



EFISIENSI DURASI DAN BIAYA PEMBANGUNAN JEMBATAN BONDOYUDO LUMAJANG

EFFICIENCY DURATION AND COST OF CONSTRUCTION OF THE BONDOYUDO LUMAJANG

Diah Ayu Restuti Wulandari ^a, Nanin Meyfa Utami ^{a,2}, Riska Widyani ^b

^a Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jalan Kalimantan 37 Jember

^b Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Narotama, Jalan Arief Rachman Hakim 51 Surabaya

ABSTRAK

Kegagalan suatu proyek dapat dilihat dari keterlambatan waktu pelaksanaan dan masalah-masalah yang terjadi. Agar tidak terjadi kegagalan dalam suatu proyek maka diperlukan pengelolaan manajemen proyek yang sistematis sehingga dihasilkan waktu dan biaya proyek yang optimal. *Crashing project* merupakan suatu metode untuk mempersingkat lamanya waktu proyek dengan mengurangi waktu aktivitas yang bertujuan untuk mengoptimalkan waktu kerja dengan biaya terendah. Analisis dilakukan dengan cara memanfaatkan/mempersingkat (*crashing*) waktu pelaksanaan dengan menggunakan alternatif menambah jam kerja (lembur) selama 3 jam dan penambahan shift kerja. Proyek yang digunakan sebagai bahan penelitian ialah proyek pembangunan jembatan Bondoyudo Lumajang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alternatif penambahan jam kerja selama satu jam lebih mahal 0.94 % dari biaya proyek pada kondisi normal dan durasi pelaksanaan lebih cepat 0.55 % dari durasi normal. Untuk penambahan 2 jam lebih mahal 1.22 % dan durasi pelaksanaan lebih cepat 1.09 % .Untuk penambahan 3 jam lebih mahal 1.19% dan durasi pelaksanaan lebih cepat 1.64, sedangkan dengan sistem shift kerja lebih mahal 2.01% dari biaya proyek pada kondisi normal dan durasi pelaksanaan lebih cepat 7.65% dari durasi normal.

Kata kunci: efisiensi waktu dan biaya, crashing, lembur dan shift

ABSTRACT

The failure of a project can be attributed to delays in implementation time and the arising issues. To prevent project failure, systematic project management is necessary to optimize both time and cost. Project crashing serves as a method to reduce project duration by streamlining activities with minimal cost. The analysis involves shortening the implementation time through two alternatives: overtime for 3 hours and additional work shifts. The research focuses on the replacement project for the Bondoyudo Bridge in Lumajang, East Java. The findings reveal that adding an hour of work incurs a cost increase of 0.94% compared to the project's normal conditions, while reducing the implementation duration by 0.55%. For a more expensive addition of 2 hours, the cost increases by 1.22%, with an implementation duration 1.09% faster than the normal duration. Furthermore, adding 3 hours results in a 1.19% cost increase and 1.64% faster implementation. Alternatively, implementing a shift work system increases project cost by 2.01% but reduces implementation duration by 7.65% compared to the normal duration.

Keywords: time and cost efficiency, crashing, overtime, and shifts

1 Received : 20 Mei 2024, Accepted: 21 Juni 2024

2 Corresponding Author : Wulandari, D.A, 198603052023212029@mail.unej.ac.id

PENDAHULUAN

Tiga pertimbangan penting dalam proyek konstruksi adalah waktu, biaya, dan kualitas. Kualitas konstruksi merupakan aspek fundamental yang harus ditaati agar proyek berjalan sesuai rencana. Namun, sering kali terjadi keterlambatan waktu yang menyebabkan pembengkakan biaya (Tjandra, 2022). Hampir 80 persen proyek konstruksi di Indonesia mengalami keterlambatan yang disebabkan oleh faktor iklim, baik internal maupun eksternal, termasuk kurangnya koordinasi dan pengawasan serta pengiriman bahan bangunan yang berpotensi menimbulkan penundaan penyelesaian proyek (Putu, 2020). Berdasarkan penelitian Nurtsani (2017), penyimpangan waktu dan biaya pelaksanaan terhadap rencana yang besar dapat mengindikasikan manajemen proyek yang buruk, sehingga perlu adanya percepatan waktu. Percepatan ini penting untuk menghindari kondisi cuaca yang dapat menurunkan produktivitas pekerja, memenuhi permintaan owner, dan mengejar ketertinggalan proyek akibat pengurusan perizinan yang lama. Namun, percepatan waktu sering kali meningkatkan biaya karena memerlukan lembur, penggantian metode pelaksanaan, atau mendatangkan alat berat yang mahal. Untuk menghindari pembengkakan biaya yang besar akan tetapi ingin mengejar ketertinggalan durasi pelaksanaan terhadap rencana maka dilakukan pengoptimalan durasi dan biaya proyek.

Berbagai metode pengoptimalan durasi dan biaya di lapangan meliputi *fast track*, PERT, dan *crashing*. Metode *fast track* memungkinkan beberapa tahap pekerjaan dilakukan secara bersamaan atau tumpang tindih daripada menunggu semua tahap selesai sebelum memulai tahap berikutnya secara paralel (Bachmid, 2020; Salhab, 2024), akan tetapi kelemahannya dapat meningkatkan risiko kesalahan (Martins, 2023) dan membutuhkan koordinasi yang lebih intensif (Zhang, 2019). Metode PERT dan *Flash* fokus pada analisis jadwal proyek dengan mengidentifikasi jalur kritis dan estimasi waktu, namun kurang memperhitungkan sumber daya yang terlibat (Trisiana, 2020). Metode *crashing* bertujuan menemukan keseimbangan optimal antara waktu dan biaya proyek dengan mempercepat beberapa aktivitas, meskipun meningkatkan biaya langsung (Kerzner, 2022; Dewi, 2023). Peningkatan biaya langsung tersebut berasal dari biaya tambahan seperti lembur, tenaga kerja tambahan, system shift maupun penggunaan teknologi khusus (Nicholas, 2021). Kelemahan metode ini termasuk potensi gangguan antarpekerja dan penurunan kualitas pekerjaan jika tidak dikelola dengan baik (Laoyan, 2024), sehingga dalam penerapannya dilakukan beberapa kali iterasi *crashing* dengan membandingkan crash duration dan crash cost untuk mendapatkan percepatan yang optimal (Budianto, 2021). Berdasarkan hal itulah *Crashing* lebih mudah dikendalikan dan dipantau karena setiap langkah percepatan didasarkan pada keputusan terstruktur

Penelitian ini fokus pada proyek Duplikasi/Penggantian Jembatan Bondoyudo yang mengalami keterlambatan akibat keterlambatan pengiriman baja struktur grade 345. Dimana proyek yang harusnya selesai pada tanggal 31 Desember diperpanjang hingga 23 Februari sehingga penelitian ini bertujuan mencari solusi percepatan penyelesaian proyek menggunakan metode time cost trade off (TCTO). Pendekatan TCTO dipilih karena memungkinkan percepatan dilakukan secara selektif pada aktivitas tertentu, mempertahankan kualitas dengan fokus pada sumber daya yang cukup di setiap aktivitas. Metode ini lebih cocok dibandingkan *fast track* yang meningkatkan risiko kesalahan karena aktivitas yang tumpang tindih.

Kebaruan dari penelitian ini adalah melibatkan pemilihan variabel dan parameter relevan untuk memodelkan hubungan antara biaya dan waktu, termasuk faktor-faktor unik seperti

lokasi, jenis pekerjaan, dan sumber daya manusia di Lumajang, Jawa Timur. Penerapan crashing yang belum pernah dilakukan di proyek tersebut melibatkan penambahan jam kerja lembur dan shift pada pekerjaan di lintasan kritis, disesuaikan dengan keterbatasan ruang kerja dan akses alat berat. Pendekatan ini mengurangi risiko operasional dan keselamatan kerja serta lebih ekonomis dibandingkan mendatangkan alat berat dari luar wilayah. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam mengoptimalkan durasi dan biaya proyek konstruksi secara lebih efektif dan efisien.

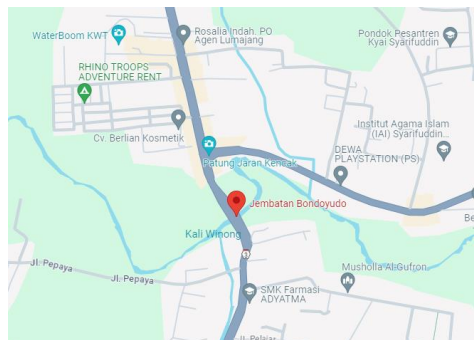
METODE PENELITIAN

Analisis deskriptif merupakan metode yang dipakai dalam penelitian ini, yang merupakan suatu metode pemecahan masalah dengan mengumpulkan data kuantitatif yang kemudian dilakukan penyusunan, pengolahan hingga analisis sampai memperoleh hasil akhir yang dijelaskan dalam bentuk deskriptif.

Dalam penelitian ini, aktivitas sisa pekerjaan merupakan aktivitas yang akan dianalisis sehingga didapat durasi normal yang selanjutnya di lakukan percepatan untuk memperoleh waktu dan biaya optimal.

Lokasi

Jembatan Bondoyudo merupakan jembatan yang berada di Jalan Raya Krajan Wonorejo, Kedung Jajan, Lumajang, Jawa Timur. Jembatan ini memiliki panjang 400 meter dan lebar kurang dari 7 meter yang menghubungkan jalur Probolinggo-Lumajang.



Gambar 1. Jembatan Bondoyudo

Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer yang berupa wawancara dengan pihak kontraktor tentang permasalahan penjadwalan yang terjadi dilapangan dan data skunder berupa mulai dari time schedule proyek, rencana anggaran biaya dan data biaya upah tenaga kerja.

Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini terdiri dari dua analisis, yaitu analisis aktivitas sisa pekerjaan dan *Crashing*.

Analisis Pekerjaan Sisa

Berikut merupakan langkah-langkah analisis pekerjaan sisa

1. Identifikasi aktivitas yang belum dikerjakan dan diselesaikan
2. Hitung durasi dan biaya normal pada aktivitas yang mengalami keterlambatan
3. Buat network diagram untuk memperoleh lintasan kritis sebagai acuan pekerjaan yang akan di *crashing*.

Analisis Crashing

Untuk mempercepat pekerjaan, perlu menekan waktu pada aktivitas dengan *cost slope* terendah yang berada di lintasan kritis. *Cost slope* adalah rasio antara peningkatan biaya dan percepatan durasi pekerjaan. *Cost slope* dihitung dengan menentukan *crash duration* dan *crash cost*. Perhitungan *crash duration* dan *crash cost* dilakukan dengan mengidentifikasi produktivitas *crashing* untuk setiap pekerjaan terlebih dahulu (Turkoglu, 2023). Setelah produktivitas *crashing* diketahui, *crash duration* dan *crash cost* dapat dihitung. Setelah mendapatkan *cost slope* untuk setiap pekerjaan di lintasan kritis, durasi dikompresi berdasarkan *cost slope* terendah untuk meminimalkan biaya tambahan akibat percepatan. Kemudian, aktivitas disusun kembali dan durasi dikompresi hingga lintasan kritis tidak bisa dikompresi lagi. Setelah *iterasi crashing* dilakukan, biaya langsung, biaya tidak langsung, serta total biaya dari setiap kompresi dapat diperoleh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Data

Pengumpulan Data yang diperoleh dari proyek Jembatan Bondoyudo Kab. Lumajang -Jawa Timur ini akan dianalisis menggunakan metode *Crashing*. Percepatan proyek dengan metode *Crashing* dalam penelitian ini akan dilakukan pada jalur kritis. Menentukan jalur kritis ini menggunakan *Microsoft Project*. Berikut daftar jalur kegiatan kritis dalam proyek ini adalah:

Tabel 1. Daftar Jalur Kegiatan Kritis

No	Nama Pekerjaan	Volume	Satuan	Durasi (hari)
1	Galian untuk saluran air	100.00	M ³	21
2	Pasangan Batu dengan Mortar	300.00	M ³	28
3	Timbunan Pilihan dari sumber galian	2,257.90	M ³	42
4	Pemotongan pohon pilihan diameter 15-30cm	5.00	Buah	21
5	Pemotongan pohon pilihan diameter 30-50cm	5.00	Buah	21
6	Lapis Pondasi Agregat Kelas A	600.00	M ³	28
7	Lapis Resap pengikat-Aspal cair/emulsi	1,999.20	Liter	36
8	Lapis Perekat-Aspal cair/emulsi	999.60	Liter	36
9	Laston Lapis Aus (AC-WC)	231.00	Ton	36
10	Laston Lapis Antara(AC-BC)	369.60	Ton	36
11	Laston Lapis Pondasi(AC-Base)	907.64	Ton	36
12	Beton Struktur fc'30	152.21	M ³	59
13	Beton Siklop fc'15	30.84	M ³	52
14	Pasangan Batu	923.28	M ³	91

No	Nama Pekerjaan	Volume	Satuan	Durasi (hari)
15	Perletakan Logam Tipe <i>Fixed</i>	4.00	Buah	35
16	Perletakan Logam Tipe <i>Moveable</i>	4.00	Buah	35
17	Sandaran (<i>Railing</i>)	102.00	M ²	3
18	Papan Nama Jembatan	4.00	Buah	3
19	Marka Jalan Termoplastik	429.00	M ²	14
20	Rambu Jalan Tunggal dengan permukaan Pemantul <i>Eginingrading</i>	12.00	Buah	14
21	Patok Pengarah	20.00	Buah	7
22	Rel Pengaman	200.00	M	28
23	Kerb Pracetak Jenis I (<i>Peninggi/Mountable</i>)	112.00	M	3
24	Stabilisasi dengan Tanaman	400.00	M ²	7

Berdasarkan hasil identifikasi awal didapat dua puluh empat pekerjaan yang termasuk dalam jalur lintasan kritis ataupun jalur terpanjang dan tidak memiliki waktu tunda. Pekerjaan-pekerjaan inilah nantinya yang akan dipercepat dengan empat simulasi yakni lembur 1 jam, 2 jam, 3 jam dan menggunakan metode *shift*. Untuk selanjutnya akan dicari hasil yang paling efisien.

Crash Duration dan Cost Slope Penambahan Jam Lembur

Durasi *crash duration* dan *cost slope* dengan penambahan lembur 1 jam, 2 jam dan 3 jam dapat menggunakan rumus di atas, hasilnya adalah sebagai berikut

Tabel 2. *Cash Duration dan Cost Slope* penambahan Jam Lembur

No	Nama Pekerjaan	NORMAL COST	CRASH COST TOTAL (Rp)			Durasi (hari)	CRASH DURATION			COST SLOPE		
			1 JAM	2 JAM	3 JAM		1 JAM	2 JAM	3 JAM	1 JAM	2 JAM	3 JAM
1	Galian Untuk Saluran Air	Rp. 2.436.037,00	Rp. 2.714.002,25	Rp 3.254.489,22	Rp 4.021.754,69	21	21	20	19	Rp 277.965,25	Rp 818.452,22	Rp 746.713,62
2	Pasangan Batu dengan Mortar	Rp. 161.631.879,00	Rp.167.854.543,23	Rp 181.665.280,40	Rp 202.071.662,91	28	28	27	25	Rp 6.222.664,23	Rp 15.025.051,05	Rp 14.282.304,63
3	Timbunan Pilihan dari sumber galian	Rp. 343.044.666,22	Rp. 359.204.124,49	Rp 392.487.302,88	Rp 440.607.053,98	42	41	40	38	Rp 31.164.669,54	Rp 24.721.318,33	Rp 22.971.038,39
4	Pemotongan pohon pilihan diameter 15-30 cm	Rp. 586.867,10	Rp. 662.378,27	Rp 817.307,55	Rp 1.041.034,67	21	21	20	19	Rp 75.511,17	Rp 230.440,45	Rp 213.867,27
5	Pemotongan Pohon Pilihan diameter 30-50 cm	Rp. 828.843,25	Rp. 931.512,24	Rp 1.138.817,32	Rp 1.436.694,44	21	21	20	19	Rp 102.668,99	Rp 309.974,07	Rp 286.236,80
6	Lapis Pondasi Agregat Kelas A	Rp. 164.578.266,00	Rp. 166.798.704,77	Rp 171.063.890,00	Rp 177.119.126,14	28	28	27	25	Rp 2.220.438,77	Rp 4.864.218,00	Rp 4.429.113,30
7	Lapis Resap Pengikat – Aspal Cair/Emulsi	Rp. 21.923.806,97	Rp. 21.956.022,46	Rp 22.022.572,35	Rp 22.118.874,88	36	36	34	32	Rp 32.215,50	Rp 57.613,14	Rp 53.583,47
8	Lapis Perekat - Aspal Cair/Emulsi	Rp. 10.961.903,48	Rp. 10.978.011,23	Rp 11.011.286,17	Rp 11.059.437,44	36	36	34	32	Rp 16.107,75	Rp 28.806,57	Rp 26.791,73
9	Laston Lapis Aus (AC-WC)	Rp. 228.516.331,89	Rp. 234.250.398,89	Rp 245.354.979,89	Rp 261.097.790,90	36	36	34	32	Rp 5.734.067,00	Rp 9.822.544,67	Rp 8.949.845,22
10	Laston Lapis Antara (AC-BC)	Rp. 343.426.835,14	Rp. 352.047.140,83	Rp 368.743.021,09	Rp 392.413.393,24	36	36	34	32	Rp 8.620.305,70	Rp 14.767.775,14	Rp 13.456.184,17
11	Laston Lapis Pondasi (AC-Base)	Rp. 829.157.612,67	Rp. 850.607.292,09	Rp 892.151.022,92	Rp 951.049.031,29	36	36	34	32	Rp 21.449.679,42	Rp 36.746.155,98	Rp 33.482.519,31
12	Beton Struktur fc'30	Rp. 221.413.214,53	Rp 225.024.203,22	Rp 232.522.364,54	Rp 243.389.791,72	59	58	56	53	Rp 4.957.459,05	Rp 3.954.104,24	Rp 3.683.456,44
13	Beton Siklopl fc'15	Rp. 27.995.326,22	Rp 29.543.232,99	Rp 32.943.372,21	Rp 37.952.843,46	52	51	50	47	Rp 2.411.162,46	Rp 1.998.249,34	Rp 1.893.630,41
14	Pasangan Batu	Rp. 553.744.630,87	Rp 584.649.390,06	Rp 653.879.374,92	Rp 756.433.891,35	91	90	87	82	Rp 27.508.631,80	Rp 23.108.017,86	Rp 22.026.061,27
15	Perletakan Logam Tipe <i>Fixed</i>	Rp. 111.989.969,12	Rp 112.279.938,23	Rp 112.876.813,16	Rp 113.739.593,96	35	35	33	31	Rp 289.969,11	Rp 532.106,42	Rp 494.338,45
16	Perletakan Logam Tipe <i>Moveable</i>	Rp. 133.989.969,12	Rp 134.279.938,23	Rp 134.876.813,16	Rp 135.739.593,96	35	35	33	31	Rp 289.969,11	Rp 532.106,42	Rp 494.338,45
17	Sandaran (<i>Railing</i>)	Rp. 77.430.368,52	Rp 78.140.590,56	Rp 79.738.590,15	Rp 82.108.656,96	3	3	3	3	Rp 710.222,04	Rp 2.308.221,63	Rp 4.678.288,44
18	Papan Nama Jembatan	Rp. 3.227.400,00	Rp 3.480.980,19	Rp 4.047.408,63	Rp 4.885.835,39	3	3	3	3	Rp 253.580,19	Rp 820.008,63	Rp 1.658.435,39
19	Marka Jalan Termoplastik	Rp. 59.830.695,21	Rp 61.157.954,84	Rp 63.906.930,47	Rp 67.888.052,68	14	14	13	13	Rp 1.327.259,63	Rp 4.076.235,26	Rp 5.691.308,06
20	Rambu Jalan Tunggal dengan Permukaan	Rp. 9.868.714,92	Rp 9.950.464,77	Rp 10.119.395,37	Rp 10.363.874,05	14	14	13	13	Rp 81.749,85	Rp 250.680,45	Rp 349.755,26

	Pemantul Engineering Grade											
21	Patok Pengarah	Rp . 3.717.301,00	Rp 3.940.825,07	Rp 4.427.113,73	Rp 5.141.619,86	7	7	7	6	Rp 223.524,07	Rp 709.812,73	Rp 1.424.318,86
22	Rel Pengaman	Rp. 186.943.880,00	Rp 189.027.195,42	Rp 193.464.004,30	Rp 199.943.053,09	28	28	27	25	Rp 2.083.315,42	Rp 4.890.093,22	Rp 4.590.977,80
23	Kerb Pracetak Jenis 1 (Peninggi/Mountable)	Rp. 11.649.644,16	Rp 11.952.880,16	Rp 12.607.859,11	Rp 13.568.245,02	3	3	3	3	Rp 303.236,00	Rp 958.214,95	Rp 1.918.600,86
24	Stabilisasi Dengan Tanaman	Rp. 9.672.836,00	Rp 10.220.984,01	Rp 11.454.317,05	Rp 13.283.530,09	7	7	7	6	Rp 548.148,01	Rp 1.781.481,05	Rp 3.610.694,09

Crash duration disini menunjukkan waktu yang dibutuhkan dalam penyelesaian proyek menggunakan simulasi lembur 1 jam, 2jam dan 3 jam untuk mempercepat jadwal. Semakin pendek durasi crash semakin cepat proyek selesai. Sedangkan *cost slope* menggambarkan hubungan antar biaya tambahan yang dikeluarkan untuk mengurangi durasi proyek, dimana semakin tinggi kemiringan biaya semakin besar biaya tambahan yang diperlukan untuk mengurangi durasi proyek. Hal ini terlihat dari hasil simulasi yang dihasilkan dari tabel diatas semakin singkat waktunya semakin besar biaya yang dihasilkan.

Crash Duration dan Cost Slope Shift Kerja

Tabel 3. *Cash Duration* dan *Cost Slope* penambahan Shift Kerja

No	Nama Pekerjaan	NORMAL COST	Crash Duration	Cost Perhari	Cost Sift 2	Crash Cost	Crash Cost Total	Cost Slope
1	Galian Untuk Saluran Air	Rp 2.436.037,00	11	Rp 116.001,76	Rp 116.531,10	Rp 2.583.698,45	Rp 5.019.735,45	Rp 261.272,88
2	Pasangan Batu dengan Mortar	Rp 161.631.879,00	15	Rp 5.772.567,11	Rp 5.935.456,73	Rp 173.452.205,05	Rp 335.084.084,05	Rp 13.155.082,97
3	Timbunan Pilihan dari sumber galian	Rp 343.044.666,22	22	Rp 8.167.730,15	Rp 8.294.840,68	Rp 365.834.907,26	Rp 708.879.573,48	Rp 18.497.270,59
4	Pemotongan pohon pilihan diameter 15-30 cm	Rp 586.867,10	11	Rp 27.946,05	Rp 29.062,12	Rp 633.424,18	Rp 1.220.291,28	Rp 64.054,13
5	Pemotongan Pohon Pilihan diameter 30-50 cm	Rp 828.843,25	11	Rp 39.468,73	Rp 40.584,80	Rp 889.483,59	Rp 1.718.326,84	Rp 89.947,78
6	Lapis Pondasi Agregat Kelas A	Rp 164.578.266,00	15	Rp 5.877.795,21	Rp 5.881.015,24	Rp 174.204.599,31	Rp 338.782.865,31	Rp 13.212.146,58
7	Lapis Resap Pengikat – Aspal Cair/Emulsi	Rp 21.923.806,97	19	Rp 608.994,64	Rp 609.304,04	Rp 23.205.689,07	Rp 45.129.496,03	Rp 1.368.874,92
8	Lapis Perekat - Aspal Cair/Emulsi	Rp 10.961.903,48	19	Rp 304.497,32	Rp 304.652,02	Rp 11.602.844,53	Rp 22.564.748,02	Rp 684.437,46
9	Laston Lapis Aus (AC-WC)	Rp 228.516.331,89	19	Rp 6.347.675,89	Rp 6.350.897,51	Rp 241.877.588,49	Rp 470.393.920,38	Rp 14.268.060,00
10	Laston Lapis Antara (AC-BC)	Rp 343.426.835,14	19	Rp 9.539.634,31	Rp 9.544.604,66	Rp 363.509.313,66	Rp 706.936.148,80	Rp 21.442.965,13
11	Laston Lapis Pondasi (AC-Base)	Rp 829.157.612,67	19	Rp 23.032.155,91	Rp 23.044.510,34	Rp 877.650.785,72	Rp 1.706.808.398,39	Rp 51.771.535,11
12	Beton Struktur fc'30	Rp 221.413.214,53	31	Rp 3.752.766,35	Rp 3.775.579,25	Rp 235.011.846,85	Rp 456.425.061,38	Rp 8.458.815,28
13	Beton Siklopl fc'15	Rp 27.995.326,22	28	Rp 538.371,66	Rp 558.477,89	Rp 30.177.871,11	Rp 58.173.197,33	Rp 1.232.415,22
14	Pasangan Batu	Rp 553.744.630,87	48	Rp 6.085.105,83	Rp 6.351.725,97	Rp 598.810.420,08	Rp 1.152.555.050,94	Rp 13.973.968,32
15	Perletakn Logam T tipe Fixed	Rp 111.989.969,12	19	Rp 3.199.713,40	Rp 3.202.424,12	Rp 118.558.102,23	Rp 230.548.071,35	Rp 7.193.412,94
16	Perletakan Logam Tipe Moveable	Rp 133.989.969,12	19	Rp 3.828.284,83	Rp 3.830.995,55	Rp 141.838.525,51	Rp 275.828.494,63	Rp 8.605.933,01
17	Sandaran (Railing)	Rp 77.430.368,52	2	Rp 25.810.122,84	Rp 26.001.882,79	Rp 82.241.278,78	Rp 159.671.647,30	Rp 58.215.736,66
18	Papan Nama Jembatan	Rp 3.227.400,00	2	Rp 1.075.800,00	Rp 1.140.799,98	Rp 3.518.412,67	Rp 6.745.812,67	Rp 2.490.561,78
19	Marka Jalan Termoplastik	Rp 59.830.695,21	7	Rp 4.273.621,09	Rp 4.307.688,00	Rp 63.565.252,50	Rp 123.395.947,71	Rp 9.641.920,32
20	Rambu Jalan Tunggal dengan Permukaan Pemantul Engineering Grade	Rp 9.868.714,92	7	Rp 704.908,21	Rp 706.936,84	Rp 10.458.111,47	Rp 20.326.826,39	Rp 1.586.342,75
21	Patok Pengarah	Rp 3.717.301,00	4	Rp 531.043,00	Rp 550.917,35	Rp 4.007.260,56	Rp 7.724.561,56	Rp 1.215.685,79
22	Rel Pengaman	Rp 186.943.880,00	15	Rp 6.676.567,14	Rp 6.714.275,91	Rp 198.382.860,02	Rp 385.326.740,02	Rp 15.045.891,07
23	Kerb Pracetak Jenis 1 (Peninggi/Mountable)	Rp 11.649.644,16	2	Rp 3.883.214,72	Rp 3.942.154,70	Rp 12.421.221,31	Rp 24.070.865,47	Rp 8.792.549,92
24	Stabilisasi Dengan Tanaman	Rp 9.672.836,00	4	Rp 1.381.833,71	Rp 1.445.262,27	Rp 10.470.725,87	Rp 20.143.561,87	Rp 3.176.512,34

Berdasarkan tabel diatas terlihat bahwa dengan adanya metode *shift* maka durasi semakin cepat akan tetapi biaya yang dihasilkan semakin besar. Akan tetapi dari kedua metode diatas penggunaan *shift* kerja dapat mempercepat durasi dibandingkan dengan metode lembur satu hingga tiga jam. Hal ini dikarenakan pekerja dengan system *shift* lebih segar dan lebih siap untuk bekerja, sementara lembur seringkali melibatkan pekerja yang sudah lelah setelah jam kerja.

Biaya Langsung dan Tidak Langsung

Total biaya proyek terdiri dari biaya langsung dan tidak langsung. Dengan percepatan durasi itu akan mempengaruhi total biaya proyek. Total biaya perhitungan setelah percepatan adalah:

1. Biaya langsung = biaya langsung normal + *cost slope* B
2. Biaya tidak langsung = (Biaya tidak langsung normal ÷ Durasi normal) x Durasi baru
3. Total cost = biaya langsung + biaya tidak langsung

Tabel 4. *Direct Cost* dan *Indirect Cost*

Metode Crashing	Direct Cost (Rp)	Indirect Cost (Rp)	Total Cost (Rp)
Overtime 1 Hour	11,274,814,920.05	1,101,519,527.87	12,376,334,447.92
Overtime 2 Hour	11,311,222,081.82	1,099,509,455.74	12,410,731,537.55
Overtime 3 Hour	11,309,322,801.71	1,097,499,383.61	12,406,822,185.32
Shift System	11,432,355,792.94	1,075,388,590.16	12,507,744,383.11
Normal Project	11,157,910,400.00	1,103,529,600.00	12,261,440,000.00

Berdasarkan empat simulasi yang dilakukan didapatkan bahwa dengan memberlakukan lembur tiga jam, dapat meningkatkan nilai biaya langsung atau *direct cost* dan tak langsung *indirect cost* yang lebih efisien dibandingkan dengan shift maupun lembur dua jam.

Efisiensi Biaya dan Waktu Proyek

Efisiensi biaya dan waktu proyek diperoleh dari perbandingan biaya dan waktu proyek normal dengan biaya dan waktu setelah percepatan. Efisiensi yang didapat menunjukkan lebih murah atau lebih cepat suatu proyek setelah percepatan. Untuk menghitung efisiensi yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Efisiensi penambahan 1 jam lembur Efisiensi biaya

$$\text{Efisiensi biaya} = (\text{Biaya crash proyek} \div \text{Biaya proyek normal}) \times 100\%$$

$$= (114.894.447.92 \div 12.261.440.000.00) \times 100\% = 0,94\%$$

$$\text{Efisiensi waktu} = ((183 - 182) \div 183) \times 100\% = 0,55\%$$
2. Efisiensi penambahan 2 jam lembur

$$\text{Efisiensi biaya} = (\text{Biaya crash proyek} \div \text{Biaya proyek normal}) \times 100\%$$

$$= (149.291.537.55 \div 12.261.440.000.00) \times 100\% = 1,22\%$$

$$\text{Efisiensi waktu} = ((183 - 181) \div 183) \times 100\% = 1,09\%$$
3. Efisiensi penambahan 3 jam lembur

$$\text{Efisiensi biaya} = (\text{Biaya crash proyek} \div \text{Biaya proyek normal}) \times 100\%$$

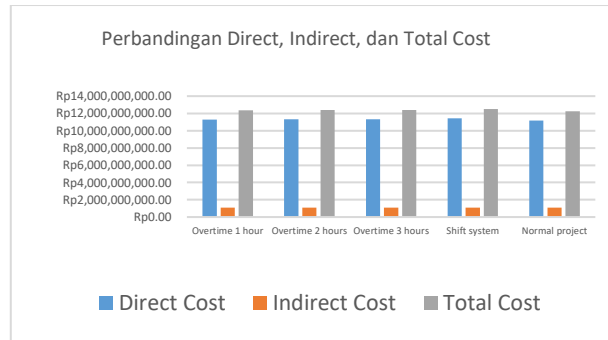
$$= (145.382.185.32 \div 12.261.440.000.00) \times 100\% = 1,19\%$$

$$\text{Efisiensi waktu} = ((183 - 180) \div 183) \times 100\% = 1,64\%$$
4. Efisiensi penambahan shift kerja

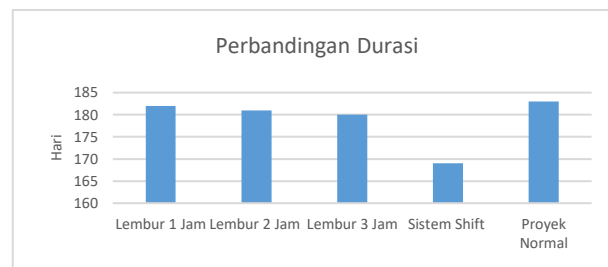
$$\text{Efisiensi biaya} = (\text{Biaya crash proyek} \div \text{Biaya proyek normal}) \times 100\%$$

$$= (246.304.383.11 \div 12.261.440.000.00) \times 100\% = 2,01\%$$

$$\text{Efisiensi waktu} = ((183 - 169) \div 183) \times 100\% = 7,65\%$$



Gambar 2. Grafik Perbandingan *Direct*, *Indirect*, dan *Total Cost*



Gambar 3. Grafik Perbandingan Durasi Proyek Normal dan Durasi Setelah *Crashing*

Gambar dua dan tiga menunjukkan simulasi perbandingan biaya dan durasi baik ketika normal dan setelah crashing. Berdasarkan hasil simulasi tersebut yang paling efisien adalah menggunakan simulasi tiga yakni penambahan shift kerja dengan menghasilkan efisiensi waktu sebesar 7,65 persen walaupun efisiensi biayanya membengkak sebesar 2,01 persen.

PEMBAHASAN

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dapat terlihat bahwa dengan adanya crashing program melalui *Crashing duration* pekerjaan menjadi lebih cepat. Terdapat empat simulasi crashing yang didasarkan pada pengaturan lembur maupun shift, dimana hasil yang didapat adalah dengan penambahan waktu lembur satu hingga tiga jam dapat mereduksi durasi antara 182 hingga 180 hari dengan waktu normal 183. Hal ini sejalan dengan penelitian (Azmiya, 2023) yang menyatakan bahwa dengan penambahan lembur dan penambahan grup alat berat dapat mempercepat durasi proyek. Namun apabila iterasinya semakin ditambah maka biayanya akan semakin membengkak, yang disebabkan adanya peningkatan upah lembur pekerja dan penambahan sewa alat. Akan tetapi reduksi yang dihasilkan tersebut masih kalah jauh dengan menggunakan system shift, hal ini disebabkan dengan penerapan sistem shift tersebut maka dapat mereduksi durasi hingga 170 hari sangat jauh dibandingkan dengan sistem lembur dan waktu normal. Akan tetapi dengan sistem shift tersebut biaya proyek menjadi membengkak, hal ini dikarenakan adanya penambahan pekerja sehingga meningkat menjadi dua kali lipat. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Diana Ramos dalam blognya yang berjudul *construction cost estimating: the basics and beyond* dalam proyek konstruksi, shift kerja memiliki waktu yang lebih singkat akan tetapi dapat menyebabkan biaya langsung yang lebih tinggi akibat mobilisasi dan demobilisasi

pekerja serta peralatan untuk mengkompensasi jadwal yang lebih padat. Studi lainnya menunjukkan bahwa meskipun shift dapat mempersingkat waktu dan dapat meningkatkan produktivitas pekerja serta mengurangi kesalahan akibat kelelahan, namun biaya tambahan yang dihasilkan juga dapat meningkat secara signifikan. Sehingga untuk menurunkan biaya perlu strategi manajemen biaya yang efektif dan harus menyeimbangkan faktor-faktor lain untuk mengoptimalkan jadwal dan anggaran proyek (Ramos, 2024). Kebaruan dari hasil yang didapat dalam penelitian ini dibanding dengan penelitian terdahulu adalah walaupun dari segi biaya peningkatannya mencapai 2,01 persen akan tetapi efisiensi durasi yang dihasilkan dari menggunakan sistem shift mampu mempercepat durasi hingga 7,65 persen sangat jauh dibandingkan dengan syem lembur yang hanya mampu mempercepat durasi sebesar 1,64 persen saja. Hal ini dikarenakan pembagian kerja yang lebih merata tanpa perlu membayar tariff lembur yang lebih tinggi yang dapat meningkatkan biaya tenaga kerja secara signifikan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, maka dalam penelitian ini dapat ditarik sebuah kesimpulan yang dapat menggambarkan hasil dari *crashing* terhadap pelaksanaan proyek Duplikasi/ Penggantian Jembatan Bondoyudo sebagai berikut :

- a. Total biaya proyek dalam kondisi normal ialah sebesar Rp.12,261,440,000.00 dengan durasi pelaksanaan proyek 183 hari kerja. Dari hasil analisis pada penelitian ini didapat total biaya proyek dalam kondisi sesudah Crashing dengan alternatif penambahan jam kerja selama satu jam didapat sebesar Rp 12,376,334,447.92 atau lebih mahal 0.94% dari biaya proyek pada kondisi normal dan durasi pelaksanaan proyek 182 hari kerja atau lebih cepat 0.55 % dari durasi normal. Untuk penambahan 2 jam didapat sebesar Rp 12,410,731,537.55 atau lebih mahal 1.22% dari biaya proyek pada kondisi normal dan durasi pelaksanaan proyek 181 hari kerja atau lebih cepat 1.09 % dari durasi normal. Untuk penambahan 3 jam didapat sebesar Rp 12,406,822,185.32 atau lebih mahal 1.19% dari biaya proyek pada kondisi normal dan durasi pelaksanaan proyek 180 hari kerja atau lebih cepat 1.64 % dari durasi, total biaya proyek dalam kondisi sesudah crashing dengan alternatif menerapkan sistem shift kerja didapat sebesar Rp 12,507,744,383.11 atau lebih mahal 2.01% dari biaya proyek pada kondisi normal dan durasi pelaksanaan proyek 169 hari atau lebih cepat 7.65% dari durasi normal.
- b. Dengan menerapkan metode crashing dengan penambahan shift kerja merupakan metode crashing yang lebih efektif karena dengan alternatif penambahan shift kerja durasi pekerjaan lebih cepat dibandingkan dengan durasi proyek dengan penambahan 1 jam, 2 jam dan 3 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Azmia, E. A. (2023). Optimasi Waktu dan Biaya Proyek Pembangunan Bendungan Bagong Paket 1 dengan Metode Time Cost Trade Off. *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 12, No.3 (2023) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print)*, D150-D155.
- Bachmid, S. W. (2020). Perpendekan Jalur Kritis Dengan Metode Fast Track (Overlap Method). *PENA TEKNIK Jurnal Ilmiah Ilmu Teknik. Vol. 5, No.2, September (2020) p-ISSN 2502-8952 e-ISSN 2623-2197*
<https://ojs.unanda.ac.id/index.php/jiit/index>, 71-81.

- Budianto, E. d. (2021). Analisis Optimasi Waktu Dan Biaya Dengan Metode Time Cost Trade Off Pada Proyek Gudang Amunisi. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil · August 2021*. DOI: 10.12962/j2579-891X.v19i3.9146, 305-310.
- Dewi, P. a. (2023). Advance Sustainable Science, Engineering and Technology (ASSET) Vol. 5, No.2, July2023, pp. 00Optimizing Project Performance by Applying the Crashing Method to Road Construction Project. *Advance Sustainable Science, Engineering and Technology (ASSET) Vol. 5, No.2, July2023, pp. 0230203-01 ~ 0230203-01* ISSN: 2715-4211, Advance Sustainable Science, Engineering and Technology (ASSET) Vol. 5, No.2, July2023, pp. 0230203-01 - 0230203-11.
- Kerzner, H. (2022). *Project Management Best Practices: Achieving Global Excellence edition 5*. New York: International Institute for Learning, Inc., New York,.
- Laoyan, S. (2024, February thursday). *Fast tracking vs crashing: A schedule compression guide*. Retrieved from ASANA: <https://asana.com/id/resources/fast-tracking-vs-crashing>
- Martins, C. B. (2023). Quantitative Risk Assessment Model and Optimization in Infrastructure Fast-Track Construction Projects. *Infrastructures 2023*, 8, 78. <https://doi.org/>, 1-18.
- Nicholas, J. a. (2021). *Project Management for Engineering, Business and Technology" edisi 6*. New York: International Institute for Learning, Inc., New York,.
- Nurtsani, R. S. (2017). Pengendalian biaya dan waktu proyek dengan metode konsep Nilai Hasil (Earned Value). *Jurnal Karya Teknik Sipil Universitas Diponegoro*, 6(4), 460–470.
- Putu, I. G. (2020). Analisis percepatan waktu pelaksanaan proyek terhadap rencana anggaran biaya pada proyek pembangunan kantor dan gedung. *Jurnal Ilmiah Telsinas Universitas Pendidikan Nasional*, 3(2), 9-12.
- Ramos, D. (2024, may 20). *construction-cost-estimating*. Retrieved from www.smartsheet.com : <https://www.smartsheet.com/construction-cost-estimating>
- Salhab, B. L. (2024). Simulation-Based Approximation of the Gain from Applying Overlapping Activities. *Journal of Construction Engineering and Management* <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-14166>.
- Tjandra, M. (2022). PENJADWALAN PROYEK PERUMAHAN X DI TANGERANG SELATAN DENGAN METODE LINE OF BALANCE DAN EFEK PEMBELAJARAN. *Jurnal Mitra Teknik Sipil Volume 5, Nomor 1, Februari 2022* , 169-183.
- Trisiana, A. A. (2020). Penjadwalan Ulang Pekerjaan Finishing Proyek Shangrila Hotel Resort and Spa Menggunakan Metode PERT dan FLASH. *JURNAL REKAYASA SIPIL DAN LINGKUNGAN. eISSN 2545-9518*. <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/JRSL/index>, 119-130.
- Turkoglu, H. G. (2023). Crashing construction projects considering schedule flexibility: an illustrative example. *International Journal of Construction Management*, 619-628.
- Zhang, Y. &. (2019). Complexity Management in Overlapping Construction Projects. *International Journal of Project Management*.