

Analisis Produktivitas Penggunaan Alat Berat pada Pekerjaan Galian dan Timbunan Tanah (Studi Kasus: Sumedang Industrial Polis)

Febby Puji Triyono^{1*}, Lirawati, Puji Wiranto²

^{1,2}Universitas Pakuan, Bogor, Indonesia

*e-mail: febbypuji13@gmail.com

ABSTRAK

Pekerjaan galian dan timbunan pada kawasan industri membutuhkan pengelolaan alat berat yang mampu menjaga keseimbangan antara produktivitas, durasi, dan biaya operasional. Penelitian ini bertujuan menganalisis produktivitas, kebutuhan jumlah alat, waktu penyelesaian, dan biaya penggunaan *excavator*, *dump truck*, serta *bulldozer* pada Proyek Sumedang Industrial Polis, sekaligus membandingkan skenario pelaksanaan 120 hari dan 90 hari. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis teknis terhadap data primer berupa waktu siklus, kondisi operasi, dan pengamatan lapangan serta data sekunder berupa volume pekerjaan, spesifikasi alat, jam kerja, dan biaya operasional. Volume galian tercatat 48.944 m³ dan setelah memperhitungkan kondisi tanah lepas menjadi 61.180 m³. Hasil analisis menunjukkan produktivitas dasar *excavator* sebesar 105,727 m³/jam, *dump truck* sebesar 28,518 m³/jam per unit, dan *bulldozer* sebesar 134,864 m³/jam. Kebutuhan alat tetap 1 unit *excavator*, 3 unit *dump truck*, dan 1 unit *bulldozer* pada kedua skenario. Percepatan menjadi 90 hari meningkatkan kebutuhan produktivitas efektif *excavator* dari 63,730 menjadi 84,972 m³/jam, tetapi masih berada di bawah kapasitas alat. Total biaya operasional turun dari Rp3.840.081.528 menjadi Rp3.532.483.608, sehingga terdapat penghematan Rp307.597.920 atau sekitar 8,01%. Dengan konfigurasi alat yang sama, skenario 90 hari memberikan waktu pelaksanaan lebih singkat dan biaya operasional lebih rendah.

Kata kunci : Alat Berat; Biaya Operasional; Galian dan Timbunan; Produktivitas; Waktu Pelaksanaan

ABSTRACT

Earthwork in an industrial development requires heavy-equipment management that balances productivity, project duration, and operating cost. This study analyzes equipment productivity, fleet requirements, completion time, and operating costs for an excavator, dump trucks, and a bulldozer in the Sumedang Industrial Polis Project, and compares 120-day and 90-day execution scenarios. A quantitative technical-analysis approach was applied using primary data from cycle-time observations, operating conditions, and field observations, together with secondary data on work volume, equipment specifications, working hours, and operating costs. The excavation volume was 48,944 m³ and the corresponding loose-soil volume used in the analysis was 61,180 m³. The calculated basic productivity was 105.727 m³/hour for the excavator, 28.518 m³/hour for each dump truck, and 134.864 m³/hour for the bulldozer. The required fleet remained one excavator, three dump trucks, and one bulldozer in both scenarios. Shortening the schedule to 90 days increased the required effective excavator productivity from 63.730 to 84.972 m³/hour, which remained below the available capacity. Total operating cost decreased from IDR 3,840,081,528 to IDR 3,532,483,608, producing a saving of IDR 307,597,920 or approximately 8.01%. Therefore, with the same equipment configuration, the 90-day scenario provides a shorter execution period and a lower operating cost.

Keywords : Construction Equipment; Earthwork; Operational Cost; Productivity; Project Duration

PENDAHULUAN

Pekerjaan galian dan timbunan merupakan tahap penting pada pembangunan jalan, bendungan, kawasan industri, dan berbagai pekerjaan sipil yang memerlukan pembentukan elevasi lahan. Pada tahap ini, volume material yang dipindahkan relatif besar dan pelaksanaannya sangat bergantung pada kemampuan alat berat. Ketidaktepatan pemilihan jenis, kapasitas, jumlah, atau pola kerja alat dapat meningkatkan waktu tunggu, konsumsi bahan bakar, dan biaya, sekaligus mengganggu pencapaian jadwal proyek. Karena itu, perencanaan alat berat tidak hanya berkaitan dengan kemampuan satu alat secara individual, tetapi juga dengan keseimbangan produktivitas seluruh rangkaian alat dalam satu sistem pekerjaan.

(Rostiyanti, 2002) menjelaskan bahwa alat berat menjadi sarana penting pada proyek konstruksi berskala besar karena memungkinkan pekerjaan yang membutuhkan tenaga dan kapasitas tinggi diselesaikan secara lebih cepat. Dalam praktik manajemen konstruksi, pemilihan alat juga perlu mempertimbangkan fungsi

pekerjaan, kondisi medan, jenis material, kapasitas, cara operasi, serta faktor ekonomi. (Wilopo, 2009) menempatkan perencanaan, pengadaan, pengoperasian, dan pemeliharaan alat sebagai bagian dari manajemen peralatan konstruksi. Pandangan tersebut menegaskan bahwa produktivitas alat merupakan hasil interaksi antara spesifikasi teknis dan kondisi pelaksanaan, bukan hanya nilai teoritis dari pabrikaan.

Pada pekerjaan tanah, *excavator* umumnya berfungsi menggali dan memuat material, *dump truck* mengangkut material dari titik muat ke titik buang atau area timbunan, sedangkan *bulldozer* menyebarkan, mendorong, dan meratakan material. Setiap alat memiliki waktu siklus yang berbeda. Jika kapasitas *excavator* jauh lebih besar daripada kemampuan angkut armada *dump truck*, *excavator* akan mengalami *idle time* karena menunggu kendaraan kembali. Sebaliknya, jumlah *dump truck* yang berlebihan dapat menimbulkan antrean di titik muat. Keseimbangan ini menjadi salah satu dasar penentuan kebutuhan unit alat pada pekerjaan galian dan timbunan.

Rochmanhadi (1986) menunjukkan bahwa faktor kondisi operasi dan pemeliharaan memengaruhi efisiensi kerja alat. Produktivitas aktual di lapangan juga dipengaruhi keterampilan operator, kondisi material, cuaca, kondisi jalan kerja, serta waktu tidak produktif. Suryadharma dan (Suryadharma and Wigroho, 1998) menekankan bahwa kapasitas produksi alat harus dinilai bersama waktu siklus dan karakteristik pekerjaan. Dengan demikian, suatu alat dapat memiliki kapasitas teoritis tinggi, namun produktivitas efektif yang tercapai akan lebih rendah apabila siklus kerja tidak berjalan secara konsisten.

Kapasitas produksi pada penelitian ini dipahami sebagai volume pekerjaan yang dapat diselesaikan dalam satuan waktu berdasarkan kapasitas per siklus, jumlah siklus, dan faktor efisiensi. Perhitungan *excavator* didasarkan pada kapasitas *bucket*, faktor *bucket*, waktu gali, waktu putar bermuatan, waktu buang, dan waktu putar kosong. Produktivitas *dump truck* dipengaruhi kapasitas bak, waktu pemuatan, jarak angkut, kecepatan bermuatan dan kosong, waktu pembuangan, serta waktu posisi. Pada *bulldozer*, produktivitas ditentukan kapasitas *blade*, jarak dorong, kecepatan maju dan mundur, waktu tetap, faktor material, serta efisiensi kerja. Pendekatan ini mengikuti kerangka perhitungan produksi alat berat yang digunakan dalam naskah sumber dan merujuk pada (Rochmanhadi, 1986).

Selain produktivitas, biaya operasional merupakan indikator penting karena perubahan durasi dapat mengubah total jam kerja alat. Biaya alat berat pada prinsipnya terdiri dari komponen kepemilikan atau sewa dan komponen operasi, seperti bahan bakar, pelumas, perawatan, dan upah operator. Pada alat yang disewa atau dihitung dengan tarif per jam, semakin panjang jam operasi maka semakin besar biaya yang dikeluarkan. Namun, percepatan jadwal tidak selalu identik dengan penambahan alat. Jika kapasitas alat yang tersedia masih lebih besar daripada produktivitas efektif yang dibutuhkan, durasi dapat dipersingkat dengan optimasi jam operasi dan sinkronisasi alat tanpa mengubah jumlah unit.

Kajian sebelumnya menunjukkan pentingnya analisis kombinasi alat. (Kusumo *et al.*, 2022) pada pekerjaan galian dan timbunan Bendungan Bener membandingkan beberapa kombinasi *excavator*, *bulldozer*, dan *dump truck* dan menunjukkan bahwa perbedaan jumlah alat berpengaruh langsung terhadap waktu serta biaya sewa. (Novty, 2018) menganalisis efisiensi *dump truck* pada kombinasi alat berat dan menemukan bahwa pengaturan jumlah kendaraan angkut dapat mengurangi *idle time* dalam sistem pemindahan tanah. (Putri and Soebandono, 2024) juga menunjukkan bahwa perubahan kombinasi jumlah alat dapat mempercepat pekerjaan galian dan timbunan karena produktivitas sistem meningkat ketika kapasitas alat lebih sesuai dengan target proyek.

Temuan yang lebih mutakhir memperlihatkan pola yang konsisten. (Siregar and Pasaribu, 2021) serta (Wardani and Firmansyah, 2021) menunjukkan bahwa produktivitas *excavator* dan *dump truck* perlu ditetapkan dari kondisi lapangan dan waktu siklus, sementara (Efriansyah, Prihutomo and Pramono, 2022) dan (Rafi and Witjaksana, 2023) mengaitkan ketidakseimbangan produktivitas dengan perubahan durasi dan biaya. (Nuzola, Herni and Kurniawan, 2023) serta (Kahandanie and Kartika, 2025) memperlihatkan bahwa pilihan kombinasi alat pada pekerjaan galian dan timbunan dapat menghasilkan perbedaan waktu dan biaya, sedangkan (Daffa and Zhafirah, 2026) menegaskan pentingnya evaluasi produktivitas, *cycle time*, dan biaya operasional pada pekerjaan timbunan (Listyawan *et al.*, 2021) juga menunjukkan bahwa produktivitas aktual dapat berbeda dari nilai rencana, sehingga evaluasi lapangan tetap diperlukan. Keseluruhan temuan tersebut memperkuat kebutuhan menilai produktivitas sebagai sistem alat yang saling bergantung.

Meskipun penelitian terdahulu banyak menekankan perubahan jumlah alat, kondisi pada Proyek Sumedang Industrial Polis memerlukan evaluasi yang berbeda. Proyek memiliki konfigurasi alat yang sudah tersedia, sehingga pertanyaan utamanya adalah apakah percepatan durasi dari 120 hari menjadi 90 hari masih dapat dipenuhi dengan konfigurasi yang sama. Analisis perlu melihat batas kapasitas setiap alat dan hubungan antaralat, bukan sekadar mengasumsikan bahwa percepatan selalu memerlukan unit tambahan.

Objek penelitian adalah pekerjaan galian dan timbunan pada Sumedang Industrial Polis di Desa Ciawitali, Kecamatan Buahdua, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. Volume galian dalam kondisi asli sebesar 48.944 m³, sedangkan volume timbunan sebesar 45.501 m³. Untuk kebutuhan analisis pemindahan material, volume tanah kondisi lepas yang digunakan adalah 61.180 m³. Alat utama yang ditinjau meliputi *excavator* Kobelco SK 200, *dump truck* Hino Dutro 130 HD berkapasitas 7 m³, dan *bulldozer* Komatsu D65E. Spesifikasi dasar alat mengacu pada dokumen teknis pabrikan yang digunakan di dalam naskah sumber (Komatsu Indonesia, 2016; PT Daya Kobelco Construction Machinery Indonesia, 2016; Hino Indonesia, 2020). Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan menghitung produktivitas masing-masing alat berat, menentukan kebutuhan jumlah unit, menghitung durasi penyelesaian, memperkirakan biaya operasional, dan membandingkan skenario 120 hari dengan 90 hari. Analisis difokuskan pada kondisi kerja normal dengan jam kerja efektif 8 jam per hari dan tidak memasukkan gangguan ekstrem seperti bencana, kerusakan alat mendadak, maupun perubahan besar kondisi lapangan. Hasilnya diharapkan memberikan dasar teknis untuk menilai apakah percepatan jadwal dapat dilakukan secara ekonomis dengan konfigurasi alat yang tetap.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan analisis teknis terhadap kinerja alat berat. Data proyek berasal dari pekerjaan galian dan timbunan Sumedang Industrial Polis yang dimiliki oleh (PT Sukses Perdana Andalan, 2026). Subjek analisis adalah produktivitas dan biaya penggunaan alat berat, sedangkan objek analisis adalah rangkaian pekerjaan penggalian, pemuatan, pengangkutan, dan perataan material. Perbandingan dilakukan terhadap dua skenario durasi, yaitu 120 hari sebagai kondisi eksisting dan 90 hari sebagai skenario percepatan. Data primer diperoleh melalui pengamatan lapangan terhadap waktu siklus alat, terutama *excavator*, serta kondisi operasi yang memengaruhi produktivitas. Data sekunder meliputi volume pekerjaan, spesifikasi alat berat, kapasitas alat, jarak angkut, jam kerja, harga atau biaya alat, upah operator, bahan bakar, serta dokumen pendukung proyek. Pada tahap pengolahan, data terlebih dahulu diseragamkan satuannya sebelum digunakan untuk menghitung produksi per siklus, produksi per jam, produksi per hari, kebutuhan unit, durasi penyelesaian, dan biaya operasional. Karakteristik utama proyek yang menjadi dasar analisis diringkas pada Tabel 1. Penyajian ini diperlukan agar hubungan antara volume pekerjaan, waktu kerja, dan konfigurasi alat dapat dilihat sebelum masuk ke tahap perhitungan produktivitas.

Tabel 1. Data dasar proyek dan peralatan utama

Parameter	Nilai
Lokasi proyek	Desa Ciawitali, Kecamatan Buahdua, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat
Luas proyek	2 hektar
Volume galian kondisi asli	48.944 m ³
Volume timbunan	45.501 m ³
Volume tanah kondisi lepas untuk analisis	61.180 m ³
Jam kerja efektif	8 jam/hari
<i>Excavator</i>	Kobelco SK 200, kapasitas <i>bucket</i> 0,93 m ³
<i>Dump truck</i>	Hino Dutro 130 HD, kapasitas 7 m ³
<i>Bulldozer</i>	Komatsu D65E, kapasitas <i>blade</i> hingga 5,6 m ³
Skenario durasi	120 hari dan 90 hari

Sumber: PT Sukses Perdana Andalan (2026), Hino Indonesia (2020), Komatsu Indonesia (2016), dan PT Daya Kobelco Construction Machinery Indonesia (2016).

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa volume tanah yang harus ditangani cukup besar dan memerlukan kesinambungan antara alat gali, alat angkut, dan alat dorong. Konfigurasi alat dianalisis sebagai satu sistem

sehingga kebutuhan satu alat ditentukan dengan mempertimbangkan kemampuan alat lain yang menjadi pengendali produksi.

Lokasi proyek dan kondisi umum area pekerjaan ditunjukkan pada Gambar 1. Gambar ini digunakan sebagai konteks visual untuk menunjukkan karakter pekerjaan pematangan lahan yang menjadi dasar pengamatan produktivitas.



Gambar 1. Kondisi lokasi Proyek Sumedang Industrial Polis
Sumber: PT Sukses Perdana Andalan (2026).

Area yang relatif luas membutuhkan pengaturan jalur pergerakan alat agar jarak tempuh, waktu tunggu, dan potensi konflik antaralat dapat diminimalkan. Karena penelitian dibatasi pada kondisi operasi normal, variasi cuaca ekstrem dan gangguan tak terencana tidak dimasukkan ke dalam perhitungan skenario.

Perhitungan *excavator* diawali dari produksi per siklus. Kapasitas aktual material dalam *bucket* diperoleh dari kapasitas munjung dikalikan faktor *bucket*. Selanjutnya produktivitas per jam ditentukan dari volume per siklus, jumlah siklus per jam, dan efisiensi kerja. Bentuk umum perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$q = q' \times K \quad (1)$$

$$Q = (q \times 60 \times E) / C_m \quad (2)$$

Pada persamaan tersebut, q adalah produksi per siklus, q' adalah kapasitas *bucket* sesuai spesifikasi, K adalah faktor *bucket*, Q adalah produktivitas per jam, E adalah efisiensi kerja, dan C_m adalah *cycle time* dalam menit. Nilai waktu siklus *excavator* diperoleh dari pengamatan komponen waktu gali, putar bermuatan, buang, dan putar kosong.

Dump truck dihitung berdasarkan kapasitas angkut, jumlah siklus pemuatan, waktu pemuatan, waktu perjalanan bermuatan, waktu pembuangan, waktu kembali dalam kondisi kosong, dan waktu posisi. Kebutuhan jumlah *dump truck* kemudian diperoleh dengan membandingkan *site output excavator* terhadap produktivitas satu unit *dump truck*. Prinsip yang sama digunakan untuk menentukan kebutuhan *bulldozer*, yaitu membandingkan kebutuhan produksi sistem terhadap kemampuan produksi alat per hari.

$$\text{Kebutuhan alat} = \text{Target produksi} / \text{Produktivitas alat} \quad (3)$$

Biaya operasional tiap jenis alat dihitung berdasarkan jumlah unit, jam operasi yang digunakan, dan biaya operasi per jam. Total biaya sistem merupakan penjumlahan biaya *excavator*, *dump truck*, dan *bulldozer*. Perhitungan perbandingan biaya pada penelitian ini menggunakan komponen operasional yang konsisten pada kedua skenario agar perubahan yang terjadi dapat ditelusuri terutama pada perubahan jam kerja.

$$\text{Biaya Alat} = \text{Jumlah Unit} \times \text{Jam Operasi} \times \text{Biaya Operasi Per Jam} \quad (4)$$

Skenario 120 hari dan 90 hari dibandingkan pada empat indikator, yaitu produktivitas efektif yang dibutuhkan, jumlah unit, total jam kerja, dan biaya operasional. Skenario dinilai *feasible* apabila produktivitas efektif yang dibutuhkan tidak melampaui kapasitas dasar alat dan kombinasi alat pendukung masih mampu mengikuti *site output* alat utama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Operasi dan Waktu Siklus

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa *excavator* menjadi alat utama yang mengendalikan aliran material pada tahap penggalian dan pemuatan. Waktu siklus lapangan diamati selama tiga hari. Setiap siklus terdiri atas waktu gali, putar bermuatan, buang, dan putar kosong. Ringkasan pengamatan disajikan pada Tabel 2 sebelum nilai rata-ratanya digunakan pada perhitungan produktivitas.

Tabel 2. Hasil pengamatan *cycle time excavator*

Hari	Waktu gali (detik)	Putar bermuatan (detik)	Waktu buang (detik)	Putar kosong (detik)	Total (detik)
Hari ke-1	8	4	3	4	19
Hari ke-2	8	5	3	3	19
Hari ke-3	9	4	2	4	19
Rata-rata	8,33	4,33	2,67	3,67	19,00

Sumber: hasil pengamatan lapangan (2026).

Rata-rata *cycle time* sebesar 19 detik menunjukkan bahwa satu siklus *excavator* berlangsung relatif singkat pada kondisi pengamatan. Variasi antarhari juga kecil, sehingga nilai rata-rata dapat digunakan sebagai dasar perhitungan skenario. Konsistensi ini penting karena perubahan beberapa detik pada satu siklus dapat terakumulasi menjadi perbedaan produksi yang besar ketika alat bekerja ratusan siklus dalam satu hari.

Dokumentasi alat gali pada lokasi pekerjaan ditampilkan pada Gambar 2. Foto lapangan memperlihatkan *excavator* dalam kegiatan penggalian material, yaitu tahapan yang menentukan kontinuitas pemuatan *dump truck*.



Gambar 2. *Excavator* pada pekerjaan galian di lokasi proyek

Sumber: dokumentasi proyek (2026).

Kondisi lapangan pada Gambar 2 mendukung penggunaan *excavator* beroda rantai untuk pekerjaan penggalian karena alat membutuhkan stabilitas saat *bucket* menggali dan berputar. Namun, produktivitas aktual tetap bergantung pada posisi alat terhadap material, sudut *swing*, kepadatan material, dan kesiapan *dump truck* di titik pemuatan.

Produktivitas *Excavator*

Excavator Kobelco SK 200 menggunakan kapasitas *bucket* 0,93 m³ dan faktor *bucket* 0,80, sehingga produksi per siklus sebesar 0,744 m³. Dengan efisiensi kerja 0,75 dan *cycle time* rata-rata 19 detik, produktivitas dasar alat diperoleh sebesar 105,727 m³/jam. Nilai ini merupakan kapasitas teknis yang tersedia pada kedua skenario karena spesifikasi alat, faktor *bucket*, efisiensi, dan waktu siklus tidak berubah.

Perbedaan muncul pada produktivitas efektif yang harus dicapai. Volume tanah kondisi lepas yang harus ditangani sebesar 61.180 m³. Pada skenario 120 hari dengan 8 jam kerja per hari, waktu tersedia adalah 960 jam sehingga kebutuhan produktivitas efektif sebesar 63,730 m³/jam. Pada skenario 90 hari, waktu tersedia turun menjadi 720 jam dan kebutuhan produktivitas meningkat menjadi 84,972 m³/jam. Perbandingan terperinci disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan produktivitas *excavator* pada skenario 120 dan 90 hari

Uraian	Satuan	120 Hari	90 Hari	Keterangan
Produksi per siklus	m ³ /siklus	0,744	0,744	Tetap
Produktivitas dasar <i>excavator</i>	m ³ /jam	105,727	105,727	Tetap
Volume tanah kondisi lepas	m ³	61.180	61.180	Tetap
Jam kerja tersedia	jam	960	720	Berkurang 240 jam
Produktivitas efektif yang dibutuhkan	m ³ /jam	63,730	84,972	Naik sekitar 33,33%
Kebutuhan <i>excavator</i>	unit	0,602 $\approx$ 1	0,804 $\approx$ 1	Tetap 1 unit
<i>Site output</i> per hari	m ³ /hari	509,840	679,778	Naik sekitar 33,33%
Durasi penyelesaian	hari	120	90	Lebih cepat 30 hari

Sumber: hasil analisis penelitian (2026).

Tabel 3 memperlihatkan bahwa percepatan 30 hari tidak mengubah produktivitas dasar alat, tetapi meningkatkan proporsi kapasitas yang harus dimanfaatkan. Pada skenario 120 hari, kebutuhan 63,730 m³/jam setara sekitar 60% dari kapasitas dasar 105,727 m³/jam. Pada skenario 90 hari, kebutuhan meningkat menjadi sekitar 80% dari kapasitas dasar. Kedua nilai masih berada di bawah kemampuan alat, sehingga satu unit *excavator* secara matematis masih memadai.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa percepatan jadwal dapat dicapai tanpa penambahan *excavator* selama *cycle time* dan faktor efisiensi yang digunakan dapat dipertahankan. Risiko utama pada skenario 90 hari adalah berkurangnya toleransi terhadap gangguan operasi. Ketika kebutuhan pemanfaatan kapasitas menjadi lebih tinggi, waktu henti karena antrean *dump truck*, perawatan, keterlambatan operator, atau gangguan akses akan lebih cepat memengaruhi pencapaian target harian. Dengan demikian, percepatan memerlukan disiplin operasi yang lebih ketat meskipun jumlah unit tetap.

Produktivitas dan Kebutuhan *Dump Truck*

Dump truck Hino Dutro 130 HD dianalisis dengan kapasitas bak 7 m³, efisiensi kerja 0,75, jarak angkut 1 km, kecepatan rata-rata 20 km/jam saat bermuatan, dan 30 km/jam saat kosong. Berdasarkan kombinasi waktu pemuatan, perjalanan, pembuangan, dan kembali, *cycle time dump truck* sebesar 11,74 menit. Produktivitas satu unit diperoleh 28,518 m³/jam atau 228,144 m³/hari.

Jumlah *dump truck* ditentukan dengan membandingkan *site output excavator* dengan produktivitas harian satu kendaraan. Pada skenario 120 hari, kebutuhan teoritis sebesar 2,235 unit dan dibulatkan menjadi 3 unit. Pada skenario 90 hari, kebutuhan naik menjadi 2,979 unit dan tetap dibulatkan menjadi 3 unit. Artinya, percepatan durasi belum melewati batas yang mengharuskan penambahan kendaraan angkut. Rincian perbandingan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan produktivitas dan kebutuhan *dump truck*

Uraian	Satuan	120 Hari	90 Hari	Keterangan
Kapasitas <i>dump truck</i>	m ³	7,00	7,00	Tetap
<i>Cycle time dump truck</i>	menit	11,74	11,74	Tetap
Produktivitas 1 <i>dump truck</i>	m ³ /jam	28,518	28,518	Tetap
Produktivitas 1 <i>dump truck</i> per hari	m ³ /hari	228,144	228,144	Tetap
<i>Site output excavator</i>	m ³ /hari	509,840	679,778	Naik 33,33%
Kebutuhan <i>dump truck</i>	unit	2,235 $\approx$ 3	2,979 $\approx$ 3	Tetap 3 unit
Volume tanah lepas	m ³	61.180	61.180	Tetap

Sumber: hasil analisis penelitian (2026).

Pada skenario 90 hari, nilai kebutuhan 2,979 unit sangat dekat dengan kapasitas penuh tiga unit. Hal ini berarti armada *dump truck* menjadi lebih sensitif terhadap gangguan dibandingkan skenario 120 hari. Jika satu unit berhenti, kemampuan angkut sistem akan turun signifikan dan *excavator* berpotensi menunggu. Oleh karena itu, meskipun perhitungan jumlah unit tidak berubah, pengaturan antrian, kesiapan pengemudi, kondisi jalan angkut, dan pemeliharaan kendaraan menjadi faktor yang sangat penting pada skenario percepatan.

Temuan ini sejalan dengan (Novty, 2018) yang menekankan bahwa efisiensi *dump truck* bergantung pada keseimbangan kombinasi alat dan pengendalian *idle time*. Perbedaannya, penelitian ini tidak mencari jumlah *dump truck* minimum dari banyak alternatif, tetapi memeriksa apakah tiga unit yang tersedia masih mampu mengikuti peningkatan *site output excavator* ketika durasi dipersingkat. Hasil menunjukkan bahwa tiga unit masih cukup secara matematis, tetapi margin kapasitasnya sangat kecil pada skenario 90 hari.

Produktivitas dan Kebutuhan Bulldozer

Bulldozer Komatsu D65E dianalisis menggunakan lebar *blade* 3,415 m, tinggi *blade* 1,225 m, faktor *blade* 1, jarak dorong 50 m, serta waktu tetap 0,10 menit. Kecepatan maju dan mundur dikonversi ke satuan yang digunakan dalam perhitungan waktu siklus. Dari parameter tersebut diperoleh produksi per siklus 5,126 m³ dan *cycle time* 2,138 menit. Setelah memperhitungkan efisiensi dan faktor konversi tanah, produktivitas *bulldozer* sebesar 134,864 m³/jam atau 1.078,912 m³/hari.

Kapasitas harian *bulldozer* lebih tinggi daripada *site output excavator* pada kedua skenario. Kebutuhan teoritis pada skenario 120 hari hanya 0,473 unit dan pada skenario 90 hari sebesar 0,630 unit, sehingga keduanya dibulatkan menjadi satu unit. Berdasarkan volume tanah 61.180 m³, *bulldozer* secara teoritis dapat menyelesaikan pekerjaan yang menjadi tanggung jawabnya dalam sekitar 57 hari. Hasil perbandingan ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan produktivitas dan kebutuhan *bulldozer*

Uraian	Satuan	120 Hari	90 Hari	Keterangan
Produksi per siklus	m ³	5,126	5,126	Tetap
<i>Cycle time</i>	menit	2,138	2,138	Tetap
Produktivitas <i>bulldozer</i>	m ³ /jam	134,864	134,864	Tetap
Produktivitas per hari	m ³ /hari	1.078,912	1.078,912	Tetap
<i>Site output excavator</i>	m ³ /hari	509,840	679,778	Naik 33,33%
Kebutuhan <i>bulldozer</i>	unit	0,473 ≈ 1	0,630 ≈ 1	Tetap 1 unit
Durasi teoritis berdasarkan produktivitas	hari	≈57	≈57	Kapasitas sama

Sumber: hasil analisis penelitian (2026).

Tabel 5 menunjukkan bahwa *bulldozer* memiliki cadangan kapasitas terbesar dibandingkan alat lain. *Site output* pada skenario 90 hari masih sekitar 63% dari kapasitas harian *bulldozer*. Dengan demikian, alat ini bukan pembatas utama durasi selama kondisi kerja dan jarak dorong tetap sesuai asumsi. Cadangan tersebut juga memungkinkan *bulldozer* menyerap variasi produksi harian *excavator* selama tidak terjadi perubahan besar pada kondisi material atau area penyebaran.

Hasil ini memperkuat pentingnya melihat alat berat sebagai sistem. Penambahan *bulldozer* tidak memberikan keuntungan langsung apabila *excavator* dan *dump truck* tetap menjadi pengendali aliran material. Sebaliknya, memastikan *bulldozer* tersedia ketika material tiba di area timbunan akan mencegah terbentuknya penumpukan yang dapat mengganggu jalur *dump truck* dan pada akhirnya menurunkan produktivitas rangkaian alat.

Keseimbangan Alat dan Implikasi Percepatan Durasi

Berdasarkan ketiga analisis produktivitas, konfigurasi 1 unit *excavator*, 3 unit *dump truck*, dan 1 unit *bulldozer* tetap memenuhi kedua skenario. *Excavator* memiliki kapasitas dasar yang cukup, *dump truck* tepat mendekati kebutuhan pada skenario 90 hari, sedangkan *bulldozer* memiliki cadangan kapasitas yang relatif besar. Oleh sebab itu, titik kritis sistem berada pada kemampuan mempertahankan ritme pemuatan dan pengangkutan agar *excavator* tidak kehilangan waktu produktif.

Skenario 120 hari memberikan ruang operasi yang lebih longgar karena produktivitas efektif *excavator* yang dibutuhkan hanya 63,730 m³/jam. Dalam kondisi ini, variasi kecil pada *cycle time* atau waktu tunggu masih dapat ditoleransi tanpa langsung menyebabkan keterlambatan. Pada skenario 90 hari, kebutuhan naik menjadi 84,972 m³/jam. Kenaikan sekitar 33,33% bukan berasal dari perubahan kemampuan alat, melainkan dari penurunan waktu tersedia untuk menyelesaikan volume yang sama. Konsep ini penting karena sering terjadi kekeliruan dalam membedakan produktivitas dasar alat dan produktivitas target proyek.

(Putri and Soebandono, 2024) menunjukkan bahwa penambahan jumlah alat dapat mempercepat pekerjaan ketika kapasitas armada lapangan tidak mampu memenuhi target. Pada penelitian ini, kebutuhan jumlah alat tidak bertambah karena kapasitas awal masih memadai. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa keputusan menambah alat seharusnya didasarkan pada perbandingan kapasitas dan target, bukan hanya pada keinginan memperpendek jadwal. Jika target masih berada di bawah kapasitas sistem, optimasi waktu kerja dapat lebih ekonomis daripada menambah unit.

(Kusumo *et al.*, 2022) juga menunjukkan bahwa jumlah dan kombinasi alat berpengaruh terhadap biaya dan waktu. Prinsip yang sama terlihat pada penelitian ini, tetapi optimasi terjadi melalui pemanfaatan konfigurasi yang sudah ada. Pada skenario 90 hari, kombinasi alat tetap sama, namun tingkat utilisasi *excavator* dan *dump truck* meningkat. Dengan demikian, pengendalian operasional menjadi lebih penting daripada perubahan komposisi armada.

Secara praktis, pengendalian pada skenario 90 hari perlu diarahkan pada pengurangan *idle time*, pemeriksaan alat sebelum operasi, pemeliharaan preventif, kesiapan bahan bakar, penataan jalur angkut, dan koordinasi pengemudi. Ketika tiga *dump truck* bekerja mendekati kapasitas yang dibutuhkan, keterlambatan satu siklus akan lebih cepat membentuk antrian atau membuat *excavator* menunggu. Pengelolaan tersebut tidak mengubah angka kapasitas teoritis, tetapi menentukan apakah produktivitas efektif dapat dipertahankan selama proyek berlangsung.

Perbandingan Biaya Operasional

Perbedaan durasi menyebabkan perubahan jam operasi *excavator*, sedangkan jam operasi *dump truck* dan *bulldozer* pada perhitungan biaya tetap. Biaya operasi per jam yang digunakan dalam naskah sumber adalah Rp1.281.658 untuk *excavator*, Rp945.360 untuk *dump truck*, dan Rp1.244.983 untuk *bulldozer*. Pada skenario 120 hari, *excavator* bekerja 960 jam, sedangkan pada skenario 90 hari jam kerja *excavator* menjadi 720 jam. Perubahan inilah yang menghasilkan selisih biaya utama.

Rekapitulasi biaya operasional alat berat pada kedua skenario disajikan pada Tabel 6. Tabel hanya memuat biaya alat yang digunakan untuk perbandingan langsung dan tidak memasukkan komponen PPN maupun *profit* agar konsisten dengan simpulan penelitian mengenai biaya operasional.

Tabel 6. Perbandingan biaya operasional alat berat

Uraian	120 Hari (Rp)	90 Hari (Rp)	Selisih (Rp)	Keterangan
Biaya <i>excavator</i>	1.230.391.680	922.793.760	307.597.920	Lebih rendah
Biaya <i>dump truck</i>	2.041.977.600	2.041.977.600	0	Tetap
Biaya <i>bulldozer</i>	567.712.248	567.712.248	0	Tetap
Total	3.840.081.528	3.532.483.608	307.597.920	Lebih rendah

Sumber: hasil analisis penelitian (2026).

Tabel 6 menunjukkan total biaya operasional turun dari Rp3.840.081.528 menjadi Rp3.532.483.608. Selisih Rp307.597.920 setara sekitar 8,01% dari biaya pada skenario 120 hari. Seluruh penghematan berasal dari pengurangan jam operasi *excavator*. Biaya *dump truck* dan *bulldozer* tidak berubah karena jam kerja yang digunakan dalam perhitungan kedua alat tersebut tetap berdasarkan kebutuhan produktivitasnya.

Hasil ini menegaskan bahwa hubungan durasi dan biaya bergantung pada struktur penggunaan alat. Percepatan jadwal tidak otomatis meningkatkan biaya apabila dilakukan dengan mengurangi waktu operasi alat yang menjadi pengendali dan tanpa menambah unit. Dalam kasus ini, satu *excavator* masih memiliki kapasitas yang cukup untuk mencapai target 90 hari. Karena jumlah *dump truck* dan *bulldozer* tetap, total biaya kedua alat juga tetap. Dengan demikian, penghematan berasal dari waktu penggunaan *excavator* yang lebih singkat.

Namun, interpretasi biaya perlu memperhatikan batasan analisis. Perhitungan dilakukan untuk kondisi operasi normal dan tidak memasukkan biaya akibat risiko percepatan, seperti lembur tambahan, kerusakan alat, kehilangan produktivitas karena cuaca, atau biaya manajemen proyek secara keseluruhan. Oleh karena itu, angka penghematan menggambarkan potensi berdasarkan asumsi teknis yang digunakan, bukan jaminan bahwa seluruh kondisi lapangan akan selalu menghasilkan penghematan yang sama.

Pembahasan Terpadu

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan jadwal dari 120 menjadi 90 hari lebih merupakan persoalan peningkatan utilisasi daripada peningkatan kapasitas alat. Produktivitas dasar *excavator*, *dump truck*, dan *bulldozer* tidak berubah karena spesifikasi dan *cycle time* yang digunakan tetap. Yang berubah adalah kebutuhan produksi per satuan waktu. Pada kondisi tersebut, pendekatan yang tepat adalah memeriksa apakah kapasitas yang tersedia masih lebih tinggi daripada kebutuhan baru, kemudian menguji apakah alat pendukung mampu mempertahankan aliran kerja.

(Rostiyanti, 2002) dan (Wilopo, 2009) menempatkan pemilihan serta pengelolaan alat sebagai bagian penting dari efisiensi proyek. Hasil penelitian ini menunjukkan penerapan prinsip tersebut pada keputusan percepatan jadwal. Satu unit *excavator* tidak perlu ditambah karena kapasitasnya 105,727 m³/jam, sementara kebutuhan tertinggi hanya 84,972 m³/jam. Tiga *dump truck* masih cukup karena kebutuhan teoritis 2,979 unit, dan satu *bulldozer* masih mempunyai kapasitas lebih besar daripada *site output* harian. Dengan demikian, keputusan jumlah alat didasarkan pada keseimbangan kapasitas, bukan pada jumlah hari secara langsung.

Dari sisi manajemen operasi, *dump truck* menjadi titik yang paling perlu diawasi pada skenario 90 hari karena kebutuhan 2,979 unit praktis menggunakan hampir seluruh kapasitas tiga unit. Hal ini konsisten dengan temuan (Novty, 2018) bahwa pengaturan *dump truck* dan *idle time* sangat berpengaruh terhadap efisiensi kombinasi alat. Bila satu kendaraan mengalami gangguan, kapasitas angkut dapat turun di bawah kebutuhan *site output* sehingga *excavator* berpotensi kehilangan waktu produktif. Oleh sebab itu, hasil matematis tiga unit harus diikuti strategi pemeliharaan dan kesiapan operasional yang memadai.

Hasil penelitian juga memperlihatkan bahwa *bulldozer* tidak menjadi alat kritis pada konfigurasi yang dianalisis. Kapasitas harian 1.078,912 m³/hari jauh di atas kebutuhan *site output* 679,778 m³/hari pada skenario 90 hari. Ketersediaan cadangan kapasitas dapat digunakan untuk menangani fluktuasi produksi atau pekerjaan perataan tambahan. Meskipun demikian, peran *bulldozer* tetap penting karena keterlambatan penyebaran material dapat menghambat ruang gerak *dump truck* dan menurunkan efektivitas sistem secara tidak langsung.

Perbandingan dengan (Putri and Soebandono, 2024) memperlihatkan bahwa kebutuhan penambahan alat sangat kontekstual. Pada proyek mereka, peningkatan jumlah alat diperlukan untuk mempersingkat durasi karena produktivitas lapangan belum memadai. Pada Proyek Sumedang Industrial Polis, alat yang tersedia masih memiliki kapasitas untuk skenario 90 hari sehingga penambahan unit tidak diperlukan. Perbedaan ini menegaskan perlunya perhitungan berbasis data sebelum mengambil keputusan investasi atau sewa alat tambahan.

Dari sisi biaya, percepatan memberikan keuntungan karena jam operasi *excavator* berkurang 240 jam dan menghasilkan penghematan Rp307.597.920. Hasil ini menguatkan bahwa optimasi alat perlu melihat biaya per jam dan total durasi pemakaian. Apabila percepatan dilakukan dengan penambahan alat yang tidak diperlukan, biaya justru dapat meningkat. Sebaliknya, ketika kapasitas alat yang sama masih mencukupi, pemendekan durasi dapat mengurangi biaya pemakaian alat tertentu.

Implikasi utama penelitian adalah bahwa skenario 90 hari dapat digunakan sebagai alternatif selama asumsi produktivitas dipertahankan. Kelayakan tersebut bergantung pada konsistensi *cycle time excavator*, ketersediaan tiga *dump truck*, kesiapan *bulldozer*, dan pengendalian gangguan operasi. Evaluasi lapangan tetap perlu dilakukan secara harian karena perubahan cuaca, kondisi jalan angkut, keausan alat, atau keterampilan operator dapat menurunkan produktivitas aktual dari nilai perhitungan.

Keterbatasan penelitian berasal dari penggunaan dua skenario durasi dan asumsi kondisi operasi normal. Analisis belum memasukkan simulasi probabilistik terhadap kerusakan alat, variasi jarak angkut, antrean *dump truck* yang berubah, atau perubahan kondisi material. Selain itu, biaya yang dibandingkan berfokus pada biaya operasional alat sesuai naskah sumber. Penelitian selanjutnya dapat memperluas analisis dengan

memasukkan *availability* alat, variasi *cycle time*, biaya risiko percepatan, dan beberapa alternatif kombinasi alat untuk memperoleh keputusan yang lebih adaptif terhadap kondisi lapangan.

SIMPULAN

Analisis menunjukkan bahwa produktivitas dasar alat pada kedua skenario tetap, yaitu *excavator* 105,727 m³/jam, *dump truck* 28,518 m³/jam per unit, dan *bulldozer* 134,864 m³/jam. Percepatan durasi dari 120 hari menjadi 90 hari meningkatkan kebutuhan produktivitas efektif *excavator* dari 63,730 menjadi 84,972 m³/jam dan *site output* dari 509,840 menjadi 679,778 m³/hari. Meskipun target meningkat sekitar 33,33%, kebutuhan alat tidak berubah, yaitu 1 unit *excavator*, 3 unit *dump truck*, dan 1 unit *bulldozer*. Kapasitas *bulldozer* masih memiliki cadangan yang cukup, sedangkan tiga *dump truck* berada sangat dekat dengan kebutuhan maksimum pada skenario 90 hari sehingga pengendalian waktu tunggu dan kesiapan unit menjadi penting.

Dari aspek biaya, skenario 90 hari menghasilkan total biaya operasional Rp3.532.483.608, lebih rendah daripada skenario 120 hari sebesar Rp3.840.081.528. Penghematan sebesar Rp307.597.920 atau sekitar 8,01% terutama berasal dari pengurangan 240 jam operasi *excavator*. Berdasarkan asumsi kondisi kerja normal yang digunakan dalam penelitian, skenario 90 hari dapat dipertimbangkan sebagai alternatif pelaksanaan karena mampu mempersingkat waktu dengan konfigurasi alat yang sama sekaligus menurunkan biaya operasional. Penerapannya tetap memerlukan pemeliharaan rutin, koordinasi *excavator* dan *dump truck*, pengendalian *idle time*, serta evaluasi kondisi lapangan agar produktivitas aktual tidak turun di bawah target.

DAFTAR PUSTAKA

- Daffa, M.A.D. and Zhafirah, A. (2026) "Analisis produktivitas alat berat pada pekerjaan timbunan untuk proyek infrastruktur irigasi," *Jurnal Konstruksi*, 24(1), pp. 707–714. Available at: <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.24-1.2021>.
- Efriansyah, M., Prihutomo, N.B. and Pramono, E. (2022) "Analisis produktivitas excavator dan dumptruck pada pekerjaan galian tanah pada proyek Jalan Tol Jakarta--Cikampek II Selatan," *Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil (MoDuluS)*, 4(1), pp. 9–15. Available at: <https://doi.org/10.32585/modulus.v4i1.1823>.
- Hino Indonesia (2020) "Spesifikasi Hino Dutro 130 HD 7 m3."
- Kahandanie, F. and Kartika, D.M.R. (2025) "Optimalisasi produktivitas alat berat galian dan timbunan konstruksi perumahan Balikpapan," *Jurnal Multidisiplin Dehasen (MUDE)*, 4(2), pp. 309–318. Available at: <https://doi.org/10.37676/mude.v4i2.8262>.
- Komatsu Indonesia (2016) "Spesifikasi bulldozer Komatsu D65E."
- Kusumo, A.T.H. et al. (2022) "Analisis pemilihan alat berat dalam pekerjaan galian dan timbunan proyek Bendungan Bener," *Equilib*, 3(1), pp. 55–64.
- Listyawan, A.B. et al. (2021) "Analisis produktivitas alat berat dan biaya pekerjaan pemindahan tanah pada pembangunan RSUD Pondok Aren Tangerang Selatan," *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 14(1), pp. 8–12. Available at: <https://doi.org/10.23917/dts.v14i1.15272>.
- Novty, T. (2018) "Analisis efisiensi dump truck pada kombinasi alat berat pekerjaan galian dan timbunan tanah."
- Nuzola, M., Herni, M. and Kurniawan, S. (2023) "Produktivitas alat berat pada galian dan timbunan," *JUMATISI: Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, 4(1), pp. 266–271. Available at: <https://doi.org/10.24127/jumatisi.v4i1.4020>.
- PT Daya Kobelco Construction Machinery Indonesia (2016) "Spesifikasi excavator Kobelco SK 200."
- PT Sukses Perdana Andalan (2026) "Data proyek pembangunan Sumedang Industrial Polis."
- Putri, K.S. and Soebandono, B. (2024) "Produktivitas alat berat pada pekerjaan galian dan timbunan Embung IKN Nusantara," *Bulletin of Civil Engineering*, 4(2). Available at: <https://doi.org/10.18196/bce.v4i2.25852>.
- Rafi, Y.F. and Witjaksana, B. (2023) "Productivity analysis of excavator and dump truck heavy equipment on digging and loading works flood control Afvoer Watudakon Mojokerto," *Jurnal Teknik Sipil*, 23(2), pp. 205–210. Available at: <https://doi.org/10.26418/jtst.v23i2.61025>.
- Rochmanhadi (1986) *Alat-alat berat dan penggunaannya*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Rostiyanti, S.F. (2002) *Alat berat untuk proyek konstruksi*. Rineka Cipta.

- Siregar, S.Y. and Pasaribu, H.M. (2021) “Analisis produktivitas alat berat pada pekerjaan galian Gedung Pusdiklat Prasadha Jinadhammo,” *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Agregat*, 1(2), pp. 63–71. Available at: <https://doi.org/10.51510/agregat.v1i2.515>.
- Suryadharma, H. and Wigroho, H.Y. (1998) *Alat-alat berat*. Cahaya Atma Pustaka.
- Wardani, L.M.I. and Firmansyah, R. (2021) *Work-Life Balance Para Pekerja Buruh*. PT Nasya Expanding Management.
- Wilopo, D. (2009) *Metode konstruksi dan alat-alat berat*. UI Press.