

Metode Pemantauan Pekerjaan Konstruksi Menggunakan *Point Clouds* Berbasis *Drone* dan *LiDAR Iphone*

Sakti Aulia Sulisty¹, Akhmad Aminullah^{1,*}, Ashar Saputra¹

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta¹

Koresponden*, Email: akhmadaminullah@ugm.ac.id

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	17 Januari 2023	<i>The demand for rapid and accurate information regarding the status of construction projects is rising in the construction sector. Due to frequent change, it is difficult to collect the information needed for monitoring the progress of the construction project. In most construction project sites, data acquisition relies on recording information manually on paper, the use of photographs and documents which cause space and time constraints. This study proposes 4D BIM progress monitoring using aerial Drone photos and iPhone LiDAR processed into point clouds. LiDAR-based point cloud data from the iPhone is capable of General Services Administration (GSA) requirements for architectural design projects with an average dimensional error of 0.011m. The latest observation shows that delay occurs in the projects within 2.22%, this information enable project managers to assess progress and manage the project comprehensively. Four-dimensional visualization facilitates project managers in making rapid decisions based on real-time information, thereby reducing work time and cost overruns.</i>
Diperbaiki	06 Juli 2023	
Disetujui	25 Juli 2023	

Keywords: monitoring progress, point clouds, BIM

Abstrak

Kepentingan industri konstruksi akan informasi yang tepat waktu dan akurat tentang kemajuan proyek konstruksi semakin meningkat. Informasi yang diperlukan untuk mengukur progres proyek konstruksi tidak dapat dengan mudah dikumpulkan dikarenakan terus berubah. Pada sebagian besar lokasi proyek konstruksi, perolehan data bergantung pada pencatatan informasi secara manual di atas kertas, penggunaan foto dan dokumen yang menyebabkan banyak kendala dalam ruang dan waktu. Penelitian ini mengusulkan pemantauan pekerjaan berbasis BIM menggunakan foto udara *Drone* dan *LiDAR Iphone* yang diproses menjadi *point clouds*. Data *point clouds* berbasis *LiDAR Iphone* memenuhi persyaratan *General Service Administration* (GSA) untuk proyek desain arsitektural dengan kesalahan rata-rata dimensi 0,011 m. Data pengamatan terakhir menunjukkan proyek mengalami keterlambatan produksi aktual sebesar 2,22 %, data ini memungkinkan manajer proyek untuk menilai kemajuan dan mengelola proyek secara komprehensif. Visualisasi 4 dimensi memudahkan manajer proyek untuk mengambil keputusan dengan cepat berdasar informasi aktual sehingga dapat mengurangi waktu pekerjaan dan pembengkakan biaya.

Kata kunci: pemantauan pekerjaan, *point clouds*, BIM

1. Pendahuluan

Kepentingan industri konstruksi untuk informasi yang tepat waktu dan akurat tentang kemajuan proyek konstruksi semakin meningkat [1]. Pemantauan dan kontrol terus menerus di semua fase proyek adalah salah satu tugas tersulit dalam manajemen proyek konstruksi [2], termasuk pengukuran kemajuan melalui inspeksi lokasi dan perbandingan dengan rencana proyek, sedangkan kualitas data kemajuan sangat bergantung pada pengalaman surveyor dan kualitas pengukuran [3].

Proses pembaruan jadwal, saat ini masih dilakukan secara manual. Proses ini melibatkan pengumpulan data *as-built* dari situs, menganalisis data *as-built* yang dikumpulkan dan membandingkannya dengan kemajuan yang direncanakan, mengidentifikasi perbedaan antara kemajuan yang dibangun

dengan kemajuan yang direncanakan dan kemudian memodifikasi jadwal [4]. Karena proses utama dilakukan secara manual, diperlukan waktu yang cukup lama untuk memperoleh dan menganalisis data. Bahkan, manajer proyek menghabiskan 30% - 50% dari jam kerja mereka untuk pengumpulan dan analisis data *as-built* dari lokasi sehingga membutuhkan upaya yang besar dari manajer proyek [5].

Informasi yang diperlukan untuk mengukur progres proyek konstruksi tidak dapat dengan mudah dikumpulkan dikarenakan terus berubah. Pada sebagian besar lokasi proyek konstruksi, perolehan data bergantung pada pencatatan informasi secara manual di atas kertas, penggunaan foto dan dokumen yang menyebabkan banyak kendala dalam ruang dan waktu [6]. Otomatisasi dianggap sebagai solusi paling ekonomis terkait akuisisi data ini [7]. Salah satu

pendekatan otomatis yang menjanjikan didasarkan pada teknologi *Building Information Modeling* (BIM) yang menjadi standar dalam industri konstruksi [8].

BIM adalah proses pemodelan untuk desain, konstruksi, penggunaan dan pengelolaan bangunan oleh tim proyek yang terintegrasi dan bekerja sama dengan desainer, pembangun, pemilik dan pemangku kepentingan lainnya yang terlibat dalam siklus hidup bangunan atau fasilitas [9]. Pada pengertian yang lain, BIM merupakan langkah penting untuk manajemen digital proyek konstruksi yang merupakan peluang untuk membandingkan secara visual antara perencanaan dan kinerja aktual di lapangan [10]. Model BIM 4D dapat dibuat dengan mengintegrasikan BIM 3D dengan jadwal rencana [11] untuk optimalisasi proyek dan simulasi pemantauan kemajuan konstruksi.

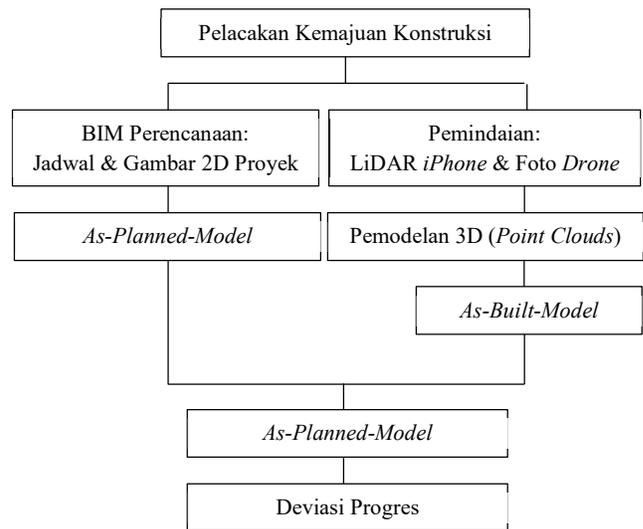
Kim dan Son, Hyland, Keeffe, Dore, dan Brodie, Fathi, Dai dan Laurakis, Patraucean, Armeni, Nahangi, Yeung, Brilakis dan Haas [12-15] telah menemukan pengembangan solusi otomatis, dimana penginderaan jauh telah terbukti menjadi metode akuisisi data yang paling efektif [16-17]. Teknologi pengambilan data lapangan meliputi teknologi berbasis gambar, pemindaian laser, *Radio Frequency Identification* (RFID), *Ultra-Wideband* (UWB), *Global Positioning System* (GPS) dan jaringan sensor nirkabel [18].

Metode pemantauan kemajuan otomatis berbasis BIM menggunakan BIM *as-built* (AB) 4D yang diperoleh dengan membandingkannya dengan BIM *as-designed* (AD) 4D dan mengidentifikasi perbedaan antara kedua model dengan cara penafsiran yang baik. Ini juga bermanfaat untuk mengetahui kebutuhan pada setiap pemangku kepentingan sebelum menerapkan teknologi [19]. Walaupun demikian, belum ada kerangka standar atau standarisasi untuk mengintegrasikan implementasi BIM di Indonesia. Oleh karena itu, metode ini diperlukan untuk mengembangkan BIM dalam siklus konstruksi.

Tujuan utama yang dilakukan pada penelitian ini yaitu meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam memperoleh data kemajuan, sehingga bisa digunakan dalam pemantauan setiap proyek konstruksi secara keseluruhan. Studi ini mengusulkan pengumpulan data di lokasi proyek menggunakan data *point clouds* yang diperoleh melalui *Drone* dan *LiDAR Iphone 13 Pro*. Studi kasus yang diambil penelitian ini adalah proyek pembangunan gedung bertingkat. Proses pengamatan ditinjau hanya pada pekerjaan struktural. Prosedur pelacakan kemajuan konstruksi dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Proses konvensional yang digunakan untuk memperoleh data yang terkait dengan kemajuan proyek konstruksi dianggap tidak efisien baik dari segi waktu maupun biaya, sehingga hal ini menyebabkan banyak penelitian dilakukan

pada bidang teknologi otomatisasi [20-22]. Berbagai perangkat teknologi informasi (TI) diusulkan sebagai cara untuk mengotomatisasi akuisisi data dikarenakan TI dapat mengirimkan informasi melalui internet secara daring. Teknologi TI seperti RFID, UWB, GPS dan pemindaian laser [18] telah banyak digunakan saat ini. Studi tersebut dapat meningkatkan efisiensi pengumpulan data secara aktual dari lokasi proyek. Namun dalam praktiknya, metode yang diusulkan ini memiliki keterbatasan teknis sehingga tidak banyak diterapkan pada proyek konstruksi khususnya skala kecil [23]. Masalah yang terjadi adalah biaya pembelian peralatan dan perangkat lunak yang mahal serta pemeliharaannya.



Gambar 1. Pelacakan Kemajuan Konstruksi.

Fotogrametri adalah teknik yang melibatkan pengembangan model *point clouds* dari foto digital untuk memperoleh data tentang kemajuan konstruksi [20]. Pengambilan foto ini memerlukan kapasitas ruang memori yang besar, sehingga penyimpanan data harus diamankan dikarenakan data progres kemajuan proyek perlu disimpan dari waktu ke waktu [24].

Pada teknologi pemindaian laser 3D, sinar laser dipancarkan ke suatu objek dan jarak ke objek dihitung menggunakan waktu kembali perjalanan cahaya [5]. Studi representatif di bidang ini telah memeriksa metode pemantauan untuk proses dan interferensi mekanik, listrik, dan pipa ledeng (MEP) dengan membandingkan dua model 3D atau dengan memanfaatkan metode lain untuk membuat model 3D menggunakan data kemajuan aktual yang diperoleh dari LiDAR [17]. Namun, karena akuisisi data menggunakan LiDAR membutuhkan pancaran sinar laser, jika suatu objek memiliki reflektansi tinggi, efisiensinya menurun [25]. Selain itu, penerapan LiDAR yang terbatas di lingkungan

dalam ruangan yang kompleks merupakan hambatan untuk popularitasnya disamping biayanya yang mahal [26].

Augmented reality (AR) adalah kombinasi dari berbagai teknologi, di mana gambar virtual dari komputer ditambahkan ke lingkungan nyata [27]. BIM adalah perangkat lunak representatif yang digunakan oleh AR yang juga berlaku untuk visualisasi, simulasi, pemodelan informasi dan pengujian keamanan [28]. AR telah diadopsi oleh sejumlah besar penelitian tetapi masih ada banyak masalah yang berkaitan dengan kenyamanan pengguna, kebisingan dan penyaringan interferensi data.

Tabel 1 menunjukkan karakteristik teknologi akuisisi data yang didasarkan pada elemen yang harus dipertimbangkan untuk penggunaan dalam kemajuan proyek.

Tabel 1. Perbandingan Teknologi Akuisisi Data [20]

Perbandingan	Ponsel	Fotogrametri	LiDAR	<i>Augmented Reality</i>
Biaya	Sedang	Rendah	Tinggi	Tinggi
Tingkat Otomatisasi	Sedang	Sedang	Tinggi	Tinggi
Kebutuhan Pendidikan	Rendah	Rendah	Tinggi	Sedang
Portabilitas	Sedang	Sedang	Tinggi	Tinggi
Kemampuan	Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi

2. Metode

Penelitian ini mengambil studi kasus proyek pembangunan kampus Universitas Nahdhlatul Ulama (UNU) Yogyakarta. Penelitian dimulai dari tanggal 23 Juli 2022 sampai 24 Agustus 2022 dan kondisi proyek sudah berjalan hingga 2 lantai.

Data penelitian

Data penelitian berupa dokumen *Detail Engineering Design* (DED), penjadwalan proyek, foto udara *Drone* dan LiDAR *Iphone 13 Pro*. Hasil foto udara *Drone* dan LiDAR *Iphone 13 Pro* dijadikan sebagai data *point clouds* [20] yang di proses melalui *software Polycam*. Proses pemantauan pekerjaan konstruksi diimplementasikan dengan bantuan perangkat lunak berbasis BIM yaitu *Synchro 4D Pro*. *Software* ini memiliki kelebihan berupa sistem otomasi yang singkat dalam melakukan perhitungan volume dan pemantauan kemajuan jika dibandingkan dengan metode manual.

Synchro 4D Pro diproduksi oleh *Bentley* yang merupakan rangkaian aplikasi khusus untuk memvisualisasikan digital konstruksi hingga 7D dalam pengendalian proyek yang sangat diperlukan dalam bidang jasa konstruksi [29]. *Software* ini memungkinkan perusahaan konstruksi untuk menyelesaikan pekerjaan dengan lebih efisien dan meningkatkan penggunaan data untuk mengoptimalkan pengambilan keputusan, sumber daya dan profitabilitas.

Tahapan pengolahan data menggunakan *Synchro* yaitu mengimpor penjadwalan proyek, dokumen gambar konstruksi dan data *point clouds* untuk dapat divisualisasikan dan memudahkan dalam pengendalian proyek selama pekerjaan konstruksi berlangsung.

Pemrosesan Data *Point Clouds*

Sebuah awan titik (*point clouds*) adalah sekumpulan titik data dalam sistem koordinat 3D. Titik data ini biasanya ditentukan oleh koordinat X, Y dan Z yang seringkali dimaksudkan untuk mewakili permukaan luar suatu objek [30]. Data *point clouds* 3D dapat diperoleh dari berbagai sumber data seperti pemindaian laser, gambar dan video melalui peralatan dan teknologinya masing-masing.

Akuisisi data dan pengolahan data *point clouds* harus dilakukan dengan baik sehingga dapat memenuhi kebutuhan aplikasi konstruksi yang dimaksud. Pemindaian mentah yang diperoleh melalui proses pemindaian laser harus diproses. Tahap pra-pemrosesan meliputi pengindeksan dan pembersihan data. Tahap tersebut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yang melibatkan registrasi pemindaian, filtrasi dan modifikasi *point clouds* [31].

Data *Point Clouds* Berbasis LiDAR

Pemindaian gambar adalah teknik yang melibatkan pembacaan gambar secara optik dan mengubahnya menjadi data, informasi dan objek. Perangkat LiDAR adalah perangkat yang mendukung pemindaian gambar. LiDAR memancarkan sinar laser ke objek pada interval tertentu dan mengekspresikan bentuk objek dalam satu set koordinat 3D dengan menggunakan arah laser yang dipantulkan dan jarak yang diukur [20]. Titik-titik yang diperoleh dengan cara ini memiliki koordinat 3 dimensi yaitu koordinat X, Y dan Z dimana setiap titik penyusunnya terbentuk pada titik laser LiDAR yang dipantulkan dari objek [32].

Tabel 2. Fitur yang tersedia pada *Iphone 13 Pro*

Spesifikasi	<i>Iphone 13 Pro</i>
Layar	Super Retina XDR dengan <i>ProMotion</i> , Resolusi 2532 x 1170 piksel pada 460 ppi
Kamera Video	12 MP dengan telefoto f/2,8, wide f/1,5 4K pada kecepatan 60 fps dan Mode sinematik (1080p kecepatan 30 fps)
Lokasi	GPS, GLONASS, Kompas digital (QZSS dan BeiDou)
Sensor	LiDAR, <i>Face ID</i> , Barometer, <i>Gyro</i> tiga sumbu, Akselerometer, Sensor kedekatan jarak dan Sensor cahaya sekitar
Mode Malam	Potret bisa menggunakan LiDAR <i>Scanner</i>

Pada tahun 2020, teknologi LiDAR sudah bisa digunakan menggunakan *Handphone Iphone* mulai dari seri *Iphone 12 Pro*. Akan tetapi, fitur LiDAR *Iphone* yang tersedia pada *App Store* baru dimulai pada tahun 2021. Pada penelitian ini, aplikasi *Polycam* yang digunakan. Spesifikasi *Iphone 13 Pro* dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Iphone 13 Pro dilengkapi dengan pemindai LiDAR terutama untuk meningkatkan kualitas potret mode malam dengan adanya *Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL)* yang memberikan 100 kali lebih terang daripada LED yang memungkinkan penerangan fokus jarak jauh [33]. Namun sensor terintegrasi juga dapat digunakan untuk akuisisi data *point clouds*. Teknologi VCSEL ini memberikan kombinasi spektrum sempit, efisien tinggi, waktu naik pulsa cepat dan pergeseran spektral minimal dengan suhu. LiDAR *Iphone* mengirimkan cahaya menggunakan larik VCSEL [34].

Adanya fitur LiDAR *Iphone* akan berdampak besar terhadap penggunaannya di masa depan. Fitur LiDAR ini diharapkan dapat menyaingi teknologi LiDAR yang harganya sangat mahal. **Gambar 2** adalah cara pengambilan LiDAR *iPhone*.



Gambar 2. Pengambilan LiDAR *iPhone*.

Data Point Clouds Berbasis Drone

Fotogrametri adalah teknik pemetaan melalui foto udara. Fotogrametri berbasis *drone* dapat memperoleh data bangunan besar dan area medan bangunannya. Teknik ini memungkinkan ekstraksi informasi 3D dari foto 2D sehingga sangat berguna dalam merekam detail arsitektur suatu bangunan atau gedung [35]. Namun, metode yang menggunakan *drone* ini menghasilkan output yang berbeda tergantung pada cuaca dan kecerahan foto. Selain itu, sulit untuk mendapatkan gambar *close-up* dan kesalahan relatif besar cenderung terjadi sesuai dengan keterampilan pekerja dan kinerja peralatan [36]. **Gambar 3** adalah fotogrametri berbasis *drone*. *Drone* yang digunakan pada penelitian ini adalah *DJI Mavic Air 2*.

3. Hasil dan Pembahasan

Pemrosesan Point Clouds

Pembuatan data *point clouds* dilakukan menggunakan *software Polycam*. Tahap ini meliputi pengambilan gambar

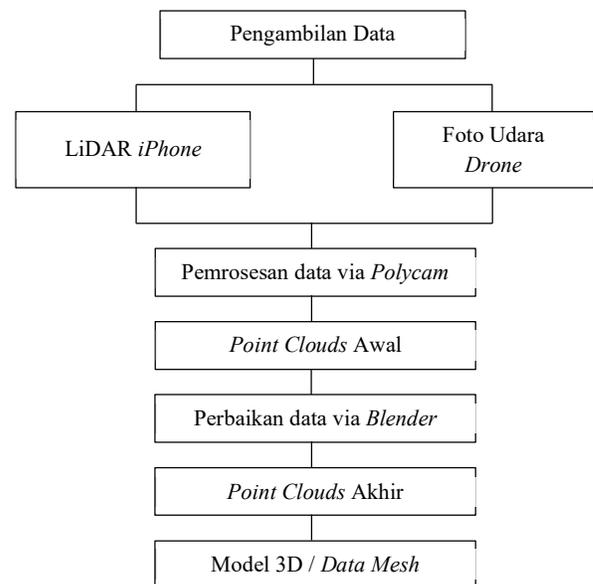
lokasi, pengindeksan dan pembersihan data [37]. Pengindeksan di *Polycam* adalah proses menyatukan pindaian dan melibatkan dua langkah yaitu mengimpor pindaian dan pendaftaran pindaian. *File* pindaian yang diperoleh dari foto *Drone* dan LiDAR *iPhone* diimpor ke *software Polycam*. Proses ini dilakukan untuk memindai lokasi pekerjaan plat lantai, balok dan kolom bangunan untuk dapat divisualisasikan secara 3 dimensi.

Langkah selanjutnya adalah mengimpor hasil foto udara *Drone* dan LiDAR. Proses ini memakan waktu beberapa menit tergantung pada jumlah dan ukuran *file* pindaian yang diimpor. Setelah diimpor, perangkat lunak meminta pendaftaran pindaian. Pemindaian dapat didaftarkan secara otomatis dengan menekan tombol *upload & process* yang telah tersedia.

Setelah mendapat hasil pindaian gambar secara otomatis menjadi *point clouds*, gambar tersebut siap untuk diekspor. *Polycam* dapat diekspor ke berbagai macam *file* seperti *.rcp*, *.e57*, *.ply*, *.obj*, *.dxf*, *.fbx*, *.xyz*, *.las*, *.pts*, *.raw*, *.dae*, *.usdz*, *.stl* dan *.gltf*. **Gambar 4** adalah alur pemrosesan *point clouds*.



Gambar 3. Informasi Geometrik dengan Drone



Gambar 4. Alur pemrosesan *point clouds*.



Gambar 5. Hasil Point Clouds Awal.

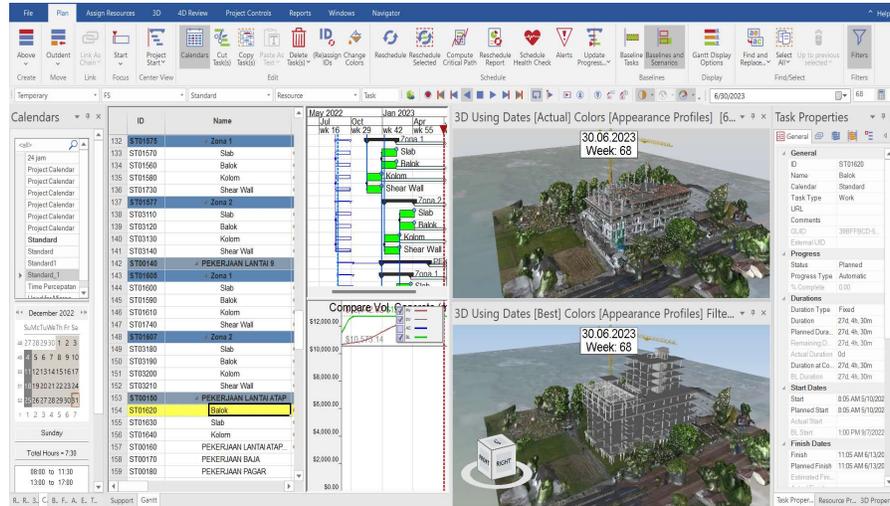
Hasil *point clouds* awal yang diperoleh melalui *Polycam* perlu adanya perbaikan dimana ada beberapa bagian yang tidak terdeteksi, eror dan penumpukan. *Point clouds* tersebut diimpor ke aplikasi lain berupa *Blender*. Proses ini membutuhkan waktu yang cukup lama dikarenakan perlu adanya pengecekan di setiap pengamatan yang dilakukan.

Gambar 5 adalah salah satu hasil *point clouds* awal yang perlu diperbaiki atau dihapus yang ditandai lingkaran merah.

Data *point clouds* awal perlu diperbaiki untuk mendapatkan visualisasi status proyek yang telah dikerjakan secara aktual. Objek yang tidak terlihat atau tidak terdeteksi secara sempurna dihapus sehingga hanya bagian yang relevan dari *point clouds* yang tersisa [38].

Penggunaan BIM 4D

BIM 4D digunakan melalui *software Synchro*. Dokumen berupa penjadwalan *Ms. Project*, gambar konstruksi model 3D dan hasil *point clouds* akhir yang sudah didapat di input ke dalam *Synchro*. Pengimporan ke dalam *Synchro* dilakukan secara satu per satu. Gambar 6 adalah hasil impor ke *Synchro*.



Gambar 6. BIM 4D Synchro.

Tabel 3. Hasil Rekapitulasi Perbedaan Data Point Clouds dan 3D Model

Deskripsi	Dimensi dari Iphone (m)	Dimensi dari Drone (m)	Dimensi 3D Model (m)	Kesalahan data Iphone (m)	Kesalahan data Drone (m)
Lt.2 K1-1	0,86	0,81	0,90	0,04	0,09
Lt.2 K3-1	0,69	0,88	0,70	0,01	0,18
Lt.2 K4-1	0,79	0,74	0,80	0,01	0,06
Lt.2 K4-2	0,80	0,84	0,80	0	0,04
Lt.2 K4-3	0,76	0,64	0,80	0,04	0,16
Lt.2 K4-4	0,80	0,89	0,80	0	0,09
Lt.2 K6-1	0,60	0,51	0,60	0	0,09
Lt.2 K7-1	1,10	1,19	1,10	0,00	0,09
Lt.4 K3A-1	0,79	-	0,80	0,01	-
Lt.4 K3A-2	0,79	-	0,80	0,01	-
Lt.4 K3A-3	0,78	-	0,80	0,02	-
Lt.4 K3A-4	0,78	-	0,80	0,02	-
Lt.4 K3A-5	0,78	-	0,80	0,02	-
Lt.4 K8-1	0,80	-	0,70	0,10	-
Lt.4 K8-2	0,76	-	0,70	0,06	-
Lt.4 K8-3	0,70	-	0,70	0	-
Lt.4 K4B-1	0,80	0,70	0,80	0	0,10
Lt.5 K3A-2	0,82	0,70	0,80	0,02	0,10
Lt.5 B1	0,55	-	0,55	0	-

Data *point clouds* diperbarui dalam penjadwalan supaya proses pembaruan kemajuan proyek dapat dilakukan berdasarkan data aktual yang dibandingkan dengan data perencanaan. Proses pembaruan progres pekerjaan dilakukan setiap pengambilan data lapangan. Data-data tersebut dibandingkan hingga akhir periode pengamatan.

Validasi Hasil *Point Clouds*

Validitas *point clouds* digunakan untuk menunjukkan tingkat keakuratan alat ukur digital terhadap model 3D. Dengan adanya validasi, maka kesalahan dapat diukur dari perbandingan dimensi model 3D dengan data *point clouds*. **Tabel 3** adalah hasil pengukuran data *point clouds* dan 3D modelnya.

Berdasar panduan yang diterbitkan *General Service Administration (GSA)* Amerika Serikat terkait BIM untuk pencitraan 3D, rentang kesalahan data dimensi maksimal 0,051 m pada proyek desain perkotaan dan maksimal 0,013 m pada desain arsitektural [20]. Penelitian ini mendapat hasil kesalahan rata-rata dimensi LiDAR *Iphone* sebesar 0,011 m sedangkan kesalahan rata-rata dimensi *Drone* sebesar 0,10 m. Hasil ini menunjukkan LiDAR *Iphone* telah memenuhi syarat untuk proyek desain arsitektural.

Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan hasil *point clouds* kurang akurat yang menimbulkan efek dimensi yang lebih besar dibanding 3D modelnya. **Gambar 7** adalah salah satu bukti hasil *point clouds* yang kurang akurat.



Gambar 7. *Point clouds* lantai 4 kolom K8-2.

Gambar tersebut memperlihatkan bahwa banyak bagian yang tidak terdeteksi atau menghilang. Hal ini disebabkan proses pindaian dilakukan pada area yang cukup sulit dijangkau seperti material sisa yang masih berantakan di area proyek, perancah yang masih terpasang dan adanya para pekerja yang sering bergerak di garis pandang pemindai. Proses pendaftaran *point clouds* menjadi tidak akurat dan menyebabkan perbedaan dimensi yang relatif besar. Hal ini menyiratkan bahwa kualitas pemindaian yang diambil mempengaruhi proses pendaftaran dan proses perhitungan volume. **Gambar 8** adalah kondisi pemindaian di lokasi proyek.

Keakuratan pemindaian tidak banyak dipengaruhi oleh ukuran struktural bangunan seperti kolom, balok dan plat lantai, melainkan masalah utama yang memengaruhi yaitu

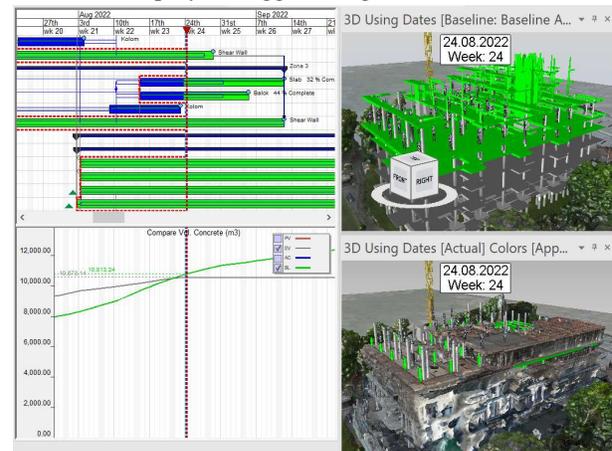
proses pemindaian itu sendiri yang dirusak atau diganggu oleh aktivitas di lokasi pemindaian. Berdasar Gambar 8 di atas, maka penting untuk melakukan pindaian pada waktu yang tidak terlalu sibuk untuk mendapat hasil yang akurat seperti di pagi hari sebelum para pekerja datang.



Gambar 8. Kondisi pemindaian: (a) lantai 4, (b) lantai 5.

Pemantauan Pekerjaan Konstruksi

Proses pemantauan dilakukan dengan melakukan pembaruan sesuai dengan data aktual di lapangan. Pengamatan dilakukan selama 1 bulan untuk melihat progres pekerjaan. Data tersebut dibandingkan dengan data rencana untuk melihat status proyek (*ahead* atau *behind*). Status proyek tersebut dapat divisualisasikan berdasar jumlah volume *concrete* dan volume rencana. Perhitungan volume didasarkan dari volume 3D modelnya. **Gambar 9** adalah status kondisi proyek tanggal 24 Agustus 2022.



Gambar 9. Status kondisi proyek

Hasil produksi *concrete* per tanggal 24 Agustus 2022 seperti terlihat pada **Gambar 9** dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Perbandingan jumlah produksi *concrete*

Perbandingan	Volume produksi
Baseline (BL)	10.813,24 m ³
Earned Value (EV)	10.573,14 m ³

Baseline (BL) didapat dari data perencanaan sedangkan *Earned Value (EV)* didapat dari data aktual pekerjaan selama periode pengamatan. Perhitungan *Earned Value* berdasarkan data hasil *point clouds*. Pada setiap pengambilan data

menggunakan *Drone* dan LiDAR *Iphone*, dapat terlihat pekerjaan yang sudah terlaksana, kemudian visualisasi tersebut diperbarui pada data penjadwalan proyek sehingga dapat terlihat perbedaan antara data aktual dan data perencanaan. Data pada **Tabel 4** menunjukkan kondisi proyek sudah mengalami keterlambatan sebesar 240,10 m³ (2,22%). Rencana perbaikan proyek bisa dilakukan jika proyek mengalami keterlambatan dan dirasa perlu. Keputusan ini dilakukan oleh manajer proyek sesuai kebutuhan.

4. Simpulan

Penelitian ini menggunakan *point clouds* untuk untuk mengetahui status kondisi proyek. Metode akuisisi data *point clouds* berbasis foto udara *Drone* dan LiDAR *Iphone 13 Pro* berhasil dikembangkan dalam BIM 4D. Data *point clouds* berbasis LiDAR *Iphone* mampu memenuhi persyaratan *General Service Administration* (GSA) untuk proyek desain arsitektural. Keakuratan hasil pindaian ternyata terganggu dengan adanya aktivitas yang berada di lokasi pekerjaan dan area pemindaian yang sulit dijangkau.

Pelacakan kemajuan proyek terlihat dengan bantuan visualisasi 4 dimensi yang membandingkan status kondisi proyek antara data aktual dengan data perencanaan. Selama periode pengamatan, terjadi keterlambatan sebesar 2,22%.

Berdasarkan data yang diperoleh, metode akuisisi data yang diusulkan pada penelitian ini efisien dan memungkinkan manajer proyek untuk menilai kemajuan dan mengelola proyek secara komprehensif. Visualisasi 4 dimensi memudahkan manajer proyek untuk mengambil keputusan dengan cepat berdasarkan informasi aktual. Proses ini dapat mengurangi waktu pekerjaan dan pembengkakan biaya karena pendeteksian pekerjaan lebih mudah dipantau.

Daftar Pustaka

- [1] M. Kopsida, I. Brilakis, & P. Vela, *A Review of Automated Construction Progress and Inspection Methods. Proc. 32nd CIB W78 Conf. Constr. IT* (2015) 421-431.
- [2] S. Alizadehsalehi, & I. Yitmen, *The Impact of Field Data Capturing Technologies on Automated Construction Project Progress Monitoring. Procedia Eng.* (2016) 97-103.
- [3] M. Golpavar-fard, F. Pena-mora, & S. Savarese, *Monitoring of Construction Performance using Daily Progress Photograph Logs and 4D As-planned Models. University of Illinois, Urbana-Champaign* (2015) 53-63.
- [4] Y. Olawale, & M. Sun, *PCIM: Project Control and Inhibiting Factors Management Model. J. Manage. Eng.* (2013) 60-70.
- [5] T. Omar, & M.L. Nehdi, *Data Acquisition Technologies for Construction Progress Tracking. Autom. Constr.* 70 (2016) 143-155.
- [6] M. Bueno, F. Bosche, Gonzalez-jorge, Martinez-sanchez, & P. Arias, *4-Plane Congruent Sets for Automatic Registration of as-is 3D Point Clouds with 3D BIM Models. Autom. Constr.* (2018) 120-134.
- [7] K.C. Yong, *Automated Schedule Updates using As-Built Data and a 4D Building Information Model. ASCE Journal of Management in Engineering, Korea*, 2017.
- [8] Zoran Pučko, Nataša Šuman, & Danijel Rebolj, *Automated Continuous Construction Progress Monitoring using Multiple Workplace Real Time 3D Scans. University of Maribor, Slovenia*, 2018.
- [9] S. Azhar, M. Khalfan, & T. Masqod, *Building Information Modelling (BIM): Now and Beyond Australasian Journal of Construction, Economics and Building* (2012) 12, 15-28.
- [10] S.V.T. Tran, N. Khan, D. Lee, & C. Park, *A Hazard Identification Approach of Integrating 4D BIM and Accident Case Analysis of Spasial-Temporal Exposure Sustainability* (2021) 13, 1-19.
- [11] A. Braun, S. Tuttas, & A. Borrmann, *A Concept for Automated Construction Progress Monitoring using BIM-based Geometric Constraints and Photogrammetric Point Clouds. J. Inf. Techno. Constr.* (2015) 20, 68-79.
- [12] C. Kim, & H. Son, *Fully Automated Registration of 3D Data to 3D CAD Model for Project Progress Monitoring, Autom. Constr.* (2013) 35, 587-594.
- [13] N. Hyland, S.O. Keeffe, C. Dore, & S. Brodie, *Validation of As-Is and As-generated IFC BIMs for Advanced Scan-to-BIM Methods Automatic Validation of As-Is and As-generated IFC BIMs for Advanced Scan-to-BIM Methods* (2017).
- [14] H. Fathi, F. Dai, & M. Lourakis, *Automated As-built 3D Reconstruction of Civil Infrastructure using Computer Vision: Achievements, Opportunities, and Challenges, Adv. Eng. Informatics.* (2015) 29, 149-161.
- [15] V. Pătrăucean, I. Armeni, M. Nahangi, J. Yeung, I. Brilakis, & C. Haas, *State of Research in Automatic As-built Modelling, Adv. Eng. Informatics* (2015) 29, 162-171.
- [16] K.K. Han, D. Cline, & M. Golparvar-Fard, *Formalized Knowledge of Construction Sequencing for Visual Monitoring of Work-in-progress Via*

- Incomplete Point Clouds and Low-LoD 4D BIMs*, *Adv. Eng. Informatics* (2015) 29, 889–901.
- [17] F. Bosché, M. Ahmed, Y. Turkan, C.T. Haas, & R. Haas, *The Value of Integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM Techniques for Construction Monitoring using Laser Scanning and BIM: The Case of Cylindrical MEP Components*, *Autom. Constr.* (2015) 49, 201–213.
- [18] R. Supanan, S. Korb, K. Wuttipong, L. Narong, & C. Phatsaphan, *Accuracy of 3-D Model Based on Point Cloud: A New Technology for Construction Progress Evaluation*. *International J. Engineering and Technology*, Vol. 12, No. 2, 2020.
- [19] Rafaela Bortolini, C.T. Formoso & Daniela D. Viena, *Site Logistics Planning and Control for Engineer-to-Order Prefabricated Building Systems using BIM 4D Modelling*. *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, Brasil, 2019.
- [20] Seungho Kim, Sangyong Kim & Dong-Eun Lee, *Sustainable Application of Hybrid Point Clouds and BIM Method for Tracking Construction Progress*. *Yeungnam University College*, Daegu, Korea, 2020.
- [21] M. Golpavar-Fard, F. Peña-Mora, & S. Savarese, *Automated Progress Monitoring using Unordered Daily Construction Photographs and IFC-based Building Information Models*. *J. Comput. Civ. Eng.* (2015) 29, 04014025.
- [22] C. Kim, & H. Son, *Automated Construction Progress Measurement using A 4D Building Information Model and 3D Data*. *Autom. Constr.* (2013) 31, 75–8.
- [23] Q. Wang, & M.K. Kim, *Applications of 3D Point Cloud Data in The Construction Industry: A Fifteen-year Review from 2004 to 2018*. *Adv. Eng. Inf.* (2019) 39, 306–319.
- [24] S. El-Omari, & O. Maselhi, *Data Acquisition from Construction Sites for Tracking Purposes*. *Eng. Constr. Archit. Manag.* (2009) 16, 490-503.
- [25] Y. Turkan, F. Bosche, C. Haas, & R. Haas, *Automated Progress Tracking using 4D Schedule and 3D Sensing Technologies*. *Autom. Constr.* (2012) 22, 414–421.
- [26] F. Dai, A. Rashidi, I. Brilakis, & P. Vela, *Comparison of Image-based and Time-of-flight-Based Technologies for Three-dimensional Reconstruction of Infrastructure*. *J. Constr. Eng. Manag.* (2013) 139, 69–79.
- [27] S. Rankohi & L. Waugh. *Review and Analysis of Augmented Reality Literature for Construction Industry*. *Vis. Eng.* (2013) 1, 9.
- [28] A. Shirazi, & A.H. Behzadan, *Design and Assessment of A Mobile Augmented Reality-based Information Delivery Tool for Construction and Civil Engineering Curriculum*. *J. Prof. Issues Eng. Ed. Pr.* (2015) 141, 04014012.
- [29] Kevin K. Han, David Cline & Mani Golparvar-Fard, *Formalized Knowledge of Construction Sequencing for Visual Monitoring of Work-in-Progress via Incomplete Point Clouds and Low-LoD 4D BIMs*. *University of Illinois, Urbana*, Amerika Serikat, 2015.
- [30] Dong, Z., Liang, F., Yang, B., Xu, Y., Zang, Y., Li, J., Wang, Y., Dai, W., Fan, H., Hyppa, J. & Stilla, U., *Registration of large-scale terrestrial laser scanner point clouds: A review and benchmark*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 163 (March), 327-342, 2020.
- [31] Rex D. & Stoli, S., *Applications of 3D Laser Scanning in a Production Environment*. *Chalmers University of Technology*, 2014.
- [32] Danijel Rebolj, Zoran Pučko, Nenad Čuš Babič Marko Bizjak & Domen Mongus, *Point Clouds Quality Requirements for Scan vs BIM Based Automated Construction Progress Monitoring*. *University of Maribor*, Slovenia, 2017.
- [33] H. Moench, M. Carpaij, P. Gerlach, S. Gronenborn, R. Gudde, J. Hellming, J. Kolb & A. van der Lee, *VCSEL-based Sensors for Distance and Velocity in Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers XX*. San Francisco, California, Amerika Serikat, 2016.
- [34] J. Gordana, G. Miro & F.A. Taboada, *Iphone 13 Pro vs Professional TLS for 3D Indoor Mapping*. *Proceedings of International Conference on Contemporary Theory and Practice in Construction* (2021) 26, 274-283.
- [35] M. Apriansyah & Harintaka, *Pembuatan Model 3D Bangunan LoD3 Dengan Pemanfaatan Foto Udara dan Fotogrametri Terrestri*. *Journal of Geodesy and Geomatics* (2023) Vol. 18, 243-252.
- [36] Si Van-Tien Tran, T.L. Nguyen, Hung-Lin Chi, Doyeop Lee & C. Park, *Generative Planning for Construction Safety Surveillance Camera Installation in 4D BIM Environment*. *The Hong Kong Polytechnic University*, Provinsi Otonomi Khusus Hong Kong, 2022.
- [37] Alvatara Partogi, Yudo Prasetyo & Bandi Sasmito, *Analisis Ketelitian Data Pemodelan 3 Dimensi Dengan Metode Traverse Dan Metode Cloud to Cloud Menggunakan Terrestrial Laser Scanner*, Universitas Diponegoro, Indonesia, 2017.
- [38] C. Beatriz, Guerra, Fernanda Leite & Kasey Faust, *4D BIM to Enhance Construction Waste Reuse and Recycle Planning: Case Studies on Concrete and Drywall Waste Streams*. *The University of Texas at Austin*, Amerika Serikat, 2020.