

PENERAPAN TIME COST TRADE OFF DALAM OPTIMALISASI BIAYA DAN WAKTU DENGAN PENAMBAHAN SHIFT KERJA DAN KAPASITAS ALAT (STUDI KASUS PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL SOLO – SEMARANG, RUAS BAWEN – SOLO SEKSI II)

Fajar Sri Handayani ¹⁾, R.A. Imareta Sulistiofanny ²⁾, Sugiyarto ³⁾

¹⁾ Pengajar Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

²⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

³⁾ Pengajar Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: imaretafanny@gmail.com

Abstract

Implementation of a construction project work starts with the preparation of planning, scheduling and to obtain results that correspond with the planning, control is necessary to do. Implementation of the project will run properly and on time if it is done with careful planning and good also. Project planning which is done with good scheduling management results an accelerated implementation of the project. One of the factors to do accelerated project is the existence of contractual agreements in the beginning that the project is expected finish on time or with the shorter time. It constituted by Package of Solo – Semarang Toll Road Development, Bawen – Solo Segment, Section II is one of the Trans Java project which is launched to be completed in 2018. The purposes of this study are to speed up the implementation of the project and analyzing the extent to which time can be shortened with the addition of a minimum costs against activities that can accelerate the implementation. The method is used time cost trade off with the process of shift working and instrument capacity additional alternative. Crashing is done on critical path that obtained from the results of network planning analysis, CPM (Critical Path Method). Initial planning of the project requires 238 days and the cost is Rp39,349,097,164.38. This research shows that in the process of crashing at step-29 with shift working additional alternative has Rp39,004,862,707.70 (cost efficiency is 0.875%) as optimal cost and 119 days (time efficiency is 50%) of optimal time project. While the acceleration of instrument capacity additional alternative produces 189 days (time efficiency is 20.588 %) as optimal time and has optimal cost Rp39,205,747,076.44 (cost efficiency is 0.364%) that reached at step-29 of crash process.

Key words: acceleration project, time cost trade off, shift working additional, instrument capacity, CPM.

Abstrak

Pelaksanaan atau pekerjaan sebuah proyek konstruksi dimulai dengan penyusunan perencanaan, penyusunan jadwal (penjadwalan) dan untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan perencanaan diperlukan pengendalian. Pelaksanaan proyek akan berjalan baik dan tepat waktu apabila dilakukan dengan perencanaan yang matang dan baik pula. Perencanaan proyek yang dilakukan dengan pengelolaan penjadwalan yang baik menghasilkan percepatan pelaksanaan proyek. Salah satu faktor dilakukannya percepatan proyek adalah adanya perjanjian kontrak di awal bahwa proyek diharapkan segera selesai tepat waktu atau dengan waktu yang lebih singkat. Hal ini didasari Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo – Semarang, Ruas Bawen – Solo Seksi II merupakan salah satu Proyek Trans Jawa yang dicanangkan selesai pada tahun 2018. Penelitian ini bertujuan untuk mempercepat waktu pelaksanaan proyek dan menganalisis sejauh mana waktu dapat dipersingkat dengan penambahan biaya minimum terhadap kegiatan yang bisa dipercepat kurun waktu pelaksanaannya. Metode percepatan yang digunakan adalah metode *time cost trade off* dengan proses *crashing* menggunakan alternatif penambahan shift kerja dan kapasitas alat. *Crashing* dilakukan pada lintasan kritis yang didapatkan dari hasil analisis network planning, CPM (Critical Path Method). Rencana awal proyek yang dilakukan penelitian membutuhkan waktu penyelesaian 238 hari dengan biaya Rp 39.349.097.164,38. Penelitian ini menunjukkan bahwa pada proses *crashing* tahap ke-29 dengan penambahan shift kerja mempunyai biaya optimal proyek sebesar Rp 39.004.862.707,70 (efisiensi biaya sebesar 0,875%) dengan waktu penyelesaian proyek 119 hari (efisiensi waktu sebesar 50%). Sedangkan alternatif *shift* kerja menghasilkan waktu optimal 189 hari (efisiensi waktu sebesar 20,588%) dan biaya optimal Rp 39.205.747.076,44 (efisiensi biaya sebesar 0,364%) pada proses *crashing* tahap ke-6.

Kata kunci: percepatan proyek, *time cost trade off*, penambahan *shift* kerja, kapasitas alat, CPM.

PENDAHULUAN

Pada penelitian ini studi kasus mengambil Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Bawen - Solo Seksi II sebagai objek penelitian. Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo merupakan salah satu jalan regional yang menghubungkan wilayah Utara – Selatan dan Timur – Barat Provinsi Jawa Tengah dan memiliki panjang 75,7 kilometer yang merupakan salah satu bagian dari Proyek Trans Jawa yang dicanangkan pemerintah. Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Bawen – Solo Seksi II terletak pada Desa Ngargosari, Kecamatan Ampel, Kabupaten Boyolali, dengan panjang paket 1,3 kilometer. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga selaku owner (pemilik proyek) bermaksud membangun jalan tol yang menghubungkan Bawen – Solo dengan item pekerjaan, meliputi *Main Road*, Jembatan Kali Pepe, *Underpass*, dan *Overpass*. Proyek ini dimulai pada tanggal 20 Januari 2016 dan direncanakan selesai pada tanggal 15 November 2016 dengan lama waktu pelaksanaan 300 hari kalender. Proyek pembangunan dipilih sebagai objek penelitian karena pihak *owner* menginginkan adanya percepatan untuk menghindari adanya keterlambatan, yang mana proyek pembangunan jalan tol untuk ruas ini berhubungan dengan ruas lainnya sehingga apabila mengalami keterlambatan akan mempengaruhi *start* awal pembangunan jalan tol untuk ruas selanjutnya. Metode yang sering digunakan untuk

mengetahui pengaruh dari penambahan waktu kerja dan jumlah tenaga kerja tersebut adalah dengan menggunakan Metode Analisis Pertukaran Waktu dan Biaya (*Time Cost Trade Off*). Metode ini memungkinkan dilakukannya pertukaran waktu terhadap biaya proyek dengan menganalisis biaya proyek yang akan terjadi akibat dilakukannya pengurangan durasi pelaksanaan, sehingga pada kondisi tertentu proyek akan mencapai biaya dan waktu optimum.

LANDASAN TEORI

Penjadwalan dalam pengertian proyek konstruksi merupakan perangkat untuk menentukan aktivitas yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu proyek dalam urutan serta kerangka waktu tertentu, dalam mana setiap aktivitas harus dilaksanakan agar proyek selesai tepat waktu dengan biaya yang ekonomis (Callahan, 1992). Pada penelitian ini penggambaran diagram menggunakan analisis jaringan kerja *Critical Path Method (CPM)*. *CPM* adalah suatu rangkaian item pekerjaan dalam suatu proyek yang menjadi bagian kritis atas terselesainya proyek secara keseluruhan. Ketidaktepatan waktu suatu pekerjaan yang masuk dalam pekerjaan kritis akan menyebabkan proyek mengalami keterlambatan karena waktu *finish* proyek akan menjadi mundur atau *delay*, sehingga memerlukan perhatian khusus (kritis). Pembuatan *CPM* mengacu pada kurva S proyek yang merupakan visualisasi dari kemajuan pekerjaan kumulatif pada sumbu vertikal terhadap waktu pada sumbu horisontal.

Crashing adalah istilah suatu kegiatan untuk mempersingkat umur proyek. *Crashing* dalam penelitian ini menggunakan dua alternatif yaitu penambahan *shift* kerja dan kapasitas alat. Untuk produktivitas penambahan kapasitas alat sesuai dengan penelitian Susy Fatena Rostiyanti dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Prod. Crashing} = (\text{Prod. harian normal/ jam} + \text{Prod./jam alat yang ditambah}) \times \text{Durasi} \dots\dots\dots[1]$$

kerja x *Crash duration*

Menurut Sani dan Septiropa untuk alternatif *shift* kerja produktifitasnya dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Produktivitas crashing} = \text{Produktifitas harian normal} \times \text{jumlah shift} \dots\dots\dots [2]$$

Sebelum melakukan *crashing*, harus diketahui dahulu lintasan kritis proyek dengan menggunakan *network planning*. Dengan adanya lintasan kritis dapat membantu dalam penentuan kegiatan kritis yang akan dilakukan *crashing* / dipercepat durasinya. Dalam proses mempercepat penyelesaian proyek dengan melakukan penekanan waktu aktivitas, diusahakan agar pertambahan biaya yang ditimbulkan seminimal mungkin. Disamping itu harus diperhatikan pula bahwa penekanan hanya dilakukan pada aktivitas-aktivitas yang ada pada lintasan kritis. Apabila penekanan dilakukan pada kegiatan yang tidak berada di lintasan kritis, maka waktu penyelesaian keseluruhan tidak akan berkurang. Penekanan dilakukan lebih dahulu pada aktivitas-aktivitas yang mempunyai *cost slope* terendah pada lintasan kritis. *Cost Slope* menunjukkan asumsi biaya pengurangan waktu kegiatan yang konstan tiap satuan waktu.. Maka dari itu untuk menganalisis biaya total setelah dilakukan percepatan digunakan metode pertukaran waktu dan biaya (*Time Cost Trade Off*).

METODE PENELITIAN

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui wawancara dengan karyawan proyek, studi dokumen, dan juga studi kepustakaan. Metode wawancara dimaksudkan untuk mengetahui permasalahan pada proyek secara mendalam, sedangkan studi dokumen dilakukan untuk mempelajari beberapa data sekunder seperti rencana anggaran biaya, harga satuan pekerjaan, daftar tenaga kerja dan juga laporan harian/bulanan melalui *time schedulling*. Teknik pengumpulan data melalui studi kepustakaan dilakukan dengan mempelajari buku referensi, penelitian penulis dan juga *browsing* internet mengenai beberapa metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini. Data penelitian didapatkan dari proyek Pembangunan Jalan Tol Solo Semarang – Ruas Bawen Solo Seksi II. Dari data kurva S proyek didapatkan durasi, urutan pekerjaan dan hubungan ketergantungan antar pekerjaan. Setelah itu penyusunan jaringan kerja bisa dimulai dengan mengerjakan perhitungan maju dan mundur yang menghasilkan lintasan kritis normal. Percepatan proyek dimulai dengan proses *crashing* pada lintasan kritis yang dilakukan berulang kali hingga lintasan tersebut jenuh. Kemudian melakukan analisis *TCTO* dan membahas hasil dari analisis masing-masing alternatif. Pada tahap akhir menarik kesimpulan dan membuat saran yang berkaitan dengan tujuan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Jaringan Kerja (*Network Planning*) *CPM*

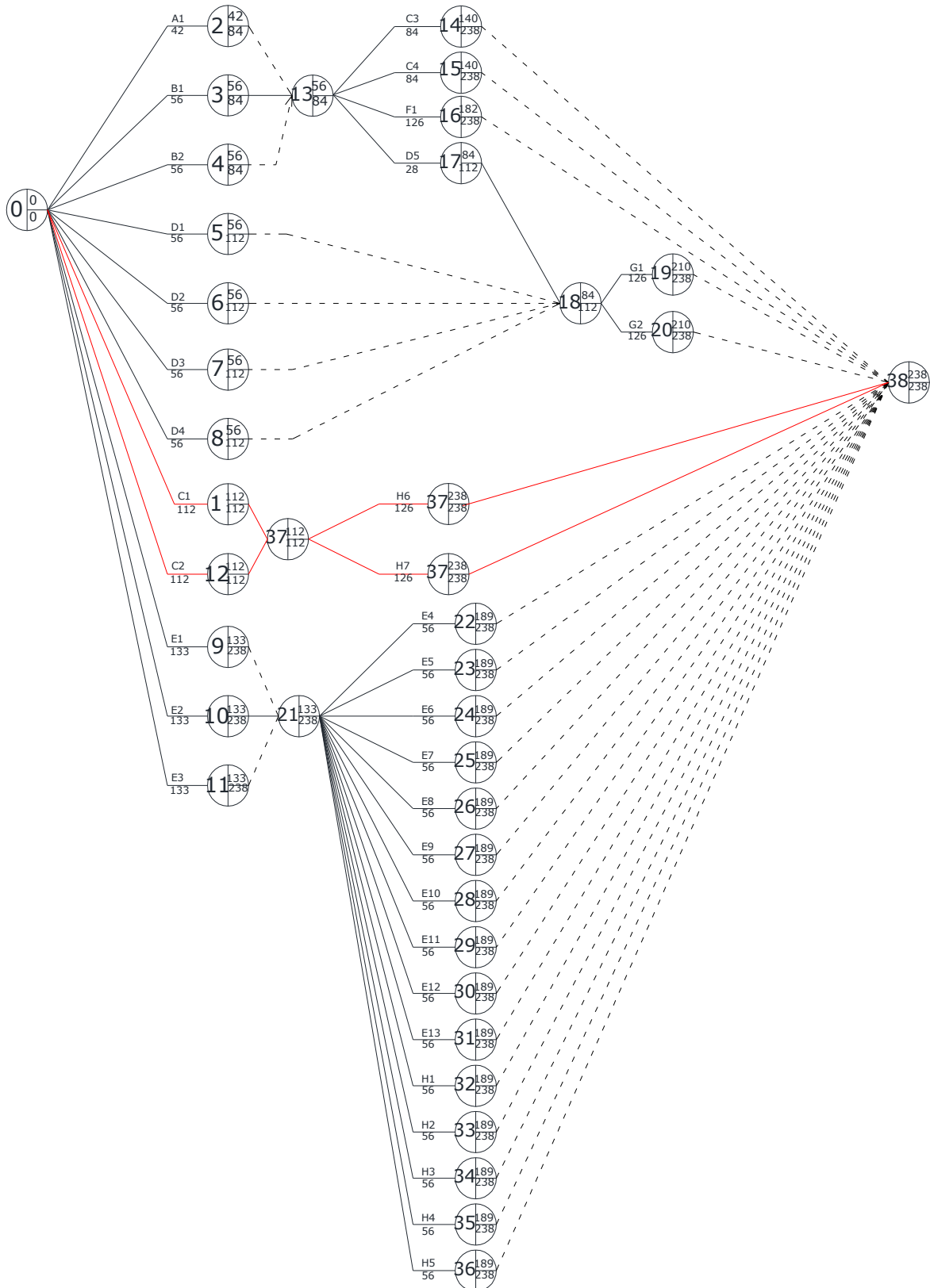
Hasil penyusunan kode kegiatan proyek disajikan pada tabel 1 beserta rincian kegiatan sebelumnya (*predecessor*). Kode kegiatan merupakan suatu cara untuk memudahkan dalam penyusunan jaringan kerja. Durasi kegiatan dan penyusunan *predecessor* ditentukan dengan bantuan kurva S proyek. Berdasarkan kurva S proyek, untuk satu minggunya pekerjaan dilaksanakan dalam 7 hari kerja.

Tabel 1. Daftar Pekerjaan Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Bawen - Solo Seksi II

	URAIAN PEKERJAAN	KODE KEGIATAN	DURASI (hari)	KEGIATAN SEBELUMNYA (Predecessor)
PEMBERSIHAN TEMPAT KERJA				
1	Pembersihan tempat kerja	A1	42	-
PEMBONGKARAN				
1	Pembongkaran Pasangan Batu atau Bata	B1	56	-
2	Pembongkaran perkerasan atau beton semen	B2	56	-
PEKERJAAN TANAH				
1	Galian biasa untuk timbunan	C1	112	-
2	Galian biasa untuk dibuang (waste)	C2	112	-
3	Urugan Material Berbutir (Granular Backfill)	C3	84	A1, B1,B2
4	Urugan rembesan (Permeable Backfill)	C4	84	A1, B1,B2
GALIAN STRUKTUR				
1	Galian struktur kedalaman 0 - 2 m	D1	56	-
2	Galian struktur kedalaman 2 - 4 m	D2	56	-
3	Galian struktur kedalaman 4 - 6 m	D3	56	-
4	Tambahan biaya galian di atas 5.01 (1) sampai 5.01 (3) untuk galian struktur yang mengandung air tanah	D4	56	-
5	Pasangan batu kosong (blinding stone)	D5	28	A1, B1,B2
DRAINASE				
1	Pipa gorong - gorong beton bertulang, P40 cm Tipe A	E1	133	-
2	Pipa gorong - gorong beton bertulang, P60 cm Tipe B	E2	133	-
3	Pipa gorong - gorong beton bertulang, 2 P100 cm Tipe D	E3	133	-
4	Saluran U, Tipe DS - 8	E4	56	E1, E2, E3
5	Catchbasin, Tipe DC - 1	E5	56	E1, E2, E3
6	Catchbasin, Tipe DC - 5	E6	56	E1, E2, E3
7	Inlet Drain, Tipe DI - 1	E7	56	E1, E2, E3
8	Inlet Drain, Tipe DI - 3	E8	56	E1, E2, E3
9	Outlet Drain, Tipe DO - 1	E9	56	E1, E2, E3
10	Outlet Drain, Tipe DO - 3	E10	56	E1, E2, E3
11	DV - 10 (Pasangan Batu dengan Mortar)	E11	56	E1, E2, E3
12	DS - 4A (Pasangan Batu dengan Mortar)	E12	56	E1, E2, E3
13	DS - 4B (Pasangan Batu dengan Mortar)	E13	56	E1, E2, E3
SUBGRADE				
1	Persiapan Tanah Dasar	F1	126	A1, B1,B2
LAPIS PONDASI AGREGAT				
1	Lapis Pondasi Agregat Kelas A	G1	126	D1, D2, D3, D4, D5
2	Lapis Pondasi Agregat Kelas B	G2	126	D1, D2, D3, D4, D5
PERKERASAN				
1	Bitumen Lapis Resap Pengikat (Prime Coat)	H1	56	E1, E2, E3
2	Bitumen Lapis Pengikat (Tack Coat)	H2	56	E1, E2, E3
3	Asphalt Concrete Binder Course	H3	56	E1, E2, E3
4	Asphalt Concrete Wearing Course	H4	56	E1, E2, E3
5	Aspal Keras	H5	56	E1, E2, E3
6	Perkerasan Beton	H6	126	C1, C2

7	Wet Lean Concrete	H7	126	C1, C2
---	-------------------	----	-----	--------

Dari tabel di atas dilanjutkan dengan membuat suatu diagram atau jaringan kerja yang pada penelitian ini digunakan CPM seperti terlihat pada gambar 1. CPM membantu dalam penentuan lintasan kritis yang ditentukan dengan melihat hasil perhitungan *Total Float*.



Gambar 1. Jaringan Kerja CPM Sebelum Dilakukan Percepatan

Total Float sendiri didapatkan dari hasil pengurangan *LET*, *EET* dan juga durasi pada masing-masing pekerjaan. Kegiatan yang mempunyai nilai *total float* = 0 maka bisa disebut kegiatan kritis, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2. Lintasan kritis Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Bawen - Solo Seksi II adalah kegiatan C1 – H6 dan C1 – H7 dan C2 – H6 dan C2 – H7 dengan waktu penyelesaian proyek 238 hari.

Tabel 2. *Total Float* Kondisi Normal Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Bawen - Solo Seksi II

KODE KEGIATAN	DURASI (hari)	EET		LET		TOTAL FLOAT	KETERANGAN
		EET _i	EET _j	LET _i	LET _j		
A	B	C	D	E	F	G = F - C - B	H
PEMBERSIHAN TEMPAT KERJA							
A1	42	0	42	0	84	42	
PEMBONGKARAN							
B1	56	0	56	0	84	28	
B2	56	0	56	0	84	28	
PEKERJAAN TANAH							
C1	112	0	112	0	112	0	KRITIS
C2	112	0	112	0	112	0	KRITIS
C3	84	56	140	84	238	98	
C4	84	56	140	84	238	98	
GALIAN STRUKTUR							
D1	56	0	56	0	112	56	
D2	56	0	56	0	112	56	
D3	56	0	56	0	112	56	
D4	56	0	56	0	112	56	
D5	28	56	84	84	112	28	
DRAINASE							
E1	133	0	133	0	238	105	
E2	133	0	133	0	238	105	
E3	133	0	133	0	238	105	
E4	56	133	189	238	238	49	
E5	56	133	189	238	238	49	
E6	56	133	189	238	238	49	
E7	56	133	189	238	238	49	
E8	56	133	189	238	238	49	
E9	56	133	189	238	238	49	
E10	56	133	189	238	238	49	
E11	56	133	189	238	238	49	
E12	56	133	189	238	238	49	
E13	56	133	189	238	238	49	
SUBGRADE							
F1	126	56	182	84	238	56	
LAPIS PONDASI AGREGAT							
G1	126	84	210	84	238	28	
G2	126	84	210	112	238	28	
PERKERASAN							
H1	56	133	189	238	238	49	
H2	56	133	189	0	238	49	
H3	56	133	189	84	238	49	
H4	56	133	189	0	238	49	
H5	56	133	189	84	238	49	
H6	126	112	238	112	238	0	KRITIS
H7	126	112	238	112	238	0	KRITIS

Hasil *Crashing* Alternatif *Shift* Kerja

Dalam alternatif ini digunakan 2 kali *shift* yaitu *shift* pertama dengan durasi kerja antara jam 08.00-16.00, sedangkan *shift* kedua antara jam 16.00-00.00. Tenaga kerja dibagi dari jumlah tenaga kerja yang tersedia sehingga tidak memerlukan penambahan pekerja. Pada tabel 3 dan tabel 4 merupakan hasil dari proses *crashing* yang juga dilakukan sampai jenuh. Pada saat proses *crashing* alternatif *shift* kerja seringkali terbentuk lintasan kritis yang baru. Hal tersebut

mengharuskan *crashing* dilakukan sampai 32 kali percobaan dengan persentase pekerjaan yang dipercepat sebesar 91,43%, efisiensi waktu pekerjaan sebesar 50% dan efisiensi biaya sebesar 0,9%.

Tabel 3. Total Durasi setelah Mengalami *Crashing* untuk Alternatif *Shift* Kerja

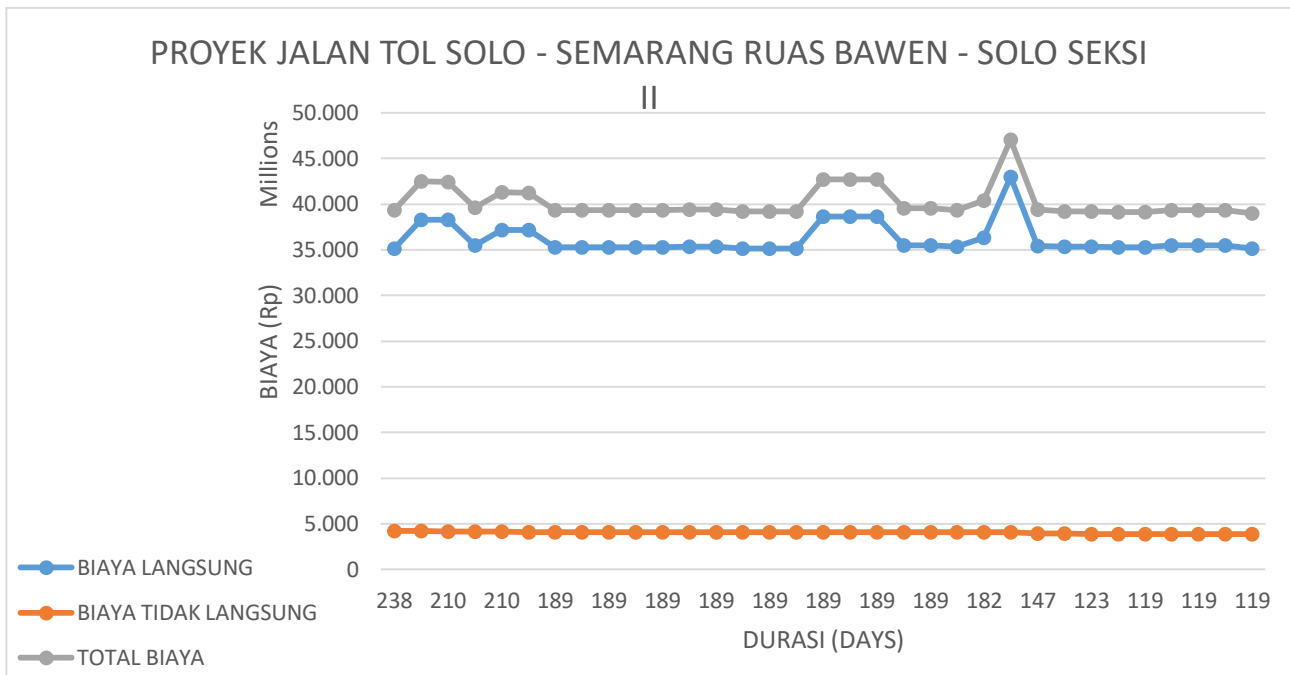
NO	KODE KEGIATAN	NORMAL			CRASH			TENAGA KERJA (ORANG)		DURASI TOTAL
		OD. HARIAN (M3/HARI)	DURASI (HARI)	BIAYA (Rp)	PROD. HARIAN (M3/HARI)	DURASI (HARI)	BIAYA (Rp)	HIFT 1	HIFT 2	
1	C1	1135.07	112	5,509,346,136.00	2270.14	56	8,642,924,893.26	4	4	238
2	C2	42.97	112	247,758,801.00	85.95	56	3,382,513,558.26	3	3	210
3	B2	10.71	56	108,283,200.00	21.43	28	453,395,277.89	4	4	210
4	G2	46.21	126	2,152,949,436.00	92.43	63	32,093,474.16	5	5	210
5	G1	38.76	126	1,877,385,180.00	77.52	63	3,899,274,052.12	5	5	189
6	E4	2.11	56	17,149,884.00	4.21	28	170,047,630.95	5	5	189
7	E7	0.04	56	18,009,706.00	0.07	28	170,907,452.95	4	4	189
8	E8	0.04	56	8,297,846.00	0.07	28	161,195,592.95	4	4	189
9	E9	0.13	56	63,033,971.00	0.25	28	215,931,717.95	4	4	189
10	E10	0.04	56	8,297,846.00	0.07	28	161,195,592.95	4	4	189
11	H1	429.52	56	527,073,389.00	859.04	28	742,853,993.40	4	4	189
12	H2	104.45	56	124,618,794.00	208.89	28	340,399,398.40	4	4	189
13	E11	2.70	56	96,239,548.00	5.39	28	110,836,452.00	4	4	189
14	E12	30.89	56	1,154,615,840.00	61.79	28	1,169,212,744.00	4	4	189
15	E13	17.86	56	669,378,000.00	35.71	28	683,974,904.00	4	4	189
16	H3	61.98	56	1,469,201,409.00	123.96	28	4,961,643,367.99	5	5	189
17	H4	14.48	56	347,429,156.00	28.96	28	3,839,871,114.99	5	5	189
18	H5	4.77	56	4,039,843,500.00	9.54	28	7,532,285,458.99	2	2	189
19	E1	7.52	133	1,317,343,000.00	15.04	67	1,683,205,465.91	5	5	189
20	E2	1.84	133	685,756,225.00	3.68	67	1,051,618,690.91	5	5	189
21	E3	0.30	133	361,124,520.00	0.60	67	544,055,752.96	5	5	182
22	F1	506.63	126	412,246,430.00	1013.25	63	1,603,028,246.15	3	3	182
23	H6	43.98	126	9,376,495,783.20	87.97	63	17,254,947,379.03	10	10	182
24	H7	15.54	126	1,634,321,936.00	31.07	63	1,939,288,722.96	8	8	147
25	B1	12.20	56	131,294,456.00	24.39	28	326,426,501.56	6	6	133
26	A1	1319.60	42	321,231,708.00	2639.19	21	538,593,072.51	4	4	123
27	E6	0.13	56	15,530,095.00	0.25	28	169,977,726.33	9	9	123
28	E5	1.57	56	162,903,136.00	3.14	28	319,366,823.33	9	9	119
29	D1	17.86	56	1,317,343,000.00	35.71	28	1,650,953,839.46	2	2	119
30	D2	4.38	56	685,756,225.00	8.75	28	1,026,867,200.46	4	4	119
31	D3	0.71	56	361,124,520.00	1.43	28	702,235,495.46	4	4	119
32	D5	9.75	28	100,980,243.00	19.50	14	118,075,690.87	5	5	119

Penentuan biaya dan waktu optimal untuk *shift* kerja juga dilihat dari total biaya terendah. Berikut hasil total biaya pada kegiatan yang sudah dipersingkat durasinya dengan alternatif *shift* kerja.

Tabel 4. Biaya Total Alternatif *Shift* Kerja

TAHAP	TOTAL DURASI	COST SLOPE (Rp/Hari)	TOTAL FLOAT (Hari)	TAMBAHAN BIAYA (Rp)	BIAYA LANGSUNG (Rp)	BIAYA TIDAK LANGSUNG (Rp)	TOTAL BIAYA (Rp)
NORMAL	238				35,133,122,468.20	4,215,974,696.18	39,349,097,164.38
CRASH C1	238	55,956,763.52	56	3,133,578,757.26	38,266,701,225.46	4,215,974,696.18	42,482,675,921.64
CRASH C2	210	55,977,763.52	56	3,134,754,757.26	38,267,877,225.46	4,133,308,525.67	42,401,185,751.13
CRASH B2	210	12,325,431.35	28	345,112,077.89	35,478,234,546.09	4,133,308,525.67	39,611,543,071.76
CRASH G2	210	32,093,474.16	63	2,021,888,872.12	37,155,011,340.32	4,133,308,525.67	41,288,319,865.99
CRASH G1	189	32,093,474.16	63	2,021,888,872.12	37,155,011,340.32	4,071,308,897.79	41,226,320,238.11
CRASH E4	189	5,460,633.82	28	152,897,746.95	35,286,020,215.15	4,071,308,897.79	39,357,329,112.93
CRASH E7	189	5,460,633.82	28	152,897,746.95	35,286,020,215.15	4,071,308,897.79	39,357,329,112.93
CRASH E8	189	5,460,633.82	28	152,897,746.95	35,286,020,215.15	4,071,308,897.79	39,357,329,112.93
CRASH E9	189	5,460,633.82	28	152,897,746.95	35,286,020,215.15	4,071,308,897.79	39,357,329,112.93
CRASH E10	189	5,460,633.82	28	152,897,746.95	35,286,020,215.15	4,071,308,897.79	39,357,329,112.93
CRASH H1	189	7,706,450.16	28	215,780,604.40	35,348,903,072.60	4,071,308,897.79	39,420,211,970.38
CRASH H2	189	7,706,450.16	28	215,780,604.40	35,348,903,072.60	4,071,308,897.79	39,420,211,970.38
CRASH E11	189	521,318.00	28	14,596,904.00	35,147,719,372.20	4,071,308,897.79	39,219,028,269.99
CRASH E12	189	521,318.00	28	14,596,904.00	35,147,719,372.20	4,071,308,897.79	39,219,028,269.99
CRASH E13	189	521,318.00	28	14,596,904.00	35,147,719,372.20	4,071,308,897.79	39,219,028,269.99
CRASH H3	189	124,730,069.96	28	3,492,441,958.99	38,625,564,427.19	4,071,308,897.79	42,696,873,324.98
CRASH H4	189	124,730,069.96	28	3,492,441,958.99	38,625,564,427.19	4,071,308,897.79	42,696,873,324.98
CRASH H5	189	124,730,069.96	28	3,492,441,958.99	38,625,564,427.19	4,071,308,897.79	42,696,873,324.98
CRASH E1	189	5,543,370.70	66	365,862,465.91	35,498,984,934.11	4,071,308,897.79	39,570,293,831.90
CRASH E2	189	5,543,370.70	66	365,862,465.91	35,498,984,934.11	4,071,308,897.79	39,570,293,831.90
CRASH E3	182	2,771,685.35	66	182,931,232.96	35,316,053,701.16	4,050,642,355.16	39,366,696,056.31
CRASH F1	182	18,901,298.67	63	1,190,781,816.15	36,323,904,284.35	4,050,642,355.16	40,374,546,639.50
CRASH H6	182	125,054,787.24	63	7,878,451,595.83	43,011,574,064.03	4,050,642,355.16	47,062,216,419.19
CRASH H7	147	4,840,742.65	63	304,966,786.96	35,438,089,255.16	3,947,309,642.02	39,385,398,897.18
CRASH B1	133	6,969,001.63	28	195,132,045.56	35,328,254,513.76	3,905,976,556.76	39,234,231,070.52
CRASH A1	123	10,350,541.17	21	217,361,364.51	35,350,483,832.71	3,876,452,924.43	39,226,936,757.14
CRASH E6	123	5,515,986.83	28	154,447,631.33	35,287,570,099.53	3,876,452,924.43	39,164,023,023.96
CRASH E5	119	5,587,988.83	28	156,463,687.33	35,289,586,155.53	3,864,643,471.50	39,154,229,627.03
CRASH D1	119	11,914,672.84	28	333,610,839.46	35,466,733,307.66	3,864,643,471.50	39,331,376,779.17

CRASH D2	119	12,182,534.84	28	341,110,975.46	35,474,233,443.66	3,864,643,471.50	39,338,876,915.17
CRASH D3	119	12,182,534.84	28	341,110,975.46	35,474,233,443.66	3,864,643,471.50	39,338,876,915.17
CRASH D5	119	1,221,103.42	14	17,095,447.87	35,150,217,916.07	3,864,643,471.50	39,014,861,387.58



Gambar 2. Grafik Hubungan Biaya dan Waktu Alternatif *Shift* Kerja

Gambar 2 dan tabel 4 menunjukkan bahwa hasil dari *crashing* menghasilkan biaya optimal Rp39,154,229,627.03 dan waktu optimal 119 hari.

Hasil *Crashing* Alternatif Kapasitas Alat

Dalam alternatif dilakukan penambahan kapasitas alat berat pada kegiatan – kegiatan yang merupakan jalur kritis yang didapat melalui proses *crashing*. Proses *crashing* dilakukan sama seperti pada alternatif penambahan *shift* kerja, dengan mengulang *crashing* sampai didapatkan lintasan kritis jenuh. Pada tabel 5 dan tabel 6 merupakan hasil dari proses *crashing* yang juga dilakukan sampai jenuh. Hal tersebut mengharuskan *crashing* dilakukan 12 kali percobaan dengan persentase pekerjaan yang dipercepat sebesar 34,29%, efisiensi pekerjaan 20,6% dan efisiensi biaya sebesar 0,4%.

Tabel 5. Total Durasi setelah Mengalami *Crashing* untuk Alternatif Kapasitas Alat

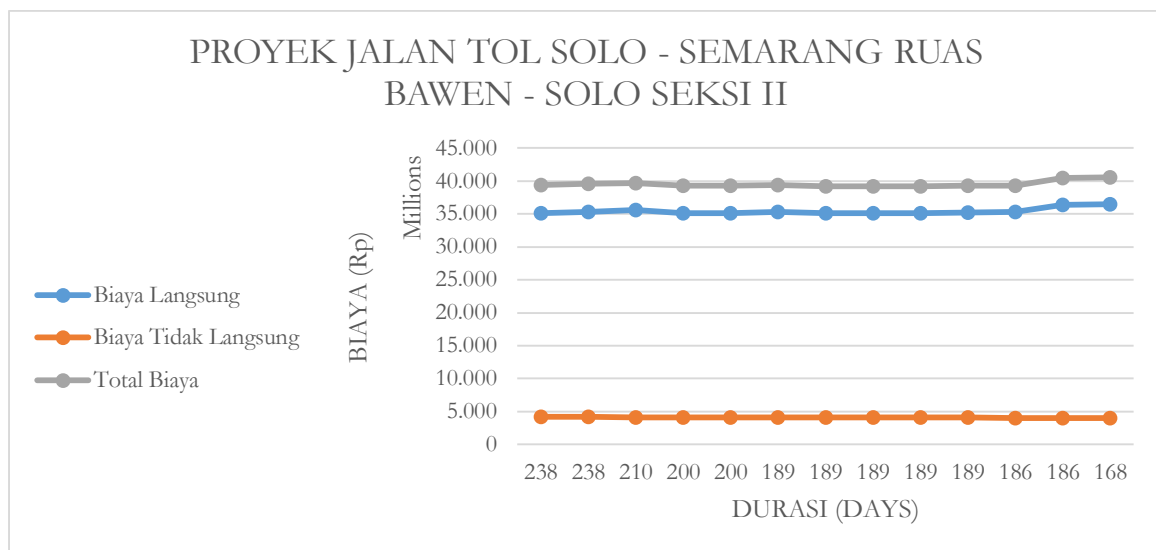
NO	KODE KEGIATAN	NORMAL			JUML. ALAT	CRASH			JUML. ALAT	DURASI TOTAL
		PROD. HARIAN (M3/HARI)	DURASI (HARI)	BIAYA (Rp)		PROD. HARIAN (M3/HARI)	DURASI (HARI)	BIAYA (Rp)		
1	H6	43.98	126	9,376,495,783.20	4	2765.58	2	9,576,921,559.94	5	238
2	H7	15.54	126	1,634,321,936.00	1	85.54	23	2,072,662,680.77	2	210
3	D5	9.75	28	100,980,243.00	1	15.20	18	103,932,898.15	2	200
4	B1	12.20	56	131,294,456.00	4	47.20	15	153,855,312.50	5	200
5	B2	10.71	56	108,283,200.00	4	51.46	12	291,532,193.52	5	189
6	E6	0.13	56	15,530,095.00	2	35.13	1	16,845,805.46	3	189
7	E5	1.57	56	162,903,136.00	2	36.57	3	166,850,267.37	3	189
8	E3	0.30	133	361,124,520.00	2	58.54	1	372,756,813.64	4	189
9	E2	1.84	133	685,756,225.00	2	60.08	5	743,917,693.18	4	189
10	E1	7.52	133	361,124,520.00	2	65.76	12	1,456,930,523.64	4	186
11	G1	38.76	126	1,877,385,180.00	6	154.96	32	3,091,642,478.46	7	186

12	G2	46.21	126	2,152,949,436.00	6	162.41	36	3,518,988,896.76	7	168
----	----	-------	-----	------------------	---	--------	----	------------------	---	-----

Sama halnya dengan alternatif *shift* kerja, penentuan biaya dan waktu optimal untuk kapasitas alat juga dilihat dari total biaya terendah. Berikut hasil total biaya pada kegiatan yang sudah dipersingkat durasinya dengan alternatif kapasitas alat.

Tabel 6. Biaya Total Alternatif Kapasitas Alat

TAHAP	TOTAL DURASI	COST SLOPE (Rp/Hari)	TOTAL FLOAT (Hari)	TAMBAHAN BIAYA (Rp)	BIAYA LANGSUNG (Rp)	BIAYA TIDAK LANGSUNG (Rp)	TOTAL BIAYA (Rp)
NORMAL	238				35,133,122,468.20	4,215,974,696.18	39,349,097,164.38
CRASH H6	238	1,616,387.50	124.00	200,425,776.74	35,333,548,244.94	4,215,974,696.18	39,549,522,941.12
CRASH H7	210	4,255,735.39	103.00	438,340,744.77	35,571,463,212.97	4,133,308,525.67	39,704,771,738.64
CRASH D5	200	295,265.51	10.00	2,952,655.15	35,136,075,123.35	4,103,784,893.34	39,239,860,016.69
CRASH B1	200	550,264.79	41.00	22,560,856.50	35,155,683,324.70	4,103,784,893.34	39,259,468,218.04
CRASH B2	189	4,164,749.85	44.00	183,248,993.52	35,316,371,461.72	4,071,308,897.79	39,387,680,359.50
CRASH E6	189	23,922.01	55.00	1,315,710.46	35,134,438,178.66	4,071,308,897.79	39,205,747,076.44
CRASH E5	189	74,474.18	53.00	3,947,131.37	35,137,069,599.57	4,071,308,897.79	39,208,378,497.36
CRASH E3	189	88,123.44	132.00	11,632,293.64	35,144,754,761.84	4,071,308,897.79	39,216,063,659.62
CRASH E2	189	454,386.47	128.00	58,161,468.18	35,191,283,936.38	4,071,308,897.79	39,262,592,834.17
CRASH E1	186	1,153,615.90	121.00	139,587,523.64	35,272,709,991.84	4,062,451,808.09	39,335,161,799.93
CRASH G1	186	12,917,630.83	94.00	1,214,257,298.46	36,347,379,766.66	4,062,451,808.09	40,409,831,574.74
CRASH G2	168	15,178,216.23	90.00	1,366,039,460.76	36,499,161,928.96	4,009,309,269.90	40,508,471,198.86



Gambar 3. Grafik Hubungan Biaya dan Waktu Alternatif Kapasitas Alat

Gambar 3 dan tabel 6 menunjukkan bahwa hasil dari *crashing* menghasilkan biaya optimal Rp39.205.747.076,44 dan waktu optimal 189 hari.

Analisis Hasil *Crashing*

Biaya langsung yang didapatkan setelah *crashing* mengalami perubahan yang tidak menentu seperti yang terlihat pada tabel. Hal tersebut disebabkan karena pada saat proses *crashing* ditemukan banyak lintasan kritis baru, sehingga mempengaruhi pemilihan *cost slope* terendah dan mengakibatkan biaya langsung menjadi tidak konstan. Sedangkan biaya tidak langsung setelah *crashing* menghasilkan jumlah biaya yang berbanding lurus dengan pengurangan durasi proyek. Semakin cepat durasi proyek maka semakin sedikit biaya tidak langsung yang akan dikeluarkan. Besarnya biaya total tergantung dari jumlah biaya langsung dan biaya tidak langsung, di mana biaya total menunjukkan jumlah biaya yang dibutuhkan untuk proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Bawen - Solo Seksi II. Seperti

yang diketahui bahwa biaya langsung mengalami perubahan yang tidak konstan maka begitu juga dengan biaya total. Percepatan dengan metode *TCTO* di penelitian ini dibutuhkan 32 kali *crashing* untuk alternatif penambahan shift kerja, dengan persentase pekerjaan yang dipercepat sebesar 91,43%, efisiensi waktu pekerjaan sebesar 50% dan efisiensi biaya sebesar 0,9%. Sedangkan dengan alternatif penambahan kapasitas alat berat dilakukan 12 kali *crashing* dengan persentase pekerjaan yang dipercepat sebesar 34,29%, efisiensi pekerjaan 20,6% dan efisiensi biaya sebesar 0,4%. Hasil dari proses *crashing* menunjukkan bahwa alternatif *shift* kerja menghasilkan durasi total yang lebih sedikit, yaitu 119 hari jika dibandingkan dengan alternatif penambahan kapasitas alat berat, yaitu 189 hari. Hal tersebut dikarenakan shift kerja mempunyai produktivitas yg lebih besar sehingga proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Bawen - Solo Seksi II diharapkan akan selesai lebih cepat dari rencana sebelumnya.

Analisis Perbandingan Biaya dan Waktu Optimal

Sesuai dengan perencanaan awal proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Bawen - Solo Seksi II membutuhkan waktu 238 hari dengan biaya total Rp 39,349,097,164.38, dengan biaya langsung Rp. 35,133,122,468.20 dan biaya tidak langsung sebesar Rp. 4,215,974,696.18. Setelah melakukan *crashing* dengan dua alternatif didapatkan durasi yang lebih singkat dan biaya yang lebih terjangkau dari sebelumnya. Berdasarkan perhitungan dan analisis dengan metode *TCTO*, alternatif *shift* kerja memiliki waktu selesai proyek yang lebih cepat dan biaya proyek lebih yang rendah dibandingkan dengan alternatif penambahan kapasitas alat, seperti yang terlihat pada tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Biaya dan Waktu Optimal

Kegiatan	Waktu (hari)	Biaya
Normal	238	Rp 39,349,097,164.38
Alternatif <i>shift</i> kerja	119	Rp 39,154,229,627.03
Alternatif penambahan kapasitas alat	189	Rp 39,205,747,076.44

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan alternatif penambahan *shift* kerja yang telah mengalami *crashing* sebanyak 32 kali mempunyai biaya optimal Rp 39,154,229,627.03 dan waktu optimal 119 hari. Sedangkan alternatif penambahan kapasitas alat menghasilkan waktu optimal 189 hari dan biaya optimal Rp 39,205,747,076.44 dengan proses *crashing* mencapai 12 kali *crashing*. Dari kedua kondisi optimum tersebut, biaya dan waktu yang paling optimal yang sebaiknya dipilih untuk proyek Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Bawen - Solo Seksi II yaitu menggunakan percepatan dengan alternatif *shift* kerja yang produktivitasnya dua kali lipat dari produktivitas normal.
2. Perencanaan Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Bawen - Solo Seksi II memiliki waktu normal pengerjaan selama 238 hari dengan biaya total Rp 39,349,097,164.38. Setelah dilakukan percepatan dengan metode *time cost trade off*, waktu dan biaya proyek mengalami penurunan. Percepatan yang dilakukan menggunakan dua alternatif tersebut dilakukan hingga mencapai lintasan kritis jenuh. Alternatif yang pertama yaitu penambahan *shift* kerja menghasilkan biaya total akhir Rp 39,154,229,627.03 dengan waktu selesai proyek 119 hari. Dibandingkan dengan kondisi normalnya, alternatif tersebut lebih menghemat waktu selama 119 hari dengan selisih biaya Rp 194,867,537.35. Sedangkan untuk alternatif penambahan kapasitas alat mempunyai selisih waktu 49 hari dengan menghemat biaya sebesar Rp 143,350,087.94.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Fajar Sri Handayani, S.T., M.T. dan Ir. Sugiyarto, M.T. yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Aditya Febriatmoko. 2014. Proyek pembangunan Rumah Susun Sederhana dan Sewa (RUSUNAWA) Surabaya. Jurnal Teknik ITS Vol 2, No 1 (2014)
- Anonim. Hubungan Waktu dan Biaya. 15 Januari 2016.
<http://manajemenproyekindonesia.com/wp-content/uploads/2012/04/Duration-vs-cost.png>
- Ardien Aslam Muhammad. 2015. Analisa Time Cost Trade Off pada Proyek Pasar Sentral Gadang Malang. Jurnal Teknik ITS Vol 4, No 1 (2015)
- Badri, Sofwan, 1997. Dasar-dasar Network planning. Jakarta : Rineka Cipta

- Callahan. 1992. *Construction Project Scheduling*. McGraw-Hill.
- Dedy Aryawan, Gede. 2011. *Perbandingan Penambahan Waktu Kerja (Jam Lembur) dan Penambahan Tenaga Kerja Terhadap Biaya Pelaksanaan Proyek*. Skripsi. Universitas Udayana.
- Dipohusodo, Istimawan. 1996. *Manajemen Proyek & Konstruksi*. Yogyakarta : Kanisius.
- Dwi Susanto, Hardian. 2011. *Studi Optimasi Biaya dan Waktu dengan Time Cost Trade Off pada Proyek Gedung Ciputra World*. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Ervianto, Wulfram I. 2002. *Manajemen Proyek Konstruksi*. Yogyakarta : CV. Andi Offset.
- Fatena Rostiyanti, Susy, 2008. *Alat Berat Untuk Proyek konstruksi.*, Penerbit Rineka Cipta.
- Frederika, Ariany. 2010. *Analisis Percepatan Pelaksanaan dengan Menambah Jam Kerja Optimum pada Proyek Konstruksi*. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* Vol. 14 No. 2.
- Handyaningrat, Soewarno. 1996. *Pengantar Studi Ilmu Administrasi dan Manajemen*. Jakarta : Gunung Agung.
- Iqbal, Muhammad. 2012. *Analisis Perbandingan Percepatan Pelaksanaan Pekerjaan Antara Penambahan Tenaga Kerja dengan Penambahan Jam Kerja pada Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bupati Kab. Pringsewu Tahap-II*. Skripsi. Universitas Lampung.
- Januar, Fransiskus Tony. 2011. *Analisa Faktor-Faktor Penyebab Rework pada Pekerjaan*. Skripsi. Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- Kusnandi, Eri. *Network Diagram*. 15 Januari 2016. <https://eriskusnadi.wordpress.com/2012/03/18/activity-network-diagram-part-2/>
- Lewis, 2005 *Project Management*. McGraw-Hill Professional, 2006. ISBN 0-07-147160-X. p.110.
- Luthan dan Syafriandi. 2006. *Aplikasi Microsoft Project untuk Penjadwalan Kerja Proyek Teknik Sipil*. Yogyakarta : CV. Andi Offset.
- Mockler, R.J. 1972. *The Management Control Process*. Prentice Hall. New Jersey.
- Mulyadi. (2007). *Sistem Perencanaan dan Pengendalian Manajemen*. Jakarta : Penerbit Salemba.
- Nanda, Besta. Kurva S. 15 Januari 2016. http://bestananda.blogspot.com/2013/08/menyusun-time-schedule-dan-kurva-s_19.html.
- Nunnally, S.W. 2007. *Construction Methods and Management*. Seventh Edition. Pearson Prentice Hall. New Jersey.
- Okkyta Putri Cahya Ardika. 2014. *Analisis Time Cost Trade Off dengan Penambahan Jam Kerja Pada proyek Konstruksi (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Jalan Tol Bogor Ring Road Seksi II A)*. UNS-F.Teknik Jur.Teknik Sipil-I.0609013-2014
- Pamungkas dan Hidayat. 2011. *Analisis Time Cost Trade Off pada Proyek Konstruksi*. Skripsi. Universitas Diponegoro
- PT. Pembangunan Perumahan, 2003. *Buku Referensi untuk Kontraktor Bangunan Gedung dan Sipil*. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka
- Peurifoy, R. L. 1996. *Construction Planning, Equipment, and Methods*. 5 th Edition. The McGraw-Hill Companies, New York.
- Rochmanhadi. 1984. *Perhitungan Biaya Pelaksanaan Pekerjaan Menggunakan Alat - Alat Berat*. Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Sani, Iktiva dan Septiropa, Zamzami. 2014. *Analisa Biaya dan Waktu dengan Menggunakan Time Cost Trade Off pada Proyek Pembangunan Hotel Aston Paramount Malang*. *Jurnal Media Teknik Sipil* Vol. 12 No. 1.
- Smith Ronald,C. 1986. *Principles and Practies Of Heavy Construction*. Third Edition. Englewood, New Jersey.
- Soeharto; I. 1997. *Manajemen Proyek dari Konseptual sampai operasional*. Jakarta: Erlangga.
- Tjaturono. 2004. *Penerapan Manajemen Proyek Konstruksi*. Semarang : Penerbit Kompas.
- Wilopo, Djoko. 2009. *Metode Konstruksi dan Alat – Alat Berat*. Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).