Jurnal Kajian Ruang Vol 5 No 2
September 2025
http://jurnal.unissula.ac.id/index.php/kr

Analisis Waktu dan Biaya Proyek Bendungan Tigadihaji: Studi Kasus Paket 1 di OKU Selatan

Adil Farhan Prasetyo[1*], Henny Pratiwi Adi[1], Moh. Faiqun Ni'am[1]
[1]Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung
Email : adilfarhan16prasetyo@gmail.com

Abstrak

Bendungan Tigadihaji merupakan infrastruktur strategis untuk irigasi, penyediaan air baku, PLTA, dan pengendalian banjir di Sumatera Selatan. Proyek Paket 1 mengalami keterlambatan signifikan sehingga memerlukan strategi percepatan yang efektif. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi tiga alternatif percepatan, yaitu crashing (penambahan jam kerja/lembur), overlapping (pengubahan hubungan antaraktivitas), dan kombinasi keduanya, dengan mengukur dampak terhadap durasi serta biaya proyek. Analisis dilakukan menggunakan metode jalur kritis (CPM) berbasis data jadwal dan biaya kontrak. Percepatan dihitung dari perbedaan durasi total proyek serta perubahan biaya langsung dan tidak langsung. Hasil menunjukkan bahwa crashing dapat memperpendek durasi sebesar 191 hari dengan efisiensi biaya sekitar Rp2,45 miliar. Metode overlapping mempercepat 115 hari dengan efisiensi Rp2,05 miliar. Strategi kombinasi memberikan hasil terbaik dengan percepatan 321 hari dan efisiensi Rp4,76 miliar. Temuan ini menegaskan bahwa kombinasi crashing dan overlapping merupakan pilihan paling optimal dalam percepatan proyek berskala besar. Implikasi praktisnya, kontraktor dan pemilik proyek dapat menghemat waktu hampir satu tahun dengan tambahan biaya yang relatif kecil, sehingga risiko keterlambatan lebih lanjut dapat ditekan. Bagi pengambil kebijakan, hasil ini menunjukkan perlunya dukungan regulasi dan pengendalian mutu yang lebih adaptif agar strategi percepatan dapat diimplementasikan tanpa mengurangi keselamatan maupun kualitas konstruksi. Dari perspektif tata ruang, percepatan penyelesaian bendungan mempercepat pula penyediaan infrastruktur dasar yang mendukung produktivitas pertanian, ketahanan air, dan pengembangan wilayah.
***Kata kunci**: Crashing; Overlapping; Bendungan Tigadihaji*

Abstract

The Tigadihaji Dam is a strategic infrastructure for irrigation, raw water supply, hydroelectric power (PLTA), and flood control in South Sumatra. Package 1 of the project has encountered significant delays, necessitating effective acceleration strategies. This study aims to evaluate three acceleration alternatives: crashing (adding work hours/overtime), overlapping (modifying inter-activity relationships), and their combination, measuring impacts on project duration and cost. The analysis uses the Critical Path Method (CPM) based on contractual scheduling and cost data. Acceleration is measured as the difference in total project duration and changes in direct and indirect costs. Results show that crashing can reduce the project duration by 191 days with a cost saving of approximately Rp2.45 billion. The overlapping method accelerates the schedule by 115 days with savings of Rp2.05 billion. The combination strategy achieves the best result: 321 days of acceleration with efficiency of Rp4.76 billion. These findings confirm that the combination of crashing and overlapping is the optimal method for accelerating large-scale projects. In practice, contractors and project owners can save almost one year with relatively modest additional costs, thereby mitigating further delay risks. For policymakers, these results indicate the need for adaptive regulation and quality control so that acceleration strategies can be implemented without compromising safety or construction quality. From a spatial planning perspective, accelerated completion of the dam also speeds up the provision of basic infrastructure that supports agricultural productivity, water security, and regional development.
***Keywords:** Crashing; Overlapping; Tigadihaji Dam*

1. Pendahuluan

Preferensi utama dalam usaha mendorong pertumuhan ekonomi serta ketenteraman rakyat Indonesia sebagai bagian dari pembangunan infrastuktur. Salah satu bentuk

infrastruktur dengan kedudukan strategis untuk mengelola sumber daya air adalah bendungan. Bendungan berfungsi menyediakan air,irigasi, dan pembangkit listrik tenaga air (PLTA), tetapi juga berperan dalam pengendalian banjir dan konservasi lingkungan. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan air serta tantangan perubahan iklim, pembangunan bendungan menjadi semakin vital di berbagai wilayah Indonesia

Proyek Bendungan Tigadihaji mengalami keterlambatan progres dibandingkan dengan master schedule yang telah ditetapkan. Keterlambatan ini menjadi isu krusial karena dapat mengganggu keseluruhan siklus proyek, mulai dari aspek teknis hingga administratif. Deviasi waktu pelaksanaan tersebut tidak hanya berdampak pada tertundanya manfaat yang seharusnya segera dirasakan oleh masyarakat, tetapi juga berpotensi menimbulkan peningkatan biaya proyek (cost overrun), inefisiensi sumber daya, serta risiko hukum dan kontraktual.

Penelitian-penelitian terkini dalam manajemen proyek bendungan dan infrastruktur sudah fokus pada trade-off waktu-biaya dan teknik percepatan seperti *crashing*, *fast-track* (overlapping), atau kombinasi keduanya. Misalnya, studi pada Proyek Bendungan Bendo Lanjutan, Jawa Timur, menggunakan metode crashing, overlapping, dan gabungan, menunjukkan bahwa kombinasi antara crashing dan overlapping memberikan waktu penyelesaian paling optimal dengan efisiensi biaya 2,04 % dari total biaya normal (Umar, 2021). Selanjutnya, penelitian pada Bendungan Bulango Ulu (Bangunan Spillway dan Intake) membandingkan metode fasttrack dan crashing; fasttrack lebih efektif dalam memperpendek durasi (5,90 %), sedangkan crashing relatif lebih efisien biaya (1,27 %) (Dharyatiputri dkk, 2024). Studi lain, *Multi-objective time–cost trade-off optimization for the construction scheduling with Rao algorithms*, mengembangkan optimisasi diskret untuk beberapa alternatif durasi-biaya, tetapi umumnya pada proyek konstruksi umum, bukan khusus bendungan (Yilmas dan Dede, 2023).

Meskipun demikian, terdapat beberapa gap yang belum banyak diteliti. Pertama, banyak studi yang membandingkan fasttrack vs crashing, tetapi sedikit yang memperhitungkan kombinasi ketiganya (crashing, overlapping, dan kombinasi) dengan data biaya langsung dan tidak langsung dari kontrak proyek bendungan nyata. Kedua, aspek implikasi terhadap tata ruang, seperti percepatan penyediaan irigasi, layanan air baku, dampak terhadap

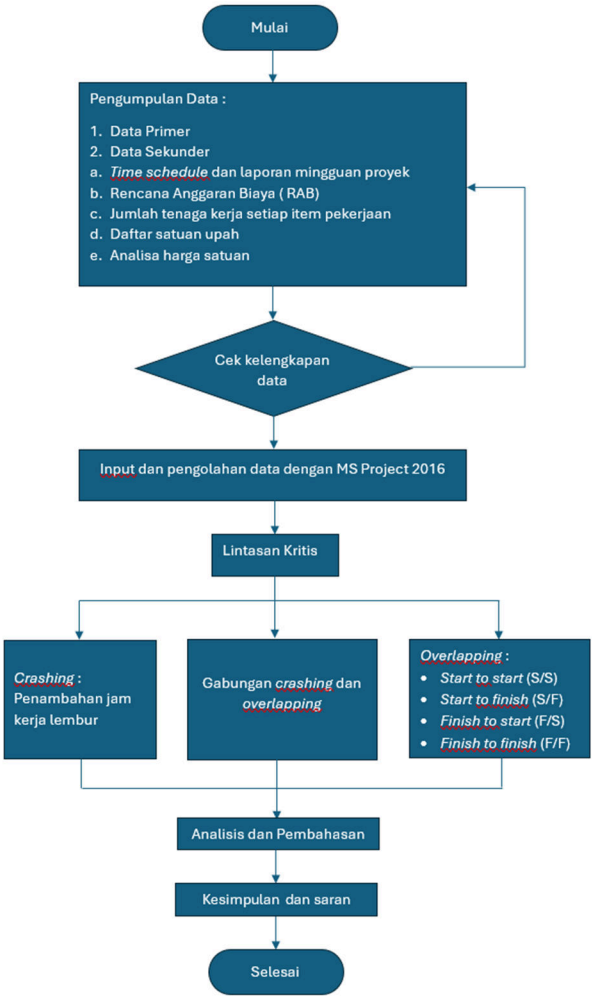
pengembangan wilayah belum dibahas secara eksplisit. Ketiga, studi-studi optimasi sering menggunakan model atau algoritma matematika/heuristik, tetapi kurang pada analisis berbasis dokumen kontrak lapangan dan perhitungan lembur / sewa alat konkret.

Penelitian ini membedakan dirinya karena menggunakan data kontrak nyata Bendungan Tigadihaji Paket 1, melakukan evaluasi tiga strategi percepatan *crashing*, *overlapping*, dan kombinasi keduanya dengan penghitungan biaya/lembur dan biaya tidak langsung, serta mengaitkannya dengan implikasi tata ruang dalam pengembangan wilayah dan layanan infrastruktur dasar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara menyeluruh penyebab utama keterlambatan pada pembangunan Bendungan Tigadihaji, serta menganalisis sejauh mana keterlambatan tersebut berdampak terhadap waktu dan biaya proyek. Dengan melakukan evaluasi terhadap deviasi antara progres aktual dan master schedule, serta mengukur konsekuensi biaya yang ditimbulkan, penelitian ini diharapkan mampu menciptakan representasi komprehensif terhadap dinamika pelaksanaan proyek. Hasilnya dapat sebagai landasan perihal merumuskan strategi pengendalian proyek yang lebih efektif, serta menjadi referensi untuk perbaikan manajemen waktu dan biaya pada proyek bendungan maupun proyek infrastruktur berskala besar lainnya di Indonesia.

2. METODOLOGI

Lokasi penelitian ialah pada Proyek Pembangunan Bendungan Tigadihaji Paket 1, yang berlokasi di Desa Pauh, Kecamatan Tigadihaji, Kabupaten Ogan Komering Ulu Selatan, Provinsi Sumatera Selatan. Secara geografis, lokasi bendungan berada di daerah perbukitan dengan topografi yang bervariasi, dan dialiri oleh Sungai Selabung yang merupakan salah satu anak Sungai Ogan. Data primer sebagai data yang didapatkan dengan kontan dari sumber asli serta secara spesifik dikelompokkan peneliti. Bentuk data primer ini berupa dokumentasi pekerjaan di Proyek yang sedang dikerjakan. Data Sekunder yang digunakan dalam penelitian ini antra lain rencana anggaran biaya/RAB, penjadwalan proyek/time schedule, laporan-laporan kegiatan proyek yang didapat dari pelaksana lapangan. Pengolahan dan analisis data dilakukan dengan Metode Crashing, Metode Overlapping, Metode Gabungan crashing dan overlapping.



Gambar 1 Bagan alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data umum proyek

Bendungan Tigadihaji dirancang sebagai bendungan urugan batu dengan zona inti tegak, dengan tinggi 122 meter dan panjang puncak 950 meter. Secara fungsional, Bendungan Tigadihaji direncanakan untuk memberikan suplai irigasi ke lahan seluas 18.219 hektar, menghasilkan listrik melintasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan kapasitas sekitar 40 MW, serta mendukung budidaya perikanan, penyediaan air baku, dan pengembangan pariwisata local. Pembangunan bendungan tigadihaji dibagi ke dalam empat paket pekerjaan, pembagian ini memungkinkan pelibatan beberapa penyedia jasa konstruksi

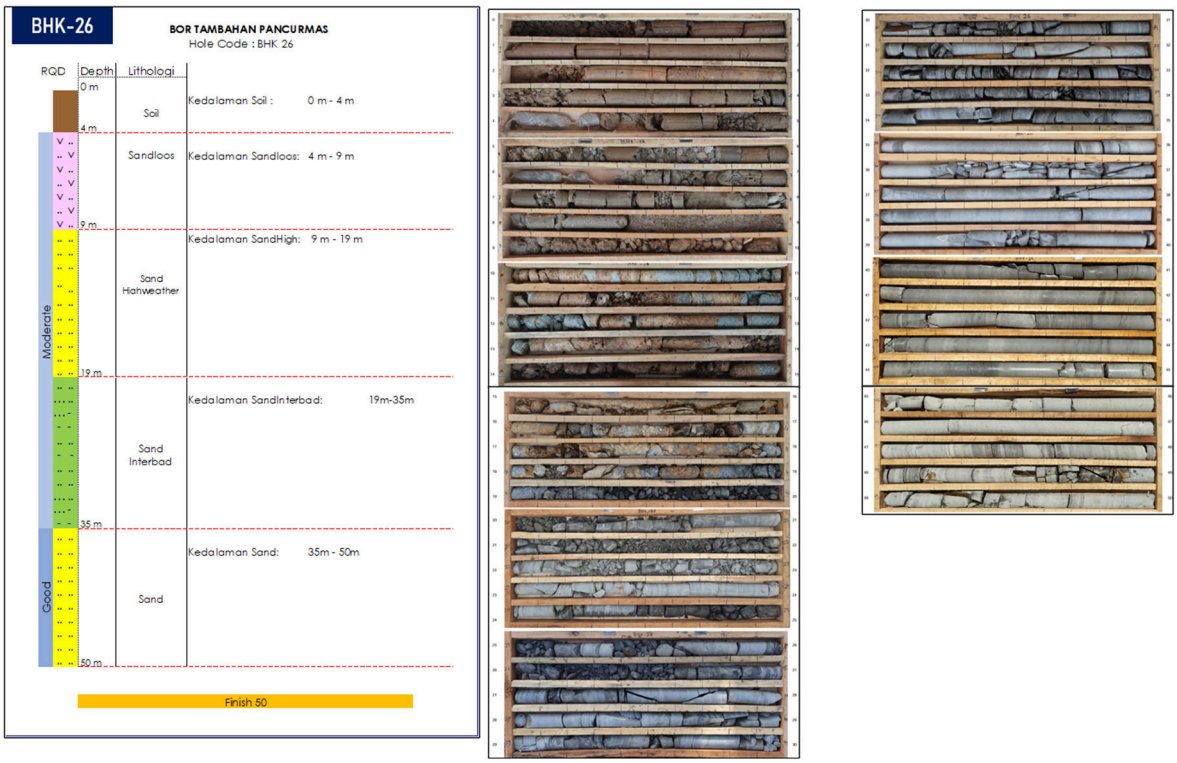
secara simultan, yang dapat meningkatkan efisiensi dan mempercepat penyelesaian proyek. Selain itu, struktur pembagian ini mendukung sistem pengawasan dan pelaporan yang lebih terfokus, karena masing-masing paket memiliki target dan kendala teknis yang berbeda. Dengan pendekatan ini, pengendalian waktu, biaya, dan mutu menjadi lebih terkendali, serta mempermudah identifikasi deviasi dari jadwal induk (*master schedule*). Hingga saat ini, progres fisik proyek menunjukkan capaian yang belum sepenuhnya sesuai dengan target dalam master schedule yang telah ditetapkan. Berdasarkan hasil monitoring dan evaluasi terakhir pekerjaan utama yang termasuk dalam lingkup Paket 1 yaitu pekerjaan tubuh bendungan (main dam) bagian kiri masih berada dalam tahap pembangunan dan mengalami deviasi dari *master schedule*.

Tabel 1. Pekerjaan proyek durasi normal

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	KONTRAK	
			KUANTITAS	Waktu (Hari)
I	**PEKERJAAN PERSIAPAN**			
1.1	Mobilisasi dan Demobilisasi Peralatan Konstruksi	Ls	1,00	121
1.2	Alat Penunjang Operasional	Ls	1,00	63
1.3	Investigasi Geologi (Pengeboran Inti termasuk Laboratorium Mekanika Batuan)	Ls	1,00	176
1.4	Pekerjaan dewatering selama konstruksi untuk galian, timbunan dan lainnya	Ls	1,00	28
II	**Galian Pondasi Bendungan**			
2.1	Clearing & grubbing dibuang ke disposal dengan jarak 1000 - 1500 m	M^2	146.464,68	145
2.2	Galian Pondasi - Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	M^3	725.167,19	752
2.3	Galian Batu di Pondasi dengan mekanis diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	M^3	1.602.949,16	1569
2.4	Galian Batu di Pondasi dengan mekanis diangkut ke stockpile dengan jarak sampai 700 m	M^3	34.000,00	43
2.5	Galian Tanah di Borrow Area di angkut ke Lokasi Penimbunan	M^3	304.860,88	804
2.6	Galian Batu Quarry (dengan peledakan) diangkut ke Lokasi Penimbunan (Quarry Siki dan Selabung Hulu)	M^3	1.734.213,99	922
2.7	Galian Pondasi - Pasir lepas diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	M^3	205.579,86	271
III	**PEKERJAAN TIMBUNAN**			
3.1	Timbunan Inti (Zone 1)	M^3	304.860,88	739
3.2	Timbunan Filter Halus / Zona 2a (material Pasir dari luar), sejauh 5 km	M^3	44.726,73	739
3.3	Timbunan Filter Kasar / Zona 2b (material Kerikil dari luar)	M^3	44.837,87	739
3.4	Timbunan Zone 3A, Rockfill	M^3	1.378.445,98	774
3.5	Timbunan Zone 3B, Rockfill (transisi) dari Stockpile	M^3	34.000,00	91
3.6	Timbunan Zone 3B, Rockfill (transisi)	M^3	311.609,31	739
3.7	Timbunan Riprap / Zona 4 (material Batu)	M^3	31.452,75	652
IV	**PEKERJAAN BETON**			
4.1	Grouting Gallery, (Beton K 225) 307,77	M^3	7.694,21	781
4.2	Caping Beton K.225 264,07	M^3	9.506,61	1105
V	**INSTRUMEN BENDUNGAN**			
5.1	Patok geser	Nos	21,00	60
5.2	Pengadaan, pemasangan vibrating piezometer	Titik	10,00	60
5.3	V-notch	Set	1,00	30
5.4	Pelat Settlement	Set	16,00	60
5.5	Inklinometer	Set	1,00	30
5.6	Pengadaan dan Pemasangan stasiun klimatologi otomatis (curah hujan, kecepatan angin, temperatur dan	Unit	1,00	30
5.7	Total Earth Pressure	Unit	6,00	60
VI	**JETTY DAN TRASHBOOM**			
6.1	Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak sampai 700 m	M^3	33,35	1
6.2	Timbunan Tanah didatangkan	M^3	26,20	1
6.3	Beton K-225 untuk angker	M^3	168,25	1
6.4	Weep Hole Pipa PVC dia. 2", L = 1,5 m (termasuk penyaring)	Nos	276,00	3
6.5	Beton Mutu fc' = 14,5 MPa (K-175) Type A	M^3	312,06	7
6.6	Beton Mutu fc' = 9.8 MPa (K-125)	M^3	9,00	1
6.7	Bekisting non expose	M^2	1.485,42	3
6.8	Besi Tulangan Ulir D32	Ton	90,90	7
6.9	Penyaring sampah (Floating trash boom) setiap @ 3m, termasuk jaring dan kabel (sling)	M^1	750,00	8
VI	**PEKERJAAN GALIAN FASUM**			
7.1	Clearing & grubbing dibuang ke disposal dengan jarak 1000 - 1500 m	M^2	37.804,48	88
7.2	Galian Pondasi - Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	M^3	133.816,14	358
7.3	Galian Batu (dengan peledakan), diangkut ke disposal dengan jarak s.d 1500 m	M^3	591.296,98	392
JUMLAH				2727

3.2 Penyebab keterlambatan proyek

Proyek pembangunan bendungan tigadihaji dimulai pada tanggal 18 oktober 2023 dengan rencana selesai pada tanggal 31 Desember 2025. Dalam pelaksanaannya terjadi keterlambatan pada bulan ke-58 yaitu pada Bulan Juli 2023. Sesuai dengan master schedule pada bulan ke-58 rencana progres yaitu 30,89% namun realisasi pelaksanaan yaitu 27,48% sehingga terdapat deviasi negatif sebesar -3,414%. Keterlambatan progres ini terjadi karena tidak sesuainya data geologi di lokasi quarry batuan rockfill yang di tunjuk oleh direksi pekerjaan. Sebelumnya di rencanakan tanah kupasan untuk mendapatkan batuan rockfill adalah 3-5 meter tapi dalam pelaksanaannya, harus dilakukan galian 30-40 meter untuk mendapatkan batuan rockfill yang sesuai spesifikasi teknis untuk timbunan zona rockfill.



Gambar 2. Bor log soil investigasi

3.3 Biaya normal proyek

Pada Proyek Pembangunan Bendungan Tigadihaji di Provinsi Sumatera Selatan, biaya normal proyek merujuk pada nilai anggaran yang telah ditetapkan dalam Dokumen Kontrak. Berdasarkan nilai multi years contract dari tahun 2018 sampai dengan tahun 2025 diketahui besaran nilai kontrak adalah Rp. 1.077.580.618.000.

Tabel 2. Biaya normal proyek

NO	URAIAN PEKERJAAN	HARGA
I	Pekerjaan Persiapan	11.606.453.441,71
II	Galian Pondasi Bendungan	663.157.993.451,12
III	Pekerjaan Timbunan	111.395.025.973,26
IV	Pekerjaan Beton	56.717.566.802,00
V	Instrumen Bendungan	1.757.670.000,00
VI	Jetty dan Trashboom	4.474.392.095,00
VII	Pekerjaan Galian Fasum	122.970.320.292,32
JUMLAH		972.079.422.055,41
PPN 10%		13.282.363.636,67
PPN 11%		92.218.832.307,92
TOTAL		1.077.580.618.000,00

3.4 Pekerjaan Kritis

Penentuan pekerjaan kritis sebagai mekanisme dalam manajemen proyek yang diperoleh bagi mengidentifikasi rangkaian aktivitas yang mempunyai durasi terpanjang dan berpengaruh langsung terhadap waktu penyelesaian proyek secara menyeluruh. Proses ini dimulai dengan mengidentifikasi seluruh aktivitas yang terlibat dalam proyek serta menentukan urutan ketergantungan antar aktivitas tersebut. Penentuan jalur kritis menggunakan Microsoft Project 2016 merupakan langkah penting dalam manajemen proyek untuk mengidentifikasi aktivitas yang memiliki pengaruh langsung terhadap waktu penyelesaian proyek

Tabel 3. Pekerjaan yang berada pada jalur kritis

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	KONTRAK	
			KUANTITAS	Waktu
I	**PEKERJAAN PERSIAPAN**			
1.1	Mobilisasi dan Demobilisasi Peralatan Konstruksi dan kantor kontraktor	Ls	1,00	121
II	**Galian Pondasi Bendungan**			
1.1	Clearing & grubbing dibuang ke disposal dengan jarak 1000 - 1500 m	M^2	146.464,68	145
2.1	Galian Pondasi - Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	M^3	725.167,19	752
2.2	Galian Batu di Pondasi dengan mekanis diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	M^3	1.602.949,16	1569
2.5	Galian Batu Quarry (dengan peledakan) diangkut ke Lokasi Penimbunan (Quarry Siki dan Selabung Hulu)	M^3	1.734.213,99	922

3.5. Simulasi Percepatan Waktu Dengan Metode Crashing

Metode crashing menjadi salah satu mekanisme percepatan waktu dalam manajemen proyek yang dilaksanakan dengan penambahan terhadap sumber daya pada aktivitas-

aktivitas tertentu untuk mempercepat durasi pelaksanaannya, dengan konsekuensi terjadinya peningkatan biaya.

a. Durasi Crash (Dc)

Perhitungan durasi crash dengan lembur 3 jam perhari pada Galian Batu di Pondasi dengan mekanis diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m sebagai berikut:

$$Dc = \frac{(Dn \times h)}{(h+(ho \times e))} = \frac{(1569 \times 7)}{(7+(3 \times 0.84))} = 1.153{,}68 \text{ hari} = 1.152 \text{ hari}$$

Keterangan:

Dc = Durasi crash
Dn = Durasi normal
h = jam normal per hari
h0 = jam kerja per hari
e = efektifitas lembur

Dari contoh perhitungan diatas, memperoleh nilai maksimal terhadap memperlihatkan 1154 hari atau dapat dicepatkan hingga 415 hari dari durasi normal. Dengan cara mempertimbangkan kesamaan perolehan penyajian percepatan durasi proyek dengan penambahan jam kerja (lembur) 3 jam pada beberapa pekerjaan yang terdapat dalam lintasan kritis lainnya Tabel 4 Durasi Crash Dengan Percepatan Penambahan Jam Kerja

Tabel 4 Durasi Crash Dengan Percepatan Penambahan Jam Kerja

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN	DN	DC	DI
1.1	Mobilisasi dan Demobilisasi Peralatan Konstruksi	Ls	121	90	31
2.1	Clearing & grubbing dibuang ke disposal dengan jarak 1000 - 1500 m	M^2	145	107	38
2.2	Galian Pondasi - Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	M^3	752	553	199
2.3	Galian Batu di Pondasi dengan mekanis diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	M^3	1569	1154	415
2.6	Galian Batu Quarry (dengan peledakan) diangkut ke Lokasi Penimbunan (Quarry Siki dan Selabung Hulu)	M^3	922	678	244

b. Biaya Crash (Cc)

Berdasarkan sumber dari kontraktor Hutama – Basuki KSO, untuk sewa peralatan biaya lembur perjamnya sama seperti harga sewa alat reguler, jadi tidak ada penambahan koefisien biayanya perjamnya, tetapi ada biaya tambahan untuk metode kerja seperti lampu, kabel, dll. Analisis percepatan (crashing) dengan cara menambahkan jam kerja bisa menjadi salah satu alternatif percepatan proyek jika kebutuhan resource yang akan ditambahkan tidak tersedia. Pada perhitungan ini digunakan penambahan 3 pada pekerjaan normal.

Tabel 5 Rekapitulasi waktu dan biaya langsung percepatan dengan penambahan jam kerja

NO	URAIAN PEKERJAAN	Alternatif					
		Normal		Crashing			
		DN	Biaya (Cn)	DC	Biaya (Cc)	Di	Cost slope
1.1	Mobilisasi dan Demobilisasi Peralatan Konstruksi	121	2.004.000.000,00	90	2.004.000.000,00	31	-
2.1	Clearing & grubbing dibuang ke disposal dengan jarak 1000 - 1500 m	145	1.185.031.222,73	107,00	1.270.511.259,00	38	2.249.474,64
2.2	Galian Pondasi - Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	752	35.533.192.517,80	553,00	35.744.873.171,00	199	1.063.721,88
2.3	Galian Batu di Pondasi dengan mekanis diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	1569	157.089.019.233,00	1.154,00	168.463.404.562,00	415	27.408.157,42
2.6	Galian Batu Quarry (dengan peledakan) diangkut ke Lokasi Penimbunan (Quarry Siki dan Selabung Hulu)	922	356.775.126.887,42	678,00	384.382.435.788,00	244	113.144.708,61
Jumlah cost slope penambahan kerja lembur selama 3 jam							143.866.062,54

c. Penambahan Biaya Akibat Tambah Jam Kerja

Penghitungan biaya tambahan dilakukan karena proyek ini menerapkan sistem kerja lembur selama 3 jam, dari pukul 16:00 hingga 19:30. Biaya tambahan lembur dihitung dengan durasi percepatan proyek selama 570 hari, yang berarti 180 hari lebih cepat dibandingkan durasi normal. Berikut adalah perhitungan biaya tambahan akibat kerja lembur berdasarkan asumsi yang digunakanRekapitulasi Penambahan Biaya Akibat Tambah Jam Kerja:

a. Tambahan biaya penerangan = Rp 127.875.182
b. Tambahan biaya umum lapangan = Rp 684.720.000 +
Total biaya = Rp 812.295.182

d. Total Biaya Percepatan Proyek Dengan Tambah Jam Kerja

Perhitungan tambahan biaya yang timbul akibat percepatan proyek dengan sistem kerja lembur selama 3 jam mencakup beberapa aspek, yaitu peningkatan biaya upah pekerja, penambahan biaya umum lapangan, serta biaya penerangan proyek. Dengan mempertimbangkan seluruh faktor yang mempengaruhi, total biaya percepatan proyek akibat penambahan jam kerja lembur selama 3 jam dapat dihitung. Percepatan ini dilakukan dengan mengurangi durasi proyek sebanyak 191 hari dari waktu normalnya, yaitu dari 2.727 hari menjadi 2.536 hari. Hasil akhir dari total biaya percepatan yang disebabkan oleh tambahan jam kerja lembur ini disajikan secara rinci dalam Tabel 6 berikut

Tabel 6. Rekapitulasi biaya tidak langsung penambahan jam kerja

NO	URAIAN BIAYA	Jumlah Biaya
1	Biaya percepatan upah, tenaga kerja dan sewa alat	143.866.062
2	Biaya umum lapangan dan penerangan malam hari	812.595.182
	Total	**956.461.244**

3.6.Analisis Biaya Langsung dan Tidak Langsung Crashing

A. Pekerjaan Normal dan Biaya Normal

Koefisien yang diperoleh untuk upah, bahan, dan peralatan kemudian digunakan sebagai faktor dalam menentukan biaya langsung dari pekerjaan ini. Sebelum melakukan perhitungan koefisien biaya bahan dan upah, langkah awal yang dilakukan adalah menentukan harga satuan pekerjaan terlebih dahulu. Harga satuan ini menjadi dasar dalam penghitungan selanjutnya dan diperoleh berdasarkan data yang dikumpulkan dari kontraktor Hutama – Basuki KSO sebagai pihak pelaksana proyek.

a. Koefisien biaya upah, bahan, alat = 90 %
b. Koefisien biaya umum/overhead = 5 %
c. Koefisien biaya keuntungan = 5 %

Dari perhitungan koefisien biaya upah, bahan dan alat dapat diketahui biaya langsung total proyek sebagai berikut :

Biaya langsung (direct cost) = Koef. biaya upah, bahan, alat x nilai proyek sebelum PPN
= 90 % x Rp. 972.079.422.055 = **Rp 874.871.479.850**

Setelah memperoleh koefisien biaya overhead, langkah berikutnya adalah menghitung nilai biaya overhead. Biaya overhead mencakup pengeluaran tidak langsung yang tidak berkaitan langsung dengan pekerjaan fisik, seperti biaya listrik, gaji pegawai, sewa kendaraan, dan berbagai biaya operasional lainnya. Dalam proyek Bendungan Tigadihaji Paket 1 di Kabupaten Ogan Komering Ulu Selatan, durasi kerja normal yang diterapkan adalah 7 jam per hari, dengan jadwal kerja berlangsung setiap hari tanpa hari libur.

Overhead total = koefisien overhead x nilai proyek sebelum PPN
= 5 % x Rp. 972.079.422.055 = Rp 48.603.971.103

Overhead per hari $= \frac{Overhead\ \text{total}}{\text{Durasi normal}} = \frac{48.603.971.103}{2.563}$ = **Rp 17.823.239/hari**

Demikian pula dalam perhitungan keuntungan, yang diperoleh dengan mengalikan nilai koefisien keuntungan dengan total nilai proyek sebelum dikenakan PPN. Dalam penelitian ini, besaran keuntungan tetap sama baik pada kondisi normal maupun saat dilakukan percepatan crashing

Biaya keuntungan = Koefisien keuntungan x nilai proyek sebelum PPN
= 5 % x Rp. 972.079.422.055 = Rp 48.603.971.103

B. Pekerjaan Percepatan dan Biaya Percepatan

Dalam pelaksanaan percepatan proyek (crashing), pekerjaan diselesaikan dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan durasi normal yang telah direncanakan sebelumnya. Percepatan ini dilakukan dengan tujuan untuk menyelesaikan proyek lebih cepat dari jadwal awal tanpa mengurangi kualitas pekerjaan. Dalam penelitian ini, metode crashing diterapkan melalui penambahan jam kerja bagi tenaga kerja yang terlibat dalam proyek. Konsekuensi dari penambahan jam kerja ini adalah meningkatnya biaya yang harus dikeluarkan, terutama untuk upah tenaga kerja serta biaya sewa peralatan yang digunakan. Peningkatan durasi kerja menyebabkan tenaga kerja mendapatkan tambahan bayaran karena bekerja di luar jam kerja normal, sementara peralatan yang disewa juga digunakan lebih lama dari perencanaan awal. Akibatnya, biaya langsung (direct cost) mengalami peningkatan. Di sisi lain, percepatan proyek melalui metode crashing juga berdampak pada pengurangan durasi keseluruhan proyek.

1. Biaya langsung (*direct cost*) dengan menambah jam kerja lembur 3 jam
   = biaya langsung normal + biaya langsung penambahan jam kerja
   = Rp 874.871.479.850 + Rp 956.461.244
   = Rp 875.827.941.094
2. Biaya tidak langsung (*direct cost*) dengan menambah jam kerja lembur 3 jam
   = durasi x *overhead* perhari
   = 2536 x 17.823.239
   = Rp 45.199.732.570
3. Total biaya proyek normal dan setelah *crashing*
   a. Total biaya pekerjaan normal
      = *direct cost* normal + *indirect cost* normal + keuntungan

= Rp 874.871.479.850 + Rp 48.603.971.103+ Rp 48.603.971.103

= Rp 972.079.422.055

b. Total biaya *crashing*

= *direct cost crashing* + *indirect cost crashing* + keuntungan

= Rp 875.827.941.094 + Rp 45.199.732.570+ Rp 48.603.971.103

= Rp 969.631.644.767

3.7 Rekapitulasi Waktu Dan Biaya Proyek Metode crashing

Dari hasil rekapitulasi di atas didapatkan bahwa dengan dilakukannya *crashing* dengan menambah jam kerja lembur selama 3 jam dapat mempersingkat durasi proyek selama 191 hari yang sebelumnya berdurasi 2.727 hari menjadi 2.536 hari kalender. Dari segi biaya mengalami penurunan 0,25% yaitu sebesar Rp. 2.447.777.290 yang sebelumnya Rp. 972.079.422.050 menjad Rp. 969.631.644.766.

Tabel 7 Perbandingan waktu dan biaya normal dan crashing

Pekerjaan	Durasi	Biaya Langsung	Biaya Tidak Langsung	Keuntungan	Jumlah	Rasio
Normal	2.727,00	874.871.479.849,50	48.603.971.102,75	48.603.971.102,75	972.079.422.055,00	1,000
Crashing	2.536,00	875.827.941.093,50	45.199.732.569,33	48.603.971.102,75	969.631.644.765,58	0,997

3.8 Metode Overlapping

Metode overlapping merupakan metode pelaksanaan pekerjaan dengann tujuan untuk melaksanakan pekerjaan lebih cepat tanpa mengurangi durasi suatu pekerjaan namun melakukan proses tumpang tindih suatu pekerjaan dengan mengubah relationship dan lag. Sesuai data sebelumnya yang telah diolah maka didapatkan pekerjaan yang berada pada jalur pekerjaan kritis sebagai berikut :

Tabel 8 Pekerjaan yang berada pada jalur kritis

NO	Uraian Pekerjaan	Durasi	Predecessor	Relationship
1.1	Mobilisasi dan Demobilisasi Peralatan Konstruksi	121	-	-
2.1	Clearing & grubbing dibuang ke disposal dengan jarak 1000 - 1500 m	145	1.1	SS
2.2	Galian Pondasi - Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	752	2.1	SS
2.3	Galian Batu di Pondasi dengan mekanis diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	1569	2.2	SS + 300
2.6	Galian Batu Quarry (dengan peledakan) diangkut ke Lokasi Penimbunan (Quarry Siki dan Selabung Hulu)	922	2.3	FS - 330

3.9 Percepatan waktu dengan metode overlapping

Pekerjaan yang akan dilakukan overlapping yaitu pekerjaan yang berada pada jalur kritis dengan dasar kegiatan sebagai berikut :

Tabel 10 Pekerjaan yang dilakukan overlapping

NO	Kegiatan	Alasan	Tindakan
1	*Clearing & grubbing* dibuang ke disposal dengan jarak 1000 - 1500 m	Pekerjaan ini dapat dikerjakan 30 hari lebih awal dengan cara mengubah *finish to start* dengan pekerjaan mobilisasi dan demobilisasi peralatan konstruksi yaitu pada saat mobilisasi peralatan konstruksi di prioritaskan alat berat yang menunjang pekerjaan *clearing & grabbing* dibuang ke disposal dengan jarak 1000 - 1500 m	Mengubah *finish to start* dikurangi lag 30 dengan pekerjaan mobilisasi dan demobilisasi peralatan konstruksi
2	Galian Pondasi - Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	Pekerjaan ini dapat dikerjakan lebih awal yaitu 60 hari setelah pekerjaan *clearing & grubbing* dibuang ke disposal dengan jarak 1000 - 1500 m.	Mengubah *finish to start* menjadi start *to start* ditambah lag 60 hari dengan pekerjaan clearing & grubbing dibuang ke disposal dengan jarak 1000 - 1500 m
3	Galian Batu di Pondasi dengan mekanis diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	Pekerjaan ini dapat dimulai lebih awal sebelum selesainya pekerjaan Galian Pondasi - Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m Karena dengan dimulainya pekerjaan ini tidak mengaggung rencana pekerjaan galian tanah.	Mengubah *start to start* + 300 menjadi *start to start* + 240 dengan pekerjaan Galian Pondasi - Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m.
4	Galian Batu Quarry (dengan peledakan) diangkut ke Lokasi Penimbunan (Quarry Siki dan Selabung Hulu)	Pekerjaan ini baru dapat dimulai ketika pekerjaan Galian Batu di Pondasi dengan mekanis diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m dikerjakan. Namun dapat dikerjakan lebih awal dengan alasan lokasi yang siap dapat dikerjakan meskipun pekerjaan yang berkaitan belum selesai 100%	Memulai pekerjaan lebih awal sebanyak 60 hari dengan mengubah *finish to start* – 330 dengan pekerjaan Galian Batu di Pondasi dengan mekanis diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 menjadi *finish to start* – 270 dengan pekerjaan Galian Batu di Pondasi dengan mekanis diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500

Dalam metode overlapping ini, tidak terjadi perubahan pada durasi keseluruhan proyek. Sebagai gantinya, penyesuaian dilakukan dengan mengubah hubungan antar aktivitas serta mengatur lag atau jeda waktu di antara tahapan pekerjaan, sehingga pekerjaan dapat dilakukan secara tumpang-tindih untuk mempercepat penyelesaian tanpa mempengaruhi total waktu yang telah direncanakan. Gantt Chart MS Project setelah dilakukan overlapping dapat dilihat pada lampiran 9. Sebelumnya waktu pelaksanaan 2.727 hari menjadi 2.612 hari sehingga didapatkan percepatan waktu pekerjaan sebanyak 115 hari

3.10 Analisis Biaya Langsung dan Tidak Langsung Metode Overlapping

A. Pekerjaan Normal dan Biaya Normal

Dalam pelaksanaan pekerjaan pada kondisi normal, berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh dari analisis percepatan proyek menggunakan metode crashing yang telah dibahas sebelumnya, dapat diketahui estimasi besaran biaya yang meliputi biaya langsung, biaya overhead, serta keuntungan yang dihasilkan. Rincian dari masing-masing komponen biaya tersebut dijelaskan sebagai berikut.

a Biaya langsung (*direct cost*) = Koefisien biaya upah + bahan + alat x nilai proyek sebelum PPN

= 90 % x Rp. 972.079.422.055= Rp 874.871.479.850

b Biaya *Overhead*

Overhead total = koefisien *overhead* x nilai proyek sebelum PPN

= 5 % x Rp. 972.079.422.055 = Rp 48.603.971.103

Overhead per hari = $\frac{\textit{Overhead}\ \text{total}}{\text{Durasi normal}} = \frac{17.233.672.895}{750} =$ Rp 17.823.239/hari

c Biaya keuntungan = Koefisien keuntungan x nilai proyek sebelum PPN

= 5 % x Rp. 972.079.422.055 = Rp 48.603.971.103

B. Pekerjaan Overlapping dan Biaya Overlapping

Karena durasi proyek setelah penerapan overlapping menjadi lebih singkat, pengeluaran biaya tidak langsung (indirect cost) juga mengalami penurunan, mengingat biaya ini berkaitan dengan durasi pelaksanaan proyek. Sementara itu, biaya langsung (direct cost)

tetap tidak mengalami perubahan, karena tidak ada penyesuaian dalam alokasi sumber daya, baik dari segi tenaga kerja, penggunaan material, maupun biaya sewa peralatan. Dengan demikian, metode overlapping dapat meningkatkan efisiensi waktu tanpa menambah atau mengurangi jumlah sumber daya yang digunakan dalam proyek. Pada perhitungan overlapping dengan mengubah relationship dan lag didapatkan durasi proyek selama 2.612 hari, selisih 115 hari dengan pekerjaan normal dengan durasi 2.727 hari. Perbedaan durasi ini cukup signifikan sehingga ada kemungkinan jika proyek yang dipercepat lebih efisien dibandingkan pekerjaan normal.

a Biaya Langsung (direct cost) = Rp 874.871.479.850

b Biaya tidak langsung (direct cost) = durasi overlapping x overhead perhari
= 2.612 x Rp 17.823.239= Rp 46.554.298.688

c Total biaya proyek normal dan setelah overlapping

1. Total biaya pekerjaan normal
= direct cost normal + indirect cost normal + keuntungan
= Rp 874.871.479.850 + Rp 48.603.971.103+ Rp 48.603.971.103
= Rp 972.079.422.056

2. Total biaya overlapping
= direct cost overlapping + indirect cost overlapping + keuntungan
= Rp 874.871.479.850 + Rp 46.554.298.688 + Rp 48.603.971.103
= Rp 970.029.748.609

4.11 Rekapitulasi Waktu Dan Biaya Proyek Metode Overlapping

Berikut hasil rekapitulasi perhitungan biaya normal dan biaya setelah dilakukan overlapping pekerjaan.

Tabel 11 Perbandingan waktu dan biaya normal dan overlapping

Pekerjaan	Durasi	Biaya Langsung	Biaya Tidak Langsung	Keuntungan	Jumlah	Rasio
Normal	2.727,00	874.871.479.850	48.603.971.103	48.603.971.103	972.079.422.056	1,000
Overlapping	2.612,00	874.871.479.850	46.554.297.656	48.603.971.103	970.029.748.609	0,998

4.12 Metode Kombinasi Crashing dan Overlapping

Metode kombinasi crashing dan overlapping merupakan pendekatan strategis yang menggabungkan kedua metode tersebut secara terencana. Tujuannya adalah untuk mencapai

percepatan proyek yang optimal dengan mempertimbangkan keseimbangan antara waktu, biaya, dan risiko. Dalam praktiknya, sebelumnya akan dilakukan analisis jalur kritis proyek dan menentukan aktivitas mana yang dapat dipercepat dengan menambahkan sumber daya (crashing) serta aktivitas mana yang dapat dijalankan secara paralel (overlapping), dengan risiko yang masih bisa ditoleransi.

Tabel 12 Kegiatan kombinasi crashing dan overlapping

NO	Kegiatan	Alasan		Tindakan	
		Crashing	***Overlapping***	***Crashing***	***Overlapping***
1	*Clearing & grubbing* dibuang ke disposal dengan jarak 1000 - 1500 m	Dengan tembahan kerja lembur selama 3 jam tiap hari kerja dapat mempercepat waktu pelaksanaan pekerjaan sebanyak 38 hari yang sebelumnya 145 hari menjadi 107 hari.	Pekerjaan ini dapat dikerjakan 30 hari lebih awal dengan cara mengubah *finish to start* dengan pekerjaan mobilisasi dan demobilisasi peralatan konstruksi yaitu pada saat mobilisasi peralatan konstruksi di prioritaskan alat berat yang menunjang pekerjaan *clearing & grabbing* dibuang ke disposal dengan jarak 1000 - 1500	Mengubah *duration day* yang sebelumnya 145 hari menjadi 107 hari.	Mengubah *finish to start* dikurangi lag 30 dengan pekerjaan mobilisasi dan demobilisasi peralatan konstruksi
2	Galian Pondasi - Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	Dengan tembahan kerja lembur selama 3 jam tiap hari kerja dapat mempercepat waktu pelaksanaan pekerjaan sebanyak 199 hari yang sebelumnya 752 hari menjadi 553 hari.	Pekerjaan ini dapat dikerjakan lebih awal yaitu 60 hari setelah pekerjaan *clearing & grubbing* dibuang ke disposal dengan jarak 1000 - 1500 m.	Mengubah *duration day* yang sebelumnya 752 hari menjadi 553 hari.	Mengubah *finish to start* menjadi start *to start* ditambah lag 60 hari dengan pekerjaan clearing & grubbing dibuang ke disposal dengan jarak 1000 - 1500 m

NO	Kegiatan	Alasan		Tindakan	
		Crashing	***Overlapping***	***Crashing***	***Overlapping***
3	Galian Batu di Pondasi dengan mekanis diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	Dengan tembahan kerja lembur selama 3 jam tiap hari kerja dapat mempercepat waktu pelaksanaan pekerjaan sebanyak 415 hari yang sebelumnya 1569 hari menjadi 1154 hari.	Pekerjaan ini dapat dimulai lebih awal sebelum selesainya pekerjaan Galian Pondasi - Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m Karena dengan dimulainya pekerjaan ini tidak mengaggung rencana pekerjaan galian tanah.	Mengubah *duration day* yang sebelumnya 1569 hari menjadi 1154 hari.	Mengubah *start to start* + 300 menjadi *start to start* + 240 dengan pekerjaan Galian Pondasi - Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m.
4	Galian Batu Quarry (dengan peledakan) diangkut ke Lokasi Penimbunan (Quarry Siki dan Selabung Hulu)	Dengan tembahan kerja lembur selama 3 jam tiap hari kerja dapat mempercepat waktu pelaksanaan pekerjaan sebanyak 244 hari yang sebelumnya 922 hari menjadi 678 hari.	Pekerjaan ini baru dapat dimulai ketika pekerjaan Galian Batu di Pondasi dengan mekanis diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m dikerjakan. Namun dapat dikerjakan lebih awal dengan alasan lokasi yang siap dapat dikerjakan meskipun pekerjaan yang berkaitan belum selesai 100%	Mengubah *duration day* yang sebelumnya 922 hari menjadi 678 hari.	Memulai pekerjaan lebih awal sebanyak 60 hari dengan mengubah *finish to start* – 330 dengan pekerjaan Galian Batu di Pondasi dengan mekanis diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 menjadi *finish to start* – 270 dengan pekerjaan Galian Batu di Pondasi dengan mekanis diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500

Berikut durasi dan relationship metode kombinasi crashing dan overlapping setelah dilakukan analisis terhadap tindakan-tindakan yang dapat dilakukan terhadap pekerjaan yang berada jalur kritis yang dapat dilihat pada tabel berikut**.**

Tabel 13 Perubahan Durasi dan Relationship

No	Kegiatan	Perubahan durasi		Perubahan *Relationship*	
		Awal	**Percepatan**	**Normal**	***Overlapping***
1	Mobilisasi dan demobilisasi peralatan konstruksi dan kantor kontraktor	121	90		
2	*Clearing & grubbing* dibuang ke disposal dengan jarak 1000 - 1500 m	145	107	*Finish to start* dengan pekerjaan Mobilisasi dan demobilisasi peralatan konstruksi dan kantor kontraktor	*Finish to start* lag -30 dengan pekerjaan Mobilisasi dan demobilisasi peralatan konstruksi dan kantor kontraktor
3	Galian Pondasi - Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	752	553	*Finish to start* dengan pekerjaan ti *Clearing & grubbing* dibuang ke disposal dengan jarak 1000 - 1500 m mbunan rip rap	*Start to start lag* 60 dengan pekerjaan *Clearing & grubbing* dibuang ke disposal dengan jarak 1000 - 1500 m
4	Galian Batu di Pondasi dengan mekanis diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	1569	1154	*Start to start* lag 300 dengan Galian Pondasi - Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	*Start to start* lag 240 dengan Galian Pondasi - Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m
5	Galian Batu Quarry (dengan peledakan) diangkut ke Lokasi Penimbunan (Quarry Siki dan Selabung Hulu)	922	678	*Finish to start* lag -330 dengan Galian Pondasi - Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m	*Finish to start* lag -270 dengan Galian Pondasi - Galian Tanah diangkut ke disposal dengan jarak 1000-1500 m

4.13 Analisis Biaya Langsung dan Tidak Langsung Metode Kombinasi Crashing dan Overlapping

Analisis biaya langsung (direct cost) dan biaya tidak langsung (indirect cost) merupakan pendekatan penting dalam evaluasi efisiensi dan pengambilan keputusan, khususnya ketika proyek mengalami keterlambatan.

A. Pekerjaan Normal dan Biaya Normal

Dalam pelaksanaan pekerjaan pada kondisi normal, berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh dari analisis percepatan proyek menggunakan metode crashing yang telah dibahas sebelumnya, dapat diketahui estimasi besaran biaya yang meliputi biaya langsung, biaya overhead, serta keuntungan yang dihasilkan. Rincian dari masing-masing komponen biaya tersebut dijelaskan sebagai berikut.

a Biaya langsung (*direct cost*) = Koefisien biaya upah + bahan + alat x nilai proyek sebelum PPN

= 90 % x Rp. 972.079.422.055 = Rp 874.871.479.850

b Biaya *Overhead*

Overhead total = koefisien *overhead* x nilai proyek sebelum PPN

= 5 % x Rp. 972.079.422.055 = Rp 48.603.971.103

Overhead per hari = $\frac{Overhead\ \text{total}}{\text{Durasi normal}} = \frac{48.603.971.103}{2.727}$ = Rp 17.823.239/hari

c Biaya keuntungan = Koefisien keuntungan x nilai proyek sebelum PPN

= 5 % x Rp. 972.079.422.055 = Rp 48.603.971.103

B. Pekerjaan Kombinasi dan Biaya Kombinasi

Pada penelitian ini, kombinasi kedua metode tersebut diterapkan dengan menambahkan waktu kerja lembur selama 3 jam serta menyesuaikan hubungan antar pekerjaan (relationship) dan jeda waktu (lag) pada aktivitas yang saling bergantung. Dengan penambahan jam kerja ini, produktivitas meningkat, memungkinkan proyek selesai lebih cepat dibandingkan dengan jadwal awal. Karena metode Crashing melibatkan penambahan lembur selama 3 jam, maka biaya tenaga kerja serta biaya sewa peralatan akan mengalami peningkatan dibandingkan dengan kondisi normal, yang berkontribusi pada naiknya biaya langsung (direct cost). Namun, di sisi lain, penerapan kombinasi Crashing dan Overlapping menyebabkan durasi proyek menjadi lebih singkat, sehingga biaya tidak langsung (indirect cost), yang bergantung pada lamanya pelaksanaan proyek, akan berkurang. Dengan demikian, metode ini dapat mempercepat penyelesaian proyek dengan konsekuensi adanya peningkatan biaya langsung tetapi pengurangan biaya tidak langsung. Setelah durasi dan

relationship di input ke dalam Microsoft Project 2016 didapatkan percepatan 321 hari yang sebelumnya 2.727 hari menjadi 2.406 hari. Percepatan ini berpengaruh terhadap biaya langsung dan biaya tidak langsung proyek.

1. Biaya langsung (*direct cost*) dengan menambah jam kerja lembur 3 jam
   = biaya langsung normal + biaya langsung penambahan jam kerja
   = Rp 874.871.479.850 + Rp 956.461.244
   = Rp 875.827.941.094
2. Biaya tidak langsung (*direct cost*) dengan kombinasi *crashing & overlapping*
   = durasi x *overhead* perhari = 2406 x 17.823.239
   = Rp 42.882.710.628
3. Total biaya proyek normal dan setelah kombinasi *crashing & overlapping*
   a. Total biaya pekerjaan normal
      = *direct cost* normal + *indirect cost* normal + keuntungan
      = Rp 874.871.479.850 + Rp 48.603.971.103+ Rp 48.603.971.103
      = Rp 972.079.422.055
   b. Total biaya kombinasi *crashing & overlapping*
      = *direct cost* kombinasi + *indirect cost* kombinasi + keuntungan
      = Rp 875.827.941.094 + Rp 42.882.710.628+ Rp 48.603.971.103
      = Rp 967.314.622.825

4.14 Rekapitulasi Waktu Dan Biaya Proyek Kombinasi *Crashing* dan *Overlapping*

Dari hasil rekapitulasi di atas didapatkan bahwa dengan dilakukannnya kombinasi crashing dan overlapping dengan mengubah durasi, relationship dan lag dapat mempersingkat durasi proyek selama 321 hari yang sebelumnya berdurasi 2.727 hari menjadi 2.406 hari kalender. Dari segi biaya juga mengalami penurunan 0,49% yaitu sebesar Rp. 4.764.799.231 yang sebelumnya Rp. 972.079.422.050 menjadi Rp. 967.314.622.825.

Tabel 14 Perbandingan waktu dan biaya pada kondisi normal dan kombinasi

Activity	*Duration*	*Direct cost*	*Indirect cost*	*profit*	*Total cost*	*Ratio*
Normal	2.727	874.871.479.850	48.603.971.103	48.603.971.103	972.079.422.056	1,000
Kombinasi	2.406	875.827.941.094	42.882.710.628	48.603.971.103	967.314.622.825	0,995

4.15 Rekapitulasi Hasil Simulasi

Keterlambatan pada Proyek Bendungan Tigadihaji Paket 1 yang terjadi pada Bulan ke-58 pada bulan Juli 2023 sebesar -3,41% harus mendapatkan tindak lanjut dengan dilakukan percepatan Proyek sehingga dapat tetap diselesaikan sesuai waktu kontrak. Ada 3 metode percepatan yang dapat dilakukan yaitu metode crashing, overlapping, kombinasi crashing dan overlapping. Dari ketiga metode tersebut akan dilakukan evaluasi terhadap durasi dan biaya yang paling efisien untuk ditentukan metode mana yang paling efektif untuk di implementasikan pada Proyek. Berikut rekapitulasi perbandingan durasi dan biaya proyek pada ke tiga metode tersebut.

Tabel 15 Rekapitulasi hasil simulasi

Kegiatan	Durasi (Hari)	*Direction Cost*	*Indirect Cost*	*Profit*	*Total Cost*	*Rasio*
Normal	750	Rp 258.505.093.419	Rp 17.233.672.895	Rp 11.489.115.263	Rp 287.227.881.577	1,000
Crashing	570	Rp 258.877.819.339	Rp 13.097.591.400	Rp 11.489.115.263	Rp 283.464.526.002	0,987
Overlapping	628	Rp 258.505.093.419	Rp 14.430.328.770	Rp 11.489.115.263	Rp 284.424.537.453	0,990
Kombinasi *Crashing & Overlapping*	479	Rp 258.877.819.339	Rp 11.006.572.422	Rp 11.489.115.263	Rp 281.373.507.024	0,980

4.15 Diskusi Hasil Penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi *crashing* mampu mempercepat durasi proyek hingga 191 hari dengan efisiensi biaya sebesar Rp2,45 miliar, sementara metode *overlapping* memperpendek 115 hari dengan efisiensi Rp2,05 miliar. Kombinasi keduanya menghasilkan percepatan terbesar, yaitu 321 hari dengan efisiensi Rp4,76 miliar. Hasil penelitian ini sejalan dengan literatur bahwa percepatan aktivitas pada lintasan kritis memang akan menghasilkan penurunan durasi proyek, tetapi berdampak pada kenaikan biaya langsung. Sebagai contoh, Senses & Kumral (2024) menunjukkan bahwa shortening project duration melalui crashing mengharuskan tambahan tenaga kerja dan sumber daya, sehingga biaya langsung meningkat. Yilmas dan Dede, (2023) juga menemukan bahwa biaya material dan labor bertambah ketika aktivitas kritis dikomodasi percepatan. Demikian pula dalam tinjauan sistematis oleh ElSahly (2021), disebutkan bahwa setiap pengurangan durasi proyek melalui percepatan aktivitas lintasan kritis hampir selalu disertai dengan kenaikan biaya langsung, meskipun kemungkinan pengurangan biaya tidak langsung. Namun, percepatan

durasi tersebut secara bersamaan dapat menekan biaya tidak langsung karena durasi total proyek menjadi lebih singkat, sehingga biaya pengawasan, administrasi, dan overhead berkurang.

Dari perspektif penjadwalan, penggunaan metode CPM dalam Microsoft Project terbukti efektif untuk mengidentifikasi aktivitas kritis dan mensimulasikan berbagai alternatif percepatan. Hal ini konsisten dengan pandangan Husen (2010) yang menekankan pentingnya penjadwalan jaringan dalam mengatur alokasi waktu, sumber daya, dan biaya secara lebih sistematis. Penerapan perangkat lunak seperti Microsoft Project juga mendukung akurasi perhitungan serta mempermudah visualisasi durasi optimum proyek (Sunatha, 2023).

Lebih lanjut, hasil studi ini memperkuat teori produktivitas bahwa peningkatan jam lembur berpotensi menurunkan produktivitas pekerja bila tidak dikendalikan. Misalnya, Hanna, Taylor, & Sullivan (2005) menemukan bahwa produktivitas tenaga kerja menurun secara signifikan saat jam kerja melebihi 40 jam per minggu, terutama dalam proyek mekanikal dan elektrikal. Woo (2016) melalui simulasi menunjukkan bahwa produktivitas yang menurun akibat lembur yang terus-menerus menyebabkan estimasi percepatan proyek menjadi terlalu optimistis jika tidak diperhitungkan. Di konteks Indonesia, Sumarningsih (2014) melaporkan penurunan produktivitas sebesar 8,87% - 11,84% ketika pekerja melakukan lembur rutin, bersama dengan kenaikan biaya tenaga kerja yang cukup besar.. Oleh karena itu, meskipun *crashing* efektif dalam menurunkan durasi, perlu strategi manajemen produktivitas agar efisiensi yang dicapai tidak tergerus oleh potensi *overcost* akibat turunnya kinerja tenaga kerja. Faktor eksternal seperti kondisi cuaca, keterbatasan material, dan perubahan desain juga tetap menjadi risiko keterlambatan yang perlu diantisipasi (Saputra, 2017).

Secara teoritis, hasil penelitian ini juga membenarkan pandangan Metode *crashing* hanya efektif apabila diterapkan pada aktivitas-aktivitas pada lintasan kritis dengan *cost slope* yang akurat, sebuah kondisi yang telah dibuktikan dalam literatur. Sebagai contoh, Ma dan Zhang (2019) mengombinasikan crashing dan overlapping dan menemukan bahwa perhitungan *overlap rate* dan *cost slope* yang tepat sangat menentukan efektivitas percepatan (Ma & Zhang, 2019). Penelitian dari Lim et al. (2014) juga menunjukkan bahwa overlapping antar aktivitas kritis dapat mempercepat penyelesaian proyek tanpa penambahan sumber daya

besar, namun memerlukan pengelolaan risiko seperti rework. Studi darurat Wuhan (Lu et al., 2023) mencontohkan bagaimana teknik kombinasi crashing dan overlapping bekerja di lapangan dalam kondisi yang pressing. Metode heuristik dalam Hazini (2012) mempertegas bahwa kombinasi teknik percepatan ini (crashing overlapping substitution) bisa optimal jika trade-off antara waktu dan biaya diperhitungkan dengan cermat. menghasilkan efisiensi waktu dan biaya paling optimal, sehingga layak direkomendasikan untuk proyek bendungan skala besar yang berimplikasi pada percepatan manfaat tata ruang, khususnya dalam penyediaan air baku, irigasi, dan pengendalian banjir di wilayah hinterland.

5. Kesimpulan

Proyek Pembangunan Bendungan Tigadihaji Paket 1 dengan masa pelaksanaan dari tahun anggaran 2018 sampai dengan tahun 2025 terjadi keterlambatan pada bulan ke-58 yang berdasarkan master schedule seharusnya 30,89% namun realisasi di lapangan yaitu sebesar 27,48% sehingga terdapat deviasi negative sebesar -3,41%. Penyebab keterlambatan pelaksanaan Proyek adalah tidak sesuainya data geologi perencanaan dengan kondisi aktual di lapangan. Dimana berdasarkan data geologi perencanaan seharusnya kupasan tanah untuk mendapatkan batuan sandstone sebagai bahan timbunan rockfill yaitu sedalam 3-5 meter. Namun kondisi faktual di lapangan harus dilakukan kupasan tanah sedalam 30 – 40 meter.

Metode percepatan pekerjaan pada Proyek Bendungan Tigadihaji menghasilkan efisiensi waktu dan biaya. Metode crashing dengan penambahan jam kerja menurunkan biaya dari Rp 972.079.422.050 menjadi Rp 969.631.644.767 atau efisiensi sebesar Rp 2.447.777.289 (0,25%) dengan pemangkasan durasi 191 hari (dari 2.727 hari menjadi 2.536 hari). Metode overlapping dengan mengubah relationship dan lag memberikan efisiensi biaya sebesar Rp 2.049.673.447 (0,21%) dengan durasi berkurang 115 hari menjadi 2.612 hari. Sementara itu, metode gabungan crashing dan overlapping menghasilkan efisiensi biaya tertinggi sebesar Rp 4.764.799.231 (0,49%) dengan pemangkasan waktu paling signifikan, yaitu 321 hari, sehingga durasi proyek menjadi 2.406 hari.

Metode percepatan paling efektif adalah kombinasi crashing dan overlapping, dengan efisiensi biaya sebesar Rp 4.764.799.231 (0,49%) yang semula sebesar Rp. 972.079.422.050

turun menjadi Rp. 967.314.622.825 dan pengurangan durasi 321 hari yang semula 2.727 hari menjadi 2.406 hari.

Pada pelaksanaan Proyek Pembangunan bendungan tigadihaji paket 1 dibutuhkan perencanaan percepatan dengan mempertimbangkan keterkaitan dengan progres fisik dari paket pekerjaan lain yang saling terintegrasi. Percepatan yang tidak terkoordinasi berisiko menimbulkan inefisiensi sumber daya, konflik ruang kerja, dan bahkan potensi rework. Dengan dilakukannya percepatan pekerjaan maka sangat penting untuk memastikan bahwa waktu pelaksanaan yang lebih singkat tidak mengorbankan standar mutu teknis. Hal ini penting mengingat struktur bendungan adalah infrastruktur kritis yang berfungsi jangka panjang. Oleh karena itu, seluruh pekerjaan yang dipercepat tetap harus memenuhi spesifikasi teknis dan standar mutu yang telah ditetapkan.

6. Referensi

Abrar, Husen. (2010). Manajemen Proyek. Yogyakarta. Penerbit Andi.

Dharyatiputri, J. F., Juwono, P. T., & Cahya, E. N. (2024). Studi Manajemen Konstruksi Bangunan Spillway dan Intake pada Bendungan Bulango Ulu Provinsi Gorontalo Menggunakan Metode Fasttrack dan Crashing. *Jurnal Talenta Sipil*, *7*(2), 649-657.

ElSahly, O. M., Ahmed, S., & Abdelfatah, A. (2023). Systematic review of the time-cost optimization models in construction management. *Sustainability*, *15*(6), 5578.

Ervianto, W. I. (2004). *Teori Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi*. Yogyakarta: Andi Offset.

Hanna, A. S., Taylor, C. S., & Sullivan, K. T. (2005). *Impact of extended overtime on construction labor productivity*. *Journal of Construction Engineering and Management, 131*(6), 734-739.

Hazini, K., Dehghan, R., & Ruwanpura, J. (2013). A heuristic method to determine optimum degree of activity accelerating and overlapping in schedule compression. *Canadian Journal of Civil Engineering*, *40*(4), 382-391.

Lim, T. K., Yi, C. Y., Lee, D. E., & Arditi, D. (2014). Concurrent construction scheduling simulation algorithm. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, *29*(6), 449-463.

Lu, H., Wang, H., Yu, D., & Ye, J. (2023). Sharp schedule compression in urgent emergency construction projects via activity crashing, substitution and overlapping: a case study of Huoshengshan and Leishenshan Hospital projects in Wuhan. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *30*(8), 3696-3712.

Ma, G., & Zhang, L. (2019). Exact Overlap Rate Analysis and the Combination with 4D BIM of Time-Cost Tradeoff Problem in Project Scheduling. *Advances in Civil Engineering*, *2019*(1), 9120795.

Senses, S., & Kumral, M. (2024). Trade-off between time and cost in project planning: a simulation-based optimization approach. *Simulation*, *100*(2), 127-143.

Setiyono, B., Wahyudi, S. I., Adi, H. P. (2022). Analisis Penjadwalan Waktu dan Biaya Pelaksanaan Konstruksi Dengan Penyesuaian Perubahan Anggaran Akibat Pandemi Covid-19. Universitas Islam Sultan Agung. Semarang.

Sumarningsih, T. (2014). *Pengaruh kerja lembur pada produktivitas tenaga kerja konstruksi*. *Media Komunikasi Teknik Sipil, 20*(1), 1-12.

Sunatha, I. G. N., Praganingrum, T. I., Nata, I. P. S. C. P. (2023). Analisis Percepatan Waktu Pelaksanaan Proyek Berbasis Microsoft Project. Jurnal Ganec Swara 17(2), 594-601.

Umar, M. A. (2021). *Analisis Waktu dan Biaya Dengan Metode Crashing, Overlapping dan Gabungan Crashing Overlapping:(Studi Kasus Proyek Pembangunan Bendungan Bendo Lanjutan di Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur)* (Master's thesis, Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia)).

Widiyanti, Candra. Dafid Irawan. Abdul Halim. (2022). Penjadwalan Ulang Proyek Pembangunan Gedung Rumah Sakit Paru Dungus Madiun. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan, 1(1), 54-65.

Woo, S. (2016). *Simulation analysis of labor performance during overtime and impact on project duration*. *KSCE Journal of Civil Engineering, 20*(11), 2614-2623.

Yılmaz, M., & Dede, T. (2023, February). Multi-objective time–cost trade-off optimization for the construction scheduling with Rao algorithms. In *Structures* (Vol. 48, pp. 798-808). Elsevier.