

PENERAPAN *BUILDING INFORMATION MODELING* (BIM) 4D DAN ANALISIS ALOKASI SUMBER DAYA PADA PROYEK GEDUNG KYAI THOLHAH HASAN UNISMA

Joe Rachman¹, Ita Suhermin Ingsih² dan Ade Fitriyanti Ulul Azmi³

¹Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: 22101051039@unisma.ac.id

²Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: ita.suhermin@unisma.ac.id

³Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: adefitriyanti@unisma.ac.id

ABSTRACT

The implementation of 4D Building Information Modeling (BIM) in construction project scheduling planning has the potential to enhance time efficiency and optimize resource allocation. This study aims to analyze the application of 4D BIM integrated with resource leveling analysis in the planning of the Kyai Tholhah Hasan Building project at the Islamic University of Malang (UNISMA). The methodology includes developing a baseline schedule and performing resource leveling analysis using Microsoft Project, as well as developing a 4D visual simulation by integrating a 3D model with the schedule using Autodesk Navisworks. The results show that the manual resource leveling technique successfully eliminated workforce over-allocation without altering the critical path, although the project duration increased from 157 to 199 days. The S- Curve generated based on the optimized schedule provides a more realistic baseline for progress monitoring. The 4D simulation successfully visualized the construction sequence and stages dynamically, facilitating an understanding of the construction process and early identification of potential conflicts. This study concludes that the implementation of 4D BIM is effective in improving scheduling accuracy, balancing resource allocation, and enhancing the quality of construction planning visualization.

Keyword: 4D BIM, Project Scheduling, Resource Leveling, Construction Simulation, Time Management, Autodesk Navisworks, Microsoft Project.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perencanaan proyek konstruksi di Indonesia masih sangat bergantung pada pendekatan konvensional yang mengandalkan gambar kerja dua dimensi (2D), penjadwalan manual, dan pengolahan data terpisah menggunakan aplikasi spreadsheet. Metode ini cenderung menimbulkan fragmentasi informasi, minim visualisasi, dan rentan terhadap ketidakakuratan dalam menentukan urutan serta durasi aktivitas konstruksi [1]. Pada proyek bangunan bertingkat, kompleksitas hubungan antar pekerjaan struktur sering kali tidak tergambarkan dengan baik, sehingga berpotensi menyebabkan deviasi jadwal dan kebutuhan

revisi berulang yang sulit diantisipasi [2]. Kondisi ini mengakibatkan inefisiensi waktu dan sumber daya yang signifikan.

Di tengah perkembangan teknologi digital, Building Information Modeling (BIM) telah merevolusi praktik industri konstruksi global. Namun, adopsinya di Indonesia, khususnya pada dimensi 4D yang mengintegrasikan model 3D dengan informasi waktu, masih sangat terbatas [3]. Banyak proyek hanya memanfaatkan BIM pada tahap pemodelan 3D untuk visualisasi tanpa mengembangkan potensinya dalam penjadwalan dinamis dan simulasi konstruksi [4]. Hambatan implementasi seperti keterbatasan tenaga ahli, ekspektasi manfaat yang rendah dari pemilik proyek, dan budaya kerja yang masih nyaman

dengan metode tradisional menjadi faktor penghambat utama [5].

Padahal, perangkat lunak seperti Autodesk Revit dan Navisworks menawarkan kemampuan yang sangat mendukung implementasi BIM 4D secara komprehensif. Revit memungkinkan pembuatan model parametrik terintegrasi yang menyediakan data kuantitatif secara otomatis [6]. Sementara itu, Navisworks dilengkapi dengan fitur untuk menggabungkan jadwal proyek dengan model 3D, melakukan simulasi animatif, serta deteksi konflik awal melalui modul Timeliner [7]. Integrasi kedua platform ini membuka peluang untuk penyusunan penjadwalan yang lebih akurat, interaktif, dan responsif terhadap perubahan.

Berdasarkan tantangan dan peluang tersebut, penelitian ini berfokus pada implementasi BIM 4D untuk mendukung analisis dan optimasi distribusi sumber daya (resource leveling) serta penjadwalan yang terintegrasi dengan visualisasi model 3D. Studi ini menguji hipotesis bahwa penerapan BIM 4D memungkinkan identifikasi ketidakseimbangan alokasi sumber daya, penyesuaian durasi aktivitas, dan penyusunan kurva S yang lebih realistis melalui simulasi dinamik antara model dan jadwal. Dengan demikian, penelitian diaplikasikan pada perencanaan Gedung Kyai Tholhah Hasan UNISMA untuk meningkatkan efisiensi waktu dan meminimalkan risiko keterlambatan.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka identifikasi masalah yang di dapat adalah:

1. Proyek perencanaan Gedung Kyai Tholhah Hasan Unisma belum memanfaatkan sistem penjadwalan berbasis model digital yang terintegrasi dengan analisis distribusi sumber daya (resource leveling), sehingga potensi ketidakseimbangan beban kerja dan inefisiensi durasi sulit terdeteksi sejak awal.
2. Ketiadaan visualisasi progres dan tahapan pelaksanaan dalam format simulasi 4D menyebabkan hubungan antar-aktivitas konstruksi sulit diamati secara menyeluruh, sehingga potensi

ketidaksinkronan pekerjaan dan risiko keterlambatan sulit terdeteksi sejak awal.

3. Pemodelan struktur belum dikembangkan menjadi simulasi 4D dengan integrasi analisis resource leveling menggunakan Microsoft Project dan Navisworks, sehingga peluang untuk mengoptimalkan alokasi sumber daya dan mengidentifikasi jalur kritis belum dimanfaatkan secara maksimal

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana penyusunan perencanaan penjadwalan proyek pada Gedung Kyai Tholhah Hasan UNISMA dengan penerapan resource leveling menggunakan Microsoft Project?
2. Bagaimana kurva S dihasilkan berdasarkan penjadwalan yang dibangun dari model BIM 4D?
3. Bagaimana simulasi visual 3D tahapan konstruksi ditampilkan menggunakan BIM 4D untuk menggambarkan urutan pekerjaan dan durasi aktivitas?

1.4 Batasan Masalah

Batasan Batasan masalah yang diambil yaitu:

1. Penelitian hanya membahas penjadwalan proyek (time scheduling) pada tahap perencanaan konstruksi Gedung Kyai Tholhah Hasan Unisma.
2. Penelitian hanya menggunakan metode BIM 4D, yaitu pemodelan dan penjadwalan melalui Autodesk Revit dan Navisworks.
3. Analisis penjadwalan difokuskan pada Durasi pekerjaan, Visualisasi tahapan pekerjaan, Koordinasi antar aktivitas, Identifikasi jalur kritis.
4. Lingkup pekerjaan terbatas pada struktur utama bangunan (pekerjaan struktur bawah dan struktur atas), tidak termasuk pekerjaan arsitektural, interior, maupun MEP (mekanikal, elektrik, plumbing).
5. Penelitian tidak membahas aspek biaya, sumber daya alat/tenaga kerja, atau analisis struktur bangunan
6. Data yang digunakan berupa gambar perencanaan, RAB, dan dokumen proyek

Gedung Kyai Tholhah Hasan Unisma yang diperoleh dari pihak pengembang Unisma.

1.5 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis hasil penjadwalan proyek setelah dilakukan resource leveling terhadap distribusi sumber daya dan durasi pelaksanaan proyek.
2. Menghasilkan kurva S berdasarkan penjadwalan yang dibuat melalui model BIM4D.
3. Mengembangkan simulasi visual 3D tahapan konstruksi menggunakan BIM 4D sebagai alat bantu pemahaman proses pembangunan.

1.6 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Bagi peneliti, penelitian ini memberikan pengalaman langsung dalam penerapan Building information modeling (BIM) 4D menggunakan Autodesk Revit dan Navisworks, serta memperluas wawasan mengenai metode penjadwalan proyek berbasis BIM
2. Bagi pembaca, penelitian ini dapat menjadi referensi tambahan dalam kajian manajemen proyek, khususnya dalam bidang time scheduling, visualisasi proyek, dan implementasi BIM.
3. Bagi praktisi konstruksi hasil penelitian ini dapat menjadi pertimbangan bagi konsultan perencana, kontraktor, maupun pemilik proyek dalam memilih metode penjadwalan yang lebih efisien dan akurat untuk mengoptimalkan waktu pelaksanaan proyek konstruksi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Building Information Modeling (BIM) dan BIM 4D

Building Information Modeling (BIM) merupakan paradigma digital yang merevolusi industri konstruksi melalui integrasi informasi multidisiplin ke dalam suatu model virtual yang kohesif. BIM bukan sekadar pemodelan tiga dimensi (3D), melainkan suatu sistem informasi menyeluruh yang menggabungkan data

geometri dengan atribut non-grafis seperti material, waktu, biaya, dan siklus hidup aset [8]. Huzaini [9] mendefinisikan BIM sebagai sistem manajemen proyek berbasis digital yang merepresentasikan seluruh aspek fisik dan fungsional bangunan dalam model 3D yang informatif, sehingga menjadi wadah kolaboratif bagi arsitek, insinyur, dan manajer proyek.

BIM berkembang dalam beberapa dimensi yang saling melengkapi. BIM 3D merupakan fondasi berupa representasi geometris yang terkoordinasi, digunakan untuk desain, dokumentasi, dan deteksi konflik visual. BIM 4D mengintegrasikan dimensi waktu (penjadwalan) dengan model 3D, memungkinkan visualisasi urutan dan durasi konstruksi secara dinamis [10]. BIM 5D menambahkan dimensi biaya dengan mengaitkan estimasi anggaran langsung dengan elemen model. Dimensi yang lebih tinggi seperti 6D (sustainability/manajemen fasilitas) dan 7D (operasi & pemeliharaan) semakin memperluas manfaat BIM sepanjang siklus hidup bangunan.

Manfaat penerapan BIM, khususnya 4D, sangat signifikan. Ia meningkatkan kolaborasi antar-disiplin, mengurangi konflik desain, mempercepat pengambilan keputusan melalui visualisasi dan simulasi, serta meningkatkan efisiensi waktu dan biaya [9], [11]. Namun, implementasinya dihadapkan pada tantangan seperti biaya awal yang tinggi untuk lisensi dan pelatihan, serta keterbatasan tenaga ahli yang kompeten, sehingga banyak proyek di Indonesia hanya memanfaatkan BIM pada tahap 3D tanpa mendalami potensi dimensi 4D dan 5D [8].

2.2 Penjadwalan Proyek dan Resource Leveling.

Penjadwalan proyek (time scheduling) adalah proses sistematis dalam manajemen konstruksi untuk merencanakan, mengurutkan, dan mengalokasikan waktu setiap aktivitas guna mencapai tujuan proyek tepat waktu [12]. Proses ini melibatkan penentuan durasi, ketergantungan antar-aktivitas, dan identifikasi Critical Path (jalur kritis) yang menentukan durasi total proyek.

Metode Critical Path Method (CPM) menjadi alat analisis utama dalam penjadwalan untuk mengidentifikasi aktivitas-aktivitas kritis yang tidak memiliki kelonggaran waktu (float) [13].

Salah satu aspek krusial dalam penjadwalan adalah pengelolaan sumber daya. Resource leveling merupakan teknik untuk menyeimbangkan alokasi sumber daya (tenaga kerja, peralatan, material) guna menghindari over-allocation atau under-allocation selama pelaksanaan proyek [3]. Teknik ini dilakukan dengan menyesuaikan jadwal aktivitas non-kritis (dengan memanfaatkan float time) tanpa mengubah durasi total proyek, sehingga penggunaan sumber daya menjadi lebih stabil dan efisien. Pendekatan resource leveling dapat dilakukan dengan asumsi sumber daya tidak terbatas (unlimited resources) untuk meratakan penggunaan, atau sumber daya terbatas (limited resources) yang mungkin berdampak pada perpanjangan durasi proyek [14].

2.3 Efisiensi Waktu dan Kurva S dalam Pendekatan BIM 4D.

Studi empiris menunjukkan bahwa pendekatan BIM 4D berkontribusi signifikan terhadap peningkatan efisiensi waktu proyek. Adenia [14] menemukan bahwa penerapan BIM 4D dapat menurunkan deviasi antara jadwal rencana dan realisasi hingga 32,45% dibanding metode konvensional. Integrasi multidimensi antara desain, waktu, dan kuantitas dalam BIM 4D dilaporkan mampu meningkatkan efisiensi waktu pelaksanaan proyek berskala besar hingga 30-40% dengan meminimalkan kesalahan koordinasi dan pekerjaan ulang (rework) [2]. Keunggulan utama terletak pada kemampuannya menyajikan informasi waktu secara visual, sehingga potensi konflik dan ketidaksinkronan dapat dideteksi lebih dini [15].

Kurva S(S-Curve) adalah alat monitoring konvensional yang menggambarkan hubungan antara akumulasi progres (dalam persentase atau nilai) terhadap waktu. Bentuk kurva yang menyerupai huruf "s" ini berfungsi untuk membandingkan rencana baseline dengan realisasi di lapangan [12].

Dalam konteks BIM 4D, Kurva S yang dihasilkan menjadi lebih akurat dan informatif karena didasarkan pada penjadwalan yang telah melalui analisis resource leveling. Integrasi ini memungkinkan Kurva S tidak hanya merefleksikan progres finansial atau fisik, tetapi juga distribusi sumber daya yang optimal, sehingga memperkuat fungsi pengendalian proyek [3].

2.4 Perangkat Lunak Pendukung.

Implementasi BIM 4D secara efektif memerlukan dukungan perangkat lunak yang kompatibel dan saling terintegrasi. Microsoft Project berperan sebagai alat inti untuk penyusunan penjadwalan yang detail dan terstruktur. Perangkat lunak ini menyediakan fungsi komprehensif untuk menerapkan CPM, mengalokasikan sumber daya, melacak progres, dan yang terpenting, melakukan analisis resource leveling [13]. Jadwal yang dihasilkan dapat diekspor dalam format yang kompatibel untuk diintegrasikan dengan perangkat lunak simulasi 4D.

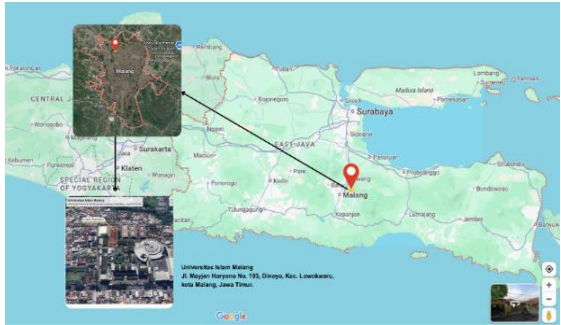
Autodesk Navisworks berfungsi sebagai platform simulasi dan koordinasi model multidisiplin. Perangkat lunak ini mampu mengimpor model 3D dari Revit dan menggabungkannya dengan jadwal dari Microsoft Project. Fitur Timeliner pada Navisworks memungkinkan pembuatan simulasi visual 4D, yaitu animasi yang menunjukkan urutan konstruksi berdasarkan waktu [16]. Selain simulasi, Navisworks juga dilengkapi dengan fitur Clash Detection untuk mengidentifikasi konflik geometris antar-elemen sebelum pelaksanaan di lapangan, sehingga mengurangi risiko revisi [17]. Kombinasi kedua perangkat lunak ini menciptakan alur kerja BIM 4D yang memadukan kekuatan analisis kuantitatif penjadwalan dengan keunggulan visualisasi kualitatif.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus pada proyek Pembangunan Gedung Kyai Tholhah Hasan di lingkungan Universitas Islam Malang (UNISMA). Lokasi proyek secara spesifik terletak di belakang

kampus utama UNISMA, Jalan Mayjen Haryono No. 193, Dinoyo, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur (Gambar 1). Pemilihan lokasi ini didasarkan pada kesiapan proyek dalam tahap perencanaan detail serta ketersediaan data desain digital yang komprehensif, yang memungkinkan dilakukannya analisis penjadwalan berbasis BIM 4D secara mendalam



Gambar 1 Peta Lokasi Rencana Gedung Kuliah Unisma
(Sumber: Google Earth, 2024)

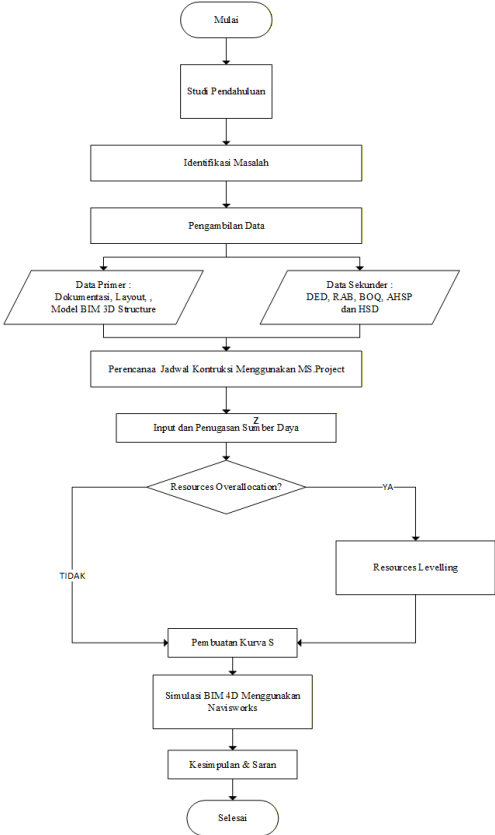
3.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini dikategorikan menjadi dua jenis utama:

1. Data Primer: Diperoleh melalui observasi dan dokumentasi langsung di lapangan. Data ini mencakup foto kondisi tapak eksisting dan proses pengukuran awal (site survey), yang berfungsi untuk memvalidasi kondisi lapangan dengan model digital dan memahami konteks lingkungan proyek.
2. Data Sekunder: Merupakan data teknis resmi yang diperoleh dari Tim Pengembang Arsitektur dan Teknik Sipil UNISMA. Data ini meliputi:
 - a. Model Digital: File model 3D elemen struktur dalam format IFC (Industry Foundation Classes) hasil ekspor dari perangkat lunak desain.
 - b. Dokumen Perencanaan: Gambar kerja detail, Rencana Anggaran Biaya (RAB), dan Analisis Harga Satuan (AHS) yang berisi koefisien produktivitas tenaga kerja untuk setiap item pekerjaan struktur.
 - c. Data Proyek: Informasi mengenai jumlah maksimal tenaga kerja yang dapat dialokasikan untuk setiap peran (mandor, kepala tukang, tukang batu, tukang besi, tukang kayu, dan pekerja)

berdasarkan kapasitas penyedia layanan.

3.3 Bagan Alir/Flowchart



Gambar 2 Diagram Alir Peineilitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

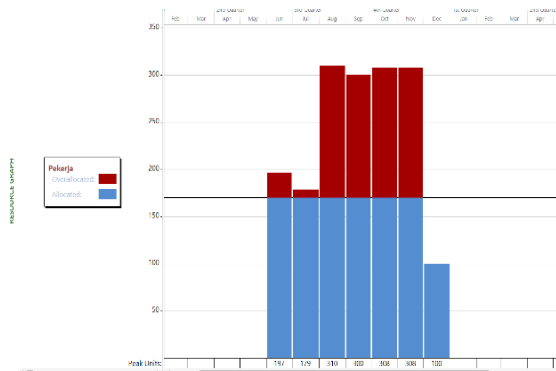
4.1 Analisis Resource Leveling dan Dampaknya terhadap Penjadwalan

Analisis dimulai dengan penyusunan baseline schedule menggunakan Microsoft Project berdasarkan data volume pekerjaan, produktivitas, serta hubungan logis antaraktivitas. Penyusunan jadwal mengacu pada tabel jenis item pekerjaan, volume, durasi, dan hubungan antarpekerjaan sebagai dasar perencanaan waktu proyek.

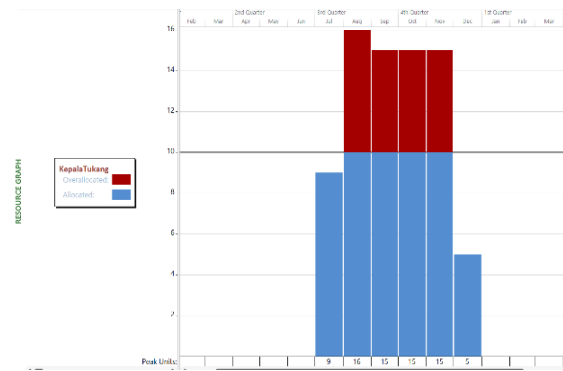
Tabel 1 Tenaga Kerja Rencana

Tenaga	Rencana							
	Bulan							
	Jun	Jul	Agst	Sept	Okt	Nov	Des	Jan
Pekerja	197	179	310	300	308	308	100	
Tukang Batu	16	31	40	48	38	38	1	
Tukang Besi		57	106	103	97	97		
Tukang Kayu		47	155	151	154	154	50	
Kepala Tukang		9	16	15	15	15	5	
Mandor	19	10	16	15	15	15	5	

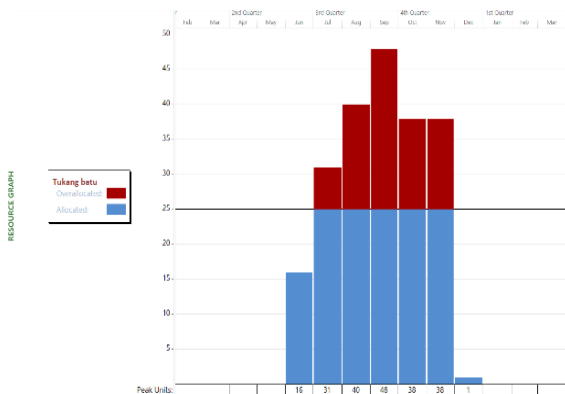
Hasil penjadwalan awal ini mengungkapkan pola distribusi sumber daya yang tidak merata dan cenderung ekstrem seperti yang bisa dilihat pada gambar berikut :



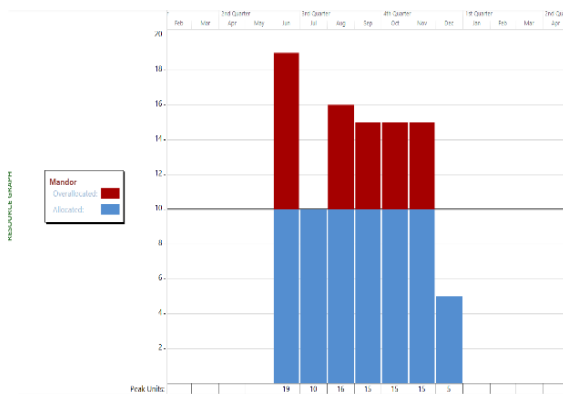
Gambar 3 Grafik Rencana Pekerja



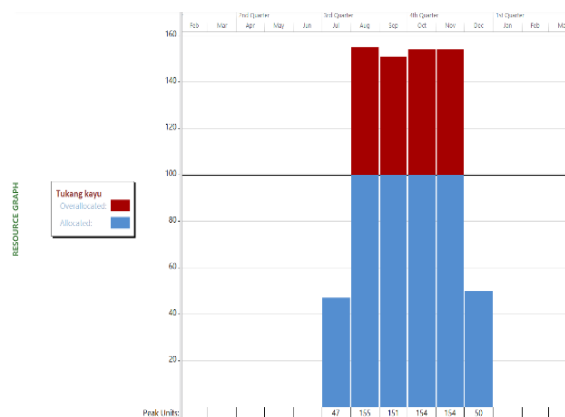
Gambar 7 Grafik Rencana Kepala Tukang



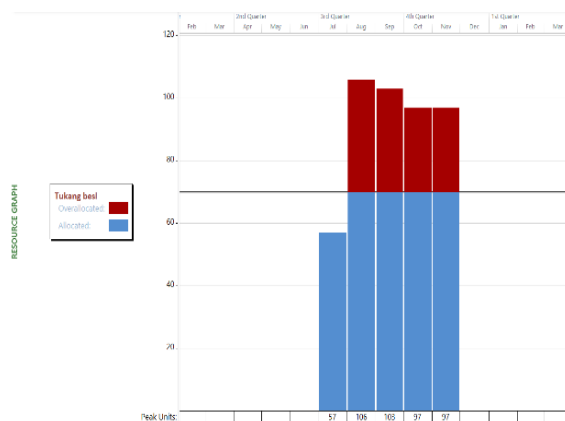
Gambar 4 Grafik Rencana Tukang Batu



Gambar 8 Grafik Rencana Mandor



Gambar 5 Grafik Rencana Tukang Kayu



Gambar 6 Grafik Rencana Tukang Besi

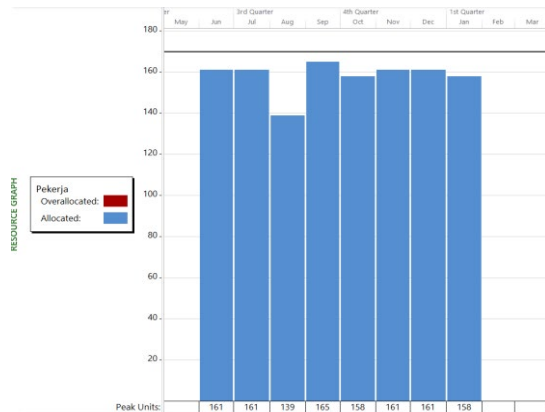
Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 hingga 8, terjadi over-allocation yang signifikan pada hampir semua jenis tenaga kerja. Kebutuhan pekerja, misalnya, memuncak hingga 310 orang di bulan Agustus, sementara Tukang Kayu mencapai 155 orang pada periode yang sama. Fluktuasi tajam seperti ini merepresentasikan ketidakefisienan dalam perencanaan konvensional, di mana sumber daya dikerahkan secara massal pada periode tertentu berisiko menyebabkan penumpukan pekerjaan, konflik koordinasi, dan peningkatan biaya tidak langsung [2], [3]

Untuk mengatasi masalah ini, diterapkan teknik resource leveling. Pendekatan pertama menggunakan fitur Auto Schedule pada Microsoft Project

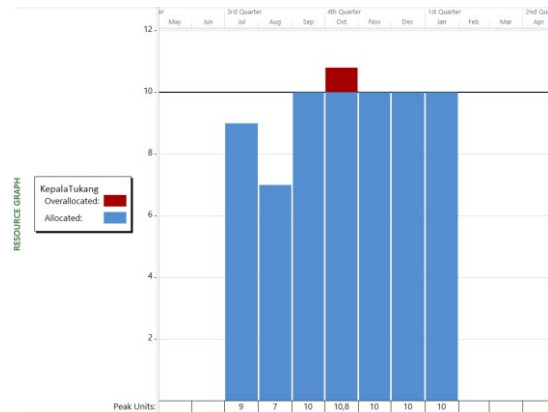
Tabel 2 Tenaga Kerja Auto Schedule

Tenaga	Bulan							
	Jun	Jul	Ag	Sept	Okt	Nov	Des	Jan
Pekerja	161	161	139	165	158	161	161	158
Tukang Batu	16	25	24	24	24	24	24	24
Tukang Besi		57	65	54	63	57	57	58
Tukang Kayu		42	62	83	79	81	81	79
Kepala Tukang		9	7	10	10	10	10	10
Mandor	10	9.51	9	10	11	10	10	10

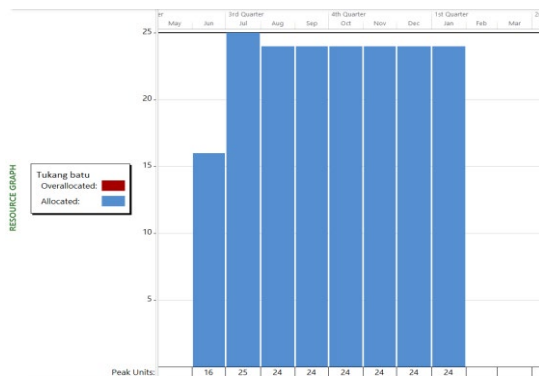
Hasilnya menunjukkan keberhasilan dalam meratakan distribusi sumber daya, terlihat pada Tabel 2 dan Gambar sebagai berikut :



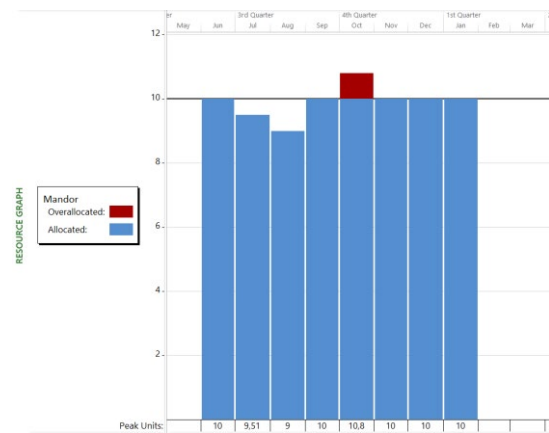
Gambar 9 Grafik Auto Schedule Pekerja



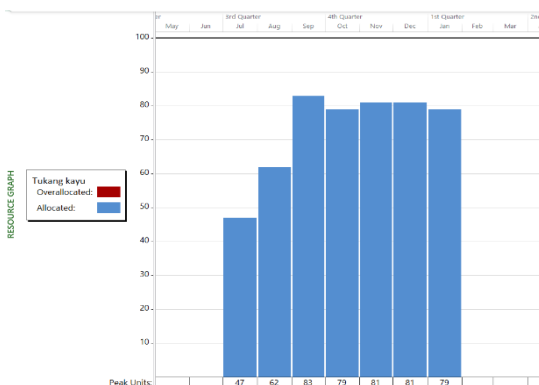
Gambar 13 Grafik Auto Schedule Kepala Tukang



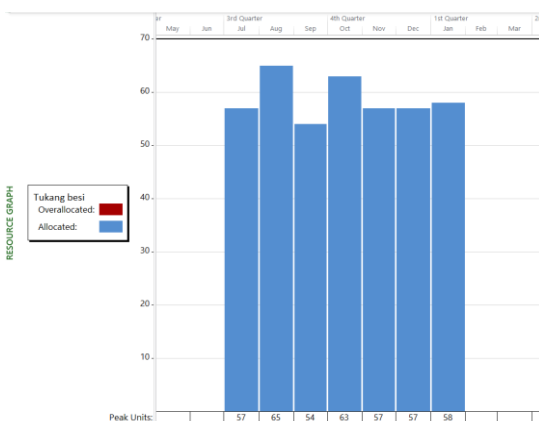
Gambar 10 Grafik Auto Schedule Tukang batu



Gambar 14 Grafik Auto Schedule Mandor



Gambar 11 Grafik Auto Schedule Tukang kayu



Gambar 12 Grafik Auto Schedule Tukang besi

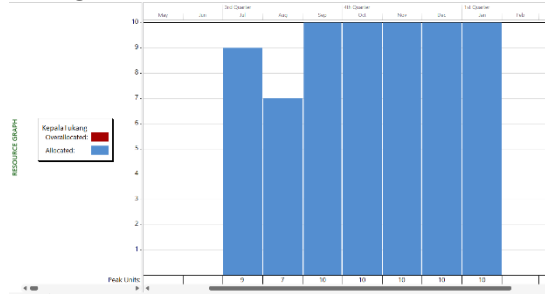
Kebutuhan pekerja menjadi lebih stabil, berkisar antara 139–165 orang per bulan. Namun, pencapaian ini diikuti oleh konsekuensi utama: durasi proyek membengkak dari 157 hari menjadi 199,96 hari. Selain itu, over-allocation ringan masih tersisa pada peran pengawas, yaitu Kepala Tukang (Gambar 13) dan Mandor (Gambar 14). Temuan ini konsisten dengan literatur bahwa auto-leveling dengan pendekatan unlimited resources sering kali mengorbankan waktu untuk mencapai keseimbangan sumber daya [14]. Dalam konteks proyek konstruksi yang sensitif terhadap waktu, perpanjangan durasi sebesar 27% merupakan pertimbangan yang serius.

Task Mode						
Task Name	Work	Duration	Start	Finish	Add New Column	
Urugan tanah kembali tie I	64 hrs 1 day	23/07/26	23/07/26			
Pekerja	56 hrs	23/07/26	23/07/26			
Mandor	8 hrs	23/07/26	23/07/26			

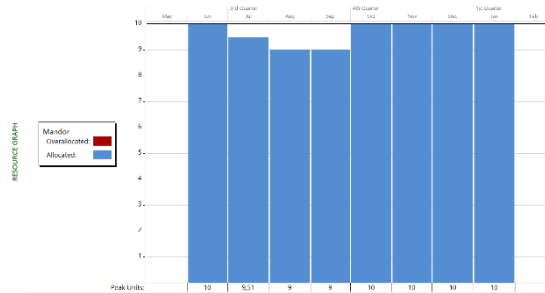
Task Mode	Task Name	Work	Duration	Start	Finish	Details	T	F	S
30	Urugan tanah kembali tie I	64 hrs 2 days	23/07/26	24/07/26	Work	32h	32h		
	Pekerja	56 hrs	23/07/26	24/07/26	Work	28h	28h		
	Mandor	8 hrs	23/07/26	24/07/26	Work	4h	4h		

Gambar 15 Detail timeline

Oleh karena itu, dilakukan pendekatan kedua, yaitu Resource Leveling Manual. Intervensi ini difokuskan pada aktivitas-aktivitas non-kritis yang memiliki float atau slack time. Seperti diilustrasikan pada Gambar 15. Aktivitas seperti "Urugan tanah kembali tie beam" yang memiliki float dapat durasinya ditambah tanpa memengaruhi jalur kritis atau tanggal penyelesaian akhir proyek. Dengan menyesuaikan beberapa aktivitas serupa secara selektif, berhasil dieliminasi seluruh over-allocation, termasuk pada Mandor dan Kepala Tukang



Gambar 16 Grafik Manual Schedule Kepala Tukang



Gambar 17 Grafik Manual Schedule mandor

Setelah dilakukan Resource Leveling Manual, Durasinya bertambah menjadi 199 hari. Hasil leveling manual, dirangkum dalam tabel berikut :

Tabel 3 Tenaga Kerja Manual Schedule

Tenaga	Bulan							
	Jun	Jul	Ag	Sept	Okt	Nov	Des	Jan
Pekerja	161	161	139	165	158	161	161	158
Tukang Batu	16	25	24	24	24	24	24	24
Tukang Besi		57	65	54	63	57	57	58
Tukang Kayu		42	62	83	79	81	81	79
Kepala Tukang		9	7	10	10	10	10	10
Mandor	10	9.51	9	10	10	10	10	10

Tabel tersebut menunjukkan distribusi sumber daya yang jauh lebih stabil dan efisien dibandingkan baseline, tanpa biaya tambahan berupa perpanjangan waktu. Keberhasilan ini

menegaskan pentingnya pemahaman mendalam tentang jaringan kerja (CPM) dan float dalam melakukan optimasi penjadwalan yang efektif [16].

4.2 Kurva-S sebagai Baseline Monitoring

Setelah jadwal dioptimalkan melalui resource leveling, tahap selanjutnya adalah membangun Kurva-S (S-Curve) yang akan berfungsi sebagai baseline untuk pemantauan progres. Kurva-S dihasilkan bukan dari asumsi linear, tetapi berdasarkan bobot finansial setiap item pekerjaan terhadap total nilai proyek dan diakumulasikan sesuai dengan urutan dan waktu pelaksanaan yang telah di-leveling dalam jadwal.

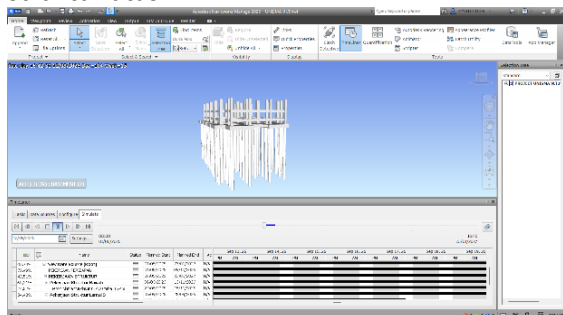
Kurva-S yang dihasilkan (Lampiran 1) memiliki bentuk yang lebih realistis karena mencerminkan sekuens konstruksi aktual dan distribusi sumber daya yang sudah seimbang. Berbeda dengan Kurva-S konvensional yang sering berupa estimasi garis halus, kurva dari pendekatan BIM 4D ini dapat menunjukkan fluktuasi yang lebih detail sesuai dengan intensitas pekerjaan per periode. Hal ini memberikan alat pengendalian yang lebih akurat dan responsif. Manajer proyek dapat menggunakan kurva ini tidak hanya untuk memantau progres biaya, tetapi juga untuk mengaitkannya secara langsung dengan progres fisik yang divisualisasikan dalam model 4D, sehingga deviasi dapat dideteksi dan dianalisis dengan konteks yang lebih jelas [12].

4.3 Permodelan 4D

Permodelan 4D dalam penelitian ini dilakukan dengan mengintegrasikan model tiga dimensi (3D) struktur gedung dengan data penjadwalan waktu (time schedule) menggunakan fitur TimeLiner pada Autodesk Navisworks Manage 2025. Tujuan utama dari permodelan 4D adalah untuk memvisualisasikan urutan konstruksi secara kronologis, mengevaluasi kesesuaian antara rencana waktu dan kondisi aktual di lapangan, serta mengidentifikasi potensi konflik pekerjaan sejak tahap perencanaan.

Hasil permodelan 4D ditampilkan dalam bentuk simulasi tahapan konstruksi berdasarkan periode waktu tertentu. Berikut disajikan tiga kondisi utama perkembangan

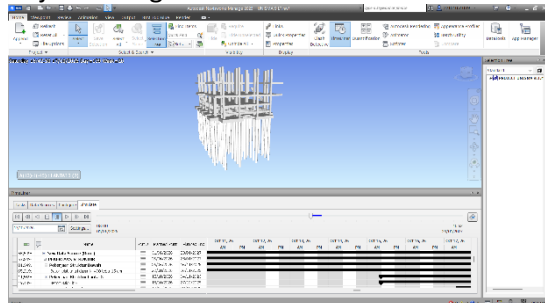
pekerjaan struktur yang merepresentasikan fase basement, struktur menengah, dan struktur atas.



Gambar 18 Simulasi Pekerjaan Struktur Basement

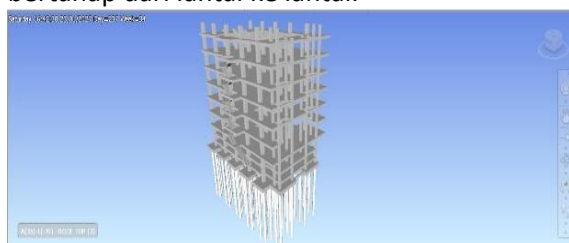
Gambar 18 menunjukkan simulasi permodelan 4D pada tahap pekerjaan struktur basement. Pada tahap ini, pekerjaan difokuskan pada elemen struktur bawah seperti pondasi, pile cap, dan kolom awal sebagai dasar pelaksanaan konstruksi selanjutnya.

Permodelan 4D pada tahap ini membantu memastikan bahwa pekerjaan struktur atas dilakukan setelah struktur bawah selesai sesuai jadwal, sehingga urutan pekerjaan dapat berjalan dengan baik.



Gambar 19 Simulasi Pekerjaan Struktur lantai Tengah

Setelah pekerjaan struktur basement selesai, konstruksi dilanjutkan pada struktur lantai menengah sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 19. Pada tahap ini, elemen kolom, balok, dan pelat lantai dikerjakan secara bertahap dari lantai ke lantai.



Gambar 20 Simulasi Pekerjaan Struktur Atas

Simulasi 4D memudahkan pemantauan progres pekerjaan serta evaluasi kesesuaian antara rencana pelaksanaan dan kondisi aktual di lapangan.

Gambar 20 menunjukkan simulasi permodelan 4D pada tahap pekerjaan struktur atas hingga lantai tertinggi. Pada tahap ini, sebagian besar elemen struktur utama telah terbangun sesuai dengan urutan pekerjaan yang direncanakan.

Permodelan 4D pada tahap akhir memberikan gambaran menyeluruh mengenai perkembangan konstruksi serta membantu dalam evaluasi pencapaian waktu pelaksanaan proyek.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai implementasi BIM 4D pada perencanaan penjadwalan proyek Gedung Kyai Tholhah Hasan UNISMA, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penerapan resource leveling dengan Microsoft Project berhasil mengidentifikasi dan memperbaiki ketidakseimbangan alokasi sumber daya tenaga kerja. Metode auto schedule mampu meratakan distribusi namun memperpanjang durasi proyek, sedangkan resource leveling manual berhasil menghilangkan over-allocation tanpa mengubah jalur kritis, meskipun durasi proyek sedikit bertambah menjadi 199 hari.
2. Kurva S yang dihasilkan berdasarkan penjadwalan BIM 4D memberikan baseline yang lebih akurat dan realistis karena mempertimbangkan bobot finansial setiap item pekerjaan serta sekuens konstruksi aktual. Kurva ini dapat digunakan sebagai alat monitoring yang lebih responsif untuk memantau progres biaya dan fisik.
3. Simulasi visual 3D tahapan konstruksi dengan BIM 4D berhasil menampilkan urutan pekerjaan dan durasi aktivitas secara dinamis melalui integrasi model 3D dengan penjadwalan. Visualisasi ini memudahkan pemahaman tahapan konstruksi, evaluasi kesesuaian rencana, serta identifikasi potensi konflik sejak tahap perencanaan.

5.2 Saran

Berdasarkan temuan penelitian, beberapa saran yang dapat diberikan adalah:

1. Bagi Peneliti Selanjutnya: Disarankan untuk mengintegrasikan analisis biaya (BIM 5D) dalam penelitian serupa guna memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai efisiensi biaya dan waktu secara bersamaan.
2. Bagi Praktisi Proyek: Sebaiknya mengadopsi pendekatan BIM 4D terutama pada proyek berskala besar dan kompleks untuk meningkatkan akurasi penjadwalan dan visualisasi kemajuan pekerjaan. Pelatihan penggunaan perangkat lunak seperti Revit, Navisworks, dan Microsoft Project perlu ditingkatkan.
3. Bagi Perguruan Tinggi dan Lembaga Pelatihan: Perlunya kurikulum atau pelatihan yang lebih mendalam mengenai BIM 4D dan 5D dalam bidang teknik sipil dan manajemen konstruksi untuk menyiapkan tenaga ahli yang kompeten.
4. Bagi Pemilik Proyek dan Kontraktor: Disarankan untuk melakukan validasi model 4D secara berkala dengan kondisi lapangan guna memastikan kesesuaian antara simulasi dan pelaksanaan, serta menggunakan kurva S berbasis BIM sebagai alat kontrol progres yang lebih efektif.
5. Pengembangan Penelitian: Perlu kajian lebih lanjut mengenai integrasi BIM dengan aspek keberlanjutan (BIM 6D) dan manajemen fasilitas (BIM 7D) untuk mendukung siklus hidup bangunan yang lebih lengkap.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sapitri, R. Subagja, and B. Annisa, "Estimasi Quantity Take Off dan Simulasi Progress Pekerjaan Struktur dengan Pendekatan Building Information Modeling 1," vol. 4247, no. October, pp. 103–112, 2024.
- [2] I. U. Rehman, K. Mateen, and I. Yahaya, "Results in Engineering Systematic review of 4D BIM benefits in construction projects," *Results Eng.*, vol. 28, no. June, p. 107091, 2025, doi: 10.1016/j.rineng.2025.107091.
- [3] S. Rachmawati, "Implementasi Konsep Bim 4D Dalam Perencanaan Time Schedule Dengan Analisis Resources Levelling (Implementation of 4D Bim Concept in Time Schedule Planning With Resources Levelling Analysis)," 2022.
- [4] I. R. Widiati, Ita Suhermin Ingsih, and George Winaktu, "a Study on Efficiencies and Hindrances To Bim Implementation in Indonesian Construction Projects," *J. Innov. Civ. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2024, doi: 10.33474/jice.v5i1.21400.
- [5] I. R. Fauziyah, "Membedah Konsep Building Information Modeling (BIM) Tinjauan Literatur dan Implikasinya dalam Industri Konstruksi," 08 Mei 2025.
- [6] A. T. Handayani, E. Budiman, and T. Rahman, "PENERAPAN BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) DALAM MENGHITUNG QUANTITY TAKE OFF MATERIAL STRUKTUR," *J. Teknol. SIPIL*, vol. 8, pp. 48–56, 2024.
- [7] O. Doukari, B. Seck, and D. Greenwood, "The Creation of Construction Schedules in 4D BIM: A Comparison of Conventional and Automated Approaches," 2022.
- [8] W. Anisa, "Analisis Pengaruh Pemakaian Teknologi BIM (Building Information Modeling) dalam Proses Perencanaan dan Konstruksi," *WriteBox*, vol. 1, No. 2, pp. 1–11, 2024.
- [9] S. Huzaini, "Penerapan Konsep Building Information Modelling (Bim) 3d Dalam Mendukung Pengestimasian Biaya Pekerjaan Struktur," 2021.
- [10] D. Sabil and Erizal, "Penerapan Building Information Modeling (BIM) 5D pada Proyek Gedung Simpang Temu Dukuh Atas, Jakarta Pusat," *J. Tek. Sipil dan Lingkung.*, vol. 8, no. 02, pp. 95–104, 2023, doi: 10.29244/jsil.8.02.95-104.
- [11] B. R. Diantoro, I. Hendriyani, and R. Pratiwi, "Implementasi Building Information Modelling (Bim) 5D Pada Pekerjaan Struktur Beton Bertulang," *J. Penelit. Tek.*, vol. 1, no. 1, pp. 128–141, 2024.
- [12] G. I. Sutopo and L. Hendarti, "Analisis Kurva S untuk Monitoring Pelaksanaan Proyek (Studi Kasus Proyek Rumah Tinggal di Jalan Cocak II nomer 3, Surakarta)," *J. Scer*, pp. 32–48, 2022.
- [13] D. Isnubroto, D. Hayu Parmasari, T. Hadi, T. Mulyono, and A. Subakti Ariyanto, "Analisis Penjadwalan Proyek Menggunakan Metode Cpm Dan Program Bantu Microsoft Project," *J. Res. Technol. Stud.*, vol. 03, no. 1, pp. 30–38, 2024.
- [14] M. R. Adenia, L. W. Wiradarma, and Suparjo, "Implementasi Building Information Modelling (Bim) Pada Struktur Gedung Perawatan RSUD Provinsi Ntb Menggunakan Tekla Structures 4D 2022 for Students," 2023, [Online]. Available:

- https://eprints.unram.ac.id/42827/2/Ar_tikel_Ilmiyah_-_Mirna_Riadhotul_Adenia-F1A019112.pdf
- [15] Y. Setiawan and I. Sucita, "Penerapan Building Information Modeling Menggunakan Tekla Structures Dalam Scheduling Basement Tower 2 Proyek X," *Prosiding.Pnj.Ac.Id*, 2024.
- [16] H. I. I. H. Zen and F. Nadiar, "Integrasi Model Struktur Autodesk Revit Gedung Rumah Sakit Mitra Keluarga Dengan Penjadwalan Microsoft Project Menggunakan Autodesk Naviswork," *J. Vokasi Tek. Sipil*, vol. 2, no. 2, pp. 19–24, 2024.
- [17] S. Avrili Zahra, A. Gazali, T. Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, and U. Negeri Jakarta, "Tantangan dan Peluang Implementasi Building Information Modeling 4D dalam Penjadwalan Proyek KAI Living Gondangdia," *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 9, no. 2, pp. 22617–22625, 2025.