

Proyek konstruksi gedung sering menghadapi permasalahan keterlambatan pelaksanaan yang bersumber dari penjadwalan konvensional berbasis *bar chart* yang tidak mampu mengidentifikasi aktivitas kritis, mendefinisikan hubungan ketergantungan antaraktivitas secara eksplisit, maupun menyajikan informasi jadwal secara visual dan spasial. Kondisi ini menyebabkan pengendalian waktu tidak dapat dilakukan secara terfokus dan berbasis prioritas, sehingga diperlukan pendekatan penjadwalan yang lebih terstruktur dan komunikatif.

Penelitian ini bertujuan untuk 1) menyusun penjadwalan proyek menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM) dan mengidentifikasi lintasan kritis pekerjaan struktur, 2) menerapkan dan mengintegrasikan BIM 4D dengan CPM menggunakan *Autodesk Revit 2024* dan *Autodesk Navisworks Manage 2024* untuk menghasilkan simulasi visual urutan pelaksanaan konstruksi, dan 3) mengevaluasi efektivitas penjadwalan berbasis CPM terintegrasi BIM 4D dibandingkan penjadwalan konvensional pada tujuh parameter yang mencakup enam parameter fungsi pengendalian waktu dan satu parameter perbandingan durasi pelaksanaan pekerjaan struktur. Studi kasus dilakukan pada proyek pembangunan gedung perkantoran 2 lantai di Surakarta dengan batasan tinjauan pada pekerjaan struktur beton bertulang. Pemodelan BIM 3D dan ekstraksi *Quantity Take-Off* (QTO) dilakukan pada *Autodesk Revit 2024*, analisis CPM menggunakan *Microsoft Project* dengan representasi *Activity on Node* (AON)/*Precedence Diagram Method* (PDM), dan validasi hasil dilakukan melalui kuesioner terstruktur kepada tiga pakar menggunakan Skala Guttman dan uji reliabilitas *Percentage Agreement* (PA).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jadwal *baseline* berhasil disusun mencakup 50 aktivitas dengan 3 zona konstruksi dan 49 hubungan ketergantungan terdefinisi eksplisit. Analisis CPM mengidentifikasi 25 aktivitas kritis (*Total Float* = 0) yang membentuk lintasan kritis secara konsisten melalui Zona 2 dan Zona 3, dengan total durasi minimum pekerjaan struktur sebesar 104 hari kalender (15 minggu). Simulasi BIM 4D menghasilkan 15 kondisi kemajuan konstruksi secara spasial dan kronologis dari Hari ke-1 hingga Hari ke-104 dengan penandaan visual khusus pada aktivitas lintasan kritis. Seluruh keluaran dinyatakan layak secara teknis oleh tiga pakar dengan nilai PA keseluruhan sebesar 94,4%, melampaui ambang batas reliabilitas $PA \geq 70\%$. Evaluasi komparatif menunjukkan bahwa CPM terintegrasi BIM 4D lebih unggul pada ketujuh dimensi fungsi penjadwalan dibandingkan penjadwalan konvensional proyek yang tidak mampu mengidentifikasi aktivitas kritis maupun hubungan ketergantungan antaraktivitas.

Kata kunci: BIM 4D, *critical path method*, penjadwalan proyek, lintasan kritis, pengendalian waktu

ABSTRACT

Construction project delays are often caused by conventional bar chart-based scheduling, which lacks the ability to identify critical activities, explicitly define inter-activity dependencies, or present schedule information in a visual and spatial manner. This condition prevents time control from being carried out in a focused and priority-based manner, necessitating a more structured and communicative scheduling approach.

This study aims to 1) develop a project schedule using the Critical Path Method (CPM) and identify the critical path of structural work, 2) apply and integrate BIM 4D with CPM using Autodesk Revit 2024 and Autodesk Navisworks Manage 2024 to produce a visual simulation of the construction sequence, and 3) evaluate the effectiveness of CPM-integrated BIM 4D scheduling compared to conventional scheduling across seven evaluation encompassing six time control function parameters and one structural work duration comparison parameter. The case study was conducted on a 2-story office building construction project in Surakarta, with the scope of analysis limited to reinforced concrete structural work. BIM 3D modeling and Quantity Take-Off (QTO) extraction were performed in Autodesk Revit 2024, CPM analysis was conducted in Microsoft Project using Activity on Node (AON)/Precedence Diagram Method (PDM) representation, and results were validated through structured questionnaires administered to three experts using the Guttman Scale and Percentage Agreement (PA) reliability testing.

The results show that the baseline schedule was successfully developed comprising 50 activities across 3 construction zones with 49 explicitly defined dependency relationships. CPM analysis identified 25 critical activities (Total Float = 0) forming the critical path consistently through Zone 2 and Zone 3, with a minimum total structural work duration of 101 calendar days (15 weeks). The BIM 4D simulation produced 15 progressive construction snapshots from Day 1 to Day 101, with distinct visual marking of critical path activities. All outputs were validated as technically sound by three expert validators, achieving an overall PA of 94,4%, exceeding the reliability threshold of $PA \geq 70\%$. Comparative evaluation demonstrated that CPM integrated with BIM 4D outperforms conventional scheduling across all seven evaluated dimensions of scheduling and time control functions.

Keywords: *BIM 4D, Critical Path Method, project scheduling, critical path, time control*