

PENJADWALAN PROYEK GEDUNG SEKOLAH DI SURABAYA MENGGUNAKAN OPTIMASI *TIME-COST TRADE-OFF* DENGAN *DISCOUNTED CASH FLOW*

Albert Mahendra Tanurahardja¹ dan Onnyxiforus Gondokusumo²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
albert.325180030@stu.untar.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
onnyxiforusg@ft.untar.ac.id

Masuk: 21-01-2022, revisi: 18-02-2022, diterima untuk diterbitkan: 22-02-2022

ABSTRACT

In construction projects, time and cost factors are the keys to the success of a project. Project scheduling plays an important role in it. The Time-Cost Trade-Off method is a project scheduling technique using the Critical-Path Method which aims to find the optimum project duration, which is the duration with the minimum total cost. To get the minimum total cost, the addition of Direct & Indirect Cost should be made as small as possible. The usual Time-Cost Trade-Off does not take into account the time value of money. Therefore, a Time-Cost Trade-Off analysis is needed that takes into account the time value of money (Discounted Cash Flow). Future costs must be equalized to the same point in time or we can say the present time (when the project start time). The main purpose of this study is to determine the effect of time value of money on the minimum cost and optimal duration of a project. In the object of this research, the scheduling that is made after calculating the discounted cash flow will result in a smaller minimum total cost with an optimum duration. The results obtained in the duration of the day and rupiah for the cost.

Keywords: Time-Cost Trade-Off, Critical Path Method, Indirect Cost, Direct Cost, Discounted Cash Flow

ABSTRAK

Pada proyek konstruksi, faktor waktu dan biaya merupakan kunci keberhasilan suatu proyek. Penjadwalan proyek ikut berperan penting di dalamnya. Metode *Time-Cost Trade-Off* adalah teknik penjadwalan proyek dengan menggunakan metode jalur kritis bertujuan untuk mencari durasi proyek yang optimum, yaitu durasi dengan biaya total yang minimum. Untuk mendapatkan biaya total yang minimum, maka penambahan biaya langsung & biaya tidak langsung harus dibuat sekecil mungkin. *Time-Cost Trade-Off* yang biasa dilakukan tidak memperhitungkan nilai waktu terhadap uang (*time value of money*). Oleh karena itu, diperlukan suatu analisis *Time-Cost Trade-Off* yang memperhitungkan nilai waktu terhadap uang (*Discounted Cash Flow*). Biaya di waktu mendatang harus disetarakan ke titik waktu yang sama atau bisa dikatakan waktu sekarang (saat waktu mulai proyek). Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *time value of money* terhadap biaya minimum dan durasi optimal sebuah proyek. Pada objek penelitian ini, penjadwalan yang dibuat sesudah memperhitungkan *discounted cash flow* akan menghasilkan biaya total minimum yang lebih kecil dengan durasi yang optimum. Hasil penelitian yang diperoleh dalam durasi hari dan rupiah untuk biaya.

Kata kunci: *Time-Cost Trade-Off*, Metode jalur kritis, Biaya tidak langsung, Biaya langsung, *Discounted Cash Flow*

1. PENDAHULUAN

Setiap proyek konstruksi memiliki tantangan dan permasalahan serta kesulitan yang tinggi. Oleh karena itu dalam setiap proyek harus memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi kesuksesan suatu proyek. Faktor-faktor tersebut berupa biaya, mutu, waktu, keselamatan pekerja, dan lingkungan. Faktor waktu dan biaya merupakan kunci keberhasilan suatu proyek. Proyek yang ideal adalah proyek yang setiap kegiatannya dapat selesai tepat waktu dan sesuai anggaran biaya yang direncanakan.

Untuk mencapai hasil proyek yang diinginkan maka dibutuhkan suatu jadwal proyek. Jadwal proyek merupakan sebuah dokumen tertulis yang disusun untuk merencanakan pelaksanaan proyek, kapan suatu kegiatan dimulai dan selesai, serta memuat biaya yang diperlukan. Jadwal proyek berisi informasi tentang kegiatan-kegiatan beserta durasinya yang sudah direncanakan pada tahap awal perencanaan. Kegiatan-kegiatan tersebut disusun sebaik mungkin agar tujuan utama proyek dapat tercapai, yaitu penyelesaian proyek dengan tepat waktu.

Dibutuhkan suatu metode pada perencanaan penjadwalan waktu dan biaya proyek. Metode yang biasa digunakan untuk mendapatkan biaya minimum dan durasi optimum adalah metode *Time-Cost Trade-Off*. Metode ini menghubungkan antara waktu proyek dan biaya total proyek sebagai suatu kurva. Biaya total proyek itu sendiri merupakan jumlah biaya langsung dan biaya tidak langsung untuk setiap durasi proyek. Suatu proyek juga memiliki banyak alternatif durasi dengan biaya total proyek yang berbeda untuk setiap alternatif durasinya. Dari alternatif durasi dengan biaya total proyek tersebut akan dibuat menjadi suatu kurva. Dari kurva tersebut akan dicari suatu durasi proyek yang optimum dengan biaya total proyek yang minimum.

Dengan berjalannya waktu, nilai uang akan mengalami penurunan. Nilai sejumlah uang tidak hanya bergantung pada jumlah uang itu sendiri, tetapi juga berpengaruh pada saat uang itu diterima atau dibayarkan (White et al, 1998). Analisis *Time-Cost Trade-Off* yang biasa dilakukan, nilai uang diasumsikan bersifat konstan di setiap rentang waktu proyeknya. Biaya kegiatan dijumlahkan untuk membentuk biaya langsung proyek, meskipun kegiatannya dilaksanakan pada titik waktu yang berbeda sesuai dengan waktu mulai dan selesai kegiatan yang dijadwalkan. Uang itu sendiri memiliki nilai waktu dan oleh karena itu waktu terjadinya biaya harus dipertimbangkan. Dalam melakukan pertimbangan tersebut diperlukan perhitungan nilai sekarang (*present value*).

Present value merupakan nilai saat ini dari jumlah uang atau arus kas (*cash flow*) yang terperinci dengan tingkat pengembalian tertentu/dengan faktor pemotongan (*discounted*). Faktor pemotongan (*discounted*) dihitung dengan metode *Discounted Cash Flow*. Metode ini merupakan metode perhitungan nilai uang yang dihitung berdasarkan konsep bahwa nilai uang pada suatu proyek berasal dari jumlah arus uang (*cash flow*) yang didapat selama masa pelaksanaan proyek tersebut dan dihitung kembali terhadap nilai uang sekarang. Oleh karena itu metode *Discounted Cash Flow* akan lebih bermanfaat untuk digunakan dalam menentukan penjadwalan pelaksanaan proyek karena memperhatikan *time value of money*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ammar (2011), tidak memperhitungkan *time value of money* pada analisis *Time-Cost Trade-Off* merupakan keputusan yang tidak tepat. Dalam memecahkan permasalahan *Time-Cost Trade-Off* dapat digunakan model pemrograman matematis yang fungsi tujuannya adalah meminimalkan biaya total proyek dan mendapatkan durasi yang optimum (Moussourakis dan Haksever, 2004). Permasalahan *Time-Cost Trade-Off* biasanya diklasifikasikan sebagai *nonpolynomial (NP)*, permasalahan yang sulit dengan sejumlah besar variabel dan kendala dan menjadi fungsi tujuan nonlinier (Elbeltagi et al, 2005). *Non-linear programming* merupakan proses pemecahan masalah optimasi (memaksimumkan atau meminimumkan fungsi tujuan nonlinier). Pada objek penelitian ini, akan dibuat penjadwalan proyek dengan metode *Time-Cost Trade-Off* dengan menggunakan *Non-linear programming*. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memperhitungkan nilai waktu terhadap uang (*time value of money*) yang biasanya tidak diperhitungkan dalam pembuatan jadwal dengan metode *Time-Cost Trade-Off*.

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah, dapat dibuat penelitian dengan batasan masalah sebagai berikut, penelitian ini meninjau aspek waktu dan biaya, penjadwalan proyek ini dibuat pada masa perencanaan sebelum proyek dilaksanakan, dan penelitian ini dilakukan pada proyek konstruksi bangunan tiga lantai di Surabaya. Dari batasan masalah tersebut dapat dirumuskan rumusan masalah yaitu bagaimana bentuk grafik *time-cost trade-off* sebelum dan sesudah memperhitungkan *discounted cash flow*?, bagaimana hasil perbandingan titik optimum pada grafik yang diperoleh dengan melakukan analisis *time-cost trade-off* sebelum dan sesudah memperhitungkan *discounted cash flow*?, dan bagaimana keunggulan dan kendala dalam perhitungan metode *time-cost trade-off* dengan memperhitungkan *discounted cash flow*?

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat grafik *time-cost trade-off* sebelum dan sesudah memperhitungkan *discounted cash flow*, membandingkan titik optimum pada grafik yang diperoleh dengan melakukan analisis *time-cost trade-off* sebelum dan sesudah memperhitungkan *discounted cash flow*, dan menunjukkan keunggulan dan kendala dalam perhitungan metode *time-cost trade-off* dengan memperhitungkan *discounted cash flow*.

Time-Cost Trade-Off

Time-Cost Trade-Off adalah suatu metode penjadwalan di mana durasi total suatu proyek dikurangi dengan penambahan biaya sekecil mungkin (Popescu & Charoenngam, 1995). Tujuan dari analisis *Time-Cost Trade-Off* adalah untuk menemukan durasi proyek terpendek tanpa melebihi anggaran yang diberikan dan meminimalkan total biaya dalam mencapai durasi proyek yang ditentukan (Yang, 2007). Di dalam analisis *Time-Cost Trade-Off*, dengan berubahnya waktu penyelesaian suatu proyek maka berubah pula jumlah biaya yang akan dikeluarkan. Setiap proyek memiliki alternatif durasi dengan biaya proyeknya, dari biaya proyek tersebut terdapat biaya langsung dan tidak langsung. Apabila durasi proyek semakin singkat maka biaya langsung akan naik dan biaya tidak langsung akan turun. Sehingga tujuan dari analisis *Time-Cost Trade-Off* adalah mendapatkan total biaya proyek yang minimum dan durasi proyek yang optimum.

Biaya proyek

Pada analisis *Time-Cost Trade-Off*, biaya total proyek merupakan gabungan biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tidak langsung (*indirect cost*).

1. Biaya langsung (*direct cost*)

Biaya langsung adalah biaya yang berkaitan langsung dengan fisik proyek yang meliputi seluruh biaya dari kegiatan yang dilakukan di proyek mulai dari persiapan hingga penyelesaian dan biaya yang digunakan untuk mendatangkan sumber daya yang diperlukan proyek tersebut. Biaya langsung berupa biaya material, buruh, dan peralatan. Biaya langsung dapat dihitung dengan mengalikan volume pekerjaan dengan harga satuan pekerjaan.

$$DC = \sum_{i=1}^n NC_i \quad (1)$$

Keterangan:

NC_i : Normal Cost

2. Biaya tidak langsung (*indirect cost*)

Biaya tidak langsung adalah semua biaya yang tidak langsung berhubungan dengan pelaksanaan pekerjaan proyek konstruksi di lapangan. Biaya jenis ini pada umumnya terjadi di luar kegiatan proyek. Biaya tidak langsung berupa biaya pemasaran, pajak, biaya resiko, dan sebagainya.

$$IDC = C_{OH} \times D_T \quad (2)$$

Keterangan:

C_{OH} : Overhead Cost

D_T : Durasi total proyek

Durasi proyek

Durasi proyek merupakan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan di dalam proyek yang akan dilaksanakan. Faktor yang berpengaruh dalam menentukan durasi pekerjaan adalah volume pekerjaan, metode kerja (*construction method*), keadaan lapangan, serta keterampilan tenaga kerja yang melaksanakan pekerjaan proyek. Didalam durasi proyek terdapat durasi normal (*normal duration*) dan durasi dipercepat (*crash duration*). Durasi normal (*normal duration*) merupakan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan kegiatan sampai selesai dengan tingkat produktivitas normal. Durasi dipercepat (*crash duration*) merupakan waktu tercepat yang dibutuhkan untuk menyelesaikan kegiatan sampai selesai.

Jaringan kerja

Jaringan kerja berisi lintasan-lintasan kegiatan dan urutan-urutan kegiatan proyek. Dari jaringan kerja ini dapat dilihat keterkaitan antar kegiatan, sehingga jika sebuah kegiatan terlambat dapat segera diketahui kegiatan apa saja yang dipengaruhi oleh keterlambatan tersebut dan seberapa besar pengaruhnya terhadap kemajuan proyek. Setiap kegiatan proyek yang berhubungan dengan kegiatan pendahulunya (*successors*) memiliki satu dari empat tipe relasi, yaitu “*finish to start*” (FS), “*start to start*” (SS), “*finish to finish*” (FF), atau “*start to finish*” (SF).

Discounted cash flow (DCF)

Discounted cash flow merupakan metode perhitungan nilai uang yang dihitung berdasarkan konsep bahwa nilai uang pada suatu proyek berasal dari jumlah arus uang (*cash flow*) yang didapat selama masa pelaksanaan proyek tersebut dan dihitung kembali terhadap nilai uang sekarang. Dalam *discounted cash flow*, nilai sekarang (*present value*) akan digunakan sebagai ukuran ekonomis dari nilai waktu uang. Biaya masa depan (*future value*) harus disetarakan ke titik waktu yang sama atau bisa dikatakan waktu sekarang (saat waktu mulai proyek). Untuk mempertimbangkan nilai waktu terhadap uang, biaya kegiatan yang dikeluarkan pada penyelesaian kegiatan harus disetarakan dengan beberapa faktor.

$$Discounted\ cost_i = \frac{C_i}{(1+r)^{SF_i}} \quad (3)$$

Keterangan:

C_i : Biaya kegiatan i

$(1 + r)^{SF_i}$: Faktor diskon yang dinyatakan dalam suku bunga (r)

SF_i : Waktu terselesaikannya kegiatan

Non-linear programming

Non-linear programming (NLP) merupakan suatu program dalam masalah optimisasi yang mempunyai fungsi objektif tidak linier dan beberapa atau semua fungsi kendala tidak linier. Ada 3 unsur utama dalam membangun suatu program tidak linier yaitu variabel keputusan, fungsi tujuan, dan fungsi kendala.

Variabel keputusan (*decision variables*)

Variabel keputusan merupakan variabel yang dibuat/ditentukan pada awal pembuatan *linear programming*. Dalam permasalahan TCTO, variabel keputusan yang dibuat berupa durasi dan biaya. Setiap kegiatan memiliki durasi dan biaya, kegiatan itu sendiri dilambangkan dengan i . Durasi kegiatan i dilambangkan dengan D_i dan Biaya kegiatan i dilambangkan dengan C_i . Berikut merupakan variabel yang digunakan dalam permasalahan TCTO:

d_{ij} : Durasi dari kegiatan i pada suatu titik j

c_{ij} : Biaya dari kegiatan i pada suatu titik j

Batasan logika jaringan (*network logic constraints*)

Waktu penyelesaian proyek dapat dibatasi oleh salah satu dari dua metode (Crowston, 1970). Pendekatan pertama adalah untuk memungkinkan suatu batasan untuk setiap hubungan sebelumnya dan langsung dalam jaringan proyek. Pendekatan kedua adalah mengizinkan satu batasan untuk setiap jalur dari kegiatan pertama hingga kegiatan terakhir dalam jaringan proyek. Dalam model ini, pendekatan pertama akan digunakan. Hubungan logis antara dua kegiatan berurutan i dan pendahulu langsungnya, p , dinyatakan secara matematis sebagai:

$$SS_i \geq SF_p \quad (4)$$

Keterangan:

SS_i : Jadwal mulai kegiatan i

SF_p : Jadwal terselesaikannya kegiatan p

Fungsi tujuan (*objective function*)

Dalam analisis *Time-Cost Trade-Off*, fungsi tujuan biasanya ditetapkan untuk meminimalkan biaya proyek. Biaya langsung proyek merupakan penjumlahan dari semua biaya kegiatan yang dinyatakan secara matematis:

$$Project\ direct\ cost(PDC) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} c_{ij} x_{ij} \quad (5)$$

Pada persamaan diatas, nilai waktu terhadap uang diabaikan. Jika nilai waktu terhadap uang harus dipertimbangkan, biaya kegiatan harus disetarakan (*discounted*) ke waktu mulai proyek dengan suku bunga (i). Persamaan tersebut menjadi:

$$Discounted\ PDC = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \frac{c_{ij} x_{ij}}{(1 + i)^{SF_{ij}}} \quad (6)$$

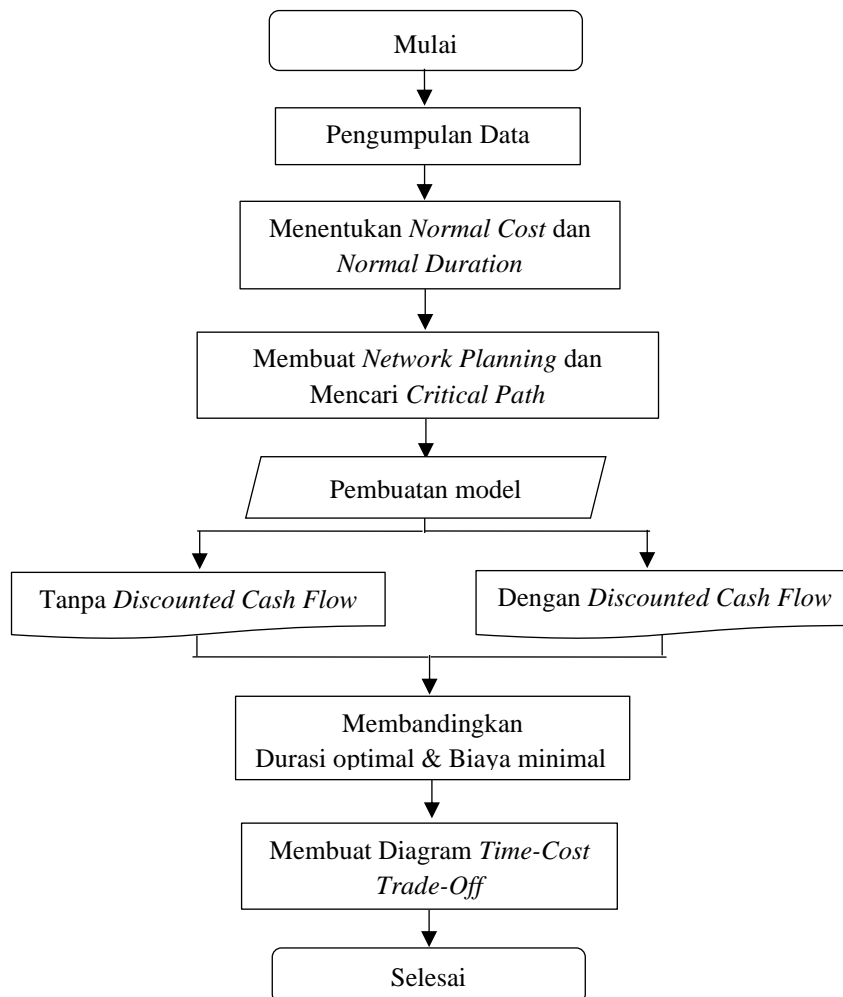
2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan langkah-langkah berikut:

1. Pengumpulan data proyek konstruksi berupa data rencana anggaran biaya (RAB), data penjadwalan proyek gedung sekolah di Surabaya, dan data suku bunga (*interest rate*)
2. Perhitungan parameter *Time-Cost Trade-Off* yaitu *Direct Cost* dan *Indirect Cost*
3. Penyusunan jaringan kerja sesuai dengan hubungan antar kegiatan masing-masing

4. Pembuatan model optimasi sebelum memperhitungkan *discounted cash flow* dengan memasukkan *constraints* kegiatan dan *objective function* yang terdiri dari *Direct Cost* dan *Indirect Cost*
5. Pembuatan model optimasi sesudah memperhitungkan *discounted cash flow* dengan memasukkan *constraints* kegiatan dan *objective function* yang terdiri dari *Direct Cost*, *Indirect Cost*, dan *Discounted Project Direct Cost*
6. Perbandingan durasi optimal dan biaya minimal setelah model dijalankan
7. Pembuatan kurva *Time-Cost Trade-Off* sebelum dan sesudah memperhitungkan *Discounted Cash Flow*
8. Penarikan kesimpulan dan saran

Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1



Gambar 1. Diagram alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data proyek yang digunakan dalam penelitian ini adalah proyek pembangunan gedung sekolah SMPN 44 yang berlokasi di Surabaya.

Data durasi kegiatan proyek dengan *crash duration*

Tabel 1 berisi durasi kegiatan proyek beserta dengan durasi *crash*. Kegiatan yang memiliki durasi *crash* yang sama dengan durasi normal merupakan kegiatan yang tidak memungkinkan untuk dilakukan pemendekkan durasi.

Tabel 1. Durasi kegiatan proyek dengan durasi *crash*

Jenis Pekerjaan	Durasi (hari)	Durasi <i>Crash</i> (hari)
Pemasangan Tiang Pancang	14	11
Pengecoran Beton Poer lt.1	14	11
Pengecoran Beton Sloof lt.1	14	11
Pemasangan Rabat Beton lt.1	7	5
Pengecoran Beton Kolom lt.1	35	27
Pengecoran Beton Kolom Praktis lt.1	21	16
Pemasangan Balok Latei/Kusen lt.1	18	16
Pengecoran Beton Kolom lt.2	14	11
Pengecoran Beton Kolom Praktis lt.2	18	16
Pengecoran Beton Balok lt.2	18	16
Pemasangan Balok Latei/Kusen lt.2	18	16
Pengecoran Beton Balok Praktis	16	16
Pengecoran Beton Plat Lantai 2	14	11
Pemasangan Plat Lisplank	14	11

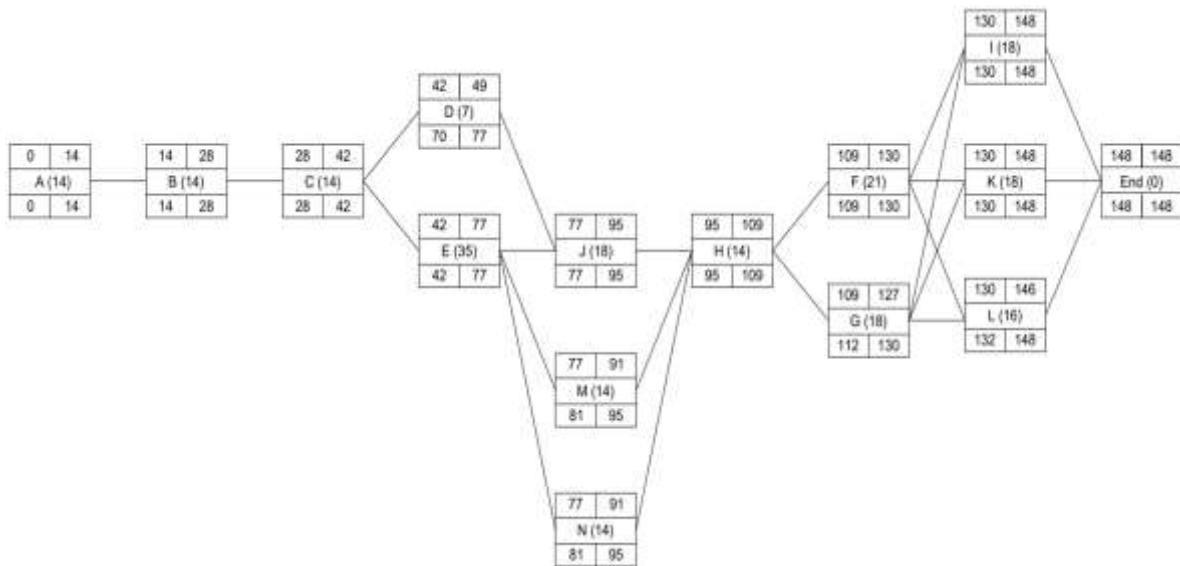
Pembuatan jaringan kerja

Pembuatan jaringan kerja didasarkan pada hasil wawancara (*interview*) dengan pihak kontraktor untuk mendapatkan urutan kerja yang tepat. Pihak kontraktor memaparkan tahapan-tahapan pelaksanaan proyek dan menjelaskan keterkaitan/hubungan antara kegiatan yang satu dengan kegiatan yang lain. Hasil wawancara dengan pihak kontraktor telah direkap dan dirangkum di dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hubungan antar kegiatan

Jenis Pekerjaan	Notasi	Durasi (hari)	<i>Predecessor</i>
Pemasangan Tiang Pancang	A	14	-
Pengecoran Beton Poer lt.1	B	14	A
Pengecoran Beton Sloof lt.1	C	14	B
Pemasangan Rabat Beton lt.1	D	7	C
Pengecoran Beton Kolom lt.1	E	35	C
Pengecoran Beton Kolom Praktis lt.1	F	21	H
Pemasangan Balok Latei/Kusen lt.1	G	18	H
Pengecoran Beton Kolom lt.2	H	14	J,M,N
Pengecoran Beton Kolom Praktis lt.2	I	18	F,G
Pengecoran Beton Balok lt.2	J	18	D,E
Pemasangan Balok Latei/Kusen lt.2	K	18	F,G
Pengecoran Beton Balok Praktis	L	16	F,G
Pengecoran Beton Plat Lantai 2	M	14	E
Pemasangan Plat Lisplank	N	14	E

Dari hubungan antar kegiatan pada Tabel 2, maka dibuatlah jaringan kerja pada Gambar 2.



Gambar 2. Jaringan kerja

Data proyek dengan parameter *Time-Cost Trade-Off*

Penyusunan data biaya setiap kegiatan pada Tabel 3 didasarkan pada lembar pengeluaran proyek dalam lingkup pekerjaan struktur. Biaya tidak langsung sebesar Rp. 600.000 / hari dan biaya *crash* didapatkan dari biaya normal ditambah biaya penambahan jam kerja atau biaya penambahan alat. Besarnya *cost slope* merupakan perbandingan selisih antara biaya *crash* dengan biaya normal dan selisih dari durasi normal dengan durasi *crash*.

Tabel 3. Data proyek dengan biaya *crash* dan *cost slope*

Notasi	Biaya Normal (Rp.)	Biaya Tambahan (Rp.)	Biaya <i>Crash</i> (Rp.)	<i>Cost Slope</i> (Rp./hari)
A	107.070.525	7.608.634	114.679.159	2.536.211
B	53.654.915	2.095.526	55.750.442	698.509
C	62.369.651	4.227.369	66.597.020	1.409.123
D	29.927.448	2.851.149	32.778.597	1.425.574
E	46.926.436	4.633.139	51.559.575	579.142
F	1.216.522	1.104.788	2.321.310	220.958
G	2.703.277	249.430	2.952.707	124.715
H	38.291.972	3.544.351	41.836.323	1.181.450
I	1.731.204	549.122	2.280.326	274.561
J	127.804.443	9.353.206	137.157.649	4.676.603
K	4.386.449	342.471	4.728.920	171.236
L	620.267	-	655.377	-
M	95.994.610	6.766.957	102.761.567	2.255.652
N	17.863.196	1.804.328	19.667.524	601.443

Pemodelan *Time-Cost Trade-Off* sebelum memperhitungkan *discounted cash flow*

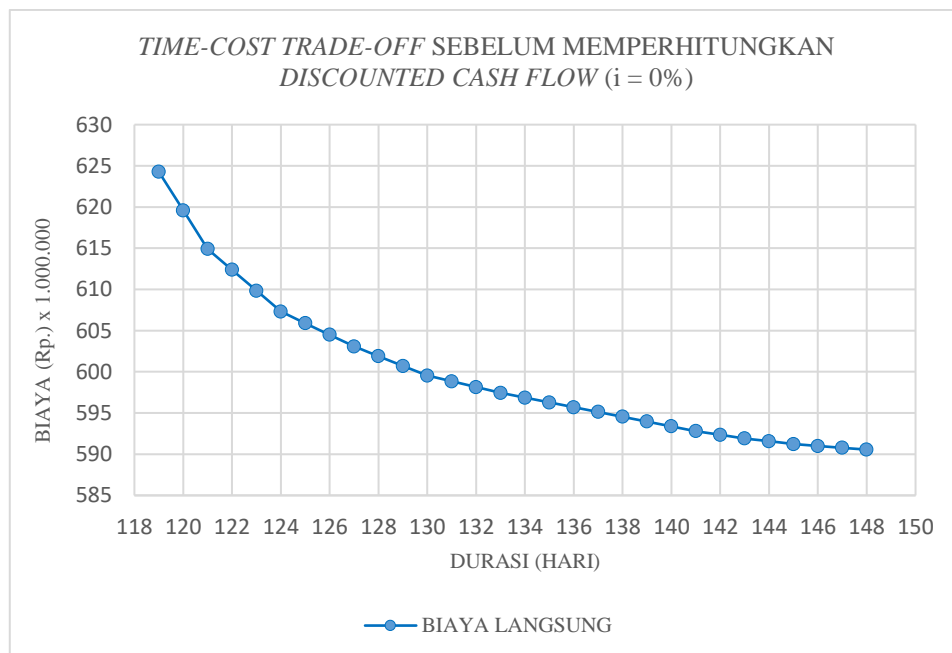
Dalam pemodelan *Time-Cost Trade-Off* sebelum memperhitungkan *discounted cash flow*, biaya yang diperhitungkan adalah biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tidak langsung (*indirect cost*). Pemodelan ini dibuat menggunakan *solver* pada *Microsoft Excel*. Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah menentukan fungsi tujuan. Fungsi tujuan pada permasalahan ini adalah meminimalkan jumlah biaya total proyek. Langkah kedua yang harus dilakukan adalah menentukan variabel mana yang akan diubah oleh *solver* untuk mendapatkan fungsi tujuan minimum yang ingin diperoleh. Pada permasalahan TCTO ini, variabel yang dapat diubah yaitu adalah durasi untuk setiap kegiatan.

Langkah ketiga yang harus dilakukan adalah menentukan batasan-batasan yang diperlukan dalam penyelesaian *solver*. Dalam permasalahan TCTO ini, batasan-batasannya adalah *predecessor* untuk setiap kegiatan. Lembar Kerja *Excel* dapat dilihat pada Gambar 3.

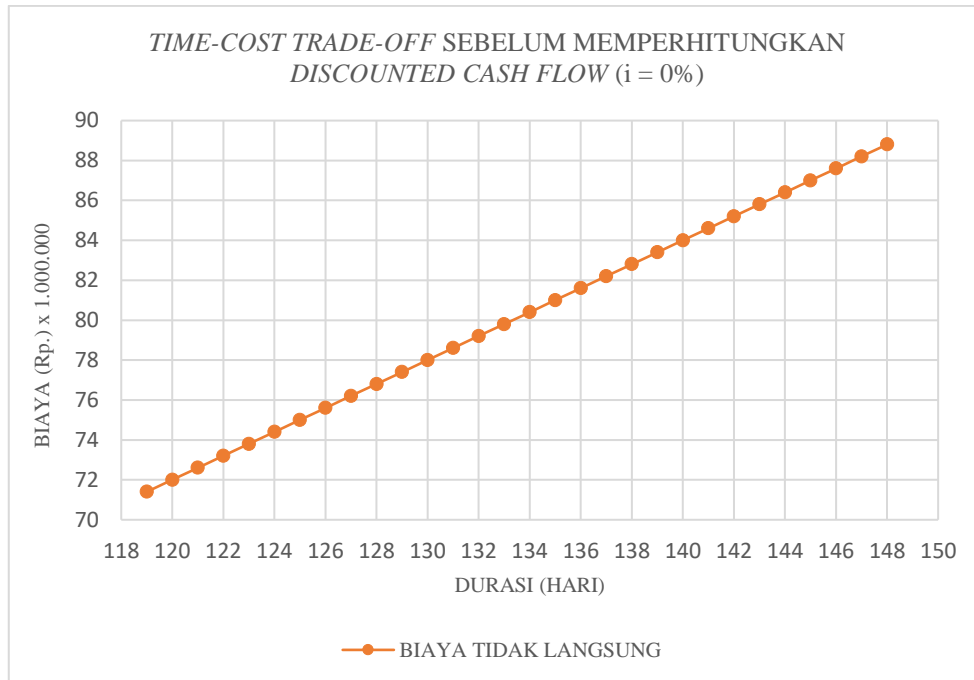
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
*Durasi dalam hari																
										Interest Rate: 0,00%						
	Jenis Pekerjaan	Kode	Predecessor	Durasi Normal	Cost	Durasi Crash	Crash Cost	Slope	Variabel	Durasi (T)	Direct Cost	Mulai	Berakhir(X)			
Lantai 1	Tiang Pancang	A	—	34	Rp107.070.525	33	Rp134.679.159	Rp2.536.211	Ta	34	Rp107.070.525	0	34			
	Beton Poer	B	A	34	Rp53.654.915	33	Rp55.790.442	Rp666.509	Tb	34	Rp53.654.915	34	28			
	Beton Sloof	C	B	34	Rp62.369.651	33	Rp66.597.020	Rp1.405.123	Tc	34	Rp62.369.651	28	42			
	Beton Rabat lantai tebal	D	C	7	Rp25.927.448	5	Rp32.778.397	Rp1.425.574	Td	7	Rp25.927.448	42	49			
	Beton Kolom	E	C	35	Rp46.506.436	27	Rp51.559.575	Rp579.142	Te	27	Rp51.559.575	42	69			
	Beton kolom Praktis	F	H	23	Rp1.216.522	36	Rp2.321.338	Rp220.958	Tf	36	Rp2.321.338	103	117			
Lantai 2	Beton Balok lantai/kusen	G	H	38	Rp2.703.277	36	Rp2.952.707	Rp124.715	Tg	36	Rp2.952.707	103	117			
	Beton kolom	H	J, M, N	34	Rp38.251.972	33	Rp41.836.323	Rp1.381.450	Th	34	Rp38.251.972	87	101			
	Beton kolom Praktis	I	F, G	38	Rp1.751.204	38	Rp2.280.328	Rp274.561	Ti	38	Rp2.280.328	117	133			
	Beton Balok	J	D, E	38	Rp127.804.443	38	Rp137.137.649	Rp4.676.603	Tj	38	Rp127.804.443	69	87			
	Beton Balok lantai/kusen	K	F, G	38	Rp4.366.449	38	Rp4.728.926	Rp171.236	Tk	38	Rp4.728.926	117	133			
	Beton Balok praktis	L	F, G	38	Rp620.267	38	Rp693.377	Rp0	Tl	38	Rp620.267	117	133			
	Beton Plat lantai	M	E	34	Rp95.994.610	33	Rp102.791.567	Rp2.255.652	Tm	34	Rp95.994.610	69	83			
	Beton plat lantai	N	E	34	Rp17.863.196	33	Rp19.667.524	Rp601.443	Tn	34	Rp17.863.196	69	83			
Jumlah =											Rp557.435.865					
Mulai Proyek					0											
Berakhirnya Proyek					133	hari										
Indirect Cost					Rp600.000	Rp/hari										
Total Indirect Cost					Rp79.800.000	Rp										
Total Biaya Proyek					Rp677.239.865	Rp		Fungsi Objektif								
Sehingga																
Durasi Optimum (hari) =					133											
Biaya Minimum =					Rp677.239.865	dengan		Direct Cost =		Rp557.435.865						
								Indirect Cost =		Rp79.800.000						

Gambar 3. Lembar kerja TCTO tanpa DCF sesudah di *solve*

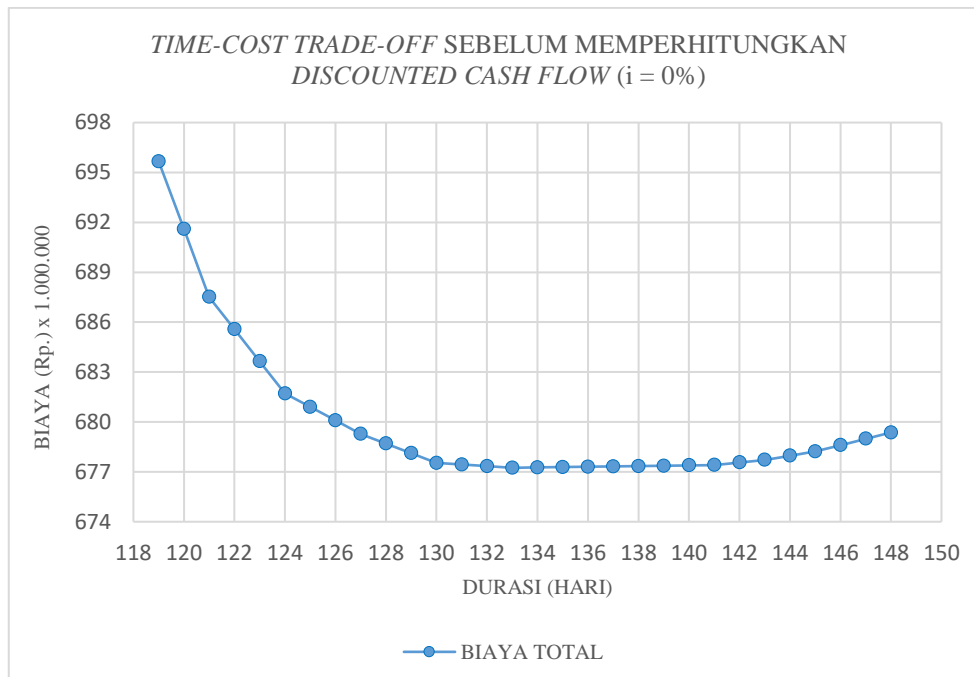
Setelah *solver* dijalankan untuk *Time-Cost Trade-Off* sebelum memperhitungkan *discounted cash flow*, durasi total proyek yang didapatkan adalah 133 hari dan dengan biaya total minimal yang didapatkan adalah Rp. 677.239.865. Untuk melihat kenaikan atau penurunan biaya serta letak titik biaya optimal, maka dilakukan pencarian biaya total proyek pada durasi tercepat dan terlama terselesaikannya proyek ini. Gambar 4 sampai Gambar 6 merupakan diagram kenaikan dan penurunan untuk biaya langsung, biaya tidak langsung, dan biaya total.



Gambar 4. Diagram biaya langsung proyek sebelum DCF



Gambar 5. Diagram biaya tidak langsung proyek sebelum DCF



Gambar 6. Diagram biaya total proyek sebelum DCF

Pemodelan *Time-Cost Trade-Off* sesudah memperhitungkan *discounted cash flow*

Dalam pemodelan *Time-Cost Trade-Off* sebelum memperhitungkan *discounted cash flow*, biaya yang diperhitungkan adalah biaya langsung (*direct cost*), biaya tidak langsung (*indirect cost*), dan biaya akibat *interest rate*. Dilansir dari *Trading Economics* diperoleh nilai *interest rate* (i) pada negara Indonesia yaitu sebesar 3,5%. Pemodelan ini dibuat menggunakan *solver* pada *Microsoft Excel*. Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah menentukan fungsi tujuan. Fungsi tujuan pada permasalahan ini adalah meminimalkan jumlah biaya total proyek. Langkah kedua yang harus dilakukan adalah menentukan variabel mana yang akan diubah oleh *solver* untuk mendapatkan fungsi tujuan minimum yang ingin diperoleh. Pada permasalahan TCTO ini, variabel yang dapat diubah yaitu adalah durasi untuk setiap kegiatan. Langkah ketiga yang harus dilakukan adalah menentukan batasan-batasan yang diperlukan dalam

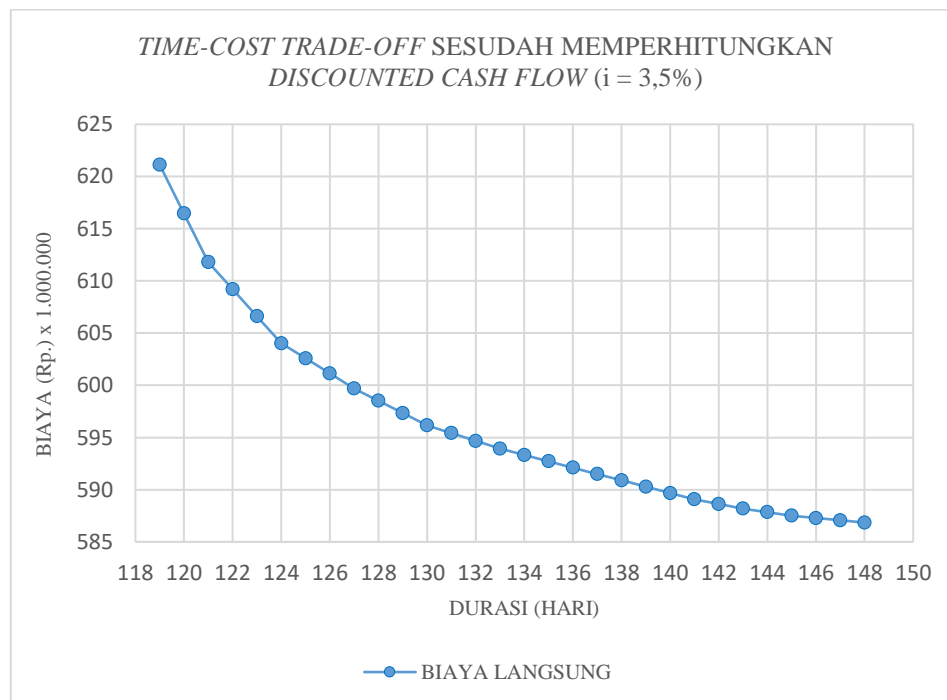
penyelesaian *solver*. Dalam permasalahan TCTO ini, batasan-batasannya adalah *predecessor* untuk setiap kegiatan. Lembar Kerja *Excel* dapat dilihat pada Gambar 7.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	

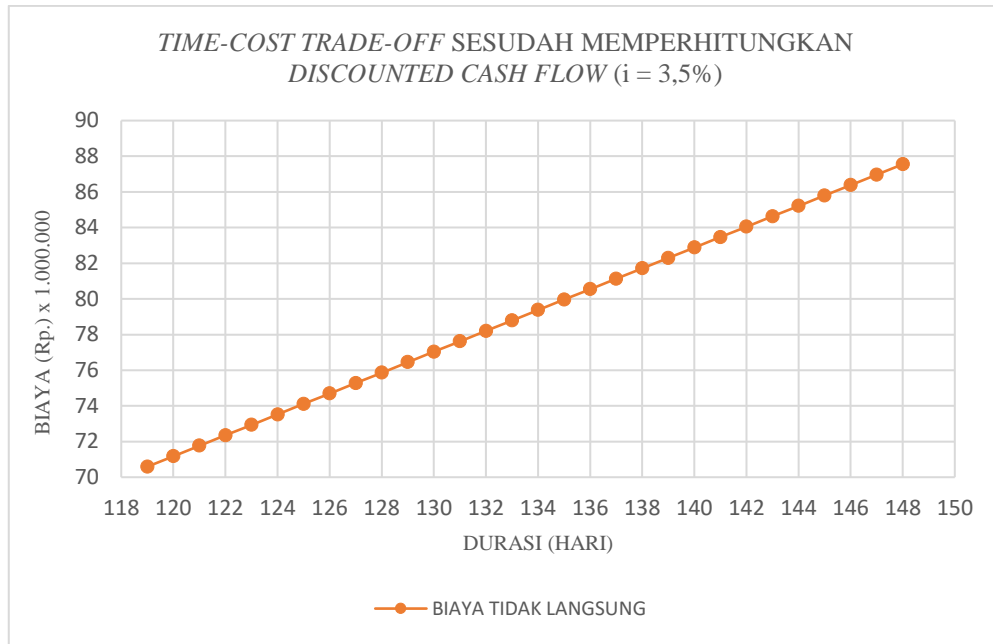
*Durasi dalam hari																	
Interest Rate: 3,50%																	
	Jenis Pekerjaan	Kode	Predecessor	Durasi Normal	Cost	Durasi Crash	Crash Cost	Slope	Variabel	Durasi (T)	Direct Cost	DCF Cost	Mulai	Berakhir (U)			
Lantai 1	Tiang Pancang	A	-	14	Rp307.870.525	11	Rp114.679.159	Rp2.536.211	Ta	14	Rp307.870.525,00	Rp306.926.889,81	0	14			
	Beton Ploer	B	A	14	Rp53.654.915	11	Rp65.750.442	Rp688.589	Tb	14	Rp53.654.915,19	Rp53.511.055,58	14	28			
	Beton Sloof	C	B	14	Rp62.369.651	11	Rp66.567.020	Rp4.197.369	Tc	14	Rp62.369.651,12	Rp62.118.880,85	28	42			
	Beton Rabat lantai tebal	D	C	7	Rp29.927.448	5	Rp32.778.597	Rp3.425.574	Td	7	Rp29.927.448,36	Rp29.787.166,90	42	49			
	Beton kolom	E	C	15	Rp46.926.436	27	Rp51.558.575	Rp579.142	Te	15	Rp46.926.436,30	Rp46.581.344,55	42	77			
	Beton kolom Praktis	F	H	23	Rp1.216.522	16	Rp2.323.330	Rp228.958	Tf	16	Rp2.321.310,32	Rp2.293.653,80	109	125			
Lantai 2	Beton Balok lateri/kusen	G	H	18	Rp2.703.277	16	Rp2.952.707	Rp24.715	Tg	16	Rp2.932.706,33	Rp2.917.527,46	109	125			
	Beton kolom	H	J, M, N	14	Rp35.291.972	11	Rp42.818.323	Rp7.183.450	Th	14	Rp35.291.972,02	Rp37.893.845,56	95	109			
	Beton kolom Praktis	I	F, G	18	Rp1.731.204	16	Rp2.288.328	Rp234.561	Ti	16	Rp2.280.326,20	Rp2.249.703,92	125	141			
	Beton Balok	J	D, E	18	Rp27.894.441	16	Rp37.157.649	Rp4.676.602	Tj	16	Rp27.894.441,41	Rp26.645.519,60	77	95			
	Beton Balok lateri/kusen	K	F, G	18	Rp4.386.449	16	Rp4.728.920	Rp34.234	Tk	16	Rp4.726.920,07	Rp4.665.415,75	125	141			
	Beton Balok praktis	L	F, G	16	Rp620.267	16	Rp655.377	Rp35	Tl	16	Rp620.266,94	Rp611.937,48	125	141			
	Beton Plat lantai	M	E	14	Rp95.994.610	11	Rp102.761.567	Rp2.255.652	Tm	14	Rp95.994.609,58	Rp95.560.841,88	77	91			
	Beton plat Испанк	N	E	14	Rp17.863.196	11	Rp19.667.534	Rp60.442	Tn	14	Rp17.863.195,75	Rp17.708.006,58	77	91			
											Jumlah =	Rp589.071.630,96					
Mulai Proyek				0													
Berakhirnya Proyek				141	hari												
Indirect Cost				Rp680.000	Rp/hari												
Total Indirect Cost				Rp83.483.914	Rp												
Total Biaya Proyek				Rp672.535.523	Rp	Fungsi Objektif											
Sehingga																	
Durasi Optimum (hari) =				141													
Biaya Minimum =				Rp672.535.523	dengan	Direct Cost =	Rp589.071.630										
						Indirect Cost =	Rp83.483.914										

Gambar 7. Lembar kerja TCTO dengan DCF sesudah di *solve*

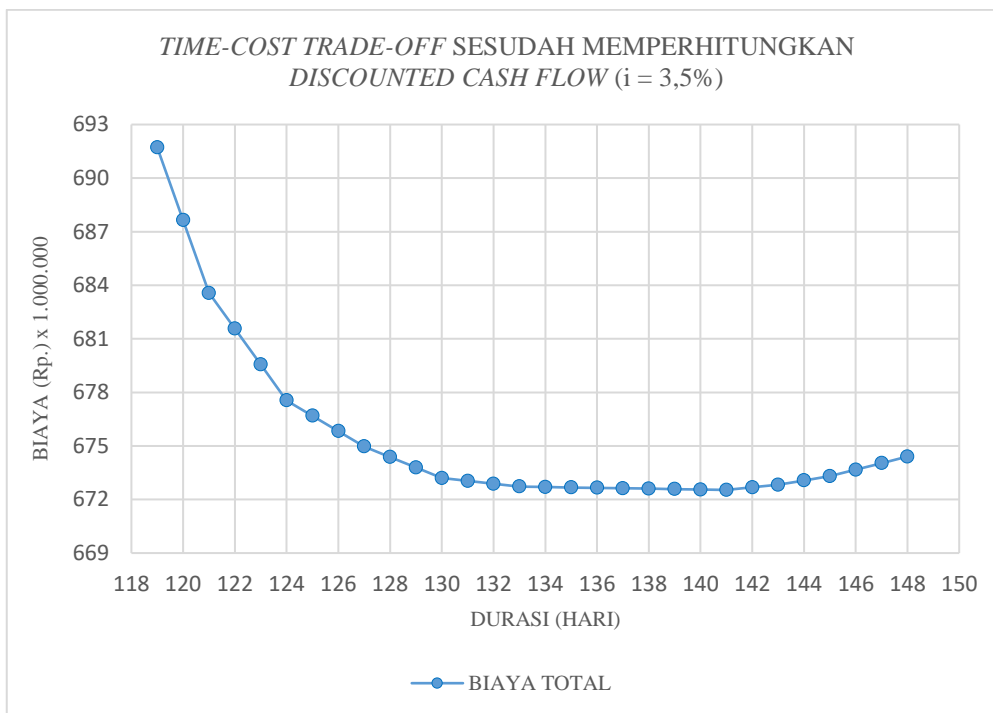
Setelah *solver* dijalankan untuk *Time-Cost Trade-Off* sesudah memperhitungkan *discounted cash flow*, durasi total proyek yang didapatkan adalah 141 hari dan dengan biaya total minimal yang didapatkan adalah Rp. 672.535.523. Untuk melihat kenaikan atau penurunan biaya serta letak titik biaya optimal, maka dilakukan pencarian biaya total proyek pada durasi tercepat dan terlama terselesaikannya proyek ini. Gambar 8 sampai Gambar 10 merupakan diagram kenaikan dan penurunan untuk biaya langsung, biaya tidak langsung, dan biaya total.



Gambar 8. Diagram biaya langsung proyek sesudah DCF



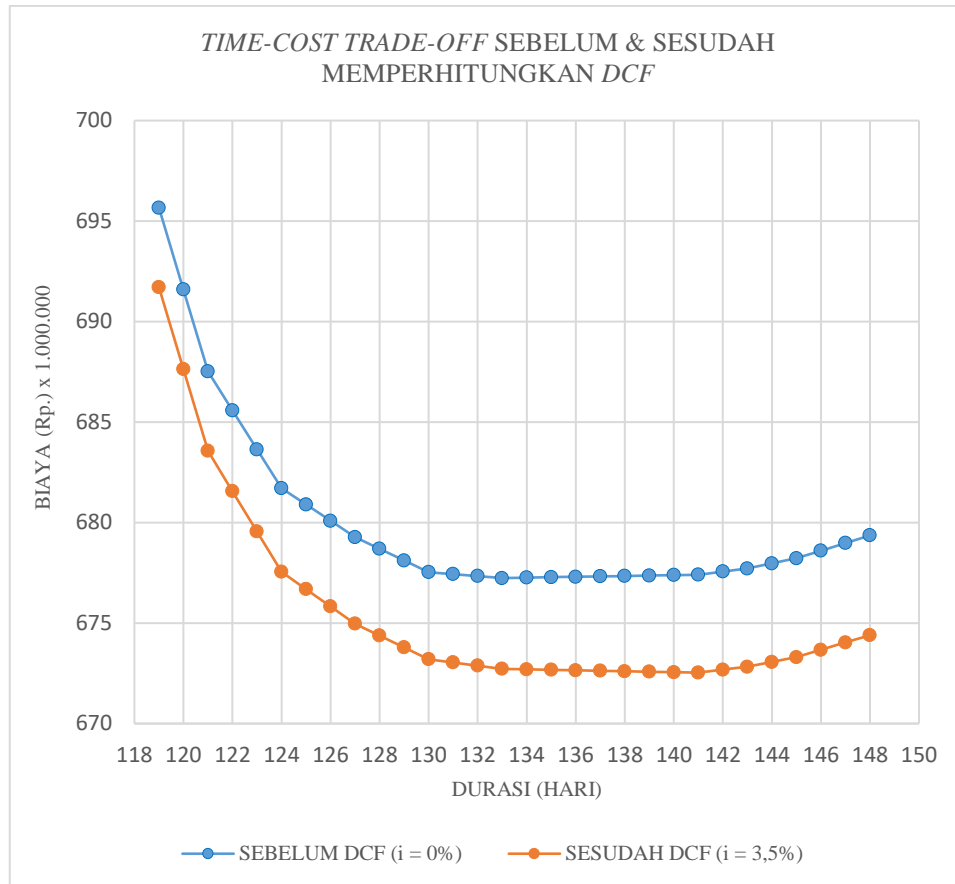
Gambar 9. Diagram biaya tidak langsung proyek sesudah DCF



Gambar 10. Diagram biaya total proyek sesudah DCF

Perbandingan TCTO sebelum dan sesudah memperhitungkan DCF

Untuk melihat pengaruh perhitungan *discounted cash flow*, maka dilakukan penggabungan kurva hubungan antara durasi dan biaya total proyek sebelum dan sesudah memperhitungkan *discounted cash flow*. Pada Gambar 11 dapat dilihat kurva *time-cost trade-off* sesudah memperhitungkan *discounted cash flow* memiliki kedudukan yang lebih rendah daripada sebelum memperhitungkan *discounted cash flow*.



Gambar 11. Perbandingan kedudukan kurva sebelum dan sesudah DCF

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada proyek gedung sekolah di Surabaya, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Grafik *Time-Cost Trade-Off* sebelum dan sesudah memperhitungkan *Discounted Cash Flow* memiliki bentuk yang sama. Dilihat dari suatu durasi tertentu, posisi kurva TCTO sebelum memperhitungkan DCF berada diatas kurva TCTO sesudah memperhitungkan DCF, hal ini berarti total biaya proyek yang dihasilkan oleh metode TCTO sebelum memperhitungkan DCF lebih tinggi dibandingkan dengan sesudah memperhitungkan DCF.
2. Penyusunan penjadwalan dengan metode *Time-Cost Trade-Off* sesudah memperhitungkan *Discounted Cash Flow* akan menghasilkan total biaya minimum yang lebih rendah dengan durasi optimum yang lebih panjang dibandingkan dengan sebelum memperhitungkan DCF. Pada proyek yang menjadi objek penelitian diperoleh:
 - *Time-Cost Trade-Off* sebelum memperhitungkan *Discounted Cash Flow* akan menghasilkan total biaya minimum proyek sebesar Rp. 677.239.865 dengan durasi optimum proyek 133 hari.
 - *Time-Cost Trade-Off* sesudah memperhitungkan *Discounted Cash Flow* akan menghasilkan total biaya minimum proyek sebesar Rp. 672.535.523 dengan durasi optimum proyek 141 hari.
3. Dalam penerapan metode *Time-Cost Trade-Off* dengan *Discounted Cash Flow*, memiliki keunggulan, yaitu hasil yang diperoleh lebih akurat karena metode ini memperhitungkan *time value of money*. Selain dapat mencari durasi proyek yang optimum dengan total biaya proyek yang minimum, terdapat juga kendala dalam penerapan metode TCTO dengan DCF, yaitu dalam penyusunan modelnya harus memperhitungkan *time value of money*, sehingga proses perhitungan yang dilakukan lebih panjang

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, hal yang dapat disarankan untuk penelitian selanjutnya dan untuk bidang konstruksi adalah membuat suatu program komputer, sehingga dalam proses perhitungan optimasi dan pembuatan grafik penjadwalan dengan metode DCF dapat dibuat lebih efisien. Hal ini disarankan karena dalam perhitungan optimasi dan pembuatan grafik, dilakukan secara manual, dan kegiatan tersebut memerlukan waktu relatif lama.

DAFTAR PUSAKA

- Ammar, M.A. (2011). "Optimization of Project Time-Cost Trade-Off Problem with Discounted Cash Flows." *Journal of Construction. Engineering and Management*, 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000256(2011)137(1) (2011):65-71.
- Crowston, W. (1970). "Decision CPM: Network reduction and solution." *Oper. Res. Q.*, 21, 435–452.
- Elbeltagi, E., Hegazy, T., and Grierson, D. (2005). "Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms." *Adv. Eng. Inform.*, 19(1), 43–53.
- Moussourakis, J., and Haksever, C. (2004). "Flexible model for time/cost tradeoff problem." *Journal of Construction. Engineering and Management*, 130(3), 307–314.
- Popescu, C. M., & Charoengam, C. (1995). *Project Planning, Scheduling, and Control in Construction*, John Wiley & Son, Canada, 188.
- Trading Economics, (2021), Tersedia online di <https://tradingeconomics.com/indonesia/indicators>, (Diakses pada 1 Desember 2021).
- White, J., Case, K., Pratt, D., & Agee, M. (1998). *Principles of Engineering Economic Analysis*, 4th Ed., Wiley, New York.
- Yang, I. (2007). "Using elitist particle swarm optimization to facilitate bicriterion time-cost trade-off analysis." *Journal of Construction. Engineering and Management*, 133(7), 498–505.

