

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri konstruksi di Indonesia saat ini mengalami perkembangan yang sangat pesat seiring dengan tingginya kebutuhan akan infrastruktur untuk mendukung pertumbuhan ekonomi nasional. Pembangunan infrastruktur yang masif menuntut sektor konstruksi untuk terus berinovasi dalam merencanakan bangunan yang aman, fungsional, dan terukur (Rahayu dkk., 2026). Seiring dengan laju pembangunan tersebut, para perencana dan pelaksana konstruksi diwajibkan untuk memperhatikan setiap detail perencanaan struktur gedung agar mampu berdiri dengan kokoh sesuai dengan umur layan yang direncanakan.

Di dalam tahapan proyek konstruksi, proses perencanaan memegang peranan yang sangat penting dan menjadi fondasi utama sebelum pelaksanaan fisik dimulai. Perencanaan yang matang dan komprehensif diperlukan untuk menerjemahkan konsep menjadi spesifikasi teknis yang detail, menentukan metode pelaksanaan yang tepat, serta mengestimasi kebutuhan sumber daya secara akurat (Simatupang dkk., 2023). Tanpa adanya fase perencanaan yang terstruktur, suatu proyek sangat rentan terhadap kesalahan desain yang memicu pekerjaan ulang (*rework*), sehingga berisiko tinggi terhadap kerugian finansial maupun kegagalan sistem bangunan secara keseluruhan. Oleh karena itu, keandalan dan kesuksesan suatu konstruksi sangat ditentukan oleh seberapa teliti perencana dalam memperhitungkan berbagai aspek teknis di fase awal ini.

Dalam merencanakan suatu struktur gedung bertingkat, aspek pembebanan merupakan faktor fundamental yang harus dianalisis secara saksama. Pembebanan adalah proses identifikasi dan perhitungan terhadap segala gaya yang bekerja pada struktur, yang meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, hingga beban gempa (Badan Standardisasi Nasional, 2020). Mengingat wilayah geografis Indonesia yang berada di jalur Cincin Api Pasifik (*Ring of Fire*) dan sangat rentan terhadap aktivitas seismik, keakuratan perencana dalam memperhatikan faktor pembebanan

sangatlah krusial. Analisis beban yang akurat berfungsi untuk meredam gaya-gaya destruktif dan mencegah terjadinya kegagalan struktur yang dapat membahayakan keselamatan jiwa manusia (Hakim, 2024).

Selain aspek kekuatan dan keamanan struktur, kesuksesan suatu proyek konstruksi selalu dievaluasi berdasarkan tiga indikator utama, yaitu tepat waktu, tepat biaya, dan berstandar mutu yang tinggi. Manajemen proyek yang baik harus mampu mengintegrasikan ketiga elemen tersebut agar pelaksanaan konstruksi berjalan secara optimal tanpa adanya pembengkakan anggaran atau keterlambatan jadwal penyelesaian (Dinda Sulistia & Deliyarti Agustina, 2023). Oleh karena itu, diperlukan suatu perencanaan yang matang dan terintegrasi sejak fase desain awal hingga ke tahap pelaksanaan di lapangan.

Salah satu proyek pembangunan fasilitas pendidikan yang dituntut untuk memenuhi ketiga kriteria tersebut adalah Gedung *Cadaster and Geoinformatics Engineering* UGM. Gedung laboratorium terpadu ini dirancang dengan lima lantai operasional utama untuk kegiatan riset dan akademik, yang didukung secara teknis oleh lantai enam khusus sistem utilitas serta level *ringbalk* sebagai struktur pengikat atap. Mengingat proyek ini masih dalam fase perencanaan, kondisi ini membuka ruang untuk melakukan eksplorasi teknis guna meninjau efektivitas elemen struktural yang ada.

Pertimbangan serupa berlaku pada sistem pelat. Pelat merupakan komponen dengan volume pekerjaan beton terbesar dibandingkan elemen struktur lainnya (Christian & Kushartomo, 2023), sehingga pilihan sistem pelat tidak hanya menentukan metode dan waktu pelaksanaan, tetapi juga berat sendiri struktur. Berat tersebut menentukan berat seismik efektif, sedangkan gaya geser dasar gempa sebanding dengan berat seismik efektif (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Dengan demikian, sistem penahan gaya lateral dan sistem pelat merupakan dua keputusan desain yang saling berkaitan dan berpengaruh langsung terhadap dimensi elemen, kebutuhan fondasi, dan biaya struktur. Karena saling berkaitan, kedua keputusan tersebut perlu ditinjau secara bersamaan, bukan secara terpisah.

Pada dokumen perencanaan eksisting, gaya lateral gedung dipikul oleh sistem ganda, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang dikombinasikan dengan dinding geser beton bertulang khusus, serta sistem pelat lantai beton bertulang konvensional. Kedua keputusan desain tersebut tidak sepenuhnya ditentukan oleh regulasi. Pada Kategori Desain Seismik D, SNI 1726:2019 mengizinkan sistem ganda maupun SRPMK tanpa batasan tinggi bangunan, sehingga pemilihan sistem penahan gaya lateral pada dasarnya merupakan kompromi antara kekakuan, kekuatan, dan biaya (Badan Standardisasi Nasional, 2019a). Dinding geser sangat efektif untuk mengendalikan simpangan pada gedung tinggi, tetapi pada gedung rendah hingga menengah, elemen yang sangat kaku ini menarik porsi terbesar gaya geser dasar dan memusatkan momen guling pada area fondasi yang sempit (Paulay & Priestley, 1992; Taranath, 2010). Dengan demikian, keberadaan dinding geser pada gedung enam lantai ini merupakan pilihan desain yang dapat ditinjau ulang, bukan keharusan regulasi.

Perencanaan ulang (*redesign*) ini bertujuan memberikan alternatif desain komparatif dengan meninjau kembali kebutuhan dinding geser pada gedung enam lantai tersebut. Tanpa dinding geser, seluruh beban gempa dipikul oleh rangka, sehingga dimensi dan tulangan kolom serta balok berpotensi membesar. Hal ini sejalan dengan prinsip interaksi dinding–rangka (*wall–frame interaction*) dimana dinding geser yang jauh lebih kaku menarik sebagian besar gaya geser dasar, sehingga pada sistem ganda rangka hanya disyaratkan mampu memikul sekurang-kurangnya 25% gaya seismik desain (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Rasio kontribusi geser dasar antara dinding dan rangka pada sistem ganda juga telah dikaji secara khusus, termasuk dengan memperhitungkan interaksi tanah dan struktur (Katrangi dkk., 2022). Pada studi kasus gedung sepuluh lantai bersistem ganda, misalnya, dinding geser memikul 58,76–63,72% gaya geser dasar, sedangkan rangka memikul sisanya (Wiyono dkk., 2023). Ketika dinding geser dihilangkan, seluruh gaya lateral dan kebutuhan kekakuan untuk membatasi simpangan antartingkat harus dipenuhi oleh aksi lentur balok dan kolom (Moehle & Hooper, 2016a) (Moehle, 2015). Kebutuhan kekakuan ini krusial: pengamatan pascagempa Kahramanmaraş 2023 terhadap 242 gedung beton bertulang menunjukkan bahwa

sistem rangka dan sistem hibrida mengalami kerusakan akibat tuntutan simpangan yang tinggi, sedangkan gedung berdinding beton yang dirancang memadai berkinerja baik (Sonmez dkk., 2025), dan analisis nonlinear terhadap gempa yang sama juga menunjukkan kerentanan gedung rangka dibandingkan gedung berdinding beton bertulang (Sönmez & Rodriguez, 2024).

Di sisi lain, penghapusan dinding geser berpotensi mengefisienkan struktur bawah. Secara teoretis, dinding geser berperilaku sebagai kantilever vertikal yang mengakumulasi momen guling dari seluruh tingkat dan menyalurkannya ke fondasi melalui area yang sempit, sehingga menimbulkan pasangan gaya tarik–tekan yang besar pada tiang di bawah dinding dan menuntut *pile cap* yang lebih besar dengan jumlah tiang yang lebih banyak (Paulay & Priestley, 1992; Taranath, 2010). Pada sistem rangka, momen guling ditahan oleh gaya aksial kolom dengan lengan momen selebar denah bangunan, sehingga reaksi fondasi terdistribusi lebih merata di antara titik-titik kolom (Smith & Coull, 1991). Dengan demikian, penghapusan dinding geser diperkirakan menggeser sebagian biaya dari struktur bawah ke struktur atas, dan efisiensi biaya total hanya tercapai apabila penghematan fondasi melampaui tambahan biaya rangka. Perencanaan ulang ini memeriksa apakah SRPMK tanpa dinding geser memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 untuk Kategori Risiko IV dan KDS D, serta bagaimana pengaruhnya terhadap biaya struktur atas, biaya struktur bawah, dan biaya total.

Peninjauan kedua dilakukan pada sistem pelat, yaitu dengan mengganti pelat beton konvensional menjadi pelat komposit *bondek* (*floor deck*). Pada pelat konvensional, pengecoran memerlukan bekisting dan perancah di bawah seluruh bidang pelat, yang baru dapat dibongkar setelah beton mencapai kekuatan yang memadai, sehingga siklus pekerjaan antarlantai tertahan oleh waktu pemasangan dan pembongkaran bekisting. Pada sistem *bondek*, dek baja berfungsi sebagai bekisting tetap (*permanent formwork*) yang tidak perlu dibongkar, sehingga pekerjaan bekisting pelat dapat dihilangkan, kebutuhan perancah dapat dikurangi sesuai bentang tanpa penopang yang diizinkan, dan pekerjaan lantai berikutnya dapat dimulai lebih cepat (Christian & Kushartomo, 2023).

Keunggulan waktu pelaksanaan tersebut belum cukup untuk menilai kelayakan pelat bondek, karena dari sisi kekuatan pelat bondek berperilaku berbeda dari pelat beton bertulang konvensional. Pelat bondek merupakan pelat komposit baja–beton: setelah beton mengeras, dek baja profil berfungsi sebagai tulangan tarik momen positif, sedangkan beton di atasnya memikul gaya tekan. Kerja sama keduanya bergantung pada transfer geser memanjang di bidang kontak yang dihasilkan oleh lekatan kimia, gesekan, dan kuncian mekanis tonjolan (*embossment*) pada dek (Johnson, 2004; Steel Deck Institute, 2017). Temuan serupa diperoleh pada uji dua belas pelat komposit skala penuh yang umumnya runtuh akibat geser memanjang antara beton dan dek (Vellaichamy dkk., 2022), sedangkan kekakuan dan kapasitas pelat komposit meningkat seiring berkurangnya panjang bentang geser (Sirimontree dkk., 2021). Di Indonesia, SNI 2847:2019 belum memuat ketentuan khusus untuk pelat komposit dek baja, dan metode ultimit yang memperlakukan dek sebagai tulangan tarik biasa cenderung menghasilkan kapasitas lentur yang lebih besar daripada hasil uji (Yulianto, 2021a). Karena aksi komposit hanya bekerja searah gelombang dek, pelat bondek berperilaku sebagai pelat satu arah dan tetap memerlukan tulangan negatif di atas tumpuan serta tulangan susut dan suhu pada arah tegak lurus gelombang.

Dari sisi kemampulayanan, dek baja yang kedap air menyebabkan beton hanya mengering dari permukaan atas, sehingga susut terdistribusi tidak seragam sepanjang tebal pelat dan dapat memperbesar lendutan jangka panjang (Gilbert dkk., 2012). Kajian terdahulu juga menunjukkan bahwa pelat bondek dapat menghasilkan kapasitas lentur yang lebih besar daripada pelat konvensional yang digantikannya, tetapi berisiko tidak memenuhi batas lendutan apabila ketebalannya direduksi (Weli dkk., 2021a). Oleh karena itu, pada penelitian ini pengaruh pelat bondek ditinjau dari sisi kekuatan lentur, lendutan seketika dan jangka panjang, serta biaya. Pengaruhnya terhadap durasi pelaksanaan tidak dibandingkan, karena penjadwalan hanya disusun untuk desain ulang dengan pelat bondek.

Selain efisiensi pada elemen struktur, alasan lain dilakukannya *redesign* ini adalah urgensi pemutakhiran metode manajemen konstruksi. Manajemen konstruksi di Indonesia dapat dikembangkan agar jauh lebih akurat, efektif, dan

efisien dengan memanfaatkan teknologi *Building Information Modeling* (BIM). Lebih lanjut, perhitungan volume pekerjaan (*quantity take-off*) yang dihitung secara konvensional atau manual melalui gambar kerja 2D sering kali kurang akurat dan rentan memicu ketidaksesuaian Rencana Anggaran Biaya (Annisa, 2025).

Sebagai solusi atas permasalahan tersebut, penerapan BIM pada tahap perencanaan menjadi relevan. BIM merupakan proses pemodelan dan pengelolaan informasi bangunan secara digital, sehingga geometri desain, volume pekerjaan, biaya, dan jadwal dapat bersumber dari satu model yang sama. Dalam kerangka *Integrated Project Delivery* (IPD), BIM berperan sebagai alat komunikasi dan kolaborasi yang menyatukan pihak-pihak proyek, sehingga keputusan desain dapat diambil dengan tingkat keakuratan, keefektifan, dan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional. Melalui penerapan BIM 5D, volume pekerjaan diekstraksi langsung dari model 3D untuk menyusun RAB, lalu dihubungkan dengan jadwal pelaksanaan dalam simulasi 5D (Daffaulhaq & Zettyara, 2026). Dengan alur tersebut, penelitian ini membandingkan dimensi dan biaya struktur desain eksisting dengan desain ulang, mengevaluasi pengaruh pelat *bondek*, menghitung RAB dan durasi pelaksanaan desain terpilih, serta memeriksa konsistensi volume *quantity take-off* model terhadap perhitungan manual sebagai bahan pertimbangan dalam manajemen proyek konstruksi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada perencanaan gedung *Cadaster and Geoinformatics Engineering* UGM adalah sebagai berikut:

1. Perbandingan dimensi elemen dan biaya struktur antara desain eksisting (sistem ganda SRPMK dengan dinding geser) dan desain ulang SRPMK tanpa dinding geser.
2. Pengaruh penggunaan pelat *bondek* terhadap kekuatan dan lendutan dibandingkan pelat beton konvensional.
3. Perbandingan estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) antara struktur desain eksisting, *redesign* dengan pelat konvensional, serta *redesign* dengan pelat *bondek*.

4. Penentuan estimasi durasi pelaksanaan struktur desain ulang dengan pelat bondek.
5. Penerapan integrasi *Building Information Modeling* (BIM) dianalisis dalam perencanaan struktur gedung, serta tingkat konsistensi volume *quantity take off* model dievaluasi terhadap perhitungan manual.

1.3 Tujuan

Tujuan perencanaan ulang pada gedung *Cadaster and Geoinformatics Engineering* UGM adalah sebagai berikut:

1. Merancang ulang struktur gedung sebagai SRPMK tanpa dinding geser, memeriksa pemenuhan persyaratan kinerja SNI 1726:2019, serta membandingkan dimensi elemen dan biaya strukturnya dengan desain eksisting (sistem ganda).
2. Menganalisis penggunaan pelat bondek pengaruh penggunaan pelat bondek terhadap kekuatan dan lendutan dibandingkan pelat beton konvensional.
3. Menghitung perbandingan estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) antara struktur desain eksisting, *redesign* dengan pelat konvensional, serta *redesign* dengan pelat bondek.
4. Menyusun penjadwalan struktur *redesign* dengan pelat bondek untuk mengetahui durasi total pelaksanaannya.
5. Menerapkan integrasi perangkat lunak berbasis BIM (*Autodesk Revit*, *Microsoft Project*, dan *Autodesk Navisworks*) dalam alur BIM 5D serta mengevaluasi konsistensi volume *quantity take off* model terhadap perhitungan manual guna meminimalkan kesalahan perhitungan volume.

1.4 Manfaat

Manfaat perencanaan ulang pada gedung *Cadaster and Geoinformatics Engineering* UGM adalah sebagai berikut:

1. Bagi Mahasiswa

Meningkatkan pemahaman mendalam serta keterampilan praktis dalam menerapkan regulasi SNI (Standar Nasional Indonesia) terbaru mengenai perencanaan struktur tahan gempa, sekaligus mengintegrasikannya dengan teknologi *Building Information Modeling* (BIM) 5D.

2. Bagi Pemilik Proyek (Perencana)

Memberikan sumbangsih pemikiran, kajian efisiensi struktur, dan alternatif desain terintegrasi beserta perbandingan biayanya terhadap desain eksisting. Hasil *redesign* ini dapat dijadikan sebagai bahan evaluasi maupun pertimbangan teknis bagi pihak perencana dan manajemen proyek dalam pengembangan Gedung *Cadaster and Geoinformatics Engineering* UGM.

3. Bagi Universitas Diponegoro

Menambah perbendaharaan literatur dan referensi kepustakaan akademik di lingkungan kampus, sehingga dapat mendukung peningkatan kualitas penelitian mahasiswa selanjutnya, khususnya yang berkaitan dengan modifikasi elemen struktur dan implementasi *Building Information Modeling* (BIM).

4. Bagi Praktisi dan Industri Konstruksi

Memberikan referensi faktual mengenai pengaruh penggunaan pelat bondek dibandingkan pelat konvensional terhadap kekuatan, lendutan, dan biaya, serta contoh penerapan BIM 5D dalam penyusunan *quantity take off*, Rencana Anggaran Biaya (RAB), dan jadwal pelaksanaan.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus dan terarah, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Analisis struktur hanya mencakup komponen struktur utama yaitu pelat, balok, kolom, fondasi, dan atap.
2. Analisis struktur dilakukan secara linear dengan metode respons spektrum; analisis nonlinear (pushover dan riwayat waktu) tidak dilakukan.
3. Analisis struktur menggunakan perangkat lunak *ETABS 22.4.0* dengan metode analisis respons spektrum berdasarkan SNI 1726:2019.

4. Pembebanan yang diperhitungkan meliputi beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban angin sesuai dengan regulasi SNI 1727:2020.
5. Material utama yang digunakan adalah beton bertulang dengan mutu yang ditentukan pada tahap *preliminary design*, disesuaikan dengan hasil analisis untuk mencapai dimensi yang optimal.
6. Penerapan BIM 3D menggunakan *Autodesk Revit*, integrasi jadwal (BIM 4D) menggunakan *Navisworks* dan *Microsoft Project*, serta estimasi biaya (BIM 5D) diolah menggunakan *Microsoft Excel* berdasarkan data dari model BIM.
7. Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) mengacu pada Standar Satuan Harga (SSH) atau Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) yang berlaku di wilayah DIY (Yogyakarta/Sleman).
8. Penelitian ini tidak mencakup perencanaan arsitektur, sistem mekanikal, elektrik, dan *plumbing* (MEP).
9. Potensi likuifaksi lapisan pasir di bawah muka air tanah tidak dievaluasi.
10. Kapasitas pelat bondek dihitung dengan pendekatan penampang komposit dan dikontrol terhadap data teknis pabrikan Union Floor Deck W-1000.
11. Dinding geser hanya ditinjau pada desain eksisting sebagai pembanding; desain ulang menggunakan SRPMK tanpa dinding geser.
12. Perbandingan dengan desain eksisting dilakukan pada dimensi elemen dan biaya struktur; kinerja struktur desain eksisting tidak dianalisis ulang.
13. Fondasi desain ulang direncanakan satu kali dan dipakai untuk kedua skenario pelat (konvensional dan bondek).
14. Penjadwalan dan simulasi 5D hanya disusun untuk desain ulang dengan pelat bondek.
15. Perbandingan volume *Quantity Take Off Revit* dengan hitungan manual dilakukan pada sampel pekerjaan pengecoran kolom.

1.6 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada *redesign* Gedung *Cadaster and Geoinformatics Engineering* UGM adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan struktur atas yang meliputi pekerjaan balok, kolom, dan modifikasi pelat konvensional menjadi sistem pelat *bondek*.
2. Perencanaan struktur bawah yang difokuskan pada fondasi *borepile*.
3. Analisis pembebanan dan desain penulangan struktur dikerjakan dengan berpedoman pada SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 2847:2019.
4. Pemodelan dan visualisasi struktur dalam format 3D berbasis *Building Information Modeling* (BIM) untuk menghasilkan *Detail Engineering Design* (DED).
5. Perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ) melalui fitur *quantity take-off* otomatis dari model BIM.
6. Penyusunan estimasi biaya menggunakan metode BIM 5D.
7. Penyusunan penjadwalan proyek (*Time Schedule*) dan simulasi visual 5D untuk desain ulang dengan pelat *bondek*.