

**STUDI EFEKTIVITAS ALAT BERAT I-CONSTRUCTION
DALAM PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PEKERJAAN TANAH
DI TAKANERIKI, JEPANG**

***Study of i-Construction Heavy Equipment Effectiveness on Productivity For the Land Clearing
Project in Takaneriki, Japan***

Ahmad Sugian*, Ida Ayu Oka Suwati Sideman*, Lalu Wirahman*

***Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram**

Jl. Majapahit No 62, Mataram 83125 Indonesia

**Email : Ahmad.sugian216@gmail.com, suwatisideman@unram.ac.id,
lalu.wirahman2828@gmail.com**

Manuscript received: 26 Agustus 2025

Accepted: 1 Oktober 2025

Abstrak

Industri konstruksi saat ini mengalami transformasi digital melalui pemanfaatan i-construction yang mengintegrasikan Building Information Modeling (BIM), pemetaan UAV, serta sistem otomatisasi pada alat berat. Studi ini menganalisis efektivitas i-construction yang mengintegrasikan machine control dan machine guidance di bandingkan metode konvensional pada pekerjaan tanah di Takaneriki, Kota Taketa, Prefektur Oita, Jepang. Dengan parameter: produktivitas, tenaga kerja, biaya sewa alat dan kualitas presisi. Hasil menunjukkan peningkatan produktivitas signifikan: excavator naik 26,9% dan bulldozer naik 28,2%. Meski biaya sewa alat i-construction lebih tinggi (excavator +179,18% dan bulldozer +171,18%), efisiensi dicapai melalui pengurangan tenaga kerja dari tiga menjadi satu orang dan percepatan waktu kerja. Hal ini menurunkan biaya tenaga kerja lebih dari 60% dan menghemat total biaya proyek sebesar 19,11%. Dari aspek kualitas presisi, deviasi pekerjaan sangat rendah (6,0 cm pada tanggul dan 2,4 cm pada perataan ladang), jauh di bawah toleransi, sehingga meminimalkan rework. Temuan menegaskan i-construction meningkatkan produktivitas, efisiensi biaya, dan presisi.

Kata kunci : i-Construction, Produktivitas alat berat, Machine guidance, Machine control, Efisiensi biaya.

PENDAHULUAN

Industri konstruksi saat ini sedang mengalami transformasi signifikan dengan hadirnya teknologi digital yang semakin canggih (Sidiq Ramadhan & Oei Fuk Jin, 2024). Salah satu pendekatan modern yang mulai diadopsi secara luas adalah *i-construction*, yaitu konsep pembangunan yang mengintegrasikan teknologi digital seperti *Building Information Modeling* (BIM), pemetaan UAV (*drone*), serta sistem otomatisasi alat berat berbasis *Information and Communication Technology* (ICT). Tujuan utama pendekatan ini adalah untuk meningkatkan efisiensi, akurasi, dan produktivitas pekerjaan konstruksi melalui digitalisasi menyeluruh dari tahap perencanaan hingga pelaksanaan (Tateyama, 2016).

Salah satu elemen kunci dalam penerapan *i-construction* adalah penggunaan *machine control* dan *machine guidance* pada alat berat seperti *bulldozer* dan *excavator*. Teknologi ini memungkinkan alat berat beroperasi mengikuti desain digital 3D secara *real-time*, sehingga operator dapat memantau bentuk, kemiringan, dan elevasi tanah dari kabin tanpa perlu mengandalkan pemasangan patok manual atau pengukuran berulang (Otsuki et al., 2020). Hal ini tidak hanya mengurangi waktu kerja dan potensi kesalahan manusia, tetapi juga meningkatkan presisi serta efektivitas pemanfaatan alat berat.

Meskipun metode konvensional masih banyak digunakan di lapangan karena kemudahan dan kebiasaan kerja, pendekatan ini memiliki banyak keterbatasan seperti waktu pelaksanaan yang lebih lama, ketergantungan tinggi terhadap tenaga kerja manual, serta risiko kesalahan akibat intuisi operator. Terlebih lagi, *idle time* alat berat menjadi faktor pemborosan yang signifikan dalam proyek yang membutuhkan ketepatan tinggi, seperti pekerjaan penataan lahan dan pembangunan tanggul (Olawumi & Chan, 2018). Dengan semakin meningkatnya kebutuhan terhadap presisi dan efisiensi, ketidakefektifan metode konvensional menjadi hambatan serius bagi produktivitas proyek konstruksi modern (Jovanović et al., 2017).

Seiring berkembangnya teknologi digital, penerapan *i-construction* menjadi solusi potensial (Lin et al., 2021). Namun, pada praktiknya, teknologi ini masih menghadapi berbagai tantangan, terutama pada proyek skala kecil hingga menengah yang belum sepenuhnya siap dalam hal infrastruktur digital, keterampilan operator, dan ketersediaan data desain digital. Oleh karena itu, penting dilakukan kajian empiris mengenai efektivitas penggunaan teknologi *i-construction* berbasis *machine control* dan *machine guidance*, khususnya dalam konteks proyek penataan ladang di Jepang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas teknologi tersebut dari beberapa aspek utama, yaitu: produktivitas kerja, efisiensi biaya sewa alat berat, efisiensi tenaga kerja, dan kualitas hasil pekerjaan konstruksi. Studi ini difokuskan pada implementasi *machine control* pada *bulldozer* dan *machine guidance* pada *excavator*. Data metode konvensional untuk perbandingan diperoleh melalui literatur atau simulasi teoritis, mengingat keterbatasan data lapangan secara langsung.

Kontribusi dari studi ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru bagi dunia akademik, masukan strategis bagi industri konstruksi dalam pemilihan metode kerja yang lebih efisien, serta rekomendasi kebijakan bagi pemerintah dalam mendorong implementasi teknologi konstruksi digital secara lebih luas dan berkelanjutan.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian terdahulu

Hermawan dkk (2023), meneliti tentang digitalisasi industri konstruksi melalui integrasi *Building Information Modeling* (BIM) dan 3D *machine control* pada proyek pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera sepanjang 40 km. Penelitian ini mengukur efisiensi waktu dan biaya dengan membandingkan metode konvensional dan metode 3D *machine control* pada motor *grader* dan *vibro compactor*. Didapatkan hasil, metode 3D *machine control* mempersingkat durasi kerja hingga 47%, memangkas waktu pelaksanaan sebanyak 45 hari, serta menurunkan biaya konstruksi sebesar Rp.7.500.000.000.00. Penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi integrasi BIM dengan teknologi *IoT* dan sensor *monitoring real-time* untuk melibatkan parameter yang lebih lengkap seperti efisiensi penggunaan bahan bakar, dan parameter-parameter lainnya.

Moon Sung-woo (2018), meneliti efektivitas model bisnis dalam mengadopsi sistem *machine guidance* pada pekerjaan penggalian dengan *excavator*. Penelitian ini mengukur produktivitas kerja dan biaya konstruksi antara *excavator* dengan sistem *machine guidance* dan sistem konvensional. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan *machine guidance* meningkatkan produktivitas sebesar 30% dengan pengurangan waktu survei, pengerjaan ulang, serta penggalian berlebih, dan mampu menghemat biaya

konstruksi sebesar 17. Penelitian mendatang dapat fokus padaskema pelatihan operator dan strategi pembiayaan adopsi teknologi MG agar penerapannya lebih masif di industri konstruksi menengah ke bawah (Moon, 2018).

Pengertian *i-construction*

Ministry of Land (2024) menyebutkan bahwa *i-Construction* adalah pendekatan digital dalam industri konstruksi yang mengintegrasikan teknologi informasi seperti *Building Information Modeling* (BIM), survei UAV (*drone*), dan sistem alat berat berbasis ICT (*Information and Communication Technology*). Sementara Tateyama dan Yokohama (2016) meneliti parameter peningkatan efisiensi, akurasi, dan produktivitas dalam setiap tahapan konstruksi, serta meminimalkan ketergantungan terhadap proses manual konstruksi dengan memanfaatkan informasi elektronik untuk pemeliharaan dan manajemen pasca konstruksi.

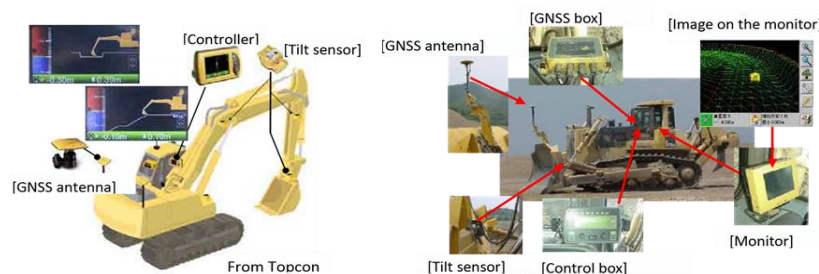
Elemen utama teknologi *i-construction*

Elemen utama dari teknologi *i-construction* mencakup beberapa aspek penting, yaitu:

1. BIM sebagai model digital proyek yang menyediakan data geometrik dan fungsional bangunan untuk kolaborasi multi-disiplin (Alliance, 2015).
2. RTK *Base Station* yang meningkatkan akurasi posisi GPS alat berat (Hiroko Tokura, t.t.).
3. *Machine guidance* dan *machine control*, yaitu sistem panduan dan kontrol otomatis pada alat berat (*excavator, bulldozer*) berbasis GNSS dan sensor untuk mencapai bentuk dan elevasi sesuai desain digital (Ministry of Land, t.t.).

Sistem *machine guidance* dan *control* alat berat

Teknologi ini merupakan inti dari pelaksanaan *i-construction* di lapangan. alat berat seperti *excavator* dan *bulldozer* dilengkapi dengan GNSS *rover* dan sensor yang membaca posisi dan kemiringan dari lengan dan *bucket* pada alat berat (Komatsu, 2024). Bacaan sensor tersebut diteruskan menjadi panduan bagi operator. Teknologi panduan mesin dan kontrol mesin memungkinkan alat berat untuk beroperasi dengan presisi tinggi, mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual dan meningkatkan produktivitas. Dengan mengintegrasikan elemen-elemen ini, *i-construction* menawarkan pendekatan yang lebih modern dan efisien dibandingkan dengan metode konvensional dalam pekerjaan konstruksi. (Ministry of Land, 2024). Gambar 1 di bawah sistem dan kontrol alat.



Gambar 1 Sistem *machine guidance* dan *control* pada alat berat
(Sumber: Topcon, n.d.)

Gambar 1 di atas menunjukkan sensor-sensor yang melengkapi alat berat yang berfungsi untuk membaca posisi dan gerak dari bagian-bagian alat berat mulai dari *bucket* hingga lengan alat.

Perbandingan teknologi konvensional dengan *i-construction* dalam pekerjaan konstruksi.

Dalam membandingkan antara teknologi konvensional dan *i-construction*, ada perbedaan nyata yang signifikan (Alaloul, Liew, Zawawi, & Kennedy, 2019). Metode konvensional sering kali bergantung pada proses manual yang menimbulkan kendala waktu dan biaya yang rentan terhadap kesalahan manusia (J Irizarry, 2016). sedangkan *i-construction* memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan keakuratan dan kecepatan (Ministry of Land, t.t.). Misalnya, penggunaan *drone* untuk survei dan permodelan 3D memungkinkan pengumpulan data yang lebih cepat dan akurat (Javier Irizarry & Bastos Costa, 2016) sementara sistem otomatisasi alat berat mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tugas pekerjaan tanah. Dengan demikian, *i-construction* menjadi pilihan yang lebih baik untuk proyek-proyek infrastruktur modern. Gambar 2 berikut menunjukkan perbedaan sistem kerja alat.



Gambar 2 Perbedaan pekerjaan sistem *machine guidance* dan konvensional alat berat
(Sumber: Departemen teknik sipil Aichi, n.d.)

Sistem *i-construction* dan pengaruhnya terhadap produktivitas proyek.

Pada *i-Construction* alat berat dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu: sistem 3D *machine control* dan 3D *machine guidance*.

1. Sistem 3D *machine guidance* (MG)

Machine guidance adalah sistem yang memberikan panduan visual kepada operator alat berat mengenai parameter pekerjaan seperti elevasi, kemiringan. Sistem ini membantu operator untuk melakukan pekerjaan dengan lebih akurat dan efisien. Sebagai contoh MG, kasus *excavator* hidrolik. Mesin ini dilengkapi dengan sistem pemetaan yang menggunakan satelit untuk menentukan informasi lokasi tiga dimensi (GNSS; *global navigation satellite system*) serta sensor yang mengukur posisi *bucket*, *boom*, dan lengan *excavator* (Tateyama & Yokoyama, 2016).

Selain itu, PC yang terpasang di alat berat memiliki data mengenai bentuk permukaan akhir untuk pemrosesan tanah timbunan dan penggalian, sehingga operator dapat melakukan pekerjaan dengan efisien dan akurat sambil memeriksa hubungan posisi *bucket* saat ini dan posisi permukaan akhir di layar monitor. Gambar 3 di bawah ini menunjukkan panduan kerja mesin.

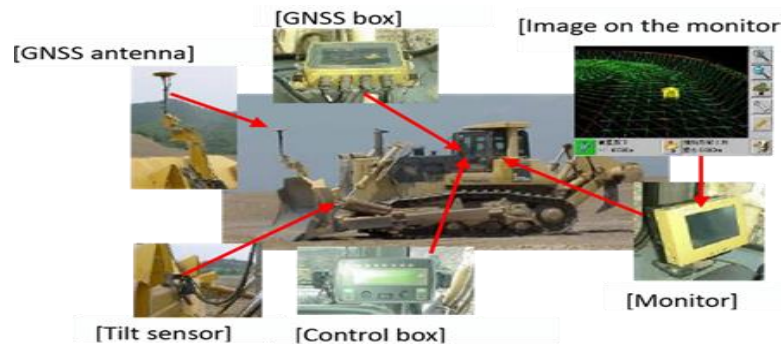


Gambar 1 Excavator berbasis panduan mesin
(sumber: Tateyama 2016)

Excavator hidrolik dilengkapi dengan beberapa GNSS, sensor *pitch* untuk mengukur kemiringan mesin dan tiga sensor kemiringan untuk mengukur pergerakan manipulator, termasuk *bucket*. Informasi kuantitatif tentang posisi dan sikap mesin dan manipulator kemudian dinyatakan pada monitor di ruang kontrol untuk operator (Tateyama, 2016).

2. 3D machine control (MC)

3D *Machine control* adalah sistem yang memungkinkan alat berat untuk secara otomatis mengontrol posisi dan gerakan alat berdasarkan data yang telah diprogram sebelumnya. Dengan teknologi ini, alat berat dapat melakukan pekerjaan tanah dengan presisi tinggi, mengurangi kesalahan manusia, dan meningkatkan produktivitas (Otsuki et al., 2020). Gambar 4 di bawah menunjukkan sistem kontrol bulldozer.



Gambar 2 Sistem kontrol otomatis di bulldozer.
(sumber: Topcon, n.d.)

Gambar 4 menyajikan bulldozer yang memiliki fungsi untuk mengontrol bilahnya dengan menggunakan RTK-GNSS (*Real Time Kinematic-GNSS*). Bulldozer ini memiliki PC dalam kendaraan yang diprogram dengan data mengenai permukaan akhir pekerjaan. Bulldozer ini juga memiliki fungsi kontrol mesin (MC) yang mengukur posisi dan sikap Bulldozer dan bilah, yang merupakan salah satu bagian kerjanya menggunakan GNSS dan sensor, serta kontrol bilah sehingga bentuk tanah akhir terbentuk secara otomatis (Ministry of Land, t.t.).

Produktivitas konstruksi

Produktivitas dalam konstruksi adalah rasio antara *output* fisik pekerjaan (seperti volume galian) terhadap *input* sumber daya (alat, tenaga, waktu). Produktivitas dipengaruhi oleh efisiensi alat berat,

tenaga kerja, material, dan kualitas hasil pekerjaan. Produktivitas yang tinggi menunjukkan efisiensi dalam penggunaan sumber daya, sedangkan produktivitas rendah dapat mengindikasikan pemborosan waktu, biaya, atau tenaga kerja (Hernandi & Tamtana, 2020).

Produktivitas dipengaruhi oleh beberapa faktor dalam pelaksanaan proyek konstruksi, yaitu.

1. Produktivitas dan efisiensi penggunaan alat berat

Penggunaan alat berat yang optimal dapat mempercepat waktu pekerjaan dan mengurangi waktu penyelesaian proyek. Faktor seperti pemilihan alat yang tepat, kondisi mesin, dan keterampilan operator sangat memengaruhi efisiensi (T. A. Rachman & Firdaus, 2024).

2. Produktivitas dan Jumlah tenaga kerja

Jumlah dan keterampilan tenaga kerja berpengaruh langsung terhadap kecepatan penyelesaian pekerjaan. Pelatihan dan pengelolaan tenaga kerja yang efektif dapat meningkatkan produktivitas (Wahyuningsih, 2019). Kebutuhan tenaga kerja dalam proyek konstruksi merupakan salah satu aspek penting dalam menentukan efisiensi, waktu pelaksanaan, dan biaya operasional proyek (Fardila & Adawyah, 2021)

3. Kualitas hasil pekerjaan

Kualitas pekerjaan konstruksi merupakan tingkat kesesuaian antara hasil pelaksanaan di lapangan dengan spesifikasi teknis dalam dokumen perencanaan awal (Darmastuti, 2024). Pekerjaan yang berkualitas mengurangi kebutuhan perbaikan ulang (rework), sehingga menghemat waktu dan biaya. Standar kualitas harus dipantau secara berkala untuk memastikan efisiensi (Ayele & Fayek, 2019).

Pengukuran produktivitas alat berat

Menurut Rostiyanti (2008), nilai produktivitas *excavator* ini dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

▪ Excavator

$$Q = V \times 3600 / CT \times S \times BFF \times E \quad \dots\dots\dots (1)$$

dengan: Q = produktivitas per jam (m^2/jam), V = kapasitas (m^3), CT = waktu siklus dalam detik, S = faktor koreksi untuk kedalaman dan sudut putar, BFF = faktor koreksi untuk alat gali, E = efisiensi kerja.

▪ Bulldozer

$$Q = V \times 3600 / CT \times E \quad \dots\dots\dots (2)$$

dengan: Q = Produksi per jam (m^3/jam), V = Kapasitas alat (m^3), CT = Waktu siklus dalam detik, E = Efisiensi kerja

Kapasitas *blade* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$V = L \times H^2 \times a \quad \dots\dots\dots (3)$$

dengan: L = Lebar *blade* (m), H = Tinggi *blade* (m), a = Faktor *blade*

Waktu siklus *bulldozer* dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$CT = \frac{D}{F} + \frac{D}{R} + z \quad \dots\dots\dots (4)$$

dengan : D = Jarak angkut / gusur (m), F = Kecepatan maju (m/detik), R = Kecepatan mundur (m/detik), z = Waktu ganti persneling (detik)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis dampak penerapan teknologi *i-construction* terhadap produktivitas, efisiensi biaya, efisiensi tenaga kerja, dan kualitas hasil pekerjaan dalam proyek penataan ladang (A. Rachman & Purnomo, 2024). Studi dilakukan pada proyek yang dikerjakan oleh Tomooka Construction, Ltd. di Takaneriki, Kota Taketa, Prefektur Oita, Jepang, yang telah menerapkan teknologi *machine control* dan *machine guidance*.

Item pekerjaan yang diamati meliputi dua jenis kegiatan utama, yaitu (1) penataan tanggul dengan *excavator* berbasis *machine guidance*, dan (2) perataan permukaan ladang dengan *bulldozer* berbasis *machine control*. Kedua pekerjaan ini memerlukan akurasi tinggi dalam bentuk, kemiringan, dan elevasi, yang secara teknis sulit dicapai secara efisien tanpa bantuan sistem digital.

Metode pelaksanaan yang dibandingkan adalah metode konvensional (*manual staking*, pengecekan elevasi dengan *waterpass/total station*) dan metode *i-construction* (berbasis model digital 3D, GPS/RTK, dan sistem otomatisasi alat berat). Namun, karena pada beberapa bagian pekerjaan data metode manual tidak tersedia, maka dilakukan simulasi sebagai pembanding teoritis.

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan terhadap waktu siklus alat berat dan kualitas hasil pekerjaan, didukung oleh dokumen proyek (gambar desain, volume pekerjaan, log operasional alat berat). Selain itu, data konvensional untuk pekerjaan perataan menggunakan *bulldozer* diperoleh dari literatur karena tidak tersedia data lapangan langsung.

Parameter yang diukur dalam studi ini meliputi:

Produktivitas: luas area yang dikerjakan per satuan waktu (m^2/jam), Efisiensi biaya: biaya operasional alat berat dan tenaga kerja (Yen/jam), Efisiensi tenaga kerja: perbandingan jumlah pekerja antara metode konvensional dan *i-construction* (orang-jam), Kualitas presisi pekerjaan: deviasi elevasi antara desain dan hasil aktual (cm).

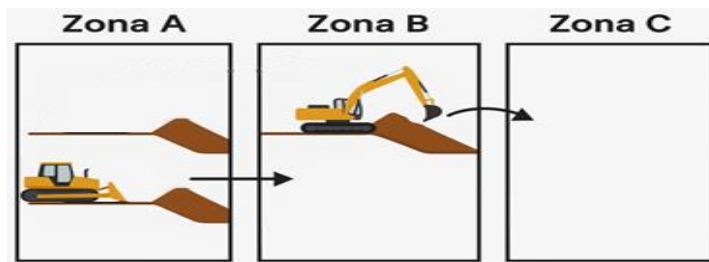
Langkah-langkah penelitian

- Identifikasi peralatan: *Excavator backhoe* dan *bulldozer* yang digunakan dalam proyek.
- Pengumpulan data teknis: Kapasitas *bucket/blade*, waktu siklus, efisiensi kerja, dan spesifikasi alat.
- Perhitungan produktivitas alat berat.
- Perbandingan hasil *i-construction* vs konvensional: Produktivitas, waktu, jumlah alat, dan kualitas hasil kerja dibandingkan untuk mengevaluasi efisiensi sistem.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode kerja

Metode kerja yang digunakan dalam proyek penataan ladang ini adalah metode *line* (metode garis), yaitu metode pelaksanaan konstruksi yang dilakukan secara berurutan dan progresif antar zona kerja, dengan urutan tahapan yang tetap namun lokasi pelaksanaan berpindah dari satu zona ke zona berikutnya.



Gambar 3 Metode kerja alat berat

Spesifikasi Alat dan Jenis Tanah

Pada pekerjaan pembuatan tanggul digunakan jenis alat *excavator* Komatsu PC 200 dengan kapasitas potong *bucket* 1,5 m. Sedangkan pekerjaan perataan permukaan ladang menggunakan *bulldozer* Komatsu D37PXi dengan lebar *blade* 3,32 m. Gambar 6 berikut menunjukkan *excavator* dan *bulldozer*.



Gambar 4 Gambar alat berat *excavator* dan *bulldozer*

Pada proyek ini jenis tanah yang mendominasi adalah tanah lempung berpasir pada lapisan bawah (*subsoil*), yang umumnya berada di bawah lapisan atas tanah (*topsoil*). Jenis tanah ini umumnya memiliki drainase sedang hingga lambat tergantung pada kandungan liatnya, dan sering kali menjadi batas pertumbuhan akar tanaman yang tidak memiliki sistem perakaran dalam. Gambar 7 berikut menunjukkan kondisi tanah pada lokasi pekerjaan.



Gambar 5 Jenis tanah pada lokasi studi

Gambar 7 menunjukkan jenis tanah di lokasi pekerjaan didominasi oleh tanah lempung berpasir.

Faktor koreksi dan efisiensi alat

Setiap alat berat memiliki nilai faktor efisiensi yang berbeda-beda. Besar nilai faktor efisiensi berdasarkan teori berbeda dengan faktor efisiensi di lapangan karena sangat banyak faktor yang berpengaruh. Faktor efisiensi alat diperoleh dari data waktu penggunaan alat dalam melakukan pekerjaan lapangan.

Berdasarkan hasil observasi lapangan didapatkan faktor *bucket*, *blade*, faktor koreksi dan waktu siklus, yaitu:

Tabel 1 Faktor koreksi *excavator machine guidance*

No	Faktor koreksi	Nilai
1	Operator	0,80
2	Kapasitas bucket	2,33
3	Koreksi bucket	0,813
4	Waktu kerja	0,892

Tabel 2 Faktor koreksi *excavator* konvensional

No	Faktor koreksi	Nilai
1	Operator	0,80
2	Kapasitas <i>bucket</i>	2,33
3	Koreksi <i>bucket</i>	0,813
4	Waktu kerja	0,78

Tabel 3 Faktor koreksi *bulldozer machine control*

No	Faktor koreksi	Nilai
1	Operator	0,80
2	Kapasitas <i>blade</i>	3,32
3	Koreksi blade	0,68

Tabel 4 Faktor koreksi *bulldozer* konvensional

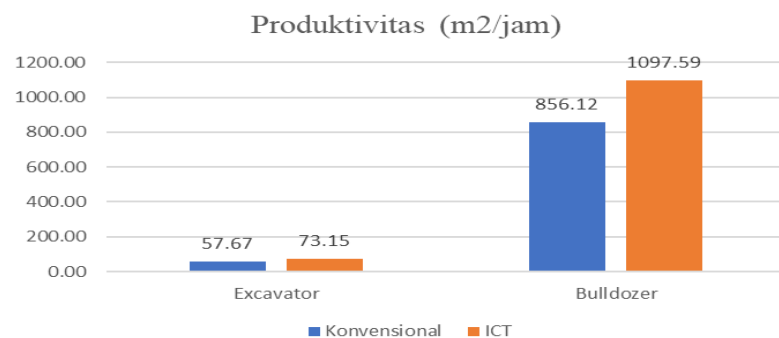
No	Faktor koreksi	Nilai
1	Operator	0,80
2	Kapasitas <i>blade</i>	3,32
3	Koreksi <i>blade</i>	0,68
4	Waktu kerja	0,78

Tabel 5 Waktu siklus hasil observasi

No	Alat berat	Konvensional	i-Construction
1	<i>Excavator</i>	73,97	66,38
2	<i>Bulldozer</i>	113,59	113,59

Pembahasan

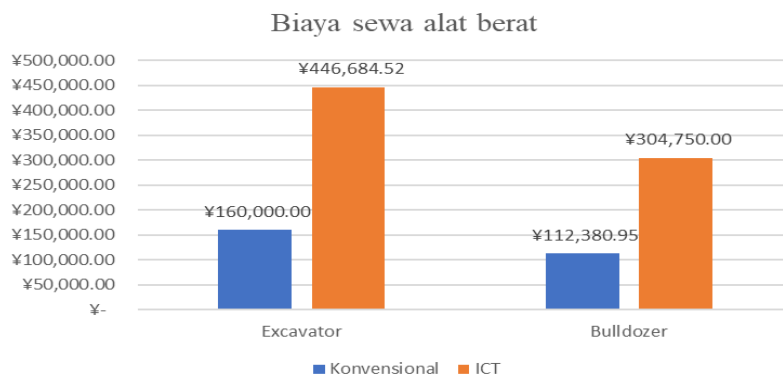
Berdasarkan hasil pengukuran produktivitas alat berat, terlihat adanya peningkatan yang signifikan pada metode *i-construction* dibandingkan metode konvensional (Gambar 8).

**Gambar 6** Grafik rekapitulasi produktivitas alat berat

Excavator menunjukkan produktivitas sebesar 73,15 m²/jam pada metode *i-construction*, meningkat dibanding metode konvensional sebesar 57,67 m²/jam atau sekitar +26,9%. *Bulldozer* juga mengalami peningkatan produktivitas dari 856,12 m²/jam menjadi 1.097,59 m²/jam, atau sekitar +28,20%.

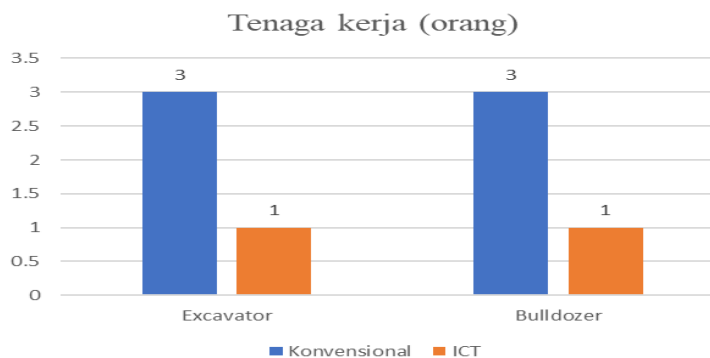
Peningkatan ini disebabkan oleh pemanfaatan sistem *machine guidance* dan *machine control* yang mengurangi waktu *idle*, kepercayaan diri operator dalam mengatur sudut potong dan tinggi *blade*.

Dari sisi biaya sewa alat (Gambar 9), metode *i-construction* memberikan peningkatan signifikan. Biaya sewa *excavator* naik dari ¥160.000,00 atau Rp17.600.000,00 menjadi ¥446.684,00 atau Rp49.135.297,00 sedangkan *bulldozer* naik dari ¥112.396,00 atau Rp12.361.904,00 menjadi ¥304.750,00 atau Rp33.522.500,00. Walaupun biaya sewa lebih tinggi, peningkatan ini dapat diimbangi oleh produktivitas yang lebih besar dan durasi kerja yang lebih singkat.



Gambar 7 Grafik rekapitulasi biaya sewa alat berat

Analisis tenaga kerja (Gambar 10) menunjukkan bahwa metode *i-construction* membutuhkan jumlah pekerja lebih sedikit. Jumlah tenaga kerja berkurang dari tiga orang menjadi satu orang pada masing-masing item pekerjaan. Pengurangan tenaga kerja menjadi satu operator saja tanpa pekerja pendukung di lapangan. Hal ini dimungkinkan karena teknologi *i-construction* mengintegrasikan pengukuran, pematokan, dan pemantauan elevasi secara otomatis melalui sistem digital di kabin operator.



Gambar 8 Grafik rekapitulasi tenaga alat berat

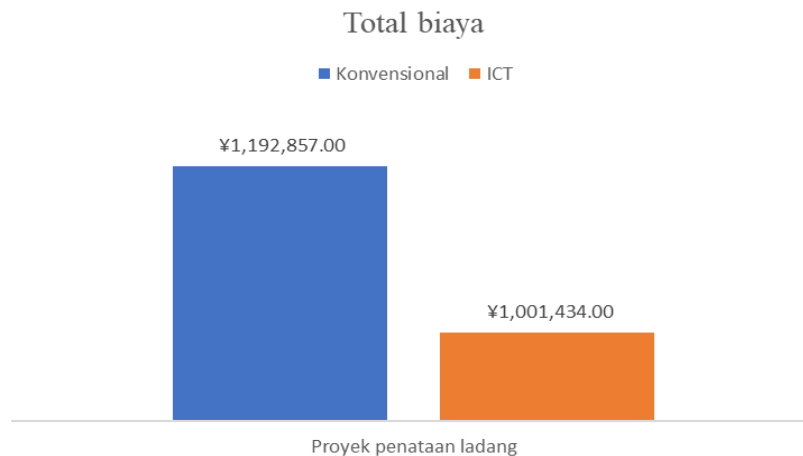
Berdasarkan rekapitulasi pada (Gambar 11), total biaya proyek penataan ladang dengan metode *i-construction* tercatat sebesar ¥1.001.434,00 atau Rp110.157.797,00 lebih rendah dibanding metode konvensional yang mencapai ¥1.192.857,00 atau Rp131.214.285,00.

Penurunan biaya total ini terjadi meskipun biaya sewa alat berat *i-construction* (*excavator* dan *bulldozer*) lebih tinggi daripada metode konvensional. Faktor penentu penghematan berasal dari penurunan biaya tenaga kerja yang signifikan, di mana jumlah pekerja berkurang drastis akibat otomatisasi pengukuran dan pematokan lapangan. Tabel 6 menunjukkan biaya keseluruhan pekerjaan.

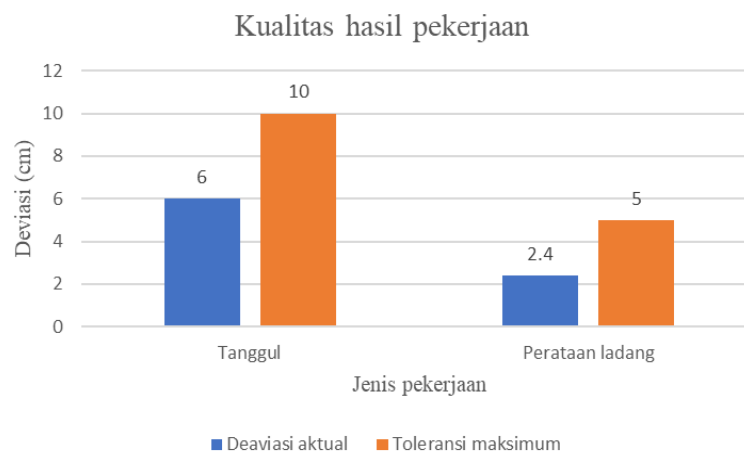
Tabel 6 Total biaya pekerjaan penataan ladang

Komponen	Konvensional	i-Construction
Biaya tenaga kerja tanggul	¥531.156,00	¥171.768,00
Biaya tenaga kerja perataan	¥389.319,00	¥78.231,00
Biaya sewa <i>excavator</i>	¥160.000,00	¥446.684,00
Biaya sewa <i>bulldozer</i>	¥112.750,00	¥304.750,00
Total	¥1.192.857,00	¥1.001.434,00

Dengan demikian, efisiensi waktu kerja dan pengurangan kebutuhan tenaga kerja mampu mengimbangi kenaikan biaya sewa alat, menghasilkan biaya proyek total yang lebih rendah. Gambar 11 berikut menunjukkan rekapitulasi biaya pekerjaan.

**Gambar 9** Grafik rekapitulasi Total biaya

Gambar 12 menunjukkan perbandingan deviasi presisi hasil pekerjaan terhadap toleransi maksimum yang diizinkan.

**Gambar 10** Grafik rekapitulasi kualitas presisi hasil pekerjaan

Pada pekerjaan tanggul, deviasi aktual metode *i-construction* adalah 6,0 cm, jauh di bawah toleransi maksimum 10,0 cm. Pada pekerjaan perataan ladang, deviasi aktual hanya 2,4 cm, sedangkan toleransi maksimum 5,0 cm.

Hasil ini menunjukkan bahwa teknologi *i-construction* mampu memberikan kualitas presisi hasil pekerjaan yang baik karna masih di bawah batas deviasi maksimum kesalahan. Tingkat deviasi yang rendah mengindikasikan pengurangan potensi *rework*, yang secara tidak langsung berkontribusi terhadap efisiensi biaya dan waktu proyek.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Studi ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi *i-construction* berbasis *machine control* dan *machine guidance* memberikan dampak positif terhadap produktivitas, efisiensi biaya, efisiensi tenaga kerja, serta kualitas hasil pekerjaan pada proyek penataan ladang di Takaneriki, Kota Taketa, Prefektur Oita.

Meskipun biaya sewa alat meningkat cukup signifikan yakni sebesar 179,18% untuk *excavator* ICT dan 171,18% pada *bulldozer machine control*, namun penerapan teknologi ini tetap memberikan nilai tambah karena durasi kerja yang lebih singkat dan pengurangan kebutuhan tenaga kerja.

Terjadi efisiensi biaya tenaga kerja lebih dari 60% untuk masing-masing item pekerjaan. Secara keseluruhan, total biaya pekerjaan berkurang dari ¥1.192.857,00 atau Rp131.214.285,00 (konvensional) menjadi ¥1.001.434,00 atau Rp110.157.797,00 (*i-construction*), memberikan keuntungan ekonomis sebesar +19,11%.

Dari sisi kualitas presisi, hasil pengukuran lapangan menunjukkan akurasi hasil pekerjaan dapat dinyatakan baik dan sangat baik karena masih di bawah batas deviasi minimum kesalahan proyek galian.

Saran

Berdasarkan hasil tersebut, disarankan agar penerapan teknologi *i-construction* dapat lebih dioptimalkan pada proyek-proyek sejenis, terutama yang memerlukan presisi tinggi dan efisiensi waktu kerja. Pelatihan operator dan pengawasan terhadap kesiapan area kerja juga menjadi faktor pendukung penting dalam keberhasilan implementasi sistem ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaloul, W. S., Liew, M. S., Zawawi, N. A. W. A., & Kennedy, I. B. (2020). Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders. *Ain Shams Engineering Journal*. 11(1), 225-230. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.010>.
- Alliance, B. S. (2015). *National BIM Standards-United States*. National Institute of Building Science.
- Ayele, S., & Fayek, A. R. (2019). *Kerangka kerja untuk pengukuran produktivitas total proyek konstruksi industri*.
- Darmastuti, F. C. (2024). *Analisis Kesesuaian Pelaksanaan Pengendalian Mutu Pada Pekerjaan Struktur Atas dalam Proyek Pembangunan Gedung Biara Santa Anna*. Tugas Akhir: Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/53878>.
- Departemen Teknik Sipil Aichi. (t.t.). *Pekerjaan pemanfaatan TIK Aichi*. aichi. Diambil dari www.pref.aichi.jp/soshiki/kensetsu-kikaku/i-con-sekou.html
- Fardila, D., & Adawyah, N. R. (2021). Optimasi Biaya dan Waktu Proyek Konstruksi dengan Lembur dan Penambahan Tenaga Kerja. *INERSIA: INformasi dan Ekspose hasil Riset teknik Sipil dan Arsitektur*, 17(1), 35–46. <https://doi.org/10.21831/inersia.v17i1.39499>.
- Hermawan, I., Sudirman, S. (2023). *Digitalisasi Industri Konstruksi dengan Integrasi BIM dan 3D Machine Control untuk Meningkatkan Performa Pelaksanaan Konstruksi*. *Jurnal Teknik Sipil*. 19(2), 185-203. <https://doi.org/10.28932/jts.v19i2.4497>.
- Hernandi, Y., & Tamtana, J. S. (2020). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produktivitas Pekerja Pada Pelaksanaan Konstruksi Gedung Bertingkat. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(2), 299–312. <https://journal.untar.ac.id/index.php/jmts/article/view/6985>.
- Hiroko Tokura. (t.t.). *Asian Base Station Network Project*. Diambil dari <https://www.facebook.com/groups/Base.station.GSPASE/http://gnss-learning.org/>

- Irizarry, Javier, & Bastos Costa, D. (2016). *Studi Eksplorasi Potensi Aplikasi Sistem Udara Tak Berawak untuk Tugas Manajemen Konstruksi*.
- Jovanović, M., Raković, M., Tepavčević, B., Borovac, B., & Nikolić, M. (2017). Robotic fabrication of freeform foam structures with quadrilateral and puzzle shaped panels. *Automation in Construction*, 74, 28–38. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2016.11.003>.
- Komatsu. (t.t.). *Crawler dozer D61PXL-24 intelligent machine control*.
- Lin, S. S., Shen, S. L., Zhou, A., & Xu, Y. S. (2021). Risk assessment and management of excavation system based on fuzzy set theory and machine learning methods. *Automation in Construction*, 122, 103490. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2020.103490>.
- Ministry of Land, I. T. and T. (2024). *i-Construction 2.0 -Otomatisasi lokasi konstruksi*.
- Ministry of Land, I. T. and T. (t.t.). *Buku Pegangan Teknologi MC/MG (Edisi Backhoe)*.
- Moon, S. (2018). Efektivitas model bisnis untuk mengadopsi sistem panduan mesin konstruksi. *Jurnal KIBIM*.
- Olawumi, T. O., & Chan, D. W. M. (2018). Identifying and prioritizing the benefits of integrating BIM and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey of international experts. *Sustainable Cities and Society*, 40, 16–27. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2018.03.033>.
- Otsuki, T., Morikawa, H., Shiiba, Y., Ogata, S., & Moteki, M. (2020). Research on standardization of construction site time-series change information as learning data for automatic generation of work plan of construction machinery in earthworks. *37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. <https://www.nilim.go.jp/lab/pfq/ronbun/pdf/R2/OtsukiISARC2020.pdf>.
- Rachman, A., & Purnomo, H. (2024). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*.
- Rachman, T. A., & Firdaus, M. (2024). Analysis of Heavy Equipment Management Based on Cost and Time Values in the Local Road Improvement Project Package 6. *Jurnal Teknik Sipil*, 24(3), 1160. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jtsuntan/article/view/82050/pdf>.
- Rostiyanti, S. F. (2008). *Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi*.
- Sidiq Ramadhan, J., & Oei Fuk Jin, dan. (2024). *Strategi Pengembangan Teknologi Digital Dalam Metode Kerja Di Industri Konstruksi Untuk Pembangunan Nasional* 7(2), 621-630. <https://doi.org/10.24912/jmts.v7i2.26777>.
- Tateyama, K. (2016). Achievement and future prospects of ICT construction in Japan. *Journal of Robotics and Mechatronics*, Fuji Technology Press, 28(2). 123–128.. <https://doi.org/10.20965/jrm.2016.p0123>.
- Tateyama, K., & Yokoyama, T. (2016). *TIK Konstruksi menggunakan Kemajuan dan prospek masa depan*. Kota Kusatsu. Diambil dari www.onlinedoctranslator.com
- Topcon, P. S. (t.t.). *Topcon manual book's*.
- Wahyuningsih, S. (2019). *Pengaruh Pelatihan Dalam Meningkatkan Produktivitas Kerja Karyawan*. Majalah Ilmiah Warta Dharmawangsa, 13(2), <https://doi.org/10.46576/wdw.v0i60.413>.