa.

Komponen vertikal beban gempa dinyatakan sebagai:

$$E_v = 0,2 S_{DS} \times D$$

dengan S_{DS} adalah parameter percepatan respons spektral desain pada perioda pendek. Pada proyek ini, berdasarkan lokasi Kota Bekasi di wilayah Jawa Barat, nilai S_{DS} yang digunakan adalah **0,67**. Sehingga komponen vertikal beban gempa $E_v = 0,2 \times 0,67 \times D = \mathbf{0,134 D}$, yang secara efektif mengubah faktor beban mati menjadi 1,334 untuk kombinasi gravitasi-seismik dan 0,766 untuk kombinasi reduksi gravitasi-seismik.

B. Faktor Redundansi (ρ)

Salah satu parameter penting dalam kombinasi seismik adalah faktor redundansi ρ , yang mencerminkan tingkat ketidakberaturan dan keandalan sistem pemikul gaya lateral. Nilainya ditetapkan sebesar **1,0** untuk sistem struktur beraturan, dan **1,3** untuk sistem tidak beraturan. Pada perencanaan gedung Lanjutan GOR Terpadu Kota Bekasi ini, berdasarkan evaluasi ketidakberaturan struktur, digunakan $\rho = \mathbf{1,3}$, sehingga komponen horizontal beban gempa menjadi $E_h = \rho \times Q_E$.

C. Peninjauan Beban Gempa Dua Arah (Aturan 30%)

Sesuai ketentuan SNI 1726-2019, pengaruh beban gempa harus ditinjau secara simultan pada kedua arah ortogonal utama bangunan dengan menggunakan aturan 30%, yaitu:

$$100\% E_x + 30\% E_y \quad (\text{Arah dominan sumbu X})$$

$$30\% E_x + 100\% E_y \quad (\text{Arah dominan sumbu Y})$$

Kombinasi ini menghasilkan sejumlah besar kasus pembebanan seismik yang perlu dievaluasi, karena setiap arah dominan dapat bernilai positif maupun negatif. Secara total, kombinasi pembebanan terfaktor yang diterapkan pada desain struktur atas proyek ini berjumlah lebih dari 20 *load case*, yang semuanya diolah secara otomatis oleh perangkat lunak analisis struktur ETABS.

D. Kombinasi Pembebanan Metode Tegangan Izin (ASD) — Struktur Bawah

Untuk desain elemen geoteknik seperti pondasi tiang dan *pile cap*, digunakan metode tegangan izin (ASD) sesuai SNI 1726-2019 Pasal 4.2.3.

Kombinasi dasarnya adalah:

- (1) D
- (2) $D + L$
- (5) $D + 0,6 W$
- (6) $D + 0,6 W + 0,75 L + 0,75 (L_r \text{ atau } R)$
- (7) $0,6 D + 0,6 W$

Untuk kombinasi seismik dalam metode tegangan izin:

- (8) $1,0 D + 0,7 E_v + 0,7 E_h$
- (9) $1,0 D + 0,525 E_v + 0,525 E_h + 0,75 L$
- (10) $0,6 D + 0,7 E_v + 0,7 E_h$

Faktor 0,7 pada kombinasi ASD-seismik merupakan konversi dari format LRFD ke ASD, yang setara dengan membagi faktor beban gempa 1,0 dengan faktor keamanan tipikal sebesar $\pm 1,43$. Kombinasi ini digunakan sebagai dasar penentuan jumlah dan konfigurasi tiang pada pondasi.

2.3 Aspek Struktural Gedung

2.3.1 Pondasi

Pondasi adalah struktur bagian paling bawah yang menopang dan menghubungkan antara bangunan dengan tanah. Pondasi memiliki peran penting dalam membantu semua unsur yang ada pada bangunan untuk dipikulkan ke dasar tanah. Perhitungan dalam pondasi dapat menjadi suatu penjamin dalam kestabilan suatu gedung beban berat sendiri dan bangunan, serta tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain (Indra et al., 2023).

Beban Aksial :

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$Q_u = y \times A \times S$$

Keterangan :

$$Q_u = \text{Daya dukung ultimit tiang (kN)}$$

$$y = \text{Berat Volume Tanah (kN/m}^3\text{)}$$

$$A = \text{Luas Penampang (m}^2\text{)}$$

$$S = \text{Faktor Keamanan}$$

$$Q_p = \text{Daya dukung ujung tiang (kN)}$$

Q_s = Daya dukung selimut tiang (kN)

2.3.2 Pelat Lantai

Pelat lantai merupakan struktur tiga dimensi dengan permukaan rata dan lurus, dimana memiliki ketebalan yang sangat kecil jika dibandingkan dengan lebar dan panjangnya. Pelat ini dapat dikategorikan sebagai elemen tiga dimensi yang memiliki suatu panjang, lebar, dan tebal. Fungsi utama dari pelat lantai itu sendiri adalah menanggung dan menyalurkan beban tersebut menuju struktur pendukung lainnya (Alfian, 2018). SNI 2847-2013 mengatur bahwa pelat lantai yang didukung oleh balok di semua sisi harus memenuhi ketentuan yang telah ditetapkan. Persyaratan ini mencakup aspek perancangan, kekuatan, dan kestabilan untuk memastikan bahwa pelat dapat menyalurkan beban secara efektif ke titik-titik penyangga serta mendukung kinerja struktur bangunan secara keseluruhan.

2.3.3 Balok

Sebagai penopang beban lentur dan sebagai media dalam mengalirkan beban mulai dari pelat lantai hingga menuju ke kolom, sehingga balok merupakan pengikat struktur kolom pada sebuah bangunan. Berikut tabel minimum balok non-prategang dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Minimum Balok Non-Prategang

Sumber : SNI 2847-2013

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak bertumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	$\ell / 20$	$\ell / 24$	$\ell / 28$	$\ell / 10$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$\ell / 16$	$\ell / 18,5$	$\ell / 21$	$\ell / 8$
CATATAN: Panjang bentang dalam mm. Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut: (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (<i>equilibrium density</i>), w_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m ³ , nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09. (b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.				

2.3.4 Kolom

Kolom merupakan salah satu bagian vertikal pada suatu struktur dengan menerima beban aksial, baik dengan atau tanpa momen, dan kemudian meneruskan balok tersebut ke pondasi. Beban jenis ini dapat berasal dari beban itu sendiri atau dari

beban di luar (Ahmad, Rini et al, 2021). Adapun ketentuan dalam merencanakan dimensi kolom sebagai berikut :

Kapasitas Aksial Kolom

$$P_n = 0.8 \times (0.85 \times f_c' \times A_g + f_y \times A_s)$$

Keterangan :

F_y = Tegangan leleh baja tulangan (MPa)

A_g = Luas penampang beton (mm^2) P_n = Kekuatan aksial nominal (kN)

A_s = Luas total tulangan longitudinal (mm^2)

F_c = Kuat tekan beton (MPa)

0.8 = Faktor reduksi untuk kekuatan aksial kolom

2.4 Rencana Anggaran Biaya

RAB merupakan suatu rumus atau metode perhitungan keuntungan yang harus diterapkan sejak awal pekerjaan hingga pekerjaan selesai. Rencana biaya harus mencakup seluruh kebutuhan pekerjaan, termasuk biaya bahan baku atau perlengkapan yang dibutuhkan, biaya peralatan (disewa atau dibeli), gaji pekerja, dan pengeluaran yang diperlukan (Fakhli., 2021). Dengan kata lain RAB adalah dokumen yang merinci estimasi biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu proyek konstruksi. RAB mencakup berbagai komponen, seperti biaya material, tenaga kerja, peralatan, dan biaya tidak langsung lainnya. Tujuan RAB adalah untuk memberikan gambaran yang jelas tentang total pengeluaran yang diharapkan dan membantu dalam pengelolaan anggaran proyek, sehingga dapat meminimalkan risiko pembengkakan biaya selama pelaksanaan proyek. RAB juga menjadi dasar dalam penyusunan kontrak dan negosiasi antara pemilik proyek dan kontraktor.

BIM 4D yang diintegrasikan dengan perhitungan RAB akan menghasilkan BIM 5D. *Software* yang mendukung terciptanya hal tersebut beberapa diantaranya adalah *Autodesk Revit* dan *Autodesk Naviswork*. Penggunaan *software* untuk perhitungan RAB akan meningkatkan akurasi dan efektifitas proses estimasi.

2.4.1 Volume Pekerjaan

Perhitungan besaran memegang peranan penting. Kegiatan ini diperlukan untuk menghitung dan memvalidasi lingkup pekerjaan yang akan dimasukkan dalam

lingkup pekerjaan Bill Quantity yang akan diserahkan nantinya (Reitsa, Itsna et al., 2022). Sebagai dokumen tender, perhitungan volumetrik ini harus dilakukan secara cermat dan akurat serta sesuai dengan gambar perencanaan yang telah disetujui untuk menghindari kesalahan yang dapat menimbulkan perselisihan atau merugikan kontraktor.

Dengan penggunaan BIM di proses perhitungan volume pekerjaan, maka hasil dari perhitungan tersebut akan lebih efisien. Hal tersebut didasari oleh kemampuan *software*, salah satunya adalah *Autodesk Revit*. *Software* tersebut dibekali dengan kemampuan untuk dapat menghitung volume kebutuhan material dan mengelola proyek sehingga penggunaanya memiliki pemahaman yang baik tentang proyek yang dikerjakan.

2.4.2 AHSP (Analisis Harga Satuan Pekerjaan)

AHSP (Analisa Harga Satuan Pekerjaan) adalah suatu standar atau pedoman yang digunakan dalam penyusunan harga satuan pekerjaan di bidang konstruksi dan proyek infrastruktur. AHSP ini digunakan untuk menentukan biaya per unit dari berbagai jenis pekerjaan yang dilakukan selama proyek, seperti pekerjaan tanah, bangunan, jalan, jembatan, dan pekerjaan konstruksi lainnya. Analisis biaya satuan kerja ini dipengaruhi oleh koefisien-koefisien yang menunjukkan harga satuan bahan, alat, upah tenaga kerja, dan harga satuan tenaga kerja, serta dapat dijadikan acuan dan pedoman dalam perencanaan atau untuk mengendalikan biaya pekerjaan (Permadi, Aditya et al., 2016).

AHSP memiliki beberapa tujuan utama yaitu menyusun anggaran, standarisasi, dan transparansi. Komponen penting yang terdapat dalam AHSP adalah harga beban, upah tenaga kerja, dan biaya peralatan. AHSP ini biasanya diterbitkan dan diperbarui oleh pemerintah (misalnya Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat di Indonesia) untuk memastikan kesesuaian dengan kondisi pasar dan perkembangan industri konstruksi.

2.5 Penjadwalan Proyek Konstruksi

Perencanaan pada BIM pada dasarnya sama dengan perencanaan dengan media bantu lainnya, namun kelebihan dibandingkan BIM adalah jumlah pekerjaan

ditentukan secara otomatis sehingga memudahkan perencanaan dan durasi pekerjaan dapat dihitung secara semi otomatis. Perencanaan BIM menjadi mudah (Henry, Gabriel et al., 2020).

Perencanaan pada BIM didukung dengan adanya *software* yang memfasilitasi perencana untuk dapat mengintegrasikan permodelan 3D dan penjadwalan, simulasi proses konstruksi, deteksi konflik dan koordinasi, optimasi sumber daya, serta kolaborasi dari berbagai pihak. Hal-hal tersebut memungkinkan perencana untuk dapat memonitoring kemajuan dengan detail sehingga penjadwalan dapat memiliki resiko keterlambatan yang minimal, transparansi, akuntabilitas, dan tentunya penghematan biaya.

2.6 Value Engineering

2.6.1 Konsep dan Definisi Value Engineering

Value Engineering (VE) adalah metode sistematis yang bertujuan meningkatkan nilai (*value*) suatu produk, sistem, atau jasa dengan cara menganalisis fungsi-fungsinya dan mencari alternatif yang mampu menjalankan fungsi yang sama dengan biaya lebih rendah, tanpa mengurangi kualitas, keandalan, maupun kinerja yang dipersyaratkan. Dalam konteks konstruksi, VE bukan sekadar upaya pemotongan biaya (*cost cutting*) yang bersifat reaktif, melainkan sebuah proses rekayasa nilai yang proaktif dan berbasis analisis fungsi (Li, X., Wang, C., & Alashwal, A., 2021). Perbedaan mendasar antara VE dan penghematan biaya konvensional terletak pada objeknya: VE mempertanyakan fungsi setiap elemen — apakah elemen ini benar-benar dibutuhkan? Apakah ada cara lain untuk menjalankan fungsi yang sama dengan lebih efisien? — sementara pemotongan biaya konvensional sekadar mereduksi kuantitas atau menurunkan spesifikasi tanpa analisis fungsi.

Konsep nilai dalam VE dinyatakan dalam hubungan matematis berikut:

$$\text{Nilai (Value)} = \text{Fungsi (Function)} / \text{Biaya (Cost)}$$

Persamaan ini mengandung implikasi penting: nilai dapat ditingkatkan bukan hanya dengan menurunkan biaya, tetapi juga dengan meningkatkan fungsi pada biaya yang sama, atau mempertahankan fungsi pada biaya yang lebih rendah. Dalam

perencanaan redesain GOR Terpadu Kota Bekasi, pendekatan VE diaplikasikan secara spesifik pada sistem struktur atap, di mana alternatif penggantian sistem rangka baja menjadi struktur beton bertulang dievaluasi berdasarkan kemampuannya mempertahankan fungsi struktural yang dipersyaratkan kekuatan, kekakuan, dan keamanan seismik dengan mempertimbangkan efisiensi biaya konstruksi, kemudahan pelaksanaan, dan kebutuhan pemeliharaan jangka panjang.

2.6.2 Tahapan VE (VE Job Plan)

Pelaksanaan VE mengikuti alur kerja yang terstruktur, dikenal sebagai VE Job Plan, yang terdiri dari lima fase utama:

Fase 1 — Informasi (*Information Phase*)

Pada fase ini dikumpulkan seluruh data yang relevan dengan sistem atau komponen yang akan dianalisis, meliputi gambar desain, spesifikasi teknis, Rencana Anggaran Biaya (RAB), jadwal, dan persyaratan fungsi yang harus dipenuhi. Untuk proyek ini, data yang dikumpulkan mencakup DED bangunan GOR Terpadu, laporan perhitungan struktur eksisting, data pembebanan, dan persyaratan SNI yang berlaku.

Fase 2 — Analisis Fungsi (*Function Analysis Phase*)

Ini adalah inti dari metodologi VE. Setiap elemen diidentifikasi fungsinya dan diklasifikasikan ke dalam dua kategori: fungsi dasar (*basic function*), yaitu fungsi utama yang menjadi alasan keberadaan elemen tersebut, dan fungsi pendukung (*secondary function*), yaitu fungsi tambahan yang mendukung berjalannya fungsi dasar. Alat bantu utama pada fase ini adalah *Function Analysis System Technique* (FAST), sebuah diagram yang memetakan hubungan logis antar fungsi secara hierarki. Contoh penerapannya pada struktur atap: fungsi dasar atap adalah "melindungi ruang interior", sedangkan fungsi pendukungnya antara lain "mentransfer beban gravitasi ke kolom" dan "menahan beban lateral seismik".

Fase 3 — Kreatif (*Creative Phase*)

Fase ini menghasilkan sebanyak mungkin alternatif yang mampu menjalankan fungsi yang telah diidentifikasi. Pada tahap ini tidak ada evaluasi semua ide dicatat. Untuk sistem atap GOR Terpadu, alternatif yang dieksplorasi mencakup berbagai sistem material dan konfigurasi struktural, termasuk beton bertulang konvensional,

beton prategang, baja ringan, dan kombinasi komposit baja-beton.

Fase 4 — Evaluasi (*Evaluation Phase*)

Setiap alternatif dievaluasi secara kuantitatif berdasarkan kriteria yang telah disepakati, meliputi: biaya konstruksi, kemudahan pelaksanaan, durabilitas dan kebutuhan pemeliharaan, ketersediaan material di lapangan, serta pemenuhan persyaratan teknis (kekuatan, kekakuan, ketahanan gempa). Metode yang umum digunakan adalah *weighted scoring matrix*, di mana setiap kriteria diberi bobot kepentingan, dan setiap alternatif diberi nilai berdasarkan seberapa baik memenuhi kriteria tersebut.

Fase 5 — Pengembangan dan Presentasi (*Development & Presentation Phase*)

Alternatif terpilih dikembangkan menjadi solusi teknis yang lengkap dan terdokumentasi, mencakup gambar desain, perhitungan, perkiraan biaya, dan rencana implementasi. Hasilnya kemudian dipresentasikan kepada pemangku kepentingan proyek sebagai dasar pengambilan keputusan.

2.6.3 VE dalam Konteks Redesain Struktural

Penerapan VE pada elemen struktur utama khususnya sistem struktur atap pada bangunan bentang lebar seperti GOR memiliki potensi penghematan yang lebih signifikan dibandingkan penerapan VE pada elemen *finishing* atau arsitektur (Andhiny Gita Cahyani et al., 2025). Hal ini disebabkan karena kontribusi biaya elemen struktural terhadap total biaya proyek jauh lebih besar, sehingga bahkan perubahan kecil pada sistem struktur dapat menghasilkan penghematan yang substansial. Dalam penelitian ini, keputusan untuk mengubah sistem atap dari rangka baja ke beton bertulang merupakan hasil dari proses analisis fungsi VE yang menunjukkan bahwa beton bertulang mampu menjalankan fungsi dasar yang sama menahan beban gravitasi dan lateral dengan keunggulan tambahan berupa durabilitas yang lebih tinggi, biaya pemeliharaan yang lebih rendah, dan kemudahan pelaksanaan yang lebih baik di lokasi proyek.

2.7 Metodologi Redesain Struktur

Redesain (*structural redesign*) adalah proses evaluasi ulang dan perencanaan kembali suatu sistem struktur yang telah ada, dengan tujuan meningkatkan kinerja,

efisiensi, atau kesesuaian terhadap standar dan kondisi yang berlaku saat ini. Redesain berbeda dari desain awal karena dimulai dari pemahaman mendalam terhadap sistem eksisting kekuatannya, kelemahannya, dan potensi pengembangan yang belum dimanfaatkan bukan dari kondisi kosong (*blank slate*).

2.7.1 Landasan Metodologis

Metodologi redesain struktur dalam penelitian ini mengikuti pendekatan sistematis yang terdiri dari empat tahapan berurutan, yaitu:

Tahap 1 — Evaluasi Sistem Eksisting

Tahap ini mencakup kajian terhadap sistem struktur yang telah direncanakan sebelumnya, meliputi analisis pembebanan, sistem pemikul gaya lateral, dimensi elemen, dan spesifikasi material. Evaluasi ini mengidentifikasi aspek-aspek yang perlu diperbaiki, baik dari sisi teknis (kekuatan, kekakuan, daktilitas) maupun ekonomis (efisiensi biaya material dan konstruksi).

Tahap 2 — Penentuan Kriteria Redesain

Berdasarkan hasil evaluasi, ditetapkan kriteria kinerja yang harus dipenuhi oleh sistem baru, mengacu pada standar yang berlaku (SNI 2847-2019, SNI 1726-2019, SNI 1727-2020). Kriteria ini meliputi batas kekuatan (*strength*), batas layanan (*serviceability*), kontrol simpangan (*drift*), dan persyaratan daktilitas sistem seismik.

Tahap 3 — Perancangan Alternatif Sistem Baru

Sistem baru dirancang berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan, menggunakan perangkat lunak analisis struktur ETABS untuk memverifikasi kecukupan kekuatan dan kekakuan, serta memastikan bahwa sistem baru memenuhi seluruh persyaratan teknis yang berlaku.

Tahap 4 — Verifikasi dan Dokumentasi

Sistem baru yang telah dirancang diverifikasi melalui serangkaian pemeriksaan teknis, meliputi: kontrol gaya geser dasar, kontrol simpangan antar lantai, pemeriksaan ketidakberaturan struktur, serta verifikasi kapasitas elemen. Seluruh hasil didokumentasikan dalam model BIM yang terintegrasi.

2.7.2 Hubungan Redesain dengan VE dan BIM 5D

Metodologi redesain dalam penelitian ini tidak berdiri sendiri, melainkan terintegrasi dengan pendekatan VE dan BIM 5D dalam satu kerangka kerja terpadu. VE memberikan landasan *mengapa* perubahan sistem struktur dilakukan yaitu untuk meningkatkan nilai dengan mempertahankan fungsi pada biaya yang lebih efisien. BIM 5D memberikan platform *bagaimana* redesain dieksekusi dan dievaluasi secara kuantitatif melalui pemodelan 3D yang akurat, ekstraksi volume otomatis, estimasi biaya dinamis, dan simulasi jadwal konstruksi. Dengan demikian, VE berperan sebagai kerangka pengambilan keputusan strategis, sementara BIM 5D berperan sebagai alat implementasi dan verifikasi teknis.

2.8 Metode Optimasi dalam Penelitian Ini

Optimasi dalam perencanaan struktur adalah proses pencarian konfigurasi struktur terbaik dalam hal dimensi elemen, konfigurasi sistem, atau pemilihan material yang memenuhi seluruh batasan teknis (kekuatan, kekakuan, stabilitas) dengan meminimalkan fungsi objektif tertentu, yang paling umum adalah biaya material atau berat total struktur.

2.8.1 Pendekatan Optimasi dalam Penelitian Ini

Dalam konteks redesain GOR Terpadu, pendekatan optimasi yang digunakan adalah optimasi parametrik berbasis iterasi, di mana dimensi elemen struktural (balok, kolom, pelat, dan dinding geser) ditentukan melalui proses *preliminary design* dan kemudian diverifikasi secara iteratif menggunakan ETABS. Setiap iterasi menghasilkan informasi tentang utilisasi kapasitas (*demand/capacity ratio*) setiap elemen, yang menjadi dasar penyesuaian dimensi pada iterasi berikutnya.

Proses ini dapat dijelaskan melalui siklus berikut:

Konvergensi tercapai ketika seluruh elemen memiliki rasio utilisasi (*demand/capacity*) yang berada dalam rentang yang ditetapkan — cukup kuat untuk memenuhi persyaratan keamanan, namun tidak terlalu berlebihan sehingga material terbuang sia-sia. Umumnya, rasio utilisasi yang dianggap efisien berada pada rentang 0,7 — 0,95.

2.8.2 Kriteria Optimasi

Dalam penelitian ini, optimasi diarahkan pada tiga kriteria sekaligus yang saling berkaitan:

Optimasi Kekuatan — memastikan setiap elemen memiliki kapasitas yang cukup untuk memikul gaya dalam maksimum yang diperoleh dari analisis, dengan mempertimbangkan semua kombinasi pembebanan yang berlaku.

Optimasi Kekakuan — memastikan simpangan lateral bangunan (*story drift*) tidak melebihi batas yang dipersyaratkan SNI 1726-2019, yaitu $0,015 \times h_{sx}$ untuk Kategori Risiko III. Kekakuan juga berpengaruh langsung pada distribusi gaya antara rangka dan dinding geser dalam Sistem Ganda.

Optimasi Biaya — meminimalkan volume material yang digunakan, karena dalam struktur beton bertulang, biaya didominasi oleh volume beton dan berat tulangan. Optimasi dimensi elemen secara langsung berdampak pada efisiensi RAB.

2.9 Efisiensi Struktural

Efisiensi struktural adalah ukuran seberapa efektif suatu sistem struktur memanfaatkan material yang digunakan untuk memikul beban yang bekerja. Sebuah struktur disebut efisien apabila setiap bagiannya bekerja mendekati kapasitas penuhnya, tanpa ada elemen yang mengalami tegangan yang terlalu rendah (material terbuang) maupun terlalu tinggi (potensi kegagalan).

2.9.1 Indikator Efisiensi Struktural

Terdapat beberapa indikator kuantitatif yang digunakan untuk mengukur efisiensi struktural:

Rasio Utilisasi Elemen (*Demand/Capacity Ratio*, DCR)

Rasio ini membandingkan gaya atau momen yang bekerja pada suatu elemen (*demand*) terhadap kapasitas nominalnya (*capacity*). Nilai DCR mendekati 1,0 menunjukkan elemen yang sangat efisien, sementara DCR yang sangat rendah (misalnya $< 0,3$) menunjukkan pemborosan material. Dari data GOR Terpadu, sebagai referensi, rasio beban terhadap kapasitas fondasi tiang berkisar antara 0,35 hingga 0,99, mencerminkan variasi tingkat utilisasi yang cukup lebar antar titik fondasi.

Rasio Tulangan (*Reinforcement Ratio*, ρ)

Untuk elemen beton bertulang, efisiensi juga diukur dari rasio luas tulangan terhadap luas penampang beton. SNI 2847-2019 menetapkan batas minimum dan maksimum rasio tulangan untuk memastikan elemen bekerja dalam rentang yang aman sekaligus efisien — tulangan minimum mencegah keruntuhan getas mendadak, sementara tulangan maksimum mencegah keruntuhan yang dikontrol oleh tulangan yang terlalu padat.

Efisiensi Sistem Pemikul Lateral

Dalam Sistem Ganda dengan dinding geser, efisiensi sistem lateral diukur dari distribusi gaya geser antara dinding geser dan rangka. Distribusi yang efisien memanfaatkan kekakuan tinggi dinding geser untuk mengendalikan simpangan, sementara rangka PMK berperan sebagai sistem redundan yang mampu memikul setidaknya 25% gaya lateral secara mandiri.

2.9.2 Efisiensi Struktural dalam Konteks Redesain

Perubahan sistem struktur atap dari rangka baja ke beton bertulang dalam penelitian ini dapat dievaluasi efisiensinya melalui perbandingan beberapa parameter: berat total struktur atap, volume material yang diperlukan, estimasi biaya per satuan luas atap, kemudahan dan kecepatan pelaksanaan konstruksi, serta biaya pemeliharaan selama umur layan bangunan. Evaluasi menyeluruh atas parameter-parameter ini yang didukung oleh *quantity take-off* otomatis dari model BIM Revit dan estimasi biaya berbasis AHSP menjadi bagian integral dari pembuktian bahwa redesain yang dilakukan tidak hanya memenuhi persyaratan teknis, tetapi juga menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan sistem struktur yang semula direncanakan.

2.10 Studi Literatur

Ringkasan hasil studi literatur dari beberapa penelitian terdahulu yang menjadi rujukan dalam penyusunan tugas akhir ini dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Studi Literatur

No	Nama Author	Tahun	Judul	Intisari
1	Ferdiyansyah	2019	Re-Desain Struktur Gedung Core Hotel Senggigi Dengan Sistem Plat Datar Dan Dinding Geser	a. Tujuan : Mengetahui cara perencanaan gedung Core Hotel dengan metode pelat datar dan dinding geser serta manfaatnya. b. Metode : Pada penelitian ini berupa pengumpulan data, analisa dan eksperimen c. Hasil Dalam perancangan, material yang digunakan adalah mutu beton $f_c = 30$ MPa untuk struktur pelat, balok, kolom, mutu baja $f_y = 400$ MPa (<i>deform</i>) dan $f_y = 240$ MPa (polos). Sehingga diperoleh dimensi komponen-komponen struktur.
2	Anis Salma Al Fridasari dan Saka Adimata	2024	Perencanaan Ulang Bangunan Gedung Dormitory Kawasan Sains Dan Teknologi (Kst) Nuklir Yogyakarta	a. Tujuan = Mengetahui cara perencanaan gedung Dormitory menggunakan <i>software</i> Microsoft project dan Naviswork. Dalam penelitian ini juga menggunakan Revit untuk menghitung RAB. Sehingga tujuan mengetahui struktur sistem rangka lantai dapat tercapai.

No	Nama Author	Tahun	Judul	Intisari
			Berbasis Building Information Modelling (BIM) 5D	b. Metode = Pada penelitian ini berupa pengumpulan data, analisa dan eksperimen c. Hasil = Bangunan yang direncanakan terdiri dari 7 lantai meliputi struktur bawah yang terdiri dari pondasi Squarepile ukuran 50x50 dan pilecap yang berjumlah 5 tipe, Struktur atas yang terdiri dari kolom, balok, dan pelat lantai. Mutu beton pada struktur yang digunakan yaitu f_c 40 Mpa dan 35 Mpa dengan mutu baja tulangan f_y 420B.
3	Mohamed Sherif et al.	2022	Automated BIM-based structural design and cost optimization model for reinforced concrete buildings	a. Tujuan : Mengembangkan model BIM canggih yang mampu untuk mengotomasi perancangan tata letak bangunan dan elemen struktur beton bertulang, mengoptimasi dimensi dan konfigurasi struktur untuk mencapai biaya konstruksi minimum, tetap memenuhi keterbatasan fungsi arsitektural (kebutuhan ruang, layout) sehingga tidak mengorbankan fungsionalitas gedung b. Metode : Mengintegrasikan tiga komponen utama dalam satu kerangka optimasi dengan perancangan struktur (layout dan dimensi struktur RC), pemodelan BIM (model digital bangunan

No	Nama Author	Tahun	Judul	Intisari
				sebagai dasar data geometri dan informasi). Model diuji dan divalidasi pada 11 studi kasus bangunan beton bertulang untuk mengevaluasi performa optimasi biaya Hasil : Kerangka optimasi yang dapat digunakan sebagai alat bantu insinyur/arsitek di tahap awal desain untuk memperoleh solusi struktur yang lebih ekonomis namun tetap layak fungsi.
4	Adam Rizky Christiandavaa dan Adelia Azzahrab	2023	Redesign Struktur Gedung Head Office Awan Group Berdasarkan Integrasi Bim Autodesk Melalui Revit, Naviswork, Dan Sap 2000	a. Tujuan : Penggunaan integrasi BIM berbasis <i>Autodesk Revit</i>, <i>Naviswork</i>, dan <i>Software</i> perencanaan SAP 2000, dengan tujuan untuk mengetahui keunggulan pengaplikasian BIM pada proyek yang belum menerapkan BIM. b. Metode : Penelitian ini menggunakan pengumpulan data secara observasi, wawancara, dan studi dokumen. c. Hasil : Jumlah lantai direncanakan menjadi 6 lantai dari jumlah awal 5 lantai. Dimensi Penampang struktur berbeda dengan as built drawing Gedung Head Office Awann Group Semarang. Karena dimensi penampang struktur dihitung preliminary ulang sehingga seluruh dimensi serta tipe pondasi, pile cap, Tie Beam, Balok, Kolom, Pelat dan tangga berubah. Perubahan tersebut terjadi

No	Nama Author	Tahun	Judul	Intisari
				dikarenakan faktor pembebanan yang berbeda serta efisiensi luasan ruangan.
5	Dairan Sabil dan Erizal	2023	Penerapan Building Information Modeling (BIM) 5D pada Proyek Gedung Simpang Temu Dukuh Atas, Jakarta Pusat	a. Tujuan : Untuk melakukan pemodelan BIM hingga 5D menggunakan <i>software</i> Tekla Structres pada proyek Gedung, serta melakukan analisis kinerja waktu konstruksi, membandingkan volume pekerjaan hasil perhitungan BIM dengan volume pekerjaan perhitungan BQ. b. Metode : Kualitatif dengan wawancara dan pengumpulan database proyek. c. Hasil : Pengoptimalkan akses terhadap transportasi publik sehingga dapat menunjang daya angkut penumpang. Penerapan BIM menggunakan <i>software</i> Tekla Structures 2022 dapat dengan baik memodelkan pemodelan 3D, 4D, dan 5D pada Gedung Simpang Temu Dukuh Atas, Jakarta Pusat. Terjadi keterlambatan pada proyek dengan nilai keterlambatan terbesar pada bulan April 2022 dengan nilai sebesar -5,24%.
6	Andhiny Gita	2025	Analysis of the	a. Tujuan : Mengevaluasi dan meningkatkan nilai suatu proyek

No	Nama Author	Tahun	Judul	Intisari
	Cahyani et al.		Application of <i>Value Engineering</i> in Building Project X Kuningan District	konstruksi melalui penerapan <i>Value Engineering (VE)</i>, khususnya dengan mengidentifikasi alternatif desain yang lebih efisien dari segi biaya tanpa mengurangi fungsi, kualitas, dan kinerja bangunan. Penelitian ini juga bertujuan untuk menunjukkan bagaimana pendekatan sistematis melalui VE dapat menghasilkan solusi desain yang lebih optimal, terutama pada elemen-elemen dengan kontribusi biaya terbesar dalam proyek. b. Metode : Pendekatan analitis dengan tahapan <i>Value Engineering job plan</i>, yang meliputi fase informasi, analisis fungsi, kreativitas, evaluasi, dan pengembangan. Data diperoleh dari dokumen perencanaan proyek seperti gambar desain, RAB/BOQ, serta spesifikasi teknis. Selanjutnya dilakukan identifikasi item pekerjaan dengan biaya tinggi untuk dianalisis fungsinya, kemudian dikembangkan beberapa alternatif solusi desain. Alternatif tersebut dievaluasi berdasarkan aspek teknis, biaya, dan kelayakan pelaksanaan, sehingga dapat ditentukan opsi terbaik yang

No	Nama Author	Tahun	Judul	Intisari
				memberikan nilai tertinggi. c. Hasil : Penerapan <i>Value Engineering</i> mampu menghasilkan penghematan biaya yang signifikan tanpa mengurangi fungsi utama bangunan. Alternatif desain yang dipilih terbukti lebih efisien baik dari sisi material maupun metode konstruksi, serta tetap memenuhi persyaratan teknis yang berlaku. Selain itu, penelitian ini juga menegaskan bahwa VE dapat meningkatkan efisiensi proyek secara keseluruhan, tidak hanya dari segi biaya awal tetapi juga potensi pengurangan biaya pemeliharaan di masa mendatang, sehingga memberikan nilai tambah yang lebih tinggi terhadap proyek konstruksi.

2.10.1 Analisis *Research Gap*

Dari dokumen tersebut menunjukkan bahwa penerapan *Value Engineering* (VE) masih cenderung difokuskan pada optimasi elemen-elemen non-struktural atau komponen dengan tingkat kompleksitas rendah, seperti finishing, material arsitektural, atau substitusi material parsial. Sementara itu, pendekatan VE yang menysasar perubahan sistem struktur utama, khususnya pada elemen atap bentang lebar seperti pada bangunan GOR, belum dibahas secara mendalam dan komprehensif. Padahal, struktur atap merupakan salah satu komponen dengan kontribusi biaya, volume material, dan durasi pelaksanaan yang signifikan dalam proyek gedung olahraga.

Kesenjangan penelitian ini terletak pada belum optimalnya integrasi analisis fungsi dalam VE untuk mengevaluasi kemungkinan perubahan sistem struktur utama, misalnya efisiensi rangka baja atau sistem alternatif lainnya, yang berpotensi memberikan efisiensi yang lebih besar secara menyeluruh. Sebagian besar studi hanya berhenti pada tahap identifikasi alternatif tanpa melakukan simulasi mendalam terhadap dampak perubahan tersebut terhadap biaya total, waktu pelaksanaan, serta kemudahan konstruksi. Selain itu, pemanfaatan pendekatan berbasis model seperti BIM 5D dalam mendukung pengambilan keputusan VE pada level struktur utama juga masih terbatas, sehingga analisis yang dihasilkan belum sepenuhnya terintegrasi dan kuantitatif.

Dengan demikian, penelitian ini memiliki peluang untuk mengisi *research gap* dengan menitikberatkan pada penerapan VE yang secara spesifik diarahkan pada redesain sistem struktur atap GOR, sebagai upaya untuk mengoptimalkan penggunaan material, menekan biaya konstruksi, dan mempercepat waktu pelaksanaan tanpa mengurangi spesifikasi teknis yang dipersyaratkan. Pendekatan ini tidak hanya memperluas cakupan VE dari sekadar optimasi parsial menjadi optimasi sistemik, tetapi juga memberikan kontribusi baru dalam praktik perencanaan konstruksi berbasis BIM 5D yang lebih terintegrasi, akurat, dan berbasis kinerja.