

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan kebutuhan infrastruktur sumber daya air yang terus meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk, penyediaan air baku, ekspansi lahan pertanian, serta mendukung pemenuhan ketahanan pangan nasional. Sebagai bentuk komitmen terhadap pembangunan infrastruktur nasional, Pemerintah Republik Indonesia melalui Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) menetapkan target pembangunan 61 bendungan dalam Rencana Strategis (Renstra) 2020 – 2024, yang mencakup penyelesaian 45 bendungan baru dan pembangunan 16 bendungan lanjutan (Kementerian PUPR, 2020). Hingga tahun 2021, Kementerian PUPR melaporkan bahwa sebanyak 29 bendungan telah diselesaikan dan sisanya 32 bendungan dalam masa konstruksi, sekaligus membuka potensi irigasi premium seluas 1,2 juta hektar untuk menopang produktivitas sektor pertanian nasional (Kementerian PUPR, 2022).

Salah satu bendungan yang termasuk dalam program strategis tersebut adalah Bendungan Bagong yang berlokasi di Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur, yang dibangun oleh Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Brantas. Bendungan ini dirancang untuk mendukung kebutuhan irigasi, penyediaan air baku, serta pengendalian banjir di wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Bagong. Sebagai infrastruktur sumber daya air berskala besar, pembangunan Bendungan Bagong melibatkan berbagai komponen struktur yang memiliki tingkat kompleksitas tinggi, baik dari aspek geometri, metode pelaksanaan, maupun keterkaitan antar pekerjaan konstruksi. Kompleksitas tersebut menuntut adanya perencanaan dan pengendalian konstruksi yang efektif guna memastikan seluruh tahapan pekerjaan dapat dilaksanakan secara aman, tepat waktu, dan sesuai spesifikasi teknis.

Perencanaan dan penjadwalan merupakan aspek yang menentukan keberhasilan suatu proyek konstruksi berskala besar. Ketidaksesuaian antara desain, urutan pelaksanaan pekerjaan, serta koordinasi antar elemen konstruksi

dapat menimbulkan berbagai permasalahan seperti keterlambatan proyek, pemborosan sumber daya, hingga pengerjaan ulang (*rework*), serta ketidakakuratan dalam memvisualisasikan hubungan antar elemen struktur secara tiga dimensi dapat menimbulkan berbagai kendala di lapangan. Metode konvensional yang masih banyak diterapkan dalam perencanaan dan penjadwalan konstruksi, seperti gambar teknik dua dimensi dan bar chart, memiliki keterbatasan dalam memvisualisasikan hubungan spasial temporal antar komponen bangunan secara terintegrasi, sehingga kondisi ini menyebabkan rendahnya kemampuan untuk mendeteksi konflik fisik (*clash*) antar elemen struktur sebelum tahap pelaksanaan, sehingga berpotensi menimbulkan kesalahan koordinasi serta penurunan efisiensi pelaksanaan proyek konstruksi (Abdalhameed & Naimi, 2023). Kondisi ini menunjukkan bahwa diperlukannya pendekatan berbasis teknologi digital untuk memastikan setiap elemen pekerjaan dapat direncanakan dan dikoordinasikan dengan tepat dan terstruktur sebelum pekerjaan fisik dimulai.

Di antara berbagai komponen bendungan, bangunan pelimpah (*spillway*) merupakan elemen yang paling kritis secara struktural sekaligus paling kompleks dari sisi perencanaan konstruksinya. Bangunan ini berfungsi mengatur dan mengalirkan debit banjir secara aman melewati tubuh bendungan, sehingga kegagalan pada komponen ini dapat berimplikasi langsung pada keamanan bendungan secara keseluruhan (Chehab Canto Pereira et al., 2025). dengan bangunan infrastruktur lainnya, *spillway* memiliki karakteristik geometri yang sangat kompleks, yang terdiri dari beberapa elemen struktural utama meliputi mercu pelimpah, saluran peluncur, kolam olak (*stilling basin*), tembok sayap, dan pondasi yang saling berkaitan secara struktural dalam satu sistem yang terintegrasi. Setiap elemen ini memiliki geometri kompleks dengan dimensi yang besar, dan urutan pekerjaan yang ketat, dimana satu elemen tidak dapat dikerjakan sebelum elemen sebelumnya benar-benar selesai dikerjakan dan sesuai dengan spesifikasi teknis. Penelitian yang dilakukan oleh Apriadi et al. (2024) pada proyek *spillway* Bendungan Bintang Bano di Sumbawa, Indonesia, menegaskan bahwa kompleksitas geometri bangunan pelimpah memerlukan representasi tiga dimensi yang akurat untuk mendukung estimasi biaya dan penjadwalan yang tepat, dan bahwa metode konvensional berbasis gambar 2D memiliki keterbatasan dalam

menangkap interaksi antar elemen secara menyeluruh. Temuan serupa juga disampaikan oleh Chehab Canto Pereira et al. (2025) yang menyatakan bahwa penerapan teknologi digital pada infrastruktur bendungan dapat meningkatkan kualitas koordinasi desain, efisiensi pelaksanaan konstruksi, dan pengelolaan informasi proyek secara keseluruhan.

Bendungan Bagong merupakan salah satu proyek bendungan yang tercantum dalam Rencana Strategis (Renstra) 2020 – 2024 yang dibangun di Desa Sengon dan Desa Sumurup, Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur, dengan manfaat strategis berupa suplai air baku sebesar 153 liter/detik, penyediaan irigasi untuk lahan seluas 977 hektar, serta reduksi risiko banjir Sungai Bagong dari 203 m³/detik menjadi 44 m³/detik. Pembangunan bendungan ini dibagi ke dalam tiga paket pekerjaan, di mana Paket I mencakup tubuh bendungan utama, sedangkan Paket II dan III mencakup pembangunan bangunan pelimpah, bangunan pengelak, fasilitas operasi, dan infrastruktur pendukung. Paket III secara spesifik dikerjakan oleh PT PP (Persero) Tbk – Jatiwangi (KSO) dengan nilai kontrak mencapai Rp402,3 miliar. *Spillway* pada Paket III Bendungan Bagong memiliki keunikan berupa desain tipe *Ogee* yang dilengkapi dua *stilling basin* sebagai peredam energi, dengan pondasi yang berdiri di atas batuan kolumial dan diperkuat dengan *boredpile*. Kompleksitas desain ini menjadi alasan penelitian ini mengangkat konstruksi *spillway* Paket III sebagai objek penelitian, menggunakan pendekatan berbasis *Building Information Modeling* (BIM), untuk memastikan seluruh elemen strukturnya dapat dilaksanakan secara terkoordinasi dan bebas konflik antar elemen.

Seiring perkembangan transformasi digital di industri konstruksi, *Building Information Modeling* (BIM) hadir sebagai pendekatan digital terintegrasi yang mampu menjawab tantangan – tantangan koordinasi konstruksi dalam dunia industri konstruksi global, menawarkan pendekatan berbasis model digital yang merepresentasikan karakteristik fisik dan fungsional suatu bangunan secara terintegrasi, presisi, dan multidimensi (Igba Emmanuel et al., 2024). Di Indonesia, komitmen pemerintah terhadap adopsi BIM semakin menguat melalui Peraturan Menteri PUPR Nomor 22 Tahun 2018 tentang Pembangunan Bangunan Gedung Negara, yang mewajibkan penerapan BIM pada seluruh bangunan gedung negara

dengan luas di atas 2.000 m² dan lebih dari dua lantai, serta diperkuat dengan Standar Protokol BIM PUPR Tahun 2020.

Teknologi BIM memungkinkan seluruh informasi geometri, material, kuantitas, metode pelaksanaan, hingga jadwal pekerjaan terintegrasi dalam satu model digital yang dapat digunakan oleh seluruh pemangku kepentingan proyek. Dalam praktiknya, BIM tidak lagi sekedar alat desain tiga dimensi, melainkan telah berkembang menjadi platform manajemen informasi yang lebih luas, termasuk dimensi keempat (BIM 4D) yang menggabungkan model 3D dengan data penjadwalan konstruksi sehingga urutan pekerjaan dapat disimulasikan secara visual dan dinamis (Igba Emmanuel et al., 2024). Melalui BIM 4D, hubungan antara model struktur dan urutan pekerjaan dapat divisualisasikan secara lebih jelas sehingga memudahkan proses evaluasi konstruktabilitas (*constructability review*), koordinasi pekerjaan, serta pengendalian progres proyek. Kemampuan ini menjadikan BIM 4D sebagai salah satu metode yang efektif untuk mendukung perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi yang kompleks.

Selain mendukung visualisasi konstruksi, BIM juga memiliki kemampuan *clash detection* atau deteksi benturan antar elemen model, yaitu merupakan proses identifikasi konflik geometrik yang terjadi ketika dua atau lebih elemen menempati ruang yang sama atau berada pada jarak yang lebih dekat dari ketentuan desain (Sacks et al., 2018). Penelitian oleh Alshboul & Shehadeh (2026) menemukan bahwa penerapan teknologi *clash detection* berbasis *Navisworks* dalam alur kerja BIM mampu secara signifikan mengoptimalkan koordinasi proyek, menurunkan frekuensi *rework*, dan menetapkan standar baru dalam otomatisasi deteksi konflik pada proyek konstruksi. Studi lain menunjukkan bahwa penerapan BIM-based *clash detection* dapat mereduksi *hard clash* hingga lebih dari 70% setelah revisi model dilakukan, yang secara langsung berdampak pada peningkatan efisiensi koordinasi desain (Abdalhameed & Naimi, 2023). Di sisi lain, simulasi 4D BIM mengintegrasikan model geometri tiga dimensi dengan jadwal pelaksanaan (*time schedule*) sehingga menghasilkan visualisasi animasi proses konstruksi berbasis waktu yang memungkinkan identifikasi konflik logis pada urutan pekerjaan (Sacks et al., 2018). Hasil identifikasi konflik fisik dari *clash detection* ini bisa dijadikan salah satu pertimbangan dalam menyusun urutan pekerjaan, sehingga simulasi 4D

yang dihasilkan tidak hanya menggambarkan waktu pelaksanaan, tapi juga mencerminkan kondisi lapangan yang lebih realistis dan minim gangguan koordinasi.

Penelitian yang secara khusus mengkaji penerapan BIM pada bangunan *spillway* bendungan di Indonesia masih tergolong baru, dibandingkan dengan penelitian BIM pada bangunan gedung. Soviana (2023) melakukan evaluasi penerapan BIM 3D dan 4D pada *Spillway* Bendungan Pidekso di Wonogiri menggunakan Tekla *Structure* 2022 dan *Autodesk Navisworks* Manage 2023, dengan memanfaatkan fitur *clash detection* untuk mendeteksi kesalahan desain secara dini sebelum pelaksanaan konstruksi. Sementara itu, Fikhoir et al. (2024) mengimplementasikan BIM 4D untuk penjadwalan proyek rehabilitasi *Spillway* Bendungan Pacal di Bojonegoro menggunakan *Navisworks* Manage 2023 dengan fitur *TimeLiner*, melakukan *resource leveling* untuk mengevaluasi penjadwalan dan alokasi sumber daya proyek. Namun, kedua penelitian ini masih memperlakukan *clash detection* dan simulasi BIM 4D sebagai proses yang terpisah, belum menjadikan hasil identifikasi *clash detection* sebagai dasar pertimbangan dalam menyusun simulasi penjadwalan konstruksi secara sistematis.

Tinjauan literatur oleh Chehab Canto Pereira et al. (2025) terhadap penerapan BIM pada bendungan dan struktur hidrologi menemukan bahwa sebagian besar penelitian BIM di sektor infrastruktur masih berfokus pada bangunan gedung, jembatan, dan terowongan, sementara penerapannya pada bangunan air seperti *spillway* bendungan masih sangat terbatas. Penelitian *clash detection* dalam BIM juga masih didominasi oleh bangunan gedung, terutama koordinasi elemen MEP (*Mechanical, Electrical, and Plumbing*) terhadap elemen struktural dan arsitektural, seperti yang dikaji Bitaraf et al. (2024), yaitu sementara penerapannya pada bangunan air dengan karakteristik geometri dan sistem kerja yang berbeda masih jarang dibahas dalam literatur akademik. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian, yaitu masih sedikit kajian yang menjadikan hasil identifikasi *clash detection* sebagai dasar pertimbangan dalam menyusun simulasi BIM 4D pada bangunan *spillway* bendungan. Meski BIM 4D sudah diterapkan pada beberapa proyek bendungan di Indonesia, penelitian tentang

spillway masih didominasi oleh pemodelan 3D, *quantity take-off*, atau simulasi 4D yang dikerjakan terpisah sebagai tujuan akhir.

Penelitian yang menjadikan hasil identifikasi *clash detection* sebagai dasar penyusunan dan validasi penjadwalan konstruksi berbasis BIM 4D pada bangunan *spillway* masih sangat terbatas, sehingga dibutuhkan pendekatan yang menghubungkan kedua proses ini dalam satu alur kerja, mengingat karakteristik dan kompleksitas khusus yang dimiliki bangunan pelimpah. Penelitian ini menyusun suatu alur kerja (*workflow*) BIM yang menghubungkan proses pemodelan 3D, identifikasi *clash detection*, dan simulasi BIM 4D pada bangunan *spillway* Bendungan Bagong Paket III. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang memperlakukan *clash detection* dan simulasi 4D sebagai dua proses terpisah, penelitian ini menjadikan hasil identifikasi *clash detection* sebagai salah satu dasar pertimbangan dalam menyusun urutan pekerjaan konstruksi, sebelum simulasi 4D dikembangkan. Dengan begitu, jadwal yang dihasilkan tidak hanya memvisualisasikan waktu pelaksanaan, tapi juga sudah mempertimbangkan potensi konflik antar elemen konstruksi yang teridentifikasi sejak tahap perencanaan.

Selain menghasilkan identifikasi konflik dan simulasi konstruksi, penelitian ini menghasilkan jadwal pelaksanaan yang sudah mempertimbangkan hasil identifikasi *clash detection* dalam bentuk simulasi BIM 4D, yang bisa dimanfaatkan sebagai acuan pelaksanaan di lapangan. Penelitian ini diharapkan punya nilai terapan yang tinggi, sekaligus berkontribusi secara akademis dalam menjembatani perkembangan teknologi BIM dengan kebutuhan praktis industri konstruksi infrastruktur sumber daya air di Indonesia.

Urgensi penelitian ini semakin terasa karena Bendungan Bagong Paket III merupakan proyek infrastruktur sumber daya air strategis nasional yang membutuhkan perencanaan penjadwalan matang. Metode konvensional yang masih banyak dipakai berisiko meninggalkan konflik geometri antar elemen struktural yang baru terlihat saat pelaksanaan, sehingga memicu *rework* dan gangguan jadwal. Regulasi BIM di lingkungan Kementerian PU, yaitu Permen No. 22 Tahun 2018 dan Standar Protokol BIM PUPR 2020 sudah memberi landasan yang kuat untuk adopsi pendekatan digital, tapi penerapannya secara konkret pada *level* identifikasi

clash detection dan simulasi 4D masih membutuhkan penelitian terapan berbasis studi kasus lokal, sebagai referensi untuk penerapan di lapangan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini menerapkan *Building Information Modeling* (BIM) melalui pemodelan 3D, identifikasi *clash detection*, dan simulasi BIM 4D pada bangunan *spillway* Bendungan Bagong Paket III. Pendekatan ini diharapkan menghasilkan model digital yang terkoordinasi, mampu mengidentifikasi potensi konflik antar elemen struktur sejak tahap perencanaan, serta memvisualisasikan urutan pelaksanaan konstruksi secara lebih komprehensif. Hasil penelitian ini diharapkan berkontribusi terhadap pengembangan penerapan BIM pada proyek infrastruktur sumber daya air, khususnya bangunan *spillway* bendungan, sekaligus menjadi referensi dalam menyusun perencanaan konstruksi yang lebih terstruktur dan terintegrasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana model 3D struktural bangunan *spillway* Bendungan Bagong Paket III dibangun berdasarkan dokumen 2D *Shop Drawing*?
- b. Apa dan dimana saja lokasi *clash* yang teridentifikasi pada model struktural *spillway* Bendungan Bagong melalui analisis *clash detection*?
- c. Bagaimana rekomendasi penyesuaian jadwal konstruksi *spillway* Bendungan Bagong Paket III yang dihasilkan berdasarkan hasil identifikasi hard clash pada model BIM 3D?
- d. Bagaimana hasil simulasi 4D BIM berdasarkan penjadwalan konstruksi yang dihasilkan dari identifikasi analisis *clash detection* pada bangunan *spillway* Bendungan Bagong Paket III?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Membangun model 3D struktural bangunan *spillway* Bendungan Bagong Paket III menggunakan *Autodesk Revit* berdasarkan dokumen 2D *Shop Drawing* yang tersedia.
- b. Mengidentifikasi dan menganalisis hasil *hard clash* yang terdapat pada model struktural *spillway* menggunakan fitur *Clash Detective* pada *Autodesk Navisworks Manage*.
- c. Menyusun penjadwalan konstruksi bangunan *spillway* Bendungan Bagong Paket III berdasarkan hasil identifikasi analisis *clash detection* menggunakan Oracle Primavera P6.
- e. Menyusun simulasi 4D BIM berdasarkan penjadwalan konstruksi yang dihasilkan dari identifikasi analisis *clash detection* pada bangunan *spillway* Bendungan Bagong Paket III.

1.4 Batasan Masalah

Mengingat keterbatasan waktu dan kemampuan yang dimiliki penulis, penetapan batasan penelitian dipandang perlu dalam studi ini guna menjaga fokus pembahasan serta menghindari kompleksitas tambahan yang mungkin timbul dari elemen – elemen di luar lingkup penelitian. Adapun batasan – batasan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian dilakukan pada bangunan *spillway* Bendungan Bagong dari Proyek Pembangunan Bendungan Bagong Paket III sebagai objek penelitian, dan tidak mencakup bangunan utama bendungan (*dam body*) maupun bangunan pelengkap lainnya.
- b. Pemodelan *Building Information Modeling* (BIM) tiga dimensi (3D) komponen struktur *spillway* berdasarkan gambar kerja (*shop drawing*) atau *Detailed Engineering Design* (DED) yang diperoleh dari proyek.
- c. Pemodelan *Building Information Modeling* (BIM) yang dilakukan terbatas pada pemodelan tiga dimensi (3D) untuk pemodelan geometris dan struktural serta BIM 4D untuk integrasi jadwal waktu.
- d. Pemodelan struktur hanya mencakup elemen beton struktural *spillway* dan tidak mencakup pemodelan detail tulangan (*reinforcement*) maupun sambungan struktur.

- e. Pemodelan menggunakan LOD 300 – 350, yaitu model dibangun dengan akurasi geometris dan volume yang memadai untuk analisis koordinat dan penjadwalan, namun belum masuk ke tahap LOD 400 yang memerlukan detail fabrikasi.
- f. Penelitian difokuskan pada identifikasi *hard clash* sebagai temuan utama yang merupakan hasil dari *clash detection*, visualisasi urutan pelaksanaan konstruksi, serta simulasi BIM 4D, tanpa melakukan analisis desain ulang (redesain) terhadap struktur *spillway*.
- g. Penelitian tidak membahas analisis struktur, perhitungan dimensi elemen, analisis hidrolika *spillway*, evaluasi stabilitas bendungan, estimasi biaya, pengelolaan fasilitas, maupun aspek keberlanjutan bangunan.
- h. Penelitian hanya melakukan identifikasi dan analisis terhadap *hasil clash detection*, serta memberikan rekomendasi penyesuaian penjadwalan bila diperlukan, tanpa melakukan optimasi atau modifikasi desain sebagai solusi penyelesaian benturan.
- i. Penelitian tidak mencakup pemodelan sistem *Mechanical, Electrical, and Plumbing* (MEP) maupun bangunan hidromekanikal.

1.5 Manfaat Penelitian

- a. Bagi Peneliti
 - 1) Menambah wawasan dan pengetahuan secara langsung mengenai penerapan teknologi *Building Information Modeling* (BIM) dalam perencanaan konstruksi bangunan air, khususnya pada tahap pemodelan 3D struktur, analisis *clash detection*, dan simulasi 4D BIM.
 - 2) Meningkatkan kompetensi teknis dalam penggunaan perangkat lunak *Autodesk Revit* untuk pemodelan struktur bangunan pelimpah (*spillway*) serta *Autodesk Navisworks* untuk analisis *clash detection* dan simulasi konstruksi berbasis waktu.
 - 3) Memberikan pengalaman nyata dalam mengintegrasikan ilmu manajemen konstruksi dan teknologi digital BIM pada proyek infrastruktur sumber daya air berskala besar sebagai bekal memasuki dunia kerja di bidang konstruksi.

b. Bagi Institusi Pendidikan

- 1) Menjadi referensi dan bahan kajian akademik bagi civitas akademika, khususnya mahasiswa Program Studi Teknologi Konstruksi Bangunan Air, dalam memahami penerapan teknologi BIM 3D dan 4D pada proyek konstruksi bangunan air.
- 2) Memperkaya koleksi penelitian ilmiah institusi di bidang manajemen konstruksi berbasis BIM, terutama pada objek bangunan air yang selama ini masih sangat terbatas dalam literatur akademik nasional.
- 3) Dapat dijadikan sebagai dasar pengembangan kurikulum atau modul pembelajaran berbasis BIM dalam mata kuliah manajemen konstruksi, perencanaan bangunan air, maupun pemodelan BIM di lingkungan program studi terkait.

c. Masyarakat secara umum

- 1) Memberikan kontribusi praktis bagi pelaksana proyek (kontraktor), konsultan perencana, dan pengawas konstruksi dalam mengadopsi metodologi BIM yang terintegrasi.
- 2) Secara tidak langsung berkontribusi pada keberhasilan dan kelancaran pembangunan infrastruktur bendungan di Indonesia, sehingga manfaat strategis berupa penyediaan air baku, irigasi, dan pengendalian banjir dapat segera dirasakan oleh masyarakat.
- 3) Menjadi model referensi (*replicable model*) yang dapat diadopsi pada proyek-proyek konstruksi bangunan air serupa di seluruh Indonesia, guna mendorong percepatan transformasi digital industri konstruksi nasional.