



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 25600-25610

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Analisis Optimasi Durasi dan Alokasi Tenaga Kerja Menggunakan Metode Crashing dan Resource Leveling (Studi Kasus Pembangunan Gedung Inspektorat Provinsi Kalimantan Selatan)

Muhammad Zidane Ramadhan, Agung Budiwirawan

Teknik Sipil, Universitas Negeri Semarang

zidaneramadhan23@gmail.com

Abstract

Construction projects in the building sector frequently encounter scheduling deviations caused by supply chain disruptions or unforeseen technical constraints. In the case of the Inspectorate Building Construction Project of South Kalimantan Province—executed by PT. Megatama Karya with a contract value of Rp 19,000,000,000—a critical delay occurred during the pile driving phase, necessitating schedule acceleration. This study aims to analyze and optimize project duration and labor allocation by integrating schedule crashing and resource leveling methods, modeled using Microsoft Project 2016. The research employs a quantitative approach, utilizing secondary data comprising the Bill of Quantities (BOQ), work volume, and SNI-based labor coefficients. Three scheduling scenarios were simulated: (1) Normal (baseline), with project completion on March 9, 2026; (2) Crashing, with completion advanced to December 23, 2025, but resulting in extreme overallocation peaking at 110 unskilled laborers per day; and (3) Integrated Crashing + Leveling, which produced an optimal completion date of February 4, 2026—33 days earlier than the baseline—while maintaining labor demand within the contractor's maximum capacity of 55 unskilled laborers, 60 carpenters, 40 steel workers, and 15 masons. The integration of both methods proved effective in achieving time efficiency while ensuring stable and feasible resource allocation.

Keywords: Crashing, Resource Leveling, Labor Workforce, Project Scheduling, Microsoft Project.

1. Pendahuluan

Sektor konstruksi merupakan salah satu pilar penting perekonomian nasional. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik [1], kontribusi sektor konstruksi terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia secara konsisten berada di atas 10% dalam tiga tahun terakhir. Namun di balik kontribusi besar tersebut, industri konstruksi di Indonesia masih menghadapi tantangan serius dalam hal manajemen waktu dan sumber daya. Berbagai studi melaporkan bahwa lebih dari 70% proyek konstruksi di negara berkembang mengalami keterlambatan, yang berdampak pada pembengkakan biaya dan penurunan kepercayaan pemangku kepentingan.

Manajemen penjadwalan proyek merupakan instrumen fundamental dalam perencanaan dan pengendalian konstruksi. Dalam implementasinya, jadwal proyek tidak selalu berjalan sesuai rencana awal. Gangguan rantai pasok, keterbatasan sub-kontraktor, maupun kondisi lapangan yang tidak terduga seringkali memaksa manajer proyek untuk melakukan penyesuaian jadwal secara reaktif. Salah satu respons yang umum dilakukan adalah percepatan jadwal atau yang dikenal sebagai *schedule crashing*—sebuah pendekatan sistematis yang meminimalkan durasi proyek dengan mengintensifkan sumber daya, termasuk penambahan tenaga kerja dan paralelisasi aktivitas [9].

Namun, percepatan jadwal yang tidak terencana dengan matang kerap menciptakan konsekuensi berupa fluktuasi kebutuhan tenaga kerja yang ekstrem—yang dalam literatur manajemen proyek disebut *overallocation*. Fenomena ini berdampak pada pembengkakan biaya operasional, meningkatnya risiko kecelakaan kerja akibat kelelahan, dan kesulitan manajerial di lapangan [10].

Kondisi ini terjadi secara nyata pada Proyek Pembangunan Gedung Inspektorat Provinsi Kalimantan Selatan yang dilaksanakan oleh PT. Megatama Karya dengan nilai kontrak sebesar Rp19.000.000.000,00. Observasi lapangan menunjukkan keterlambatan pada fase pekerjaan pemancangan (tiang pancang) yang dipicu oleh keterlambatan

kedatangan material kolom dan bekisting, dikarenakan penggunaan sub-kontraktor lokal yang kurang berpengalaman menangani volume proyek berskala besar. Kondisi ini menuntut intervensi berupa schedule crashing—yaitu memparalelkan aktivitas-aktivitas struktur yang sebelumnya sekuensial—guna mengejar ketertinggalan target durasi penyelesaian. Meskipun berhasil mempertahankan proyek agar tidak semakin terlambat, skenario crashing tersebut memicu lonjakan kebutuhan tenaga kerja yang tidak proporsional dan melampaui kapasitas daya dukung kontraktor.

Di sisi lain, metode Resource Leveling telah lama diakui efektivitasnya dalam meratakan distribusi kebutuhan sumber daya sepanjang durasi proyek tanpa harus memperpanjang waktu penyelesaian secara signifikan [9]. Metode ini bekerja dengan menunda aktivitas non-kritis ke dalam rentang float yang tersedia, sehingga pola permintaan sumber daya menjadi lebih merata dan terkontrol.

Penelitian ini berangkat dari kebutuhan untuk mengintegrasikan kedua pendekatan tersebut secara sistematis. Dengan memanfaatkan perangkat lunak Microsoft Project 2016 sebagai alat pemodelan, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis efisiensi durasi proyek melalui metode crashing pada jalur kritis, dan (2) mengoptimalkan alokasi tenaga kerja yang berfluktuasi menggunakan metode resource leveling guna menghasilkan skenario penjadwalan yang paling optimal—yakni durasi lebih cepat dari baseline namun dengan distribusi tenaga kerja yang stabil dan tidak melebihi kapasitas maksimal kontraktor.

Penelitian ini memiliki beberapa batasan (limitations) yang perlu dijelaskan. Pertama, analisis percepatan jadwal (schedule crashing) dibatasi hanya pada evaluasi pemendekan durasi dan dampaknya terhadap lonjakan kebutuhan tenaga kerja per hari. Analisis mengenai pembengkakan biaya (cost) akibat percepatan proyek—seperti upah lembur, penambahan tenaga kerja, atau denda keterlambatan—tidak dihitung secara matematis dalam penelitian ini, mengingat fokus utama adalah efisiensi waktu dan stabilitas alokasi sumber daya. Kedua, analisis sumber daya hanya berfokus pada empat jenis tenaga kerja utama (Pekerja Kasar, Tukang Kayu, Tukang Besi, Tukang Batu), sedangkan material dan peralatan tidak dianalisis. Ketiga, penelitian ini hanya mencakup Pekerjaan Struktur Utama (pondasi hingga rangka atap baja), tidak termasuk pekerjaan arsitektur dan MEP (Mekanikal, Elektrikal, Plumbing). Keempat, koefisien tenaga kerja yang digunakan mengacu pada Permen PUPR No. 28/PRT/M/2016 dan diverifikasi oleh Alfariis et al. [2], sehingga hasil penelitian ini paling relevan untuk proyek dengan karakteristik serupa.

2. Tinjauan Pustaka

Penjadwalan Proyek Konstruksi

Penjadwalan proyek konstruksi adalah proses menetapkan urutan, waktu mulai, dan durasi setiap aktivitas pekerjaan sehingga keseluruhan proyek dapat diselesaikan sesuai target waktu yang telah ditetapkan. Penjadwalan yang baik harus mencerminkan hubungan logis antar aktivitas, mengakomodasi ketersediaan sumber daya, dan memberikan margin waktu yang cukup untuk mengantisipasi risiko. Alat bantu utama yang umum digunakan dalam penjadwalan modern adalah metode Critical Path Method (CPM) yang mengidentifikasi lintasan kritis—yaitu rangkaian aktivitas yang menentukan total durasi proyek [9].

Metode Crashing (Percepatan Jadwal)

Crashing adalah teknik kompresi jadwal yang dilakukan dengan mengintensifkan sumber daya pada aktivitas-aktivitas di jalur kritis guna mereduksi total durasi proyek. Secara teknis, crashing dapat dilakukan melalui penambahan tenaga kerja, penggunaan lembur, maupun paralelisasi aktivitas yang semula sekuensial. Aktivitas yang dipilih untuk di-crash adalah aktivitas kritis dengan crash cost slope terendah, yakni yang menghasilkan penghematan waktu terbesar per satuan biaya tambahan [6]–[8], [14]. Secara matematis, durasi pekerjaan dihitung berdasarkan:

$$T = (\text{Volume} \times \text{Koefisien SNI}) / \text{Jumlah Tenaga Kerja} \quad (1)$$

Sementara kebutuhan rata-rata tenaga kerja per hari dihitung dengan:

$$N = (\text{Volume} \times \text{Koefisien SNI}) / \text{Durasi} \quad (2)$$

Di mana N adalah jumlah tenaga kerja (orang), Volume adalah kuantitas pekerjaan (m^2 , m^3 , atau kg), Koefisien SNI adalah nilai koefisien produktivitas tenaga kerja berdasarkan Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP), dan Durasi adalah target penyelesaian dalam hari.

Metode Resource Leveling (Perataan Sumber Daya)

Resource Leveling adalah proses penjadwalan ulang aktivitas non-kritis dalam rentang float yang tersedia guna meratakan kebutuhan sumber daya sepanjang durasi proyek. Tujuannya adalah menghindari lonjakan (peak load)

dan lembah (valley) yang ekstrem pada grafik kebutuhan sumber daya [3]–[5]. Metode ini tidak menghilangkan jalur kritis tetapi dapat menggeser jalur kritis akibat pembatasan ketersediaan sumber daya. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kombinasi crashing dan leveling menghasilkan jadwal yang lebih efisien secara keseluruhan dibandingkan penerapan salah satu metode saja [3]–[5], [11], [12], [15].

Microsoft Project sebagai Alat Pemodelan

Microsoft Project merupakan perangkat lunak manajemen proyek yang banyak digunakan dalam industri konstruksi. Fitur-fitur kunci yang relevan dengan penelitian ini meliputi: (1) Gantt Chart untuk visualisasi jadwal, (2) Network Diagram untuk pemetaan jalur kritis, (3) Resource Sheet dan Resource Graph untuk manajemen tenaga kerja, serta (4) fitur Level All untuk eksekusi resource leveling secara otomatis. Penelitian terdahulu menunjukkan keefektifan Microsoft Project dalam menghasilkan histogram kebutuhan tenaga kerja yang ideal setelah proses leveling, yang dapat digunakan sebagai pedoman mobilisasi tenaga kerja di lapangan [3]–[5], [16].

Penelitian terdahulu oleh Retno [10] pada proyek konstruksi skala besar menunjukkan bahwa setelah dilakukan resource leveling, jumlah tenaga kerja rencana berhasil dioptimalkan dengan pola distribusi yang lebih merata—peningkatan dan penurunan kebutuhan tenaga kerja terjadi secara bertahap sehingga tidak terjadi lonjakan fluktuasi yang berisiko.

Berdasarkan tinjauan terhadap penelitian-penelitian terdahulu, teridentifikasi bahwa sebagian besar studi masih menerapkan metode Resource Leveling secara terpisah tanpa didahului oleh skenario percepatan (crashing). Penelitian oleh Maulidah [13] pada Proyek Rumah Sakit UNIMUS, misalnya, hanya berfokus pada optimasi sumber daya tenaga kerja dengan metode Resource Leveling pada jadwal eksisting tanpa mempertimbangkan percepatan durasi. Demikian pula Mastrawan (2020) dan Retno [10] menerapkan Resource Leveling pada jadwal rencana awal tanpa mengeksplorasi dampak skenario percepatan terhadap fluktuasi sumber daya. Padahal dalam praktik konstruksi, keterlambatan proyek—seperti yang terjadi pada fase pemancangan Proyek Gedung Inspektorat Kalimantan Selatan—seringkali menuntut percepatan terlebih dahulu sebelum perataan sumber daya dapat dilakukan secara efektif. Oleh karena itu, kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada integrasi berurutan antara metode Crashing (untuk memangkas durasi proyek sebagai respons atas keterlambatan) dan Resource Leveling (untuk meratakan lonjakan tenaga kerja yang ditimbulkan). Urutan metodologis ini—crashing terlebih dahulu, kemudian leveling—belum banyak dilakukan pada studi kasus proyek gedung pemerintahan di Indonesia, sehingga penelitian ini mengisi celah tersebut [11], [12], [17]–[20].

3. Metode Penelitian

Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Proyek Pembangunan Gedung Inspektorat Provinsi Kalimantan Selatan yang berlokasi di Kota Banjarbaru. Proyek ini berfungsi sebagai kantor lembaga pengawasan pemerintahan daerah dan dilaksanakan oleh PT. Megatama Karya dengan nilai kontrak Rp19.000.000.000,00 yang bersumber dari APBD Provinsi Kalimantan Selatan.

Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan mengolah dua jenis data:

Data Sekunder: meliputi Rencana Anggaran Biaya (RAB/Engineering Estimate), gambar rencana struktur, time schedule kontrak awal, serta volume pekerjaan setiap item pekerjaan struktur.

Data Primer: meliputi durasi setiap item pekerjaan dan kebutuhan tenaga kerja harian yang diperoleh melalui perhitungan manual berdasarkan volume pekerjaan dan koefisien SNI (AHSP) yang berlaku pada proyek.

Lingkup Pekerjaan yang Dianalisis

Analisis difokuskan pada Pekerjaan Struktur Utama yang meliputi: (A) Pekerjaan Tanah & Pondasi (Galian, Pemancangan, Pile Cap, Sloof); (B) Struktur Lantai 1 (Kolom, Balok, Plat Lantai); (C) Struktur Lantai 2 (Kolom, Balok, Plat Lantai); dan (D) Pekerjaan Rangka Atap Baja. Pekerjaan arsitektur (finishing) dan Mekanikal, Elektrikal, Plumbing (MEP) tidak dimasukkan dalam analisis optimasi ini.

Tahapan Penelitian

Tahap 1 – Pengumpulan dan Pengolahan Data: Data RAB dan gambar rencana dikumpulkan dari kontraktor pelaksana. Volume pekerjaan setiap item diekstrak dan diklasifikasikan berdasarkan jenis tenaga kerja yang dominan.

Tahap 2 – Perhitungan Kebutuhan Tenaga Kerja: Kebutuhan tenaga kerja per item dihitung menggunakan Persamaan (2) dengan koefisien SNI/AHSP. Tenaga kerja yang diteliti meliputi Pekerja Kasar, Tukang Kayu, Tukang Besi, dan Tukang Batu.

Tahap 3 – Pemodelan Skenario Normal: Hubungan antar aktivitas disusun secara sekuensial (Finish-to-Start) di Microsoft Project 2016 sebagai baseline, dengan batasan maksimal tenaga kerja: Pekerja 55 orang, Tukang Kayu 60 orang, Tukang Besi 40 orang, Tukang Batu 15 orang.

Tahap 4 – Simulasi Crashing: Aktivitas-aktivitas pada jalur kritis (terutama Struktur Lantai 1 dan 2) dipercepat dengan mengubah hubungan predecessor dari Finish-to-Start (FS) menjadi Start-to-Start (SS) sehingga pekerjaan paralel dapat dieksekusi. Dampak terhadap histogram tenaga kerja dianalisis melalui Resource Graph.

Tahap 5 – Simulasi Resource Leveling: Batasan maksimal (Max Units) tenaga kerja dikunci pada kapasitas eksisting kontraktor. Fitur Level All dieksekusi untuk meratakan overallocation yang terjadi akibat crashing dengan memanfaatkan sisa waktu luang (Total Float dan Free Float) pada aktivitas non-kritis.

Tahap 6 – Komparasi dan Analisis Skenario: Ketiga skenario dibandingkan berdasarkan tiga metrik kunci: durasi total penyelesaian proyek, tingkat puncak kebutuhan tenaga kerja (peak load), dan kelayakan manajerial untuk dieksekusi di lapangan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Proyek

Data proyek yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Data Umum Proyek

Nama Proyek	: Pembangunan Gedung Inspektorat Provinsi Kalimantan Selatan
Lokasi	: Kota Banjarbaru, Provinsi Kalimantan Selatan
Nilai Kontrak	: Rp 19.000.000.000,00
Pelaksana	: PT. Megatama Karya
Sumber Dana	: APBD Provinsi Kalimantan Selatan
Lingkup Pekerjaan	: Pekerjaan Struktur Utama (Pondasi s.d. Rangka Atap Baja)

Berdasarkan data di atas, penelitian berfokus pada pekerjaan struktur utama dari tahap pondasi hingga rangka atap baja, yang merupakan lingkup pekerjaan yang terdampak langsung oleh keterlambatan fase pemancangan.

4.2 Rekapitulasi Kebutuhan Tenaga Kerja

Sebelum melakukan simulasi penjadwalan, kebutuhan tenaga kerja untuk setiap item pekerjaan dihitung secara manual. Perhitungan ini menggunakan data volume aktual dari RAB, durasi target, dan koefisien produktivitas tenaga kerja berdasarkan AHSP yang berlaku. Sebagai contoh pembuktian matematis, berikut perhitungan untuk item Pekerjaan Bekisting Plat Lantai 1 (667,15 m²):

Kebutuhan Tukang Kayu (Koef. SNI = 0,330 OH/m²): Total OH = $667,15 \times 0,330 = 220,16$ OH Kebutuhan Harian = $220,16 / 12 \text{ hari} = 18,35 \rightarrow$ dibulatkan 19 orang

Kebutuhan Pekerja Kasar (Koef. SNI = 0,660 OH/m²): Total OH = $667,15 \times 0,660 = 440,32$ OH Kebutuhan Harian = $440,32 / 12 \text{ hari} = 36,69 \rightarrow$ dibulatkan 37 orang

Meskipun secara teoritis kebutuhan minimum 19 Tukang Kayu dan 37 Pekerja, pemodelan di Microsoft Project menggunakan Alokasi Regu Kerja berdasarkan kapasitas maksimal (30 Tukang Kayu dan 55 Pekerja) untuk mengantisipasi penurunan produktivitas dan memberikan safety factor waktu. Rekapitulasi lengkap kebutuhan tenaga kerja seluruh item pekerjaan disajikan pada Tabel 2 berikut.

Nilai koefisien produktivitas tenaga kerja yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari dua acuan utama yang saling melengkapi. Pertama, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) Nomor 28/PRT/M/2016 tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum, yang memuat koefisien standar nasional untuk berbagai jenis pekerjaan konstruksi gedung. Kedua, hasil verifikasi lapangan dari Alfarisi et al. [2] yang dipublikasikan dalam Jurnal Talenta Sipil, yang mengkonfirmasi bahwa koefisien SNI masih relevan

untuk proyek gedung bertingkat di Indonesia. Berdasarkan kedua acuan tersebut, koefisien yang digunakan adalah sebagai berikut: (a) Pekerjaan Bekisting: 0,0682 OH/m² untuk Tukang Kayu dan 0,0351 OH/m² untuk Pekerja; (b) Pekerjaan Pembesian: 0,0090 OH/kg untuk Tukang Besi dan 0,0505 OH/kg untuk Pekerja (ekuivalen 0,090 OH per 10 kg untuk Tukang Besi dan 0,505 OH per 10 kg untuk Pekerja); serta (c) Pekerjaan Pengecoran Beton: 0,1404 OH/m³ untuk Tukang Batu dan 0,0714 OH/m³ untuk Mandor. Adapun untuk pekerjaan tanah (galian dan urugan), koefisien yang digunakan mengacu pada Permen PUPR No. 28/PRT/M/2016 dengan nilai 0,4394 OH/m³ untuk Pekerja, yang merupakan standar nasional untuk pekerjaan tanah biasa. Seluruh koefisien ini dapat diverifikasi melalui regulasi resmi dan jurnal ilmiah yang tercantum dalam Daftar Pustaka, sehingga nilai yang digunakan dalam penelitian ini memiliki dasar akademik dan regulatori yang kuat [2], [21].

Tabel 2. Rekapitulasi Kebutuhan Tenaga Kerja Pekerjaan Struktur

No	Item Pekerjaan	Volume	Kebutuhan TK	Koef. SNI	Durasi (Hari)
A	PEKERJAAN TANAH & PONDASI				
1	Galian & Urug Tanah Pondasi	1.067 m ³	15 Pekerja	0,4394 OH/m ³ (Pekerja)	36
2	Pemancangan Tiang Pancang	2.592 m ¹	Alat Berat + 5 Pekerja	- (Alat Berat)	14
3	Pekerjaan Pile Cap				
	a. Pembesian	10.437 kg	25 Tukang Besi	0,0090 OH/kg (Tk. Besi)	3
	b. Bekisting	201,64 m ²	35 Tukang Kayu	0,0682 OH/m ² (Tk. Kayu)	4
	c. Cor Beton K-300	92,01 m ³	15 Tukang Batu	0,1404 OH/m ³ (Tk. Batu)	2
4	Pekerjaan Sloof				
	a. Pembesian	15.559 kg	25 Tukang Besi	0,0090 OH/kg (Tk. Besi)	5
	b. Bekisting	628,98 m ²	35 Tukang Kayu	0,0682 OH/m ² (Tk. Kayu)	12
	c. Cor Beton K-300	88,97 m ³	15 Tukang Batu	0,1404 OH/m ³ (Tk. Batu)	2
B	STRUKTUR LANTAI 1				
1	Pekerjaan Kolom L1				
	a. Pembesian	8.953 kg	25 Tukang Besi	0,0090 OH/kg (Tk. Besi)	3
	b. Bekisting	340 m ²	35 Tukang Kayu	0,0682 OH/m ² (Tk. Kayu)	7
	c. Cor Beton K-300	40,05 m ³	15 Tukang Batu	0,1404 OH/m ³	1

No	Item Pekerjaan	Volume	Kebutuhan TK	Koef. SNI	Durasi (Hari)
				(Tk. Batu)	
2	Pekerjaan Balok L1				
	a. Pembesian	16,113 kg	25 Tukang Besi	0,0090 OH/kg (Tk. Besi)	5
	b. Bekisting	658,08 m ²	35 Tukang Kayu	0,0682 OH/m ² (Tk. Kayu)	13
	c. Cor Beton K-300	83,37 m ³	15 Tukang Batu	0,1404 OH/m ³ (Tk. Batu)	2
3	Pekerjaan Plat Lantai 1				
	a. Pembesian	10,751 kg	25 Tukang Besi	0,0090 OH/kg (Tk. Besi)	3
	b. Bekisting	667,15 m ²	35 Tukang Kayu	0,0682 OH/m ² (Tk. Kayu)	13
	c. Cor Beton K-300	78,03 m ³	15 Tukang Batu	0,1404 OH/m ³ (Tk. Batu)	2
C	STRUKTUR LANTAI 2				
1	Pekerjaan Kolom L2				
	a. Pembesian	4,583 kg	25 Tukang Besi	0,0090 OH/kg (Tk. Besi)	2
	b. Bekisting	201,06 m ²	35 Tukang Kayu	0,0682 OH/m ² (Tk. Kayu)	4
	c. Cor Beton K-300	23,86 m ³	15 Tukang Batu	0,1404 OH/m ³ (Tk. Batu)	1
2	Pekerjaan Balok L2				
	a. Pembesian	15,280 kg	25 Tukang Besi	0,0090 OH/kg (Tk. Besi)	5
	b. Bekisting	578,42 m ²	35 Tukang Kayu	0,0682 OH/m ² (Tk. Kayu)	11
	c. Cor Beton K-300	74,91 m ³	15 Tukang Batu	0,1404 OH/m ³ (Tk. Batu)	2
3	Pekerjaan Plat Lantai 2				
	a. Pembesian	8,544 kg	25 Tukang Besi	0,0090 OH/kg	3

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i2.7762>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

No	Item Pekerjaan	Volume	Kebutuhan TK	Koef. SNI	Durasi (Hari)
				(Tk. Besi)	
	b. Bekisting	640,32 m ²	35 Tukang Kayu	0,0682 OH/m ² (Tk. Kayu)	12
	c. Cor Beton K-300	65,02 m ³	15 Tukang Batu	0,1404 OH/m ³ (Tk. Batu)	2
D	PEKERJAAN RANGKA ATAP				
1	Rangka Baja (Kuda-kuda & Jurai)	21.604 kg	20 Tukang Besi/Las	0,0265 OH/kg (Tk. Besi)	65

Berdasarkan Tabel 2, pekerjaan bekisting pada setiap level lantai mendominasi kebutuhan Tukang Kayu, sementara pekerjaan pembesian menjadi basis kebutuhan Tukang Besi. Pekerjaan Rangka Atap Baja memiliki durasi terpanjang (65 hari) namun tidak berada pada jalur kritis awal sehingga memiliki float yang signifikan.

Catatan: Koefisien yang dicantumkan dalam Tabel 2 adalah untuk jenis tenaga kerja utama yang digunakan dalam perhitungan durasi dan alokasi sumber daya. Koefisien untuk tenaga kerja pendukung seperti Mandor tidak dicantumkan karena tidak mempengaruhi perhitungan durasi secara signifikan dalam konteks optimasi penjadwalan ini. Seluruh koefisien bersumber dari Permen PUPR No. 28/PRT/M/2016 dan dikonfirmasi oleh Alfarisi et al. [2].

Guna memperkuat validitas akademik koefisien yang digunakan, Tabel 2a berikut menyajikan perbandingan nilai koefisien tenaga kerja dari berbagai sumber referensi. Konsistensi antar sumber membuktikan bahwa koefisien dalam penelitian ini dapat dipertanggungjawabkan.

Tabel 2a. Perbandingan Koefisien Tenaga Kerja Berbagai Sumber

Jenis Pekerjaan	Sumber	Koef. Tukang	Koef. Pekerja
Bekisting	Permen PUPR 28/2016	0,0682 OH/m ²	0,0351 OH/m ²
Bekisting	Alfarisi et al. [2]	0,0682 OH/m ²	0,0351 OH/m ²
Bekisting	SNI 7394:2008	0,0660 OH/m ²	0,0330 OH/m ²
Pembesian	Permen PUPR 28/2016	0,0090 OH/kg	0,0505 OH/kg
Pembesian	Alfarisi et al. [2]	0,0090 OH/kg	0,0505 OH/kg
Pengecoran	Permen PUPR 28/2016	0,1404 OH/m ³	0,0714 OH/m ³
Pengecoran	Alfarisi et al. [2]	0,1404 OH/m ³	0,0714 OH/m ³

Catatan: Nilai koefisien dari berbagai sumber menunjukkan konsistensi yang tinggi, sehingga koefisien yang digunakan dalam penelitian ini valid dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademik.

4.3 Analisis Skenario Normal

Skenario Normal merupakan baseline penjadwalan di mana seluruh hubungan antar aktivitas menggunakan logika Finish-to-Start (FS) yang natural dan sekuensial. Pada skenario ini, tidak ada upaya percepatan yang diterapkan. Hasil pemodelan di Microsoft Project 2016 menunjukkan bahwa dengan logika hubungan sekuensial dan alokasi tenaga kerja pada kapasitas eksisting, proyek diproyeksikan selesai pada tanggal 09 Maret 2026.

Histogram tenaga kerja pada skenario normal menunjukkan distribusi yang relatif stabil sepanjang durasi proyek. Kebutuhan Pekerja Kasar harian tidak melebihi angka 55 orang—sesuai batas kapasitas kontraktor. Kondisi yang sama berlaku untuk Tukang Kayu (≤ 60 orang), Tukang Besi (≤ 40 orang), dan Tukang Batu (≤ 15 orang). Tidak terdapat indikasi overallocation (grafik merah) pada Resource Graph skenario ini.

Meskipun alokasi sumber daya pada skenario normal terbilang aman dan layak, jadwal ini tidak memberikan recovery time yang memadai untuk mengkompensasi keterlambatan yang telah terjadi pada fase pekerjaan

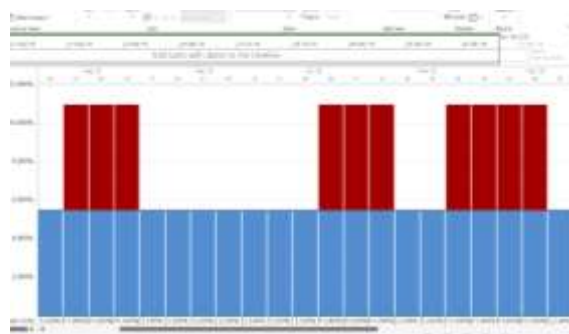
pemancangan. Hal ini menjadikan skenario normal tidak cukup responsif terhadap kondisi aktual proyek yang sudah mengalami deviasi, sehingga diperlukan intervensi percepatan.

4.4 Analisis Percepatan dengan Metode Crashing

Sebagai respons terhadap keterlambatan fase pemancangan, dilakukan simulasi percepatan dengan memodifikasi logika predecessor pada aktivitas-aktivitas di jalur kritis—khususnya pekerjaan struktur Lantai 1 dan Lantai 2. Secara teknis, hubungan Finish-to-Start (FS) diubah menjadi Start-to-Start (SS) sehingga pekerjaan seperti pembesian balok dan plat lantai dapat dieksekusi secara paralel dengan pekerjaan bekisting pada level yang sama.

Hasil simulasi menunjukkan pemendekan durasi yang sangat signifikan. Jadwal penyelesaian proyek berhasil dimajukan dari 09 Maret 2026 menjadi **23 Desember 2025**—lebih cepat 76 hari dari baseline. Namun, paralelisasi ekstrem ini memicu fluktuasi tajam pada histogram tenaga kerja.

Analisis pada Resource Graph menunjukkan terjadinya overallocation yang ditandai dengan grafik berwarna merah pada periode Desember 2025 (Lihat Gambar 1), ketika aktivitas-aktivitas kritis dipaksa dieksekusi secara simultan. Pada titik puncaknya (peak load), kebutuhan Pekerja Kasar melonjak hingga 110 orang per hari—dua kali lipat kapasitas maksimal eksisting kontraktor (55 orang). Kebutuhan Tukang Batu juga melonjak hingga 30 orang per hari, melampaui kapasitas maksimal 15 orang.



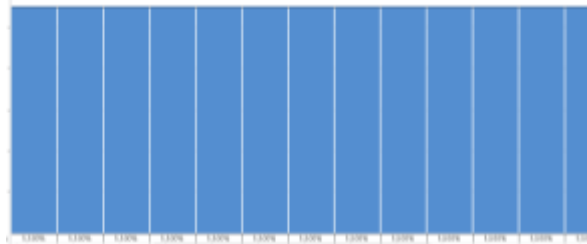
Gambar 1. Histogram kebutuhan Pekerja Kasar harian pada Skenario Crashing (Overallocated). Sumbu X: waktu pelaksanaan proyek (Agustus 2025–Desember 2025); Sumbu Y: persentase unit sumber daya (5.500% = 55 orang, 11.000% = 110 orang). Lonjakan ekstrem (peak load) pada Desember 2025 mencapai 11.000% atau setara 110 orang/hari (grafik merah), akibat paralelisasi bekisting dan pembesian pada Struktur Lantai 1 dan Lantai 2 secara simultan, melampaui kapasitas maksimal kontraktor 55 orang/hari.

Secara manajerial dan logistik lapangan, lonjakan yang mencapai dua hingga tiga kali lipat kapasitas normal ini menimbulkan sejumlah konsekuensi serius: pembengkakan biaya tenaga kerja akibat rekrutmen mendadak, potensi crowding effect (penurunan produktivitas akibat area kerja yang terlalu padat), serta peningkatan risiko keselamatan dan kesehatan kerja (K3). Oleh karena itu, skenario crashing murni dinilai tidak layak untuk diimplementasikan secara langsung [6]–[8], [16].

4.5 Analisis Pemerataan Tenaga Kerja (Resource Leveling)

Untuk mereduksi overallocation ekstrem dari skenario crashing, dilakukan optimasi lanjutan menggunakan metode Resource Leveling. Pada tahap ini, batasan maksimal ketersediaan tenaga kerja (Max Units) dikunci pada kapasitas eksisting kontraktor: Tukang Kayu (60 orang), Tukang Besi (40 orang), Tukang Batu (15 orang), dan Pekerja Kasar (55 orang). Pembatasan ini tidak dapat dikompromikan demi menjaga standar K3 dan menghindari pembengkakan biaya overhead.

Secara prinsipil, metode Resource Leveling yang diterapkan dalam penelitian ini bekerja dengan memanfaatkan waktu luang (total float dan free float) pada aktivitas-aktivitas non-kritis untuk menggeser jadwal pelaksanaannya tanpa mengubah total durasi proyek secara signifikan. Algoritma leveling yang terintegrasi dalam perangkat lunak manajemen proyek (Microsoft Project 2016) melakukan langkah-langkah sebagai berikut: (1) identifikasi seluruh aktivitas yang mengalami overallocation (kebutuhan tenaga kerja melebihi batas maksimal 55 Pekerja Kasar per hari); (2) identifikasi aktivitas non-kritis yang memiliki waktu luang (float) dan dapat digeser tanpa mempengaruhi jalur kritis; (3) penggeseran (delaying) aktivitas non-kritis tersebut ke periode waktu yang memiliki permintaan tenaga kerja lebih rendah, dengan tetap menjaga agar hubungan ketergantungan (predecessor) tidak terputus. Proses ini bersifat iteratif hingga seluruh overallocation tereliminasi. Hasilnya, histogram tenaga kerja yang semula memiliki lonjakan ekstrem (peak load) menjadi lebih rata (smoothed) tanpa mengubah total volume pekerjaan yang harus diselesaikan. Hasil leveling menunjukkan hilangnya indikator grafik merah, digantikan oleh histogram yang rata dan stabil (Lihat Gambar 2).



Gambar 2. Histogram kebutuhan Pekerja Kasar harian setelah Resource Leveling pada jadwal hasil crashing (Skenario Crashing + Leveling). Sumbu X: waktu pelaksanaan proyek (Agustus 2025–Februari 2026); Sumbu Y: persentase unit sumber daya (5.500% = 55 orang). Seluruh histogram berwarna biru (tidak ada overallocation), dengan kebutuhan harian stabil tepat di batas kapasitas maksimal 55 orang/hari (5.500%). Perataan dicapai melalui penggeseran aktivitas non-kritis ke dalam rentang float yang tersedia, sehingga penumpukan pekerja di hari yang sama dapat dihindari.

Sebagai contoh konkret mekanisme penggeseran yang terjadi, terdapat beberapa aktivitas non-kritis yang secara spesifik digeser (delay) selama proses leveling berlangsung. Pertama, Pekerjaan Bekisting Plat Lantai 1 (667,15 m²) yang pada skenario crashing dijadwalkan paralel penuh dengan Bekisting Balok Lantai 1 mengalami pergeseran mundur selama 3–4 hari kerja, memanfaatkan Free Float yang tersedia pada lintasan non-kritis tersebut. Kedua, Pekerjaan Bekisting Plat Lantai 2 (640,32 m²) digeser mundur sekitar 3 hari untuk menghindari penumpukan kebutuhan Tukang Kayu yang mencapai puncak pada minggu yang sama. Ketiga, Pekerjaan Pembesian Balok Lantai 2 (15.280 kg) digeser mundur 2–3 hari dengan memanfaatkan Total Float yang tersedia, sehingga tidak bersaing secara simultan dengan Pembesian Kolom Lantai 2 dalam memperebutkan sumber daya Tukang Besi yang sama. Seluruh penggeseran ini dilakukan secara otomatis oleh fitur Level All Microsoft Project 2016 dengan mempertimbangkan ketersediaan float dan batasan Max Units yang telah dikunci. Total akumulasi penggeseran aktivitas non-kritis tersebut menghasilkan penyesuaian durasi keseluruhan proyek dari 23 Desember 2025 menjadi 04 Februari 2026 (penambahan 43 hari dari skenario crashing murni), namun tetap 33 hari lebih cepat dibandingkan baseline normal.

Sebagai konsekuensi (trade-off) dari pemerataan alokasi tersebut, durasi penyelesaian proyek mengalami penyesuaian dari **23 Desember 2025** bergeser menjadi **04 Februari 2026**. Meskipun demikian, tanggal penyelesaian ini masih jauh lebih cepat (33 hari) dibandingkan baseline skenario normal (09 Maret 2026), sehingga fungsi mitigasi keterlambatan tetap terpenuhi.

Penting untuk dicatat bahwa proses leveling ini secara otomatis menciptakan penyesuaian pada Jalur Kritis proyek. Beberapa pekerjaan yang sebelumnya non-kritis karena memiliki float, kini berubah menjadi jalur kritis baru setelah diantrekan. Hal ini mengakibatkan sensitivitas jadwal meningkat, dan manajer proyek harus memantau seluruh aktivitas (tidak hanya jalur kritis awal) dengan lebih ketat.

Skenario ketiga ini merupakan kondisi penyelesaian paling optimal karena dua alasan utama: (1) durasi proyek tetap lebih cepat dari baseline sebagai bentuk mitigasi atas keterlambatan awal, dan (2) distribusi tenaga kerja stabil dan sepenuhnya dalam kapasitas eksisting kontraktor tanpa memerlukan rekrutmen sumber daya tambahan.

4.6 Rekapitulasi Skenario Penjadwalan

Perbandingan ketiga skenario penjadwalan disajikan secara ringkas pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Rangkuman Perbandingan Skenario Penjadwalan

Jenis Skenario	Waktu Selesai	Puncak Kebutuhan TK	Keterangan Kelayakan
Skenario 1: Normal (Baseline)	09 Maret 2026 (Baseline)	Tukang Kayu: ≤ 60 Tukang Besi: ≤ 40 Tukang Batu: ≤ 15 Pekerja: ≤ 55	Layak. Alokasi tidak melebihi kapasitas kontraktor, namun tidak memberikan recovery time atas keterlambatan pemancangan.
Skenario 2: Crashing (Percepatan Maksimal)	23 Desember 2025 (76 hari lebih cepat)	Tukang Kayu: 60 Tukang Besi: 25 Tukang	Tidak Layak. Memicu overallocation ekstrem hingga 2x lipat kapasitas.

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i2.7762>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Jenis Skenario	Waktu Selesai	Puncak Kebutuhan TK	Keterangan Kelayakan
		Batu: 30 ! Pekerja: 110 !	Tidak realistis secara logistik lapangan.
Skenario 3: Crashing + Leveling (Optimal)	04 Februari 2026 (33 hari lebih cepat)	Tukang Kayu: ≤ 60 Tukang Besi: ≤ 40 Tukang Batu: ≤ 15 Pekerja: ≤ 55	Optimal. Durasi dipercepat secara signifikan dan alokasi tenaga kerja stabil dalam batas kapasitas eksisting kontraktor.

Dari Tabel 3 terlihat jelas trade-off yang terjadi antar skenario. Skenario Normal memberikan distribusi sumber daya yang paling stabil namun tidak responsif terhadap keterlambatan yang terjadi. Skenario Crashing memberikan penghematan waktu terbesar (76 hari) namun dengan cost sumber daya yang tidak realistis. Skenario integratif Crashing + Leveling menawarkan keseimbangan optimal antara efisiensi waktu dan kelayakan alokasi sumber daya—menjadikannya rekomendasi utama bagi praktisi manajemen proyek.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi penjadwalan yang dilakukan pada Proyek Pembangunan Gedung Inspektorat Provinsi Kalimantan Selatan, dapat disimpulkan hal-hal berikut: **Pertama**, penerapan metode schedule crashing pada lintasan kritis berhasil memangkas durasi penyelesaian proyek secara signifikan—dari baseline 09 Maret 2026 menjadi 23 Desember 2025 (penghematan 76 hari). Namun, percepatan maksimal ini memicu overallocation yang ekstrem, dengan puncak kebutuhan Pekerja Kasar mencapai 110 orang per hari dan Tukang Batu mencapai 30 orang per hari—keduanya melampaui dua kali lipat kapasitas maksimal eksisting kontraktor. Secara manajerial, skenario ini dinilai tidak layak untuk diimplementasikan. **Kedua**, penerapan metode Resource Leveling secara terintegrasi setelah crashing terbukti efektif dalam meratakan fluktuasi beban kerja yang ekstrem. Dengan menetapkan batasan Max Units pada kapasitas eksisting (55 Pekerja, 60 Tukang Kayu, 40 Tukang Besi, 15 Tukang Batu) dan memanfaatkan sisa float pada aktivitas non-kritis, seluruh overallocation berhasil dieliminasi tanpa memerlukan rekrutmen sumber daya tambahan. **Ketiga**, integrasi crashing dan resource leveling menghasilkan skenario optimal dengan tanggal penyelesaian 04 Februari 2026—lebih cepat 33 hari dari baseline—sekaligus memastikan distribusi alokasi tenaga kerja yang stabil, realistis, dan 100% layak untuk dieksekusi di lapangan. Skenario ini merupakan rekomendasi utama sebagai solusi mitigasi atas keterlambatan awal proyek. Penelitian ini menegaskan bahwa pendekatan integratif—menggabungkan crashing untuk efisiensi waktu dan leveling untuk efisiensi sumber daya—menghasilkan solusi yang lebih holistik dan berkelanjutan dibandingkan penerapan salah satu metode secara terpisah. Pendekatan ini sangat relevan untuk proyek-proyek konstruksi di Indonesia yang rentan terhadap gangguan rantai pasok dan memerlukan fleksibilitas jadwal tanpa mengorbankan kapasitas logistik lapangan.

Referensi

- [1] Badan Pusat Statistik, Statistik Konstruksi Indonesia 2021–2023. Jakarta, Indonesia: BPS, 2023.
- [2] A. I. Alfari, E. Handayani, and K. R. Amalia, “Analisa koefisien harga satuan tenaga kerja di lapangan dengan analisa SNI struktur bangunan gedung,” *Jurnal Talenta Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 222–228, 2022, doi: 10.33087/talentsipil.v5i2.116.
- [3] R. Wintan and O. Gondokusumo, “Resource leveling using two-stage scheduling model for a highway construction project at Jakarta,” *International Journal of Application on Sciences, Technology and Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 778–797, 2023, doi: 10.24912/ijaste.v1.i2.778-797.
- [4] I. G. N. Sunatha, N. L. M. A. M. Pradnyadari, and N. M. D. Wintari, “Analisis resource leveling pada proyek pembangunan Rusun Aspol Sanglah T.36 bertingkat 4 lantai,” *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, vol. 11, no. 2, pp. 45–53, 2022, doi: 10.36733/jikt.v11i2.5429.
- [5] A. Purwantoro, A. W. L. To’nni, and S. A. K. A. Uda, “Optimalisasi alokasi tenaga kerja menggunakan resource leveling,” *Jurnal Saintis*, vol. 23, no. 2, pp. 19–26, 2023, doi: 10.25299/saintis.2023.vol23(02).14478.
- [6] M. Adil, L. Lusiana, and S. Syahrudin, “Optimalisasi biaya dan waktu proyek menggunakan metode crashing dengan penambahan waktu kerja lembur dan sistem kerja shift,” *JeLAST: Jurnal Teknik Kelautan, PWK, Sipil, dan Tambang*, vol. 10, no. 1, 2023, doi: 10.26418/jelast.v10i1.62949.
- [7] G. D. J. Retor and F. J. Oei, “Analisis pengendalian proyek dengan metode crashing pada proyek PT X di Jakarta,” *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 6, no. 4, 2023, doi: 10.24912/jmts.v6i4.24974.
- [8] M. Rivaldy, I. Oppier, F. A. Sangadji, and S. I. Latuconsina, “Optimalisasi pelaksanaan pekerjaan dengan menggunakan metode crashing pada pembangunan Rumah Susun Pemerintah Kota Tual,” *Jurnal MESIL*, vol. 4, no. 1, pp. 11–16, 2023, doi: 10.53695/jm.v4i1.834.
- [9] Project Management Institute, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*, 7th ed. Newtown Square, PA, USA: PMI, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i2.7762>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

- [10] D. P. Retno, A. Astuti, and Z. Tamimi, "Analisa penggunaan sumber daya manusia dengan metode resource leveling pada pelaksanaan proyek konstruksi," *Jurnal Saintis*, vol. 18, no. 1, 2018, doi: 10.25299/saintis.2018.vol18(1).3194.
- [11] H. Ding, C. Zhuang, and J. Liu, "Extensions of the resource-constrained project scheduling problem," *Automation in Construction*, vol. 153, art. no. 104958, 2023, doi: 10.1016/j.autcon.2023.104958.
- [12] W. Peng, X. Lin, and H. Li, "Critical chain based proactive-reactive scheduling for resource-constrained project scheduling under uncertainty," *Expert Systems with Applications*, vol. 214, art. no. 119188, 2023, doi: 10.1016/j.eswa.2022.119188.
- [13] P. R. Maulidah, "Analisis kebutuhan sumber daya tenaga kerja pada pelaksanaan Proyek Rumah Sakit UNIMUS menggunakan metode resource levelling," Skripsi, Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia, 2023.
- [14] D. Fardila and N. R. Adawyah, "Optimasi biaya dan waktu proyek konstruksi dengan lembur dan penambahan tenaga kerja," *INERSIA*, vol. 17, no. 1, pp. 35–46, 2021, doi: 10.21831/inersia.v17i1.39499.
- [15] W. Liu, L. Ge, C. Qu, and S. Yang, "Bi-objective optimization for resource-constrained robust construction project scheduling," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 28, no. 1, pp. 15–28, 2024, doi: 10.1007/s12205-023-0633-8.
- [16] I. S. I. Salu, A. S. Raintung, and S. S. Peginusa, "Peningkatan efisiensi pemanfaatan tenaga kerja melalui metode resource leveling: Studi kasus Proyek Pembangunan Dermaga Lanal Biak," *Bangunan*, vol. 30, no. 2, pp. 111–120, 2025, doi: 10.17977/um071v30i22025p111-120.
- [17] Y. Liu, L. Huang, X. Liu, G. Ji, X. Cheng, and E. Onstein, "A late-mover genetic algorithm for resource-constrained project-scheduling problems," *Information Sciences*, vol. 642, art. no. 119164, 2023, doi: 10.1016/j.ins.2023.119164.
- [18] S. Ben Issa, R. A. Patterson, and Y. Tu, "Solving resource-constrained project scheduling problems under different activity assumptions," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 180, art. no. 109170, 2023, doi: 10.1016/j.cie.2023.109170.
- [19] J. F. da S. Coelho and M. Vanhoucke, "New resource-constrained project scheduling instances for testing (meta-)heuristic scheduling algorithms," *Computers & Operations Research*, vol. 153, art. no. 106165, 2023, doi: 10.1016/j.cor.2023.106165.
- [20] B. Tian, J. Zhang, E. Demeulemeester, Z. Chen, and H. Ali, "Integrated resource-constrained project scheduling and material ordering problem considering storage space allocation," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 185, art. no. 109608, 2023, doi: 10.1016/j.cie.2023.109608.
- [21] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Peraturan Menteri PUPR Nomor 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta, Indonesia, 2022.