

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah diuraikan pada Bab 4, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pemodelan 3D struktural bangunan *spillway* Bendungan Bagong berhasil dibangun menggunakan *Autodesk Revit* berdasarkan dokumen 2D *shop drawing* yang telah diverifikasi kontraktor pelaksana dan didukung hasil observasi lapangan. Setiap elemen dimodelkan sesuai dimensi dan elevasi pada gambar kerja, dengan tingkat detail *Level of Development* (LOD) 300, yaitu dengan geometri dan dimensi yang sesuai dokumen perencanaan, tanpa mencakup detail tulangan, bekisting, sistem MEP, maupun komponen hidromekanikal sesuai batasan penelitian.

Model yang dihasilkan mencakup seluruh elemen beton struktural utama *spillway*, yaitu:

- a. Sistem Pondasi: *bored pile* dengan bermacam diameter, *secant pile*, *pile cap*, dan *tie beam*.
- b. Zona Mercu: mercu *ogee* beserta *abutment*, *pier*, saluran pembilas, *slab apron*, dan dinding pengarah *spillway* (DPS).
- c. Zona Peluncur (*chute*) 1 dan 2: *slab* lantai *spillway* dan *side wall*.
- d. Zona Kolam Olak (*Stilling Basin*) 1 dan 2: *slab* lantai *spillway*, *side wall*, dan dinding penahan tanah (DPT).

Setiap elemen juga dikelompokkan berdasarkan tahapan *lifting* sesuai urutan pelaksanaan konstruksi, untuk mempermudah proses *task attachment* pada tahap simulasi BIM 4D. Hasil pemodelan membuktikan bahwa representasi tiga dimensi mampu memvisualisasikan hubungan antar elemen struktur secara jauh lebih jelas dibanding gambar 2D, khususnya pada zona pertemuan elemen dengan geometri kompleks dan tidak beraturan menjadi dasar yang valid untuk tahap analisis *clash detection* selanjutnya.

2. Identifikasi *clash* pada model struktural *spillway* menggunakan fitur *Clash Detective* pada *Autodesk Navisworks Manage* dengan tipe *Hard Clash* dan

toleransi 0,100 m (10 cm) menghasilkan 66 *hard clash*. Seluruh *clash* berstatus *New*, yang menunjukkan bahwa keseluruhan temuan merupakan hasil identifikasi baru yang belum pernah ditinjau sebelumnya.

Berdasarkan pemeriksaan visual terhadap pasangan elemen yang berkonflik, ke-66 *clash* dikelompokkan menjadi lima kelompok, yaitu:

- a. Kelompok 1: *Slab Edge* (Coveran *Slab*) dengan *Tie Beam* sebanyak 30 *clash*;
- b. Kelompok 2: *Slab Lantai Spillway* dengan *Tie beam* sebanyak 8 *clash*;
- c. Kelompok 3: *Pile cap* dengan *Slab/Dinding* sebanyak 12 *clash*;
- d. Kelompok 4: *Pile cap* dengan Coveran *Slab* sebanyak 9 *clash*; serta
- e. Kelompok 5: *Slab* dengan *Slab/Dinding* sebanyak 6 *clash*.

Kelompok *clash* terbanyak adalah *Slab Edge* dengan *Tie Beam* yang mencapai 45,5% dari keseluruhan temuan, sementara nilai interferensi terbesar tercatat pada Kelompok 5 dengan nilai mencapai 0,973 m.

3. Hasil identifikasi *clash detection* dijadikan dasar peninjauan terhadap logika hubungan antar aktivitas pada jadwal konstruksi yang telah didigitalkan pada Oracle Primavera P6. Peninjauan dilakukan dengan mempertimbangkan metode pelaksanaan aktual di lapangan, sehingga diperoleh dua kondisi yang berbeda:
 - a. *Clash* yang tidak memerlukan penyesuaian jadwal, yaitu Kelompok 1 dan Kelompok 4 (total 39 *clash* atau 59,1% dari keseluruhan temuan). Berdasarkan observasi lapangan, elemen-elemen pada kedua kelompok ini dicor dalam satu rangkaian pengecoran, yaitu secara monolit pada Kelompok 1 (mutu beton sama) dan secara bersamaan dengan pembatas stop-cor pada Kelompok 4 (mutu beton berbeda). Dengan demikian, besaran *Lag Time* untuk kedua kelompok adalah 0 hari.
 - b. *Clash* yang memerlukan penyesuaian jadwal, yaitu Kelompok 2, 3, dan 5 (total 26 *clash*). Pada ketiga kelompok ini, elemen yang berada di bawah menahan beban elemen di atasnya, sehingga direkomendasikan penambahan *Lag Time* selama 14 hari, mengacu pada perkembangan kekuatan tekan beton yang mencapai sekitar 88–90% dari kekuatan rencana pada umur tersebut.

Rekomendasi ini diterapkan pada jadwal Oracle Primavera P6 melalui penyesuaian nilai Lag pada kolom Predecessors setiap aktivitas Successor yang terdampak tanpa mengubah tipe hubungan aktivitas (*Finish-to-Start*) maupun geometri desain, sesuai batasan penelitian.

Setelah jadwal dihitung ulang, durasi total proyek tidak berubah, karena penambahan Lag yang kecil ini sepenuhnya terserap oleh banyaknya aktivitas pengecoran lain yang berjalan paralel dan tumpang tindih di segmen berbeda, sehingga tidak memengaruhi jalur kritis (*critical path*) proyek secara keseluruhan.

4. Jadwal konstruksi hasil penyesuaian diintegrasikan dengan model 3D melalui fitur *TimeLiner* pada *Autodesk Navisworks Manage*, sehingga menghasilkan simulasi BIM 4D yang memvisualisasikan urutan pelaksanaan pengecoran seluruh elemen struktural *spillway* secara dinamis berbasis waktu.

Simulasi diatur menggunakan mode "*Planned against Actual*" dengan maksud jadwal *Planned* berasal dari jadwal awal kontraktor, sedangkan jadwal *Actual* menggabungkan tanggal realisasi aktual (untuk pekerjaan yang telah terlaksana) dan hasil rekomendasi penyesuaian *Lag Time* (untuk pekerjaan yang belum terlaksana), dengan rentang simulasi 4 Januari 2024 – 9 September 2028 dan interval 1 hari.

Hasil verifikasi visual terhadap simulasi menunjukkan bahwa urutan pelaksanaan pada zona-zona yang mengalami penyesuaian telah tergambar secara konsisten sesuai rekomendasi, baik untuk kelompok yang dicor dalam satu rangkaian (tampil aktif bersamaan) maupun kelompok yang dicor berurutan dengan jeda (tampil aktif secara bertahap sesuai *Lag Time*). Perbandingan dengan Primavera P6 menegaskan keunggulan Navisworks karena pada Primavera P6 hanya menampilkan jadwal dalam bentuk Gantt chart tanpa gambaran fisik pekerjaan, sedangkan *TimeLiner* mampu memvisualisasikan bentuk dan urutan pengerjaan tiap elemen secara langsung pada setiap zona.

5.2 Saran

1. Penerapan pemodelan BIM 3D sejak tahap perencanaan disarankan untuk dilakukan pada proyek sejenis, mengingat kemampuannya mengidentifikasi potensi konflik antar elemen struktur yang sulit terdeteksi melalui gambar dua dimensi.
2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan pemodelan hingga mencakup detail penulangan (*reinforcement*), sistem MEP, dan komponen hidromekanikal, sehingga identifikasi *clash* dapat dilakukan secara lebih menyeluruh, termasuk koordinasi antar disiplin.
3. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan analisis hingga dimensi BIM yang lebih tinggi, seperti BIM 5D untuk integrasi dengan estimasi biaya, guna mengetahui dampak penyesuaian jadwal terhadap aspek pembiayaan proyek.
4. Identifikasi *workflow clash* melalui simulasi BIM 4D dapat dikaji secara lebih sistematis pada penelitian selanjutnya, khususnya untuk mengungkap potensi konflik ruang kerja antar aktivitas yang berlangsung pada periode waktu yang bersamaan.

(standarisasi Nasional, 2019)