



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

ANALISA PENERAPAN ALGORITMA CRASHING DALAM PERMASALAHAN PERCEPATAN PROYEK

Adri Tria Andoko
NRP 2210100206

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Abdullah Alkaff, M.Sc., Ph.D.
Nurlita Gamayanti, S.T.,M.T.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**AN ANALYSIS OF CRASHING ALGORITHM APPLICATION
AT PROJECT CRASHING PROBLEM**

Adri Tria Andoko
NRP 2210100206

Supervisor
Prof. Ir. Abdullah Alkaff, M.Sc., Ph.D.
Nurlita Gamayanti, S.T., M.T.

*ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016*

ANALISA PENERAPAN ALGORITMA *CRASHING* DALAM PERMASALAHAN PERCEPATAN PROYEK

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

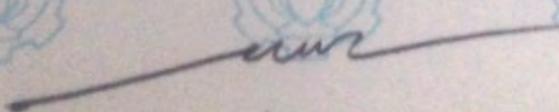
Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

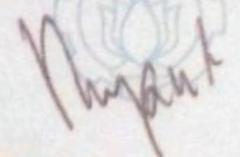
LEMBAR PENGESAHAN

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,


Prof. Ir Abdullah Alkaff, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195501231980031002


Nurlita Gamayanti, S.T., M.T.
NIP. 197812012002122032



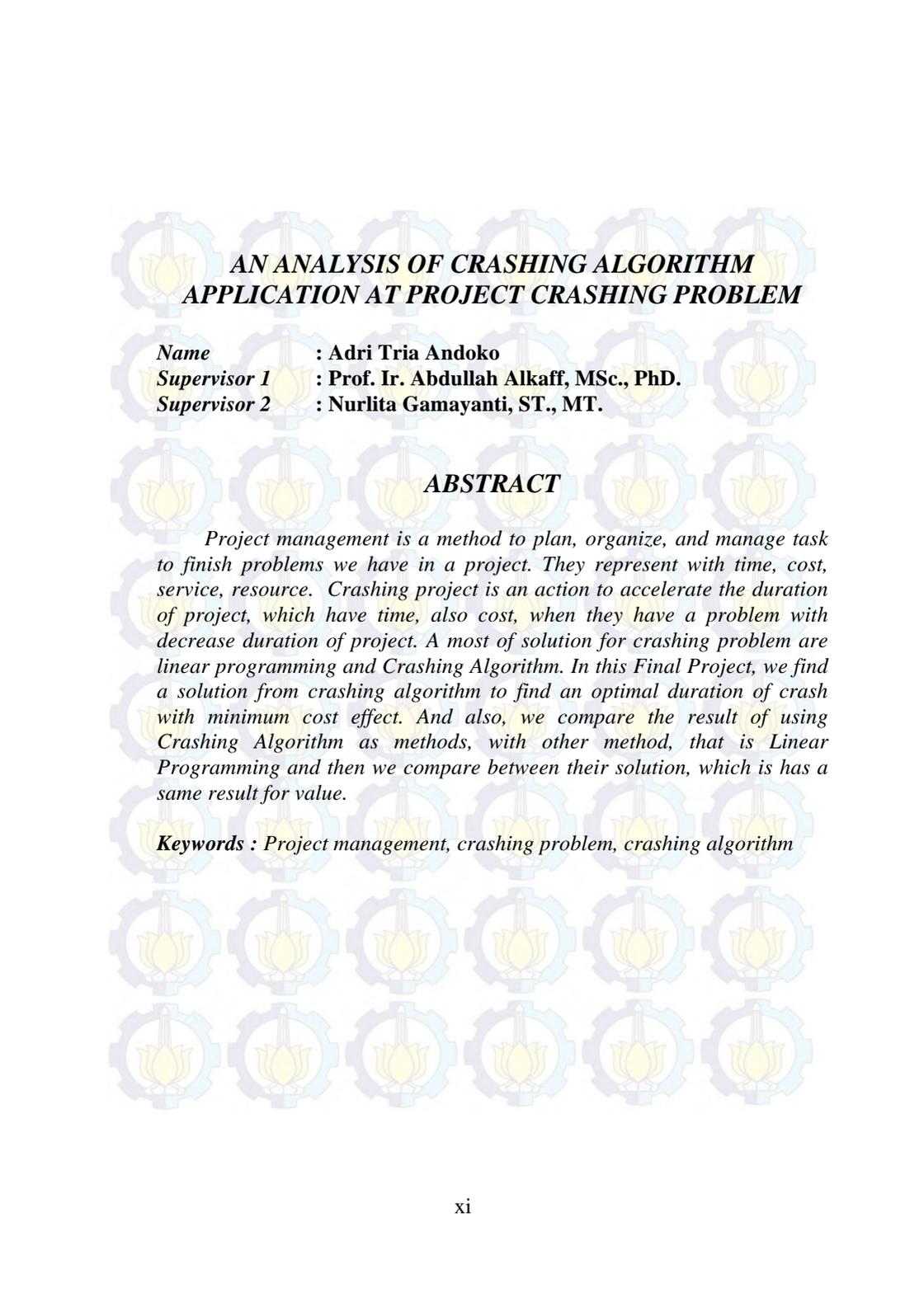
ANALISA PENERAPAN ALGORITMA *CRASHING* DALAM PERMASALAHAN PERCEPATAN PROYEK

Nama : Adri Tria Andoko
Pembimbing I : Prof. Ir. Abdullah Alkaff, MSc., PhD.
Pembimbing II : Nurlita Gamayanti, ST., MT.

ABSTRAK

Project management adalah proses *planning*, *organising* dan *managing task* atau tugas untuk mencapai tujuan yang ditetapkan, biasanya telah ditetapkan berdasarkan waktu, *resource* maupun biayanya. Dalam *project management*, permasalahan yang berpotensi akan mengganggu adalah terjadinya perlambatan atau kendala yang berpengaruh pada bertambahnya durasi pekerjaan, sehingga biaya *project*, dan untuk menyelesaikannya dapat menggunakan adalah *Crashing Project* yang dapat diartikan sebagai akselerasi proyek. Terdapat beberapa metode penyelesaian untuk bisa menyelesaikan permasalahan *Crashing Project*, diantaranya dengan pendekatan *Linear Programming* atau menggunakan metode *Crashing Algorithm*. *Crashing Algorithm* merupakan suatu metode percepatan proyek yang berguna untuk mempersingkat lamanya waktu proyek dengan mengurangi waktu dari satu atau lebih aktivitas proyek yang berada pada jalur kritis atau jalur terpanjang dari aktivitas proyek. Pada Tugas Akhir kali ini akan menggunakan *Crashing Algorithm* sebagai metode penyelesaian dari permasalahan *Crashing Project*. Hasil dari Tugas Akhir ini menunjukkan bahwa *Crashing Algorithm* dapat digunakan menjadi salah satu metode penyelesaian dalam permasalahan percepatan proyek. Selain itu, pada Tugas Akhir ini juga membandingkan dengan metode lain yaitu *Linear Programming* dan memiliki hasil yang sama dengan penyelesaian menggunakan *Crashing Algorithm*.

Kata kunci: Manajemen Proyek, *Crashing Problem*, *Crashing Algorithm*



AN ANALYSIS OF CRASHING ALGORITHM APPLICATION AT PROJECT CRASHING PROBLEM

Name : Adri Tria Andoko
Supervisor 1 : Prof. Ir. Abdullah Alkaff, MSc., PhD.
Supervisor 2 : Nurlita Gamayanti, ST., MT.

ABSTRACT

Project management is a method to plan, organize, and manage task to finish problems we have in a project. They represent with time, cost, service, resource. Crashing project is an action to accelerate the duration of project, which have time, also cost, when they have a problem with decrease duration of project. A most of solution for crashing problem are linear programming and Crashing Algorithm. In this Final Project, we find a solution from crashing algorithm to find an optimal duration of crash with minimum cost effect. And also, we compare the result of using Crashing Algorithm as methods, with other method, that is Linear Programming and then we compare between their solution, which is has a same result for value.

Keywords : *Project management, crashing problem, crashing algorithm*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan perancangan buku tugas akhir dengan judul “Analisa Penerapan Algoritma *Crashing* dalam permasalahan percepatan proyek.”

Pertama – tama, penulis ucapkan terima kasih kepada kedua orang tua dan keluarga, atas support serta doa yang tiada hentinya selama ini, baik selama perkuliahan, maupun saat mengerjakan tugas akhir, baik dalam bentuk materi, tenaga maupun doa, terutama kedua orang tua yang selama ini tiada hentinya memberikan doa dan dukungan terutama kesabaran dalam menghadapi segala permasalahan terutama dengan diri penulis.

Selanjutnya, terima kasih yang besar kepada seluruh Dosen Teknik Elektro ITS, terutama dosen TSP, bapak Abdullah Alkaff dan ibu Nurlita Gamayanti selaku dosen pembimbing yang tiada henti memberikan saran, dukungan dan masukan, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu, serta berjalan dengan lancar. Kepada seluruh dosen penguji, bapak Sahal, ibu Trihastuti serta pak Yusuf Bilfaqih, terima kasih atas masukan terhadap Tugas Akhir ini sehingga mampu lebih baik dari segi hasil, materi yang dimuat serta beberapa hal lain yang menjadi masukan positif untuk penulis.

Selanjutnya kepada keluarga besar angkatan 2010 E50 Teknik Elektro ITS, terutama sahabat penulis diantaranya Reza, Shandy, Arief, Nadir, Kuntha, Yoga, Raymond, Randi, Rosyid, Arvid, Faisal, Amin, Adhika, Ario, Fauzan, serta teman – teman yang lain diangkatan atas support dan pertemanan yang luar biasa selama ini. Serta untuk teman teman seperjuangan di kampus, adik adik luar biasa, Kevin, Sikim, Rosada, Bandung, Prez, Beki, Suem, Edo, Dyal, Lucky, Dylan, Yanu, Vigor, Fahmi, Vica, Farras, Gembot, Adi, Mbah, Irwan, Icing, Ammar serta adik adik lainnya, yang penulis tidak bisa sebutkan satu persatu.

Selanjutnya, rekan rekan seperjuangan di BEM FTI-ITS selama 2 tahun kepengurusan, terutama teman teman Bersatu Berdedikasi, Humaam, Icca, Nanda, Fira, Ade, Wily, Dinar, Febri, Tegar, Wulan, Dely, Parada, Lita, Khanafi, Sardi, Rucita, Bobby, Ino, Dea, Fesa, Riza, Novi serta Rusda atas banyak pelajaran, pengalaman, suka, duka selama bertanggung jawab memegang amanah yang luar biasa, serta seluruh staff Bersatu Berdedikasi yang tercinta dan luar biasa.

Lalu kepada sahabat penulis lainnya, Nili, Avie, Vici, Emir, Arga, Nalindra, Brian, Abah, Novi, Hanny dan sahabat kecil penulis, Wira, Eky,

Ai, Dewi, Fitri, Syarah, Uul, Lana, dan seluruh sahabat penulis yang tidak bisa ditulis satu persatu. Terima kasih atas doa dan dukungan selama mengerjakan Tugas Akhir yang luar biasa .

Terima kasih atas dukungan seluruh pihak. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penelitian selanjutnya.

Surabaya, Januari 2016

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
TUGAS AKHIR - TE 141599	i
TUGAS AKHIR - TE 141599	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan dan Manfaat	2
1.5 Metodologi	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Proyek	5
2.2 Manajemen Proyek	7
2.3 Network Planning	8
2.3.1 Penyusunan Diagram Kerja	9
2.3.2 Critical Path Method	9
2.3.3 Jalur Kritis	10
2.4 Optimasi Waktu dan Biaya	11
2.4.1 Pengelolaan Waktu/Jadwal	11
2.4.2 Mempercepat Pelaksanaan Proyek	12
2.4.3 Time-Cost Trade-Off	14
2.5 Crashing Algorithm	15
2.6 Linear Programming	19
2.7 Software LINDO	20
BAB III PROSES IDENTIFIKASI SISTEM	23
3.1 Data dan Analisa	23

3.1.1 Variabel Waktu	23
3.1.1.1 <i>Data Scheduling Proyek</i>	24
3.1.2 Variabel Biaya	28
3.1.2.1 <i>Data Keuangan Pembangunan</i>	29
3.2. <i>Flowchart</i> Pengerjaan.....	32
BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM	37
4.1 Perancangan Penyelesaian Crashing Algorithm.....	37
4.1.1 Networking Project Planning	37
4.1.2 Crash Cost per Activity	45
4.2 Perancangan Penyelesaian Linear Programming.....	49
4.2.1 Pendefinisian Variabel.....	49
4.2.2 Menentukan Fungsi dan Model Matematika.....	51
BAB V HASIL DAN ANALISA	53
5.1 Penyelesaian Menggunakan <i>Crashing Algorithm</i>	53
5.2 Penyelesaian Menggunakan <i>Linear Programming</i>	72
BAB VI PENUTUP	77
6.1. Kesimpulan.....	77
6.2. Rekomendasi	78
DAFTAR PUSTAKA.....	79
LAMPIRAN.....	81
RIWAYAT PENULIS.....	97

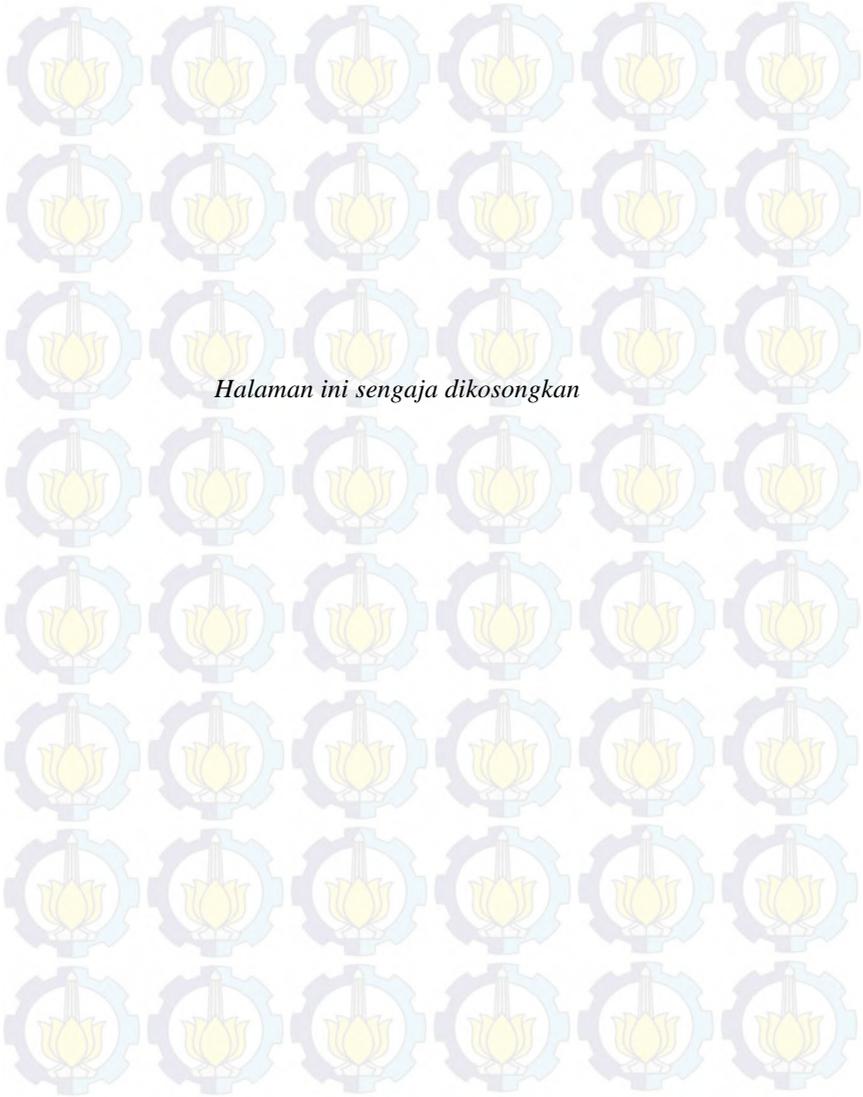
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
TUGAS AKHIR - TE 141599	i
TUGAS AKHIR - TE 141599	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan dan Manfaat	2
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Proyek	5
2.2 Manajemen Proyek	7
2.3 Network Planning	8
2.3.1 Penyusunan Diagram Kerja	9
2.3.2 Critical Path Method	9
2.3.3 Jalur Kritis	10
2.4 Optimasi Waktu dan Biaya	11
2.4.1 Pengelolaan Waktu/Jadwal	11
2.4.2 Mempercepat Pelaksanaan Proyek	12
2.4.3 Time-Cost Trade-Off	14
2.5 Crashing Algorithm	15
2.6 Linear Programming	19
2.7 Software LINDO	20
BAB III PROSES IDENTIFIKASI SISTEM	23
3.1 Data dan Analisa	23

3.1.1 Variabel Waktu	23
3.1.1.1 <i>Data Scheduling Proyek</i>	24
3.1.2 Variabel Biaya	28
3.1.2.1 <i>Data Keuangan Pembangunan</i>	29
3.2. <i>Flowchart</i> Pengerjaan.....	32
BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM	37
4.1 Perancangan Penyelesaian Crashing Algorithm.....	37
4.1.1 Networking Project Planning	37
4.1.2 Crash Cost per Activity	45
4.2 Perancangan Penyelesaian Linear Programming.....	49
4.2.1 Pendefinisian Variabel.....	49
4.2.2 Menentukan Fungsi dan Model Matematika.....	51
BAB V HASIL DAN ANALISA	53
5.1 Penyelesaian Menggunakan <i>Crashing Algorithm</i>	53
5.2 Penyelesaian Menggunakan <i>Linear Programming</i>	72
BAB VI PENUTUP	77
6.1. Kesimpulan.....	77
6.2. Rekomendasi	78
DAFTAR PUSTAKA.....	79
LAMPIRAN.....	81
RIWAYAT PENULIS.....	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubungan <i>Triple Constraint</i>	6
Gambar 2.2. Gambaran Hubungan <i>predecessor dan successor</i>	9
Gambar 2.3 Simbol Jaringan Kerja CPM model PERT.....	10
Gambar 2.4 Beberapa contoh Jaringan kerja serta instruksinya.....	10
Gambar 2.5 Titik Normal, TPD dan TDT.....	13
Gambar 2.6 Grafik Hubungan Waktu dan Biaya Normal Crash.....	15
Gambar 2.7 Flowchart dari Crashing Algorithm.....	19
Gambar 3.1 Gedung Universitas Kristen Petra Surabaya.....	24
Gambar 3.2 Ilustrasi Gedung Universitas Kristen Petra.....	25
Gambar 3.3 Flowchart Pengerjaan Crashing Algorithm Tugas Akhir.....	34
Gambar 4.1 Network Scheduling dari Proyek UK Petra Surabaya.....	38
Gambar 4.2 Gambar Network Scheduling Critical Path.....	42



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Tabel Tahap Persiapan dan Waktu Pelaksanaan.....	26
Tabel 3.2	Tabel Tahapan Pekerjaan Struktur Tanah.....	26
Tabel 3.3	Tabel Tahapan Pekerjaan Struktur Beton.....	27
Tabel 3.4	Tabel Pekerjaan Arsitektur dan Pekerjaan Tampak.....	27
Tabel 3.5	Tabel Pekerjaan <i>Hardscape</i> dan <i>Landscape</i>	28
Tabel 3.6	Rekapitulasi total Pengeluaran.....	30
Tabel 3.7	Tabel Waktu dan Biaya baik Normal maupun <i>Crash</i>	31
Tabel 4.1.	Tabel Aktivitas Proyek berdasarkan Durasi.....	39
Tabel 4.2	<i>Path List</i> dari <i>Critical Path Network</i> yang dibentuk.....	41
Tabel 4.3	Tabel Aktivitas dengan Informasi <i>Critical Path</i>	43
Tabel 4.4	Biaya Normal dan <i>Crash</i> Persiapan.....	45
Tabel 4.5	Biaya dan Waktu Normal dan <i>Crash</i> Pekerjaan Struktur Tanah.....	46
Tabel 4.6	Biaya dan Waktu Normal dan <i>Crash</i> Pekerjaan Struktur Beton.....	46
Tabel 4.7	Biaya dan Waktu Normal dan <i>Crash</i> Pekerjaan Struktur Baja.....	47
Tabel 4.8	Biaya dan Waktu Normal dan <i>Crash</i> Pekerjaan Arsitektur.....	47
Tabel 4.9	Biaya dan Waktu Normal dan <i>Crash</i> Pekerjaan Tampak.....	48
Tabel 4.10	Biaya dan Waktu Normal dan <i>Crash</i> Pekerjaan <i>Hardscape</i> dan <i>Landscape</i>	48
Tabel 4.11	Biaya dan Waktu Normal dan <i>Crash</i> Pekerjaan <i>Plumbing</i>	49
Tabel 4.12	Tabel Variabel <i>Crash Day</i> berdasarkan Aktivitas.....	50
Tabel 5.1	Iterasi 0 dan Iterasi 1.....	53
Tabel 5.2	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	53
Tabel 5.3	Iterasi 2.....	54
Tabel 5.4	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	54
Tabel 5.5	Iterasi 3.....	54
Tabel 5.6	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	55
Tabel 5.7	Iterasi 4.....	55
Tabel 5.8	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	56
Tabel 5.9	Iterasi 5.....	66

Tabel 5.10	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	57
Tabel 5.11	Iterasi 6.....	57
Tabel 5.12	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	58
Tabel 5.13	Iterasi 7.....	58
Tabel 5.14	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	59
Tabel 5.15	Iterasi 8.....	59
Tabel 5.16	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	60
Tabel 5.17	Iterasi 9.....	60
Tabel 5.18	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	61
Tabel 5.19	Iterasi 10.....	61
Tabel 5.20	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	62
Tabel 5.21	Iterasi 11.....	62
Tabel 5.22	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	63
Tabel 5.23	Iterasi 12.....	63
Tabel 5.24	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	64
Tabel 5.25	Iterasi 13.....	64
Tabel 5.26	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	65
Tabel 5.27	Iterasi 14.....	65
Tabel 5.28	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	66
Tabel 5.29	Iterasi 15.....	66
Tabel 5.30	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	67
Tabel 5.31	Iterasi 16.....	67
Tabel 5.32	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	68
Tabel 5.33	Iterasi 17.....	68
Tabel 5.34	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	69
Tabel 5.35	Iterasi 18.....	69
Tabel 5.36	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	70
Tabel 5.37	Iterasi 19.....	70
Tabel 5.38	<i>Path List</i> Terbaru setelah Proses <i>Crashing</i>	71
Tabel 5.39	Tabel Perbandingan Biaya dan Durasi Normal serta <i>Crash</i> Pada Proyek.....	71

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam sebuah Manajemen Proyek, durasi dan biaya merupakan patokan utama dalam menjalankan proses Proyek, terutama yang berkaitan dengan konstruksi. Dalam sebuah Manajemen Proyek, urutan pelaksanaan kerja konstruksi digambarkan menggunakan proses scheduling, yang berisi tentang jenis pekerjaan, serta waktu pelaksanaan yang digambarkan dalam berbagai macam bentuk, salah satunya berupa tabel *scheduling*. *Scheduling* merupakan patokan utama dalam menjalankan proses konstruksi yang juga dibentuk berdasarkan berbagai macam pertimbangan, salah satunya terkait dengan biaya yang dikeluarkan oleh kontraktor dalam pembangunan proyek tersebut.[7]

Penggunaan yang efisien dari risiko proyek-manajemen dapat mencegah perusahaan terlibat dalam risiko proyek di mana hasil positif potensi proyek dibayangi oleh risiko. Hal ini juga dapat menyebabkan kontrol yang lebih baik dan pengetahuan tentang bagaimana menangani risiko jika dan ketika itu terjadi, dan tidak membiarkan terjadi penundaan atau menghancurkan proyek. Namun demikian, tidak mudah untuk menyelesaikan masalah ini. Apa yang kita lakukan adalah untuk menanggapi risiko. Dalam rangka untuk menyelesaikan tujuan ini kita akan menggunakan *Project Management* dan teknik manajemen risiko proyek untuk mengembangkan respon risiko dalam perencanaan dan pelaksanaan tahapan proyek. [10]

Semakin banyak bekerja di organisasi yang sedang dilakukan melalui proyek-proyek. Ketika bekerja pada proyek-proyek, risiko dapat dan akan muncul pada berbagai tahap. Alat *Project Management* dan teknik telah dikembangkan untuk memfasilitasi proses ini. Ini berarti bahwa penggunaan *Project Management* dalam organisasi akan meningkat. Selain itu, penting untuk menginvestasikan banyak energi dalam tahap pra-studi untuk menghindari masalah yang mungkin lebih sulit untuk dipecahkan di kemudian hari. Seringkali, ketidakpastian terkait dengan proyek-proyek paling besar terjadi di awal proyek. Jika tidak ada tindakan yang diambil pada risiko yang muncul dalam tahap awal proyek, dampak total risiko pada proyek akan lebih besar dan itu akan menjadi sangat mahal untuk menunda penyelesaian karena akibatnya akan mempengaruhi seluruh urutan pekerjaan. Bagian ini

membahas beberapa manajer proyek keterampilan khusus akan perlu menjalankan proyek dengan sukses. [7]

Maka dari itu, untuk menanggulangi terjadinya resiko Proyek, terutama dengan resiko perlambatan pada proses pembangunan, diperlukanlah beberapa solusi yang mampu mempercepat proyek dengan durasi tertentu, yang diharapkan juga mampu menekan biaya pengeluaran dari proses konstruksi. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode *Crashing Algorithm* yang merupakan salah satu pengembangan dari *Project Time-Cost Trade-Off*. Sehingga penulis mengharapkan metode tersebut mampu memberikan respon positif terhadap permasalahan proyek terutama dari segi waktu serta biaya. [7]

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan utama adalah bagaimana mempercepat durasi sebuah proyek dengan biaya yang paling minimal menggunakan *Crashing Algorithm*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Percepatan pada proyek tidak mempengaruhi kualitas
2. Permasalahan proyek merupakan permasalahan linier
3. Ketersediaan elemen kebutuhan percepatan terjamin
4. Studi Kasus yang digunakan adalah pada Proyek Pembangunan Gedung UK Petra Surabaya oleh PT. Pembangunan Perumahan (Persero)

1.4. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah mempercepat durasi pengerjaan proyek dengan biaya pengeluaran yang minimal. Serta membandingkan hasil dari metode *Crashing Algorithm* dengan metode lainnya.

Hasil dari Tugas Akhir ini adalah diharapkan menjadi Gambaran yang jelas bagi mahasiswa mengenai aplikasi *Crashing Algorithm* dalam *Project Management* terutama dalam permasalahan *Crashing*.

1.5. Metodologi

Pada Tugas Akhir ini dilakukan beberapa proses secara bertahap agar tercapai tujuan dari Tugas Akhir ini. Tahap pertama yang dilakukan

dalam Tugas Akhir ini adalah melakukan studi literatur. Literatur yang dipelajari adalah literatur yang mengandung pembahasan yang menyangkut topik Tugas Akhir yang diambil. Materi-materi yang diperlukan meliputi konsep dasar Manajemen Proyek, Teori tentang *Crashing*, Teori tentang *Project Networking*, Teori mengenai *Time Cost-Trade Off*.

Langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data terkait dengan Proyek yang menjadi Objek Acuan Tugas Akhir yaitu Proyek Pembangunan Kampus Universitas Kristen Petra yang dikelola oleh PT. Pembangunan Perumahan (Persero)

Selanjutnya dilakukanlah Proses Identifikasi Penjadwalan, baik secara normal maupun *Crash*, penentuan biaya pembangunan proyek baik secara normal maupun *Crash*. Setelah data tersebut didapatkan, lalu menjalankan proses permodelan dari data yang telah diperoleh, sehingga dapat dijadikan dasaran sebagai tahapan untuk melakukan proses *Crashing*

Tahap selanjutnya yaitu dilakukan proses *Crashing Algorithm* dan metode pembandingnya lalu dibandingkan, yang nantinya hasil perbandingan akhirnya akan dijadikan hasil akhir dari Tugas Akhir yang telah dilakukan.

Tahap terakhir dari pengerjaan Tugas Akhir ini adalah penulisan buku. Penulisan buku ini berupa laporan yang mencakup semua proses pengerjaan Tugas Akhir.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab yaitu pendahuluan, teori dasar, perancangan sistem, hasil dan analisa serta penutup.

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini, dibahas mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan dan manfaat, metodologi, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori yang berkaitan dengan topik penelitian yang dilakukan. Dasar teori pada bab ini meliputi konsep dasar Manajemen Proyek, Teori tentang *Crashing*, Teori tentang *Project Networking*, Teori mengenai *Time Cost-Trade Off*.

BAB III PROSES IDENTIFIKASI SISTEM PADA PEMBANGUNAN GEDUNG UK PETRA SURABAYA

Bab ini berisi tentang proses – proses pengerjaan Tugas Akhir, terutama tentang pengumpulan data yang merupakan tempat referensi dan penelitian dari Tugas Akhir.

BAB IV PERANCANGAN SISTEM

Bab ini berisi rancangan sistem di proyek dengan dasar berupa data yang telah didapatkan di bab sebelumnya, untuk digunakan sebagai dasar analisa pada bab selanjutnya

BAB V HASIL DAN ANALISA

Bab ini berisi proses serta hasil dari pengerjaan terhadap data yang diolah, serta diolah dalam metode *Crashing Algorithm* serta metode pembandingnya. Setelah diolah menjadi beberapa hasil, kemudian dianalisa sebagai proses akhir dari pengerjaan Tugas Akhir.

BAB VI PENUTUP

Bab ini berisi tentang beberapa kesimpulan yang disertai dengan rekomendasi terhadap penulisan Tugas Akhir ini.

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

Pada BAB II, akan dijelaskan beberapa teori yang terkait dengan Tugas Akhir, merupakan beberapa teori yang mendukung proses penyelesaian dari Tugas Akhir ini. Pada akhirnya, tinjauan pustaka menjadi modal utama dalam menjalankan proses penyelesaian dari Tugas Akhir.

2.1. Proyek

Proyek adalah kegiatan sekali lewat dengan waktu dan sumber daya terbatas untuk mencapai hasil akhir yang telah ditentukan. Proyek mempunyai ciri pokok sebagai berikut:

1. Bertujuan menghasilkan lingkup (*deliverable*) tertentu berupa produk akhir atau hasil kerja akhir.
2. Dalam proses mewujudkan lingkup di atas, ditentukan jumlah biaya, jadwal serta kriteria mutu.
3. Bersifat sementara, dalam arti umumnya dibatasi oleh selesainya tugas. Titik awal dan titik akhir ditentukan dengan jelas.
4. Nonrutin, tidak berulang-ulang. Macam dan intensitas kegiatan berubah sepanjang proyek berlangsung. [7]

Proyek mempunyai tiga karakteristik yang dapat dipandang secara tiga dimensi. Tiga karakteristik tersebut adalah :

1. Bersifat Unik

Keunikan dari proyek konstruksi adalah : tidak pernah terjadi rangkaian kegiatan yang sama persis (tidak ada proyek yang identik, yang ada adalah proyek yang sejenis), proyek bersifat sementara, dan selalu terlibat grup pekerja yang berbeda-beda.

2. Dibutuhkan sumber daya (*resource*)

Setiap proyek membutuhkan sumber daya, yaitu pekerja, uang, mesin, metode dan material. Dalam kenyataannya, mengorganisasikan pekerja lebih sulit daripada sumber daya lainnya.

3. Organisasi

Langkah awal yang harus dilakukan adalah menyusun visi menjadi satu tujuan yang telah ditetapkan oleh organisasi. [6]

Dalam proses mencapai tujuan ada batasan yang harus dipenuhi yaitu besar biaya (anggaran) yang dialokasikan, jadwal, serta mutu yang harus dipenuhi. Ketiga hal tersebut merupakan parameter penting bagi penyelenggara proyek yang sering diasosiasikan sebagai sasaran proyek. Ketiga batasan diatas disebut tiga kendala (*triple constrain*) yaitu:

1. Anggaran

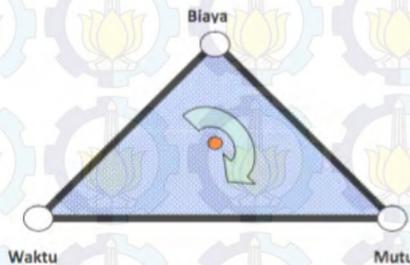
Proyek harus diselesaikan dengan biaya yang tidak boleh melebihi anggaran. Untuk proyek-proyek yang melibatkan dana dalam jumlah besar dan jadwal pengerjaan bertahun-tahun, anggarannya tidak hanya ditentukan dalam total proyek, tetapi dpecah atas komponen-komponennya atau perperiode tertentu yang jumlahnya disesuaikan dengan keperluan. Dengan demikian, penyelesaian bagian-bagian proyek harus memenuhi sasaran anggaran per periode.

2. Jadwal

Proyek harus dikerjakan sesuai dengan kurun waktu dan tanggal akhir yang telah ditentukan. Bila hasil akhir adalah produk baru, maka penyerahannya tidak boleh melewati batas waktu tyang telah ditentukan.

3. Mutu

Produk atau hasil kegiatan harus memenuhi spesifikasi dan kriteria yang dipersyaratkan. Jadi, memnuhi persyaratan mutu berarti mampu memenuhi tugas yang dimaksudkan atau sering disebut sebagai *fit for the intended use*. [6]



Gambar 2.1 Hubungan *Triple Constraint*[7]

Ketiga batasan pada Gambar 2.1 bersifat tarik-menarik. Artinya, jika ingin meningkatkan kinerja produk yang telah disepakati dalam kontrak, maka umumnya harus diikuti dengan meningkatkan mutu. Hal ini selanjutnya berakibat pada naiknya biaya sehingga melebihi anggaran. Sebaliknya, bila ingin menekan biaya, maka biasanya harus berkompromi dengan mutu dan jadwal. [6]

Agar sasaran proyek dapat dicapai maka sangatlah penting untuk menyusun jadwal masing-masing parameter tersebut dengan baik dan teliti. Penyusunan jadwal proyek dapat dilakukan dengan network planning untuk memudahkan pemantauan pelaksanaan pekerjaan di lapangan. [6]

2.2 Manajemen Proyek

Manajemen proyek merencanakan, mengorganisir, memimpin, dan mengendalikan sumber daya perusahaan untuk mencapai sasaran jangka pendek yang telah ditentukan. Lebih jauh, manajemen proyek menggunakan pendekatan sistem dan hierarki (arus kegiatan) vertikal dan horisontal. [6]

Konsep manajemen proyek mengandung hal-hal pokok sebagai berikut :

1. Menggunakan pengertian manajemen berdasarkan fungsinya, yaitu merencanakan, mengorganisir, memimpin, dan mengendalikan sumber daya perusahaan yang berupa manusia, dan material.
2. Kegiatan yang dikelola berjangka pendek, dengan sasaran yang telah digariskan secara spesifik. Ini memerlukan teknik dan metode pengelolaan yang khusus, terutama aspek perencanaan dan pengendalian.
3. Memakai pendekatan sistem (*System approach to management*)
4. Mempunyai hierarki (arus kegiatan) horisontal disamping hierarki vertikal. [7]

Manajemen proyek memiliki peran yang khusus dan berbeda dalam struktur organisasi tradisional yang sangat birokratis dan tidak dapat dengan cepat merespon perubahan lingkungan.

Dalam pendefinisian manajemen proyek selalu terdapat unsur - unsur :

1. Dilaksanakan dalam waktu tertentu.
2. Mempunyai tujuan yang jelas.
3. Manajemen proyek mengelola kegiatan yang tidak biasa dan tidak rutin serta terasa asing. [7]

Sistem manajemen proyek bertujuan untuk dapat menjalankan setiap proyek secara efektif dan efisien sehingga dapat memberikan pelayanan maksimal bagi semua pelanggan. Sistem manajemen proyek

diterapkan karena didukung oleh sumber daya manusia yang profesional di bidang -bidang yang dibutuhkan dalam menjalankan setiap proyek.[7]

2.3 Network Planning

Suatu kegiatan yang merupakan rangkaian penyelesaian pekerjaan haruslah direncanakan dengan sebaik-baiknya. Sedapat mungkin semua kegiatan atau aktivitas dalam perusahaan dapat diselesaikan dengan efisien. Semua aktivitas tersebut diusahakan untuk dapat selesai dengan cepat sesuai dengan yang diharapkan serta terintegrasi dengan aktivitas yang lainnya.[7]

Network planning adalah gambaran kejadian-kejadian dan kegiatan yang diharapkan akan terjadi dan dibuat secara kronologis serta dengan kaitan yang logis dan berhubungan antara sebuah kejadian atau kegiatan dengan yang lainnya. Dengan adanya *Network*, manajemen dapat menyusun perencanaan penyelesaian proyek dengan waktu dan biaya yang paling efisien. Pada prinsipnya *network planning* digunakan untuk merencanakan penyelesaian berbagai macam pekerjaan, dengan menggunakan *network* sebagai alat perencanaan dapatlah disusun perencanaan yang baik serta dapat diadakan realokasi tenaga kerja. Adapun keuntungan menggunakan analisis *network* adalah sebagai berikut :

1. Mengorganisir data dan informasi secara sistematis.
2. Penentuan urutan pekerjaan.
3. Dapat menemukan pekerjaan yang dapat ditunda tanpa menyebabkan terlambatnya penyelesaian proyek secara keseluruhan sehingga dari pekerjaan tersebut dapat dihemat tenaga, waktu dan biaya.
4. Dapat menentukan pekerjaan-pekerjaan yang harus segera diselesaikan tepat pada waktunya, karena penundaan pekerjaan tersebut dapat mengakibatkan tertundanya penyelesaian secara keseluruhan.
5. Dapat segera mengambil keputusan apabila jangka waktu kontrak tidak sama dengan jangka waktu penyelesaian proyek secara normal.
6. Dapat segera menentukan pekerjaan-pekerjaan mana yang harus dikerjakan dengan lembur, atau pekerjaan mana yang harus di sub-kontrak-kan agar penyelesaian proyek secara

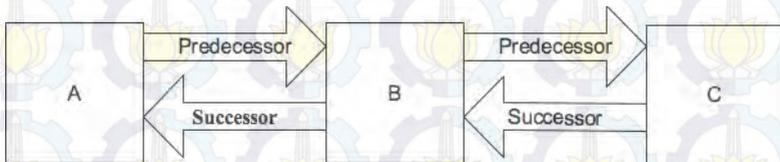
keseluruhan dapat sesuai dengan permintaan konsumen.[7]

Dari berbagai keuntungan penggunaan Network sebagai perencanaan tersebut, maka jelaslah bahwa Network sangat membantu manajemen untuk menyusun perencanaan. [7]

2.3.1 Penyusunan Diagram Kerja

Hal pertama yang harus dipahami dalam menyusun diagram jaringan kerja adalah memahami hubungan ketergantungan antar proses. Maksudnya adalah apakah suatu proses tertentu baru dapat dimulai ketika proses pendahulunya telah selesai dilaksanakan, atau proses tersebut dapat dilakukan ketika proses sebelumnya belum selesai dilaksanakan. Pemahaman terhadap hubungan ketergantungan antar proses dapat mempercepat waktu pelaksanaan proyek dan menghemat biaya pelaksanaan. Dalam penyusunan diagram jaringan kerja, dua hal yang perlu dipahami adalah istilah predecessor dan successor. [7]

Predecessor adalah tugas yang pertama kali muncul (tugas sebelumnya) dan successor adalah tugas yang mengikutinya (tugas sesudahnya). Penjelasan terhadap istilah predecessor dan successor dapat dilihat pada Gambar 2.2. di bawah ini.



Gambar 2.2 Gambaran hubungan *predecessor* dan *successor* [7]

2.3.2 Critical Path Method

Critical Path Method adalah metode yang berorientasi pada waktu yang mengarah pada penentuan jadwal dan estimasi waktunya bersifat *deterministic* atau pasti. CPM dapat dipakai untuk mengontrol koordinasi berbagai kegiatan dalam suatu pekerjaan sehingga proyek dapat diselesaikan dalam jangka waktu yang tepat dan dapat membantu perusahaan dalam mengadakan perencanaan dan pengendalian proyek dengan waktu dan biaya yang lebih efisien. [9]

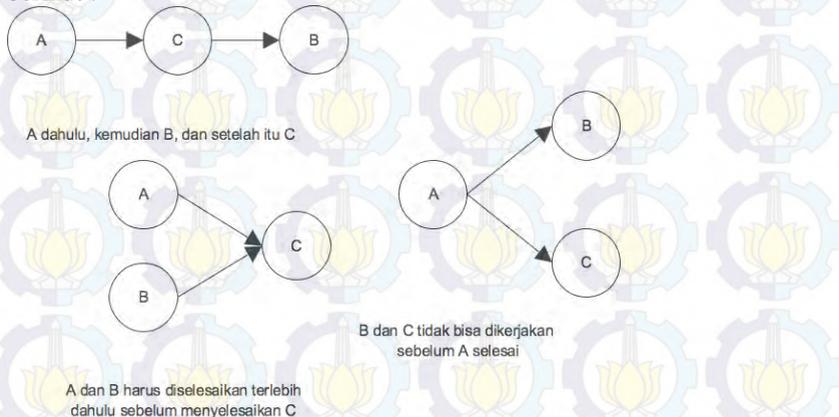
Dalam jaringan kerja jenis ini, kegiatan digambarkan sebagai anak panah yang menghubungkan dua lingkaran yang mewakili dua

peristiwa (*event*), yaitu peristiwa i dan peristiwa j. Nama dan durasi kegiatan ditulis di atas dan di bawah anak panah. Ekor anak panah (titik i) sebagai awal kegiatan dan ujung panah (titik j) sebagai akhir kegiatan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Simbol Jaringan Kerja CPM model PERT [9]

Beberapa contoh terkait gambaran jaringan kerja adalah sebagai berikut :



Gambar 2.4 Beberapa Contoh Jaringan Kerja serta Instruksinya [9]

2.3.3 Jalur Kritis (*Critical Path*)

Lintasan adalah jalan yang dilintasi atau dilalui. Kritis adalah keadaan yang paling menentukan berhasil atau gagal nya suatu usaha Lintasan kritis yaitu jalur atau jalan yang dilintasi atau dilalui yang paling menentukan berhasil atau gagal nya suatu pekerjaan. Dengan kata lain lintasan kritis adalah lintasan yang paling menentukan penyelesaian proyek secara keseluruhan.[8]

Jalur Kritis adalah jalur yang memiliki waktu terpanjang dari semua jalur yang dimulai dari peristiwa awal hingga peristiwa yang terakhir. [8]

Suatu jalur kritis bisa didapatkan dengan menambah waktu suatu aktivitas pada tiap urutan pekerjaan dan menetapkan jalur terpanjang pada tiap proyek. Biasanya sebuah jalur kritis terdiri dari pekerjaan-pekerjaan yang tidak bisa ditunda waktu pengerjaannya.[1]

2.4 Optimasi Waktu dan Biaya

2.4.1 Pengelolaan Waktu/Jadwal

Waktu atau jadwal merupakan salah satu sasaran utama proyek. Keterlambatan akan mengakibatkan berbagai bentuk kerugian, misalnya, penambahan biaya, kehilangan kesempatan produk memasuki pasaran, dan lain-lain. Pengelolaan waktu meliputi perencanaan, penyusunan, dan pengendalian jadwal. Salah satu teknik yang spesifik untuk maksud tersebut adalah mengelola float atau slack pada jaringan kerja, serta konsep cadangan waktu atau estimasi durasi yang diperkenalkan. Diketahui tiga buah estimasi durasi setiap kegiatan dalam metode PERT, sedangkan dalam metode CPM hanya diperoleh satu estimasi durasi. Ketiga estimasi durasi tersebut adalah :

- a. *Optimistic Estimate* (t_o) adalah durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu kegiatan jika segala sesuatunya berjalan dengan baik. Dapat digambarkan di sini jika seseorang melakukan suatu kegiatan berulang sebanyak 100 kali, maka dapat dipastikan durasi yang dibutuhkan.
- b. *Pessimistic estimate* (t_p) adalah durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu kegiatan jika segala sesuatunya dalam kondisi buruk (tidak mendukung)
- c. *Most Likely Estimate* (t_m) adalah durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu kegiatan diantara *optimistic estimate* dan *pessimistic estimate* atau dikenal dengan *median duration*. [9]

Karena terdapat tiga buah waktu dalam setiap kegiatannya, maka diperlukan komputasi untuk mendapatkan durasi efektif dari setiap kegiatan (t_e). [9]

2.4.2 Mempercepat Pelaksanaan Proyek

Mempercepat waktu penyelesaian proyek adalah suatu usaha menyelesaikan proyek lebih awal dari waktu penyelesaian dalam keadaan normal. Dalam suatu keadaan tertentu antara umur perkiraan proyek dengan umur rencana proyek terdapat perbedaan. Umur rencana proyek biasanya lebih pendek dari pada umur perkiraan proyek. Umur perkiraan proyek ditentukan oleh lintasan kritis yang terlama waktu pelaksanaannya, dan waktu pelaksanaan tersebut merupakan jumlah lama kegiatan perkiraan dan kegiatan-kegiatan kritis yang membentuk lintasan tersebut. Sedang umur rencana proyek ditentukan berdasarkan kebutuhan manajemen atau sebab-sebab lain. Ada kalanya jadwal proyek harus dipercepat dengan berbagai pertimbangan dari pemilik proyek. Proses mempercepat kurun waktu tersebut disebut *crash program*. [10]

Durasi *crashing* maksimum suatu aktivitas adalah durasi tersingkat untuk menyelesaikan suatu aktivitas yang secara teknis masih mungkin dengan asumsi sumber daya bukan merupakan hambatan. [10]

Durasi percepatan maksimum dibatasi oleh luas proyek atau lokasi kerja, namun ada empat faktor yang dapat dioptimumkan untuk melaksanakan percepatan pada suatu aktivitas yaitu meliputi penambahan jumlah tenaga kerja, penjadwalan kerja lembur, penggunaan peralatan berat dan perubahan metode konstruksi di lapangan. [1]

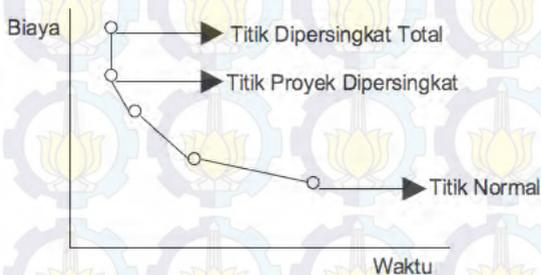
Di dalam menganalisis proses tersebut digunakan asumsi sebagai berikut:

1. Jumlah sumber daya yang tersedia tidak merupakan kendala. Ini berarti dalam menganalisis program mempersingkat waktu, alternatif yang akan dipilih tidak dibatasi oleh tersedianya sumber daya.
2. Bila diinginkan waktu penyelesaian kegiatan lebih cepat dengan lingkup yang sama, maka keperluan sumber daya akan bertambah. Sumber daya ini dapat berupa tenaga kerja, material, peralatan atau bentuk lain yang dapat dinyatakan dalam sejumlah dana. [1]

Jadi tujuan utama dari program mempercepat waktu adalah memperpendek jadwal penyelesaian kegiatan atau proyek dengan kenaikan biaya yang minimal. Untuk mempercepat umur suatu proyek diperlukan syarat-syarat sebagai berikut :

1. Telah ada diagram jaringan kerja yang tepat.
2. Lama kegiatan perkiraan masing-masing kegiatan telah ditentukan.
3. Berdasarkan ketentuan diatas, dihitung saat paling awal (*Earliest Event Time*) dan saat paling lambat (*Latest Event Time*) semua peristiwa.
4. Ditentukan pada umur rencana proyek.[1]

Untuk tujuan mempersingkat waktu, dimulai dengan menentukan titik awal, yaitu titik yang menunjukkan waktu dan biaya normal proyek. Titik ini dihasilkan dari menjumlahkan biaya normal masing-masing kegiatan komponen proyek, sedangkan waktu penyelesaian proyek normal dihitung dengan metode CPM. Dari titik awal tersebut kemudian dilakukan langkah-langkah mempersingkat waktu dengan pertama-tama terhadap kegiatan kritis. Pada setiap langkah, tambahan biaya untuk memperpendek waktu terlihat pada *slope* biaya kegiatan yang dipercepat. Dengan menambahkan biaya tersebut, maka pada setiap langkah akan dihasilkan jumlah biaya proyek yang baru sesuai dengan kurun waktunya. Hal ini ditunjukkan dengan titik-titik yang memperlihatkan hubungan baru antara waktu dan biaya, seperti terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Titik Normal, TPD dan TDT[1]

Bila langkah mempersingkat waktu diteruskan, akan menghasilkan titik titik baru yang jika dihubungkan berbentuk garis-garis putus yang melengkung ke atas (cekung), yang akhirnya langkah tersebut sampai pada titik proyek dipersingkat (TPD) atau project crash-point. Titik ini merupakan batas maksimum waktu proyek dapat dipersingkat. Pada

TPD ini mungkin masih terdapat beberapa kegiatan komponen proyek yang belum dipersingkat waktunya, dan bila ingin dipersingkat juga (berarti mempersingkat waktu semua kegiatan proyek yang secara teknis dapat dipersingkat), maka akan menaikkan total biaya proyek tanpa adanya pengurangan waktu. Titik tersebut dinamakan titik dipersingkat total (TDT) atau all crash-point.

Terdapat berbagai cara untuk mereduksi durasi dari suatu proyek, yaitu :

1. Dengan mengadakan *shift* pekerjaan
2. Dengan memperpanjang waktu kerja (lembur)
3. Dengan menggunakan alat bantu yang lebih produktif
4. Menambah jumlah pekerja
5. Dengan menggunakan material yang dapat lebih cepat pemasangannya.
6. Menggunakan metode konstruksi lain yang lebih cepat.[3]

2.4.3 Time-Cost Trade-Off

Dalam penyusunan sebuah schedule proyek konstruksi diharapkan menghasilkan schedule yang realistis berdasarkan estimasi yang wajar. Salah satu cara mempercepat durasi proyek adalah dengan analisa *time cost trade off*. Dengan mereduksi suatu pekerjaan yang akan berpengaruh terhadap waktu penyelesaian proyek. [9]

Time cost trade off adalah suatu proses yang disengaja, sistematis dan analitik dengan cara melakukan pengujian dari semua kegiatan dalam suatu proyek yang dipusatkan pada kegiatan yang berada pada jalur kritis. Selanjutnya melakukan kompresi dimulai pada lintasan kritis yang mempunyai nilai *cost slope* terendah. Kompresi terus dilakukan sampai lintasan kritis mempunyai aktivitas - aktivitas yang telah jenuh seluruhnya (tidak mungkin dikompres lagi). Dengan dipercepatnya durasi suatu proyek maka pasti akan terjadi perubahan biaya dan waktu. Terdapat dua nilai waktu yang akan ditunjukkan tiap aktifitas dalam suatu jaringan kerja saat terjadi percepatan yaitu :

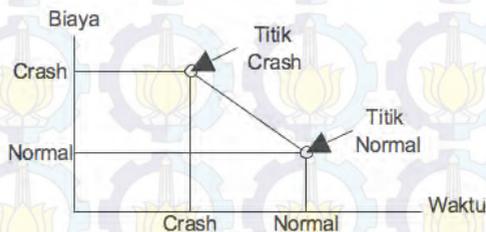
1. *Normal Duration* (Nd). *Normal Duration* adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu aktifitas atau kegiatan dengan sumber daya normal yang ada tanpa adanya biaya tambahan lain dalam sebuah proyek
2. *Crash Duration* (Cd). *Crash duration* adalah waktu yang dibutuhkan suatu proyek dalam usahanya mempersingkat waktu yang durasinya lebih pendek dari normal

duration.[9]

Proses percepatan juga menyebabkan perubahan pada elemen biaya yaitu:

1. *Normal Cost* (N_c). Biaya yang dikeluarkan dengan penyelesaian proyek dalam waktu normal. Perkiraan biaya ini adalah pada saat perencanaan dan penjadwalan bersamaan dengan penentuan waktu normal.
2. *Crash Cost* (C_c) Biaya yang dikeluarkan dengan penyelesaian proyek dalam jangka waktu sebesar durasi crash-nya. Biaya setelah di crashing akan menjadi lebih besar dari biaya normal.[7]

Adapun hubungan antara biaya proyek dengan waktu yang diperlukan dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Grafik Hubungan Waktu dan Biaya Normal dan dipersingkat.[7]

2.5 *Crashing Algorithm*

Kita mengetahui bahwa kegiatan dalam suatu proyek dapat dilaksanakan dengan arah paralel. Pada akhirnya kita bisa mendapatkan diagram jaringan logika yang mempunyai durasi lebih pendek daripada yang lain. Contoh dalam sebuah kasus, durasi adalah 65 hari, yang tidak dapat diterima oleh pelanggan dari perusahaan. Kita perlu untuk menyelesaikan proyek lebih awal dari tanggal ini. Jadi dalam hal ini kita perlu mengambil tindakan untuk mengurangi lamanya waktu yang dihabiskan untuk proyek tahap. Ini sumber proses tumpukan ke dalam setiap kegiatan proyek untuk menurunkan waktu yang dihabiskan pada setiap. Yang mungkin akan mengkonsumsi sumber daya tambahan besar. Sebuah cara yang lebih efisien untuk melakukan hal ini akan melihat hanya pada kegiatan pada jalur kritis. Di sini, kita akan

melaksanakan seluruh proses kecelakaan untuk menjelaskan menabrak algoritma merupakan metode yang efisien untuk respon semacam ini risiko. [10]

Pertama, langkah-langkah inialisasi adalah sebagai berikut:

Langkah 1. Setiap kegiatan diasumsikan diketahui memiliki biaya normal dan waktu normal.. Menghitung biaya perbandingan (misalnya biaya per satuan waktu) untuk setiap kegiatan sesuai dengan rumus berikut:

Perubahan Biaya = (perubahan biaya) / (perubahan waktu) = (biaya Crash - biaya normal) / (waktu normal – waktu Crash)

Menempatkan perubahan biaya dalam kolom pertama dari daftar kegiatan proyek. Tempatkan jumlah periode waktu *crash* ketersediaan dikolom kedua tabel.

Langkah 2. Menghitung semua jalan melalui jaringan proyek (*project networking*), dan daftar dengan jangka waktu waktu normal dalam daftar jalan. Mengidentifikasi jalur kritis (s) sebagai durasi terpanjang, dan menandai kegiatan penting seperti pada kolom ketiga dari daftar kegiatan proyek dimulai pada Langkah 1.

Langkah 3. Mengidentifikasi durasi proyek normal, biaya proyek normal dan jalur kritis yang normal pada baris pertama dari tabel breakpoint, dicap sebagai iterasi 0.

Langkah 4. Pilih yang bagian dari kegiatan yang kritis, ketika dikompresi secara paralel, memungkinkan semua jalur kritis saat ini untuk menjadi lebih pendek

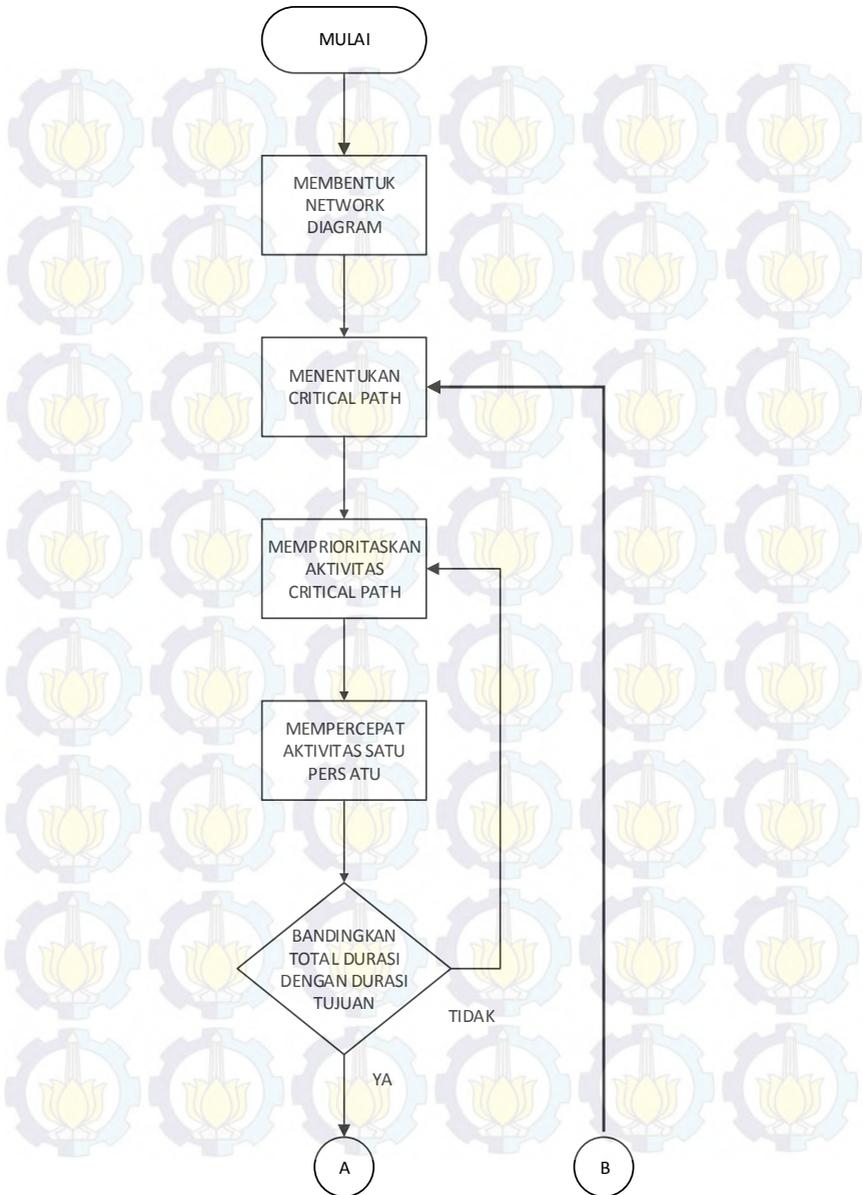
Langkah 5. Kompres kegiatan pada jalur kritis sampai salah satu atau kedua dari dua kondisi berikut terjadi: (i) satu (atau lebih) dari kegiatan terkompresi menjadi sepenuhnya (yaitu dikurangi *crash* waktu); atau (ii) terbuka jalur kritis yang baru

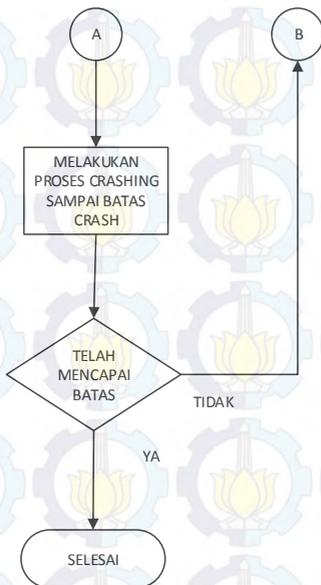
Langkah 6. Catat kegiatan yang dipilih, jumlah periode waktu dikompresi, durasi proyek baru, kelompok biaya perbandingan untuk kegiatan yang dipilih, biaya tambahan yang dihasilkan dari kompresi, total biaya langsung yang baru, dan jalur kritis baru (jika ada) sebagai barang dalam tabel *breakpoint* untuk iterasi ini. *Update* ketersediaan kompresi dan daftar path untuk mencerminkan pengurangan jalan panjang yang dihasilkan dari kompresi yang dipilih.

Langkah 7. Ulangi langkah 4 sampai 6 sampai semua kegiatan pada jalur kritis menjadi sepenuhnya terkompresi. Pada titik ini tabel *breakpoint* selesai, karena tidak ada pengurangan waktu lebih lanjut. Plot waktu penerbangan *trade-off* grafik dengan interpolasi linear antara pasangan waktu / biaya, yang terjadi pada setiap baris dari tabel *breakpoint*. [10]

Pada akhirnya kita bisa mendapatkan kurva *trade-off* time-biaya yang dapat membantu kita untuk memantau perubahan proyek dalam biaya dan waktu yang dibawa oleh beberapa faktor yang tidak pasti.

Untuk Flowchart gambaran kerja dari *Crashing Algorithm* secara umum dapat dilihat sebagai berikut :





Gambar 2.7 Flowchart dari Crashing Algorithm.[1]

2.6 Linear Programming

Linear Programming merupakan metode matematik dalam mengalokasikan sumber daya yang terbatas untuk mencapai suatu tujuan seperti memaksimalkan keuntungan dan meminimumkan biaya. Linear programming banyak diterapkan dalam masalah ekonomi, industri, konstruksi, dan lain-lain. Linear programming berkaitan dengan penjelasan suatu kasus dalam dunia nyata sebagai suatu model matematik yang terdiri dari sebuah fungsi linier dengan beberapa kendala linier.[2]

Langkah pertama dalam model linear programming adalah formulasi masalah, yang meliputi proses identifikasi dan penentuan batasan serta fungsi tujuan. Langkah kedua adalah memecahkan masalah yang dialami. Jika terdapat hanya dua variable keputusan, maka masalah tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan metode grafik. Semua permasalahan linear programming juga dapat dipecahkan dengan

metode simpleks apabila terdapat tiga variable keputusan atau lebih. Metode tersebut menghasilkan informasi yang berharga seperti harga bayangan atau harga berganda dan menyediakan analisa sensitivitas lengkap pada inpt lain dari permasalahan yang dipakai.[2]

Untuk urutan pengerjaan linear programming antara lain sebagai berikut :

1. Formulasikan permasalahan yang ada dengan bentuk yang relevan.
2. Membentuk model matematika yang menggambarkan inti dari permasalahan.
3. Menetapkan asumsi dari linear programming, seperti linearity, divisibility, deterministik dan homogeneity.
4. Menyelesaikan linear programming dalam beberapa metode, yaitu aljabar, grafik, simpleks atau big-m.[2]

Untuk bentuk model matematika dari permasalahan *time-cost trade-off* adalah sebagai berikut :

Minimize :

$$f(X_1, X_2, \dots, X_n) = c_1X_1 + \dots + c_nX_n \dots\dots\dots(1)$$

where:

c_1, c_2, \dots, c_n adalah biaya percepatan (*crash cost*) dari aktivitas.

X_1, X_2, \dots, X_n adalah variable tujuan yang dicari.

Bentuk matematika ini terdiri dari beberapa “m” *constraint* yang diantaranya sebagai berikut :

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \geq b_1 \dots\dots\dots(2)$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \geq b_2 \dots\dots\dots(3)$$

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \geq b_m \dots\dots\dots(4)$$

Dimana a_j, b_j, c_j adalah konstant dan $X_j \geq 0$. [10]

2.7 Software LINDO

Ada banyak *software* yang digunakan untuk menyelesaikan masalah pemrograman linear seperti TORA, LINGO, EXCEL dan banyak lagi yang lainnya. adapun salah satu *software* yang sangat mudah

digunakan untuk masalah pemrograman linear adalah dengan menggunakan Lindo.[9]

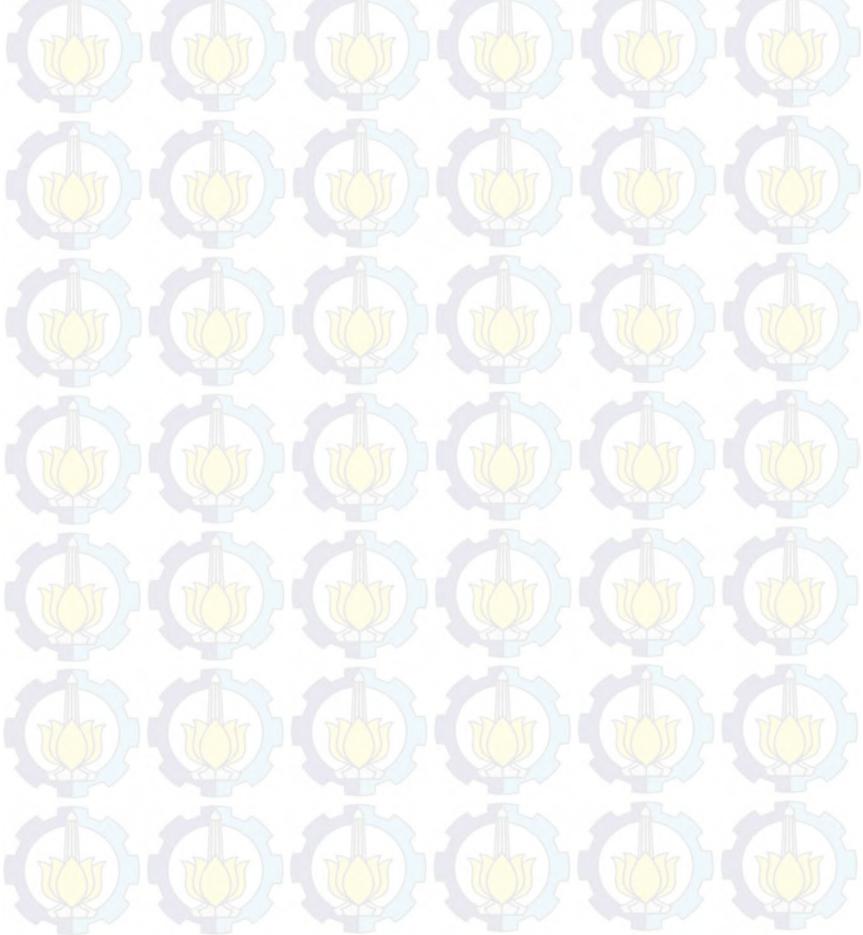
LINDO (*Linear Ineractive Discrete Optimizer*) adalah *software* yang dapat digunakan untuk mencari penyelesaian dari masalah pemrograman linear. Dengan menggunakan *software* ini memungkinkan perhitungan masalah pemrograman linear dengan n variabel. Prinsip kerja utama Lindo adalah memasukkan data, menyelesaikan, serta menaksirkan kebenaran dan kelayakan data berdasarkan penyelesaiannya. Menurut Linus Scharge (1991), perhitungan yang digunakan pada Lindo pada dasarnya menggunakan metode simpleks. Sedangkan untuk menyelesaikan masalah pemrograman linear *integer* nol-satu *software* Lindo menggunakan Metode *Branch and Bound* (metode Cabang dan Batas) menurut Mark Wiley (2010). Untuk menentukan nilai optimal dengan menggunakan LINDO diperlukan beberapa tahapan yaitu:

1. Menentukan model matematika berdasarkan data real
2. Menentukan formulasi program untuk Lindo
3. Membaca hasil *report* yang dihasilkan oleh Lindo.[9]

Perintah yang biasa digunakan untuk menjalankan program Lindo adalah:

1. MAX digunakan untuk memulai data dalam masalah maksimasi;
2. MIN digunakan untuk memulai data dalam masalah minimasi;
3. END digunakan untuk mengakhiri data;
4. GO digunakan untuk pemecahan dan penyelesaian masalah;
5. LOOK digunakan untuk mencetak bagian yang dipilih dari data yang ada;
6. GIN digunakan untuk variabel keputusan agar bernilai bulat;
7. INTE digunakan untuk menentukan solusi dari masalah biner;
8. INT sama dengan INTE;
9. SUB digunakan untuk membatasi nilai maksimumnya;
10. SLB digunakan untuk membatasi nilai minimumnya;
11. FREE digunakan agar solusinya berupa bilangan real.[9]

Kegunaan utama dari program Lindo adalah untuk mencari penyelesaian dari masalah linier dengan cepat dengan memasukan data yang berupa rumusan dalam bentuk linier. Lindo memberikan banyak manfaat dan kemudahan dalam memecahkan masalah optimasi dan minimasi. Berikut ini cara memulai menggunakan program Lindo adalah dengan membuka file Lindo kemudian klik dua kali pada Lindow32, tunggu sampai muncul dialog lalu klik OK, Lindo siap dioperasikan.[9]



BAB III

PROSES IDENTIFIKASI SISTEM PADA PEMBANGUNAN GEDUNG UK PETRA SURABAYA

Pada Tugas Akhir ini, data referensi yang dipergunakan untuk proses penyelesaian serta pencarian solusi menggunakan *Crashing Algorithm* adalah Pembangunan Gedung Universitas Kristen Surabaya dengan Kontraktor Pembangunan adalah PT. Pembangunan Perumahan (Persero). Pada BAB III, membahas tentang data – data yang dipergunakan sebagai dasaran untuk melakukan proses percepatan dengan menggunakan *Crashing Algorithm*. Nantinya data – data inilah yang akan dijadikan patokan utama dalam proses *Crashing Algorithm*.

3.1 Data dan Analisa

Pengumpulan data atau informasi dari suatu pelaksanaan proyek konstruksi sangat bermanfaat untuk evaluasi optimasi waktu dan biaya secara keseluruhan. Data yang diperlukan adalah data sekunder yaitu data yang diperoleh dari instansi yang terkait seperti kontraktor, konsultan pengawas, dan lain-lain. Variabel- variabel yang sangat mempengaruhi dalam pengoptimasian waktu dan biaya pelaksanaan proyek ini adalah variabel waktu dan variabel biaya.

3.1.1. Variabel Waktu

Data yang mempengaruhi *variable* waktu dapat diperoleh dari kontraktor pelaksana atau dari konsultan pengawas. Data yang dibutuhkan untuk variabel waktu adalah :

- a. Data *cumulative progresss* (kurva S), meliputi :
 - Jenis Kegiatan
 - Presentasi Kegiatan
 - Durasi Kegiatan
- b. Rekapitulasi perhitungan biaya proyek.

Dalam Proyek pembangunan kampus Universitas Kristen Petra Surabaya, yang terletak di Jalan Siwalankerto 121-131, Surabaya, Gedung yang dibangun oleh PT. Perusahaan Perumahan (Persero) ini di bangun untuk diperuntukkan sebagai gedung perkuliahan yang baru setinggi 13 lantai, dimana gedung perkuliahan yang lama, dirasa sudah kurang mampu untuk mengakomodir kegiatan belajar mengajar

mahasiswa UK Petra Surabaya secara keseluruhan.



Gambar 3.1 Gedung Universitas Kristen Petra Surabaya

3.1.1.1 Data Scheduling Proyek

Dari beberapa data yang berhasil dihimpun, salah satu data yang bisa dihimpun adalah terkait pekerjaan yang dilakukan pada saat pembangunan Kampus UK Petra. Pekerjaan tersebut merupakan model tahapan yang masing – masing memiliki keterkaitan kerja satu dengan yang lainnya, sehingga apa bila satu pekerjaan ingin dikerjakan, maka pekerjaan sebelumnya harus diselesaikan.

Beberapa pekerjaan yang menjadi proses pembangunan Kampus UK Petra diantaranya :

- a. Persiapan
- b. Pekerjaan Struktur
 - a. Pekerjaan Struktur Tanah
 - b. Pekerjaan Struktur Beton
 - i. Lantai *Basement*
 - ii. Lantai 1
 - iii. Lantai 2
 - iv. Lantai 3
 - v. Lantai 4
 - vi. Lantai 5
 - vii. Lantai 6
 - viii. Lantai 7
 - ix. Lantai 8
 - x. Lantai 9
 - xi. Lantai 10

- xii. Lantai 11
- xiii. Lantai 12
- xiv. Lantai Atap
- c. Pekerjaan Struktur Baja
- c. Pekerjaan Arsitektur
 - a. Lantai *Basement*
 - b. Lantai 1
 - c. Lantai 2
 - d. Lantai 3
 - e. Lantai 4
 - f. Lantai 5
 - g. Lantai 6
 - h. Lantai 7
 - i. Lantai 8
 - j. Lantai 9
 - k. Lantai 10
 - l. Lantai 11
 - m. Lantai 12
 - n. Lantai Atap
- d. Pekerjaan Tampak
- e. Pekerjaan *Hardscape & Landscape*
- f. Pekerjaan Plumbing

Gambar dibawah merupakan gambar ilustrasi ketika proyek pembangunan tersebut telah diselesaikan oleh PT. Pembangunan Perumahan (Persero) dan mampu dipergunakan oleh pihak Universitas Kristen Petra Surabaya.



Gambar 3.2 Ilustrasi Gedung Universitas Kristen Petra

Dari beberapa kegiatan diatas yang telah dihimpun, dipergunakan Microsoft Excel untuk menyusun *scheduling* Pembangunan Gedung UK Petra Surabaya.

Tabel dibawah menjelaskan terkait penjadwalan pembangunan proyek UK Petra dan merupakan himpunan data yang berhasil dihimpun dari PT. PP (Persero). Untuk Tabel besarnya, dapat dilihat di Lampiran A.

Tabel 3.1 Tabel Tahap Persiapan dan Waktu Pelaksanaan

No	Jenis Pekerjaan	Waktu Pelaksanaan (Minggu)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A	Persiapan																

Tabel diatas merupakan Tabel waktu pelaksanaan dari tahapan persiapan. Pada tahapan persiapan, pekerjaan yang dilakukan didalamnya antara lain seperti :

- Pembuatan Proposal Pembangunan
- Pembuatan List Kebutuhan Pembangunan
- Pembangunan Kontainer di Lokasi pembangunan Gedung UK Petra
- Penyusunan Tim pembangunan serta tim kebutuhan lainnya.

Tabel 3.2 Tabel Tahapan Pekerjaan Struktur Tanah

No	Jenis Pekerjaan	Waktu Pelaksanaan (Minggu)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
B	Pekerjaan Struktur												
	Pekerjaan Struktur Tanah Dll												

Tabel diatas merupakan Tabel waktu pelaksanaan dari tahapan pekerjaan struktur tanah. Pada tahapan persiapan, pekerjaan yang dilakukan didalamnya antara lain seperti :

- Pengerukan Tanah lokasi pembangunan
- Penanaman Semat atau Beton kedalam tanah sebagai pondasi
- Penguatan struktur tanah untuk pembangunan

Tabel 3.3 Tabel Tahapan Pekerjaan Struktur Beton

No	Jenis Pekerjaan	Waktu Pelaksanaan (Minggu)																																																
		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	35	36	37	38	39	40	41	42	43						
Pekerjaan Struktur Beton																																																		
	Lantai Basement																																																	
	Lantai 1																																																	
	Lantai 2																																																	
	Lantai 3																																																	
	Lantai 4																																																	
	Lantai 5																																																	
	Lantai 6																																																	
	Lantai 7																																																	
	Lantai 8																																																	
	Lantai 9																																																	
	Lantai 10																																																	
	Lantai 11																																																	
	Lantai 12																																																	
	Lantai Atap																																																	

(dapat dilihat dilampiran)

Pada tahapan struktur beton pekerjaan yang dilakukan antara lain :

- Pembangunan beton dari Lantai *Basement* sampai lantai atap
- Rancangan Partisi per-ruangan ditiap lantai pembangunan
- Serta pemasangan pipa atau *plumbing* ditiap lantainya.

Tabel 3.4 Tabel Pekerjaan Arsitektur dan Pekerjaan Tampak

No	Jenis Pekerjaan	Waktu Pelaksanaan (Minggu)																																																
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50																			
C Pekerjaan Arsitektur																																																		
	Lantai Basement																																																	
	Lantai 1																																																	
	Lantai 2																																																	
	Lantai 3																																																	
	Lantai 4																																																	
	Lantai 5																																																	
	Lantai 6																																																	
	Lantai 7																																																	
	Lantai 8																																																	
	Lantai 9																																																	
	Lantai 10																																																	
	Lantai 11																																																	
	Lantai 12																																																	
	Lantai Atap																																																	
	Pekerjaan Tampak																																																	

Tabel diatas merupakan tabel 2 pekerjaan, yaitu pekerjaan Arsitektur dan pekerjaan Tampak yang merupakan sub pekerjaan dari pekerjaan Arsitektur. (dapat dilihat dilampiran)

Dalam pekerjaan Arsitektur dan Tampak, hal hal yang dilakukan antara lain :

- Pemasangan perangkat – perangkat arsitektur seperti lampu, pintu dan lain lain
- Pekerjaan pengecatan tembok dan bangunan

- Pemasangan detail Arsitektur seperti lantai.
- Pembentukan detail ruangan – ruangan yang telah dibagi, seperti ruang biasa, kamar mandi, ruang besar dll.

Tabel 3.5 Tabel Pekerjaan *Hardscape* dan *Landscape*

No	Jenis Pekerjaan	Waktu Pelaksanaan (Minggu)											
		43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
D	Pekerjaan Hardscape dan Landscape												

Tabel diatas merupakan tabel pekerjaan *Hardscape* dan *Landscape*. Dalam pekerjaan *Hardscape* dan *Landscape*, pekerjaan yang dilakukan antara lain :

- Detail Peruangan yang diperhalus dan diperjelas
- Penambahan detail ruangan yang dibagi sesuai dengan fungsi ruangan masing – masing
- Pembentukan detail diluar gedung, seperti lampu penerangan sekitar gedung, taman serta arsitektur luar gedung lainnya.

3.1.2 Variabel Biaya

Dalam setiap pembangunan, baik konstruksi gedung maupun mesin, pasti selalu ada biaya yang dikeluarkan oleh konstruktor. Biaya merupakan salah satu faktor paling penting dalam proses pembangunan. Biasanya, para kontraktor berlomba - lomba untuk bagaimana menyediakan dana yang seminim mungkin untuk sebuah proyek pembangunan yang baik dan detail. Biaya merupakan sebuah faktor pendukung utama yang menjadi landasan konstruksi. Dengan konstruksi yang makin bagus dan makin detail, maka akan berpengaruh pada peningkatan biaya dikarenakan semakin detail dan bagus, maka akan ada beberapa penambahan yang merupakan penambahan diluar biasanya. Selain itu, semakin detai sebuah pembangunan, maka akan semakin lama waktu pembangunan dan berujung kepada makin naiknya biaya jasa pembangunan, dan berpengaruh langsung pada Rancangan Anggaran Pembangunan (RAP) yang merupakan patokan biaya pembangunan yang sedang mengalami proses konstruksi.

3.1.2.1 Data Keuangan Pembangunan

RAP adalah rencana anggaran biaya proyek pembangunan yang dibuat kontraktor untuk memperkirakan berapa sebenarnya biaya sesungguhnya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu kontrak kerja proyek konstruksi, sedangkan RAB adalah rencana anggaran biaya bangunan yang dibuat oleh konsultan perencana sebagai dasar untuk melakukan kontrak kerja konstruksi. jadi dari pengertian tersebut bisa kita lihat bahwa selisih antara RAP dan RAB merupakan gambaran awal untuk memperkirakan laba rugi perusahaan kontraktor. jadi fungsi RAP itu sangat penting dalam menunjang keberhasilan sebuah proyek konstruks. Dari segi data terutama terkait keuangan, terjadi kesulitan terutama untuk akses mengetahui keseluruhan penggunaan keuangan di pembangunan PT. Perusahaan Perumahan (Persero) Unit Universitas Kristen Petra Surabaya. Dikarekan RAP dan RAB merupakan salah satu komponen penting yang dirahasiakan oleh PT. PP (Persero). Beberapa data yang berhasil didapat terkait dengan keuangan pembangunan diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Data total keuangan Konstruksi
2. Data pengeluaran sub Jasa pembangunan
Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam proses *Crash* nantinya dan merupakan komponen *cost* utama dalam *Crash*.
3. Data hasil pengolahan *Crash* untuk pedoman melakukan kegiatan *Crash*

Untuk data keuangan total pengeluaran perusahaan dapat dilihat di tabel berikut ini.

Tabel 3.6. Rekapitulasi total Pengeluaran

N O	URAIAN		BIAYA
	<u>REKAPITULASI TOTAL</u>		
A	PEKERJAAN PERSIAPAN	Rp.	11,557,853,383
B	PEKERJAAN STRUKTUR	Rp.	100,142,497,423
C	PEKERJAAN ARSITEKTUR	Rp.	65,896,110,694
D	PEKERJAAN HARDSCAPE & LANDSCAPE	Rp.	641,311,098
E	PEKERJAAN PLUMBING (SPARING ONLY)		75,365,521
F	PEKERJAAN TAMBAH/KURANG		
	Struktur	Rp.	1,338,615,156
	Arsitektur	Rp.	-106,285,546
	Plumbing	Rp.	-
	TOTAL	Rp.	179,545,467,728

Tabel diatas merupakan rekapitulasi total dari seluruh pengeluaran yang ada pada pembangunan kampus Universitas Kristen Petra Surabaya. Biaya tersebut meliputi :

- Pengadaan barang serta komponen pembangunan
- Persewaan perlengkapan pembangunan
- Biaya jasa pembangunan, serta biaya tambahan lainnya.

Namun pada biaya diatas, tidak dicantumkan biaya ppn 10% dan pembulatan. Nantinya pada hasil akhir pembahasan, akan dicantumkan terkait biaya ppn dan pembulatan yang merupakan cakupan dari keseluruhan biaya pengeluaran yang ada. Untuk data keterkaitan antara waktu dan biaya baik secara normal maupun *crash*, dapat dilihat ditabel berikut ini.

Tabel 3.7. Tabel Waktu dan Biaya baik Normal maupun *Crash*

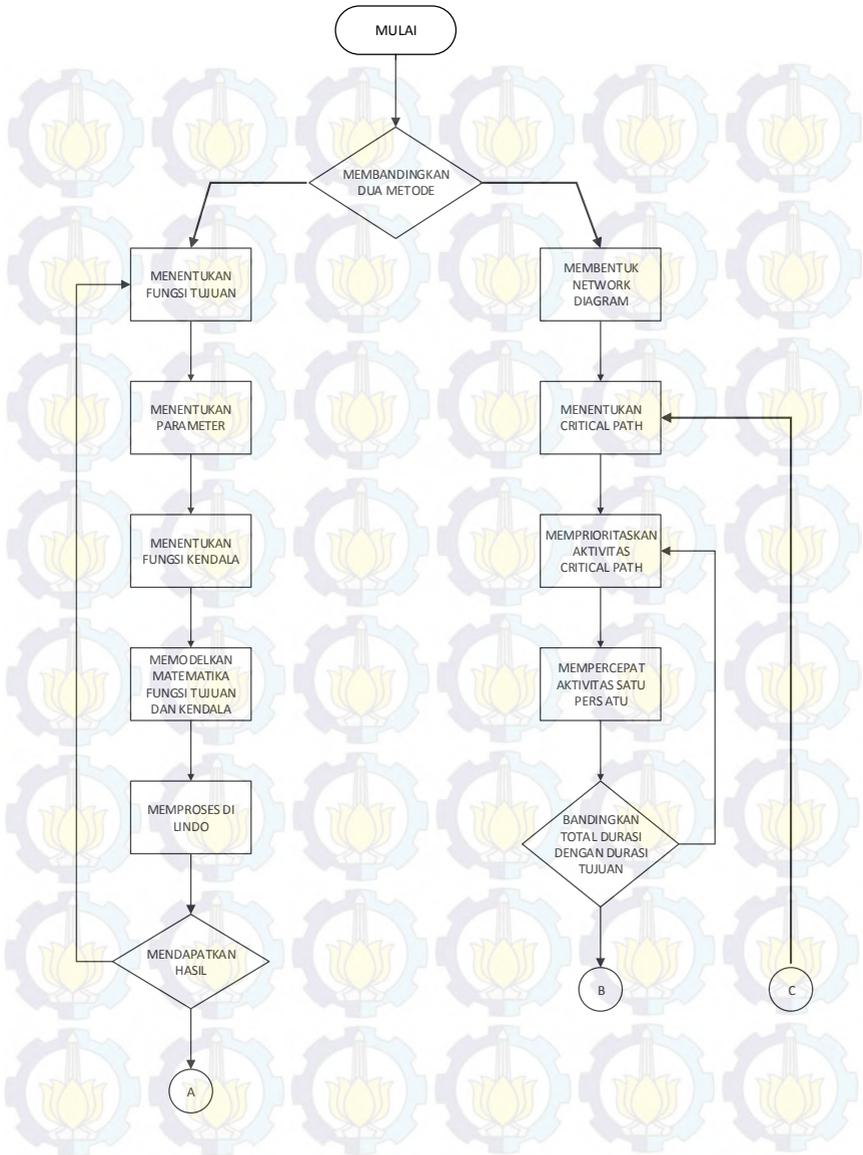
URAIAN	Waktu		Biaya		Crash Per Day
	Normal	Crash	Normal	Crash	
REKAPITULASI					
PERSIAPAN	21	-	11,557,853,383.00	-	-
PEKERJAAN STRUKTUR :					
PEKERJAAN STRUKTUR TANAH	14	12	1,807,599,681.50	1,988,359,649.65	90,379,984.08
PEKERJAAN STRUKTUR BETON:					
PEKERJAAN LANTAI SEMI BASEMENT	28	24	118,740,699.07	130,614,768.98	2,968,517.48
PEKERJAAN LANTAI SATU	35	30	915,500,428.12	1,007,050,470.93	18,310,008.56
PEKERJAAN LANTAI DUA	35	30	738,607,196.24	812,467,915.86	14,772,143.92
PEKERJAAN LANTAI TIGA	28	24	767,921,985.39	844,714,183.93	19,198,049.63
PEKERJAAN LANTAI EMPAT	14	12	493,959,894.70	543,355,884.17	24,697,994.74
PEKERJAAN LANTAI LIMA	14	12	333,099,438.75	366,409,382.63	16,654,971.94
PEKERJAAN LANTAI ENAM	14	12	353,893,214.58	389,282,536.04	17,694,660.73
PEKERJAAN LANTAI TUJUH	14	12	377,781,830.34	415,560,013.37	18,889,091.52
PEKERJAAN LANTAI DELAPAN	14	12	376,900,694.65	414,590,764.12	18,845,034.73
PEKERJAAN LANTAI SEMBILAN	14	12	319,241,854.23	351,166,039.65	15,962,092.71
PEKERJAAN LANTAI SEPULUH	21	18	324,370,803.68	356,807,884.05	10,812,360.12
PEKERJAAN LANTAI SEBELAS	14	12	289,873,301.18	318,860,631.30	14,493,665.06
PEKERJAAN LANTAI DUABELAS	14	12	191,179,677.96	210,297,645.76	9,558,983.90
PEKERJAAN LANTAI ATAP	14	12	177,306,291.46	195,036,920.61	8,865,314.57
PEKERJAAN STRUKTUR BAJA	28	26	5,467,619,457.06	6,014,381,402.77	273,380,972.85
PEKERJAAN ARSITEKTUR :					
PEKERJAAN ARSITEKTUR PER LANTAI					

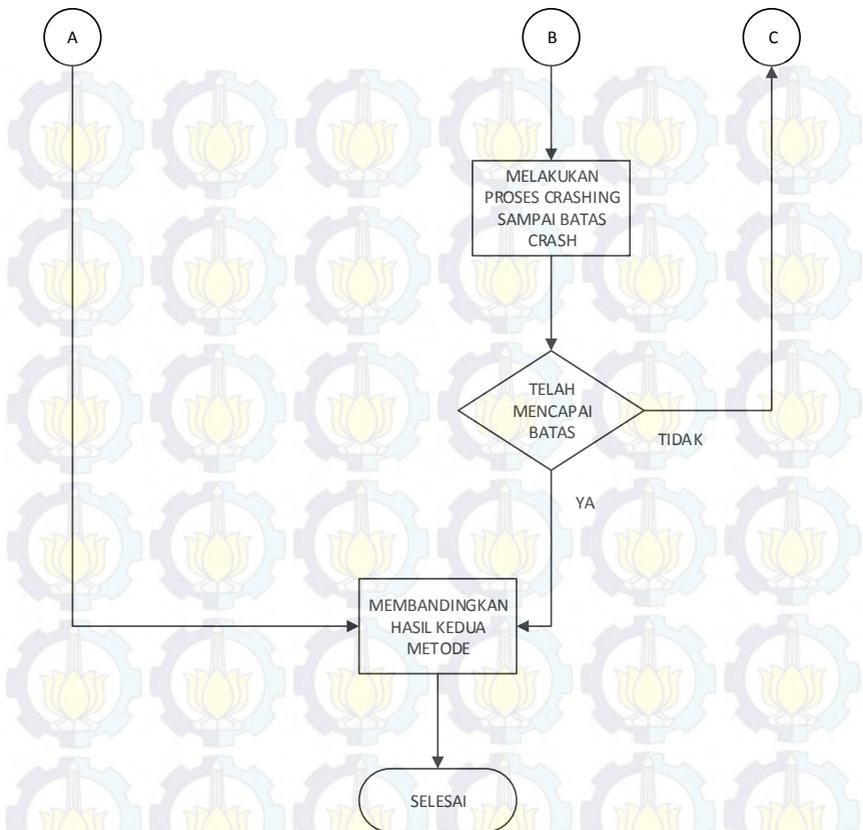
PEKERJAAN LANTAI SEMI BASEMENT	14	12	790,883,447.73	869,971,792.50	39,544,172.39
PEKERJAAN LANTAI SATU	14	12	556,078,852.17	611,686,737.39	27,803,942.61
PEKERJAAN LANTAI DUA	14	12	815,428,527.29	896,971,380.02	40,771,426.36
PEKERJAAN LANTAI TIGA	14	12	2,011,485,035.71	2,212,633,539.28	100,574,251.79
PEKERJAAN LANTAI EMPAT	14	12	1,263,650,334.96	1,390,015,368.46	63,182,516.75
PEKERJAAN LANTAI LIMA	14	12	608,903,241.28	669,793,565.41	30,445,162.06
PEKERJAAN LANTAI ENAM	14	12	613,802,441.73	675,182,685.90	30,690,122.09
PEKERJAAN LANTAI TUJUH	14	12	674,312,113.77	741,743,325.15	33,715,605.69
PEKERJAAN LANTAI DELAPAN	14	12	662,935,810.98	729,229,392.08	33,146,790.55
PEKERJAAN LANTAI SEMBILAN	14	12	489,107,846.75	538,018,631.43	24,455,392.34
PEKERJAAN LANTAI SEPULUH	14	12	592,294,473.88	651,523,921.27	29,614,723.69
PEKERJAAN LANTAI SEBELAS	14	12	282,195,791.77	310,415,370.95	14,109,789.59
PEKERJAAN LANTAI DUABELAS	14	12	312,543,287.58	343,797,616.34	15,627,164.38
PEKERJAAN LANTAI ATAP	14	12	28,026,226.00	30,828,848.60	1,401,311.30
PEKERJAAN ARSITEKTUR TAMPAK	21	19	3,977,092,673.47	4,374,801,940.81	198,854,633.67
PEKERJAAN HARDSCAPE DAN LANDSCAPE	84	80	81,528,916.43	89,681,808.07	2,038,222.91
PEKERJAAN PLUMBING	273	-	23,862,358.00	-	-

Tabel diatas menunjukkan perbandingan waktu dan biaya antara kondisi normal, serta kondisi *crash*. Selain itu, data diatas juga mengandung durasi maksimal percepatan per hari yang diijinkan untuk dilakukan proses *crashing*.

3.2. Flowchart Pengerjaan

Pada Tugas Akhir kali ini, metode yang digunakan adalah metode *Crashing Algorithm* yang memiliki beberapa langkah penyusunan diantaranya dapat dijelaskan melalui *flowchart* sebagai berikut :





Gambar 3.3 Flowchart Pengerjaan Crashing Algorithm pada Tugas Akhir

Pada Flowchart diatas, bentuk langkah dari Crashing Algorithm secara umum adalah sebagai berikut :

Langkah 1. Setiap kegiatan diasumsikan diketahui memiliki biaya normal dan waktu normal.. Menghitung biaya perbandingan (misalnya biaya per satuan waktu) untuk setiap kegiatan sesuai dengan rumus berikut:

Perubahan Biaya = (perubahan biaya) / (perubahan waktu) = (biaya Crash - biaya normal) / (waktu normal – waktu Crash)

Menempatkan perubahan biaya dalam kolom pertama dari daftar kegiatan proyek. Tempatkan jumlah periode waktu *crash* ketersediaan dikolom kedua tabel.

Langkah 2. Menghitung semua jalan melalui jaringan proyek (*project networking*), dan daftar dengan jangka waktu waktu normal dalam daftar jalan. Mengidentifikasi jalur kritis (s) sebagai durasi terpanjang, dan menandai kegiatan penting seperti pada kolom ketiga dari daftar kegiatan proyek dimulai pada Langkah 1.

Langkah 3. Mengidentifikasi durasi proyek normal, biaya proyek normal dan jalur kritis yang normal pada baris pertama dari tabel *breakpoint*, dicap sebagai iterasi 0.

Langkah 4. Pilih yang bagian dari kegiatan yang kritis, ketika dikompresi secara paralel, memungkinkan semua jalur kritis saat ini untuk menjadi lebih pendek

Langkah 5. Kompres kegiatan pada jalur kritis sampai salah satu atau kedua dari dua kondisi berikut terjadi: (i) satu (atau lebih) dari kegiatan terkompresi menjadi sepenuhnya (yaitu dikurangi *crash* waktu); atau (ii) terbuka jalur kritis yang baru

Langkah 6. Catat kegiatan yang dipilih, jumlah periode waktu dikompresi, durasi proyek baru, kelompok biaya perbandingan untuk kegiatan yang dipilih, biaya tambahan yang dihasilkan dari kompresi, total biaya langsung yang baru, dan jalur kritis baru (jika ada) sebagai barang dalam tabel *breakpoint* untuk iterasi ini. *Update* ketersediaan kompresi dan daftar path untuk mencerminkan pengurangan jalan panjang yang dihasilkan dari kompresi yang dipilih.

Langkah 7. Ulangi langkah 4 sampai 6 sampai semua kegiatan pada jalur kritis menjadi sepenuhnya terkompresi. Pada titik ini tabel *breakpoint* selesai, karena tidak ada pengurangan waktu lebih lanjut.

Plot waktu penerbangan *trade-off* grafik dengan interpolasi linear antara pasangan waktu / biaya, yang terjadi pada setiap baris dari tabel breakpoint.

Langkah 8. Setelah hasil ditemukan, barulah kita membandingkan hasil yang diperoleh melalui langkah – langkah diatas, dan kita bandingkan dengan metode pembandingan yang nantinya akan menjadi tolok ukur bagaimana metode *Crashing Algorithm* mampu menyelesaikan permasalahan terkait dengan percepatan.

BAB IV

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Pada BAB IV mengenai Perancangan dan Implementasi Sistem, akan membahas terkait dengan tahapan – tahapan yang diperlukan untuk menjalan Crashing Algorithm serta metode pembandingnya yaitu Linear Programming. Pada BAB IV menggambarkan tahapan – tahapan yang dilakukan sebagai tahapan persiapan sebelum melakukan proses percepatan menggunakan kedua metode tersebut. Diharapkan dengan adanya perancangan sistem, dapat mempermudah proses penyelesaian yang menjadi tujuan dari Tugas Akhir ini, sehingga segala yang dibahas dalam BAB IV ini

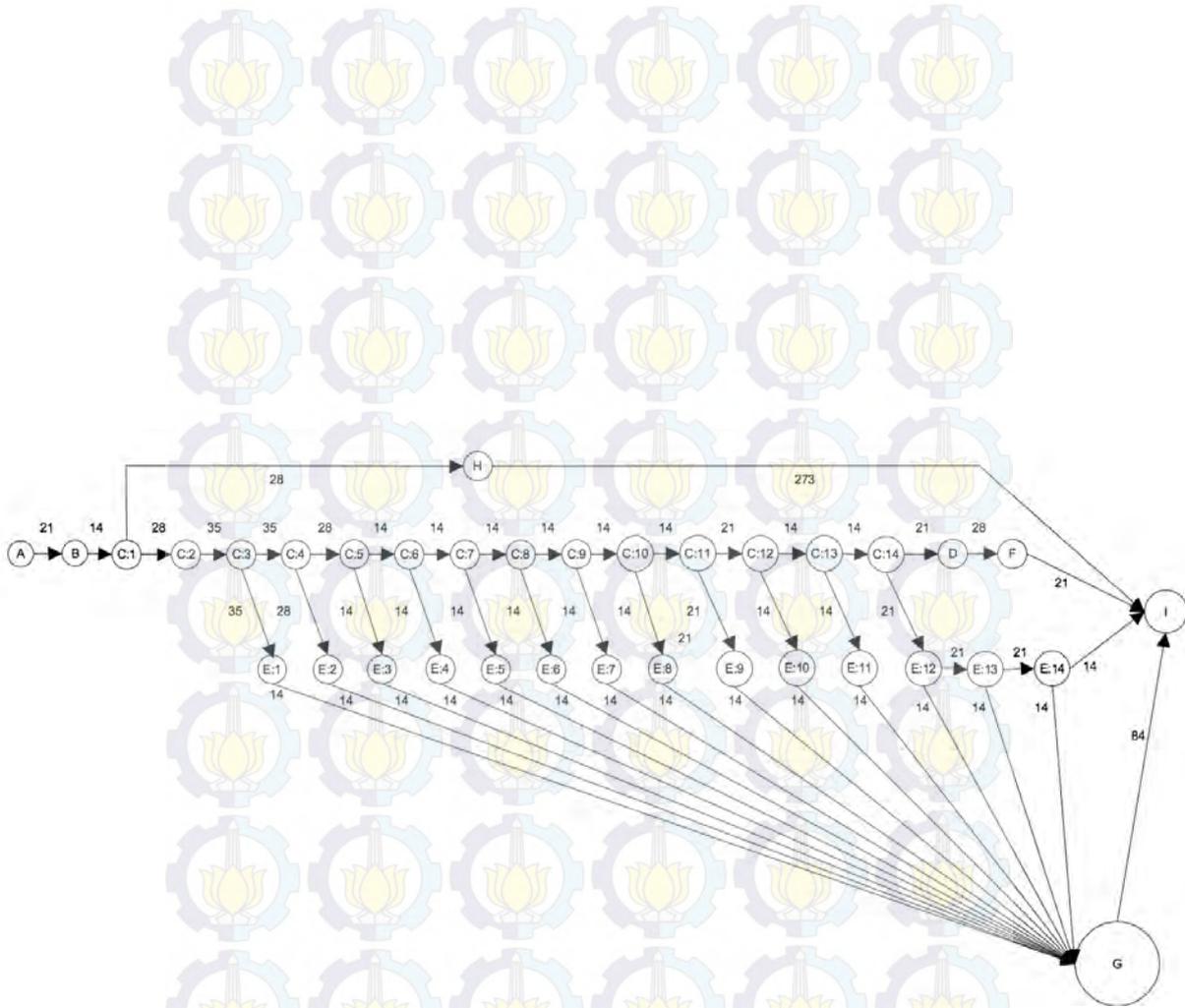
4.1 Perancangan Penyelesaian menggunakan Crashing Algorithm

Pada tahapan awal, menggunakan metode *Crashing Algorithm* sebagai metode utama dalam Tugas Akhir ini. Perancangan Sistem ini meliputi pembentukan *Network Project Planning* sebagai dasar dalam proses *Crashing*, serta *Crash Cost* sebagai data utama dalam proses *Crashing*.

4.1.1 *Networking Project Planning*

Dalam tahapan awal, yaitu adalah pembuatan *Networking Project Planning* yang merupakan salah satu komponen pendukung dari Tugas Akhir ini. Adapun model yang digunakan adalah CPM atau lebih dikenal dengan *Critical Path Method*. Pemilihan CPM dikarenakan Tugas Akhir kali ini menggunakan data yang deterministik atau pasti.

Adapun dasar pembuatan CPM ini adalah dengan urutan pekerjaan yang dijelaskan seperti pada BAB III. Setelah penyusunan Tabel Aktivitas dilakukan, selanjutnya adalah proses penyusunan *Network Scheduling* yang diajarkan melalui teori *Critical Path Methods* atau CPM. Untuk *Network Scheduling* dari proyek UK Petra Surabaya, dapat dinyatakan seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.1. Network Scheduling dari Proyek UK Petra Surabaya

Pada *Network Scheduling* diatas diatas, menyatakan gambaran urutan kerja dari Proyek Universitas Kristen Petra Surabaya yang dikelola oleh PT. Pembangunan Perumahan (Persero). *Network Scheduling* diatas terdiri atas notasi – notasi yang melambangkan aktivitas kerja serta durasi dari tiap pekerjaan yang dilakukan. Terdapat total 34 pekerjaan yang masing – masing memiliki durasi serta *Crash Cost* masing – masing sebagai konsekuensi dari proses percepatan proyek yang dijalankan dengan metode *Crashing Algorithm*. Setelah *Network Scheduling* tersusun, kita mendapatkan data terkait dengan *Critical Path* atau jalur kritis yang akan mengalami proses *Crashing* atau percepatan. Jalur kritis inilah yang akan menjadi obyek utama didalam proses percepatan nantinya.

Tabel 4.1. Tabel Aktivitas Proyek berdasarkan Durasi

AKTIVITAS	DESKRIPSI	PREDECESSOR	DURASI (Hari)
A	Persiapan	-	21
B	Perkerjaan Tanah	A	14
C:1	Pekerjaan Struktur Beton Semi Basement	B	28
C:2	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 1	C:1	35
C:3	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 2	C:2	35
C:4	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 3	C:3	28
C:5	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 4	C:4	14
C:6	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 5	C:5	14
C:7	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 6	C:6	14
C:8	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 7	C:7	14
C:9	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 8	C:8	14
C:10	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 9	C:9	14
C:11	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 10	C:10	21
C:12	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 11	C:11	14
C:13	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 12	C:12	14
C:14	Pekerjaan Struktur Beton Lantai Atap	C:13	14

D	Pekerjaan Struktur Baja	C:14	28
E:1	Pekerjaan Arsitektur Semi Basement	C:3	14
E:2	Pekerjaan Arsitektur Lantai 1	C:4	14
E:3	Pekerjaan Arsitektur Lantai 2	C:5	14
E:4	Pekerjaan Arsitektur Lantai 3	C:6	14
E:5	Pekerjaan Arsitektur Lantai 4	C:7	14
E:6	Pekerjaan Arsitektur Lantai 5	C:8	14
E:7	Pekerjaan Arsitektur Lantai 6	C:9	14
E:8	Pekerjaan Arsitektur Lantai 7	C:10	14
E:9	Pekerjaan Arsitektur Lantai 8	C:11	14
E:10	Pekerjaan Arsitektur Lantai 9	C:12	14
E:11	Pekerjaan Arsitektur Lantai 10	C13	14
E:12	Pekerjaan Arsitektur Lantai 11	C:14	14
E:13	Pekerjaan Arsitektur Lantai 12	E:12	14
E:14	Pekerjaan Arsitektur Lantai Atap	E:13	14
F	Pekerjaan Tampak	D	28
G	Pekerjaan Hardscape Landscape	E:1 - E:11	84
H	Pekerjaan Plumbing	C:1	-
I	Finishing	F,E:14,G	-

Tabel diatas (dapat dilihat dilampiran) menyatakan beberapa data yang bisa didapatkan dari *network scheduling* yang telah dibentuk sebeumnya. Pada tabel diatas, terdapat beberapa data yang bisa diamati, yaitu berupa data Aktivitas yang dilambangkan dengan Notasi, lalu terdapat Deskripsi dari notasi yang melambangkan pekerjaan, lalu ada *Predecessor*, yaitu merupakan notasi yang melambangkan pekerjaan yang terjadi sebelum pekerjaan tersebut dan yang terakhir yaitu Durasi kerja yang memiliki satuan per hari.

Terdapat beberapa data yang tidak memiliki durasi yaitu notasi H dengan pekerjaan *Plumbing* dan notasi I dengan pekerjaan *Finishing*.

Untuk pekerjaan *Plumbing*, durasi mengikuti dari total durasi Pekerjaan Struktur Beton yang dilambangkan dengan notasi C. Dikarenakan pekerjaan *Plumbing* sepaket dengan pekerjaan struktur beton dan dilakukan secara bersamaan. Untuk *Finishing* tidak memiliki durasi dikarenakan proses *Finishing* merupakan pernyataan pekerjaan telah selesai dilakukan.

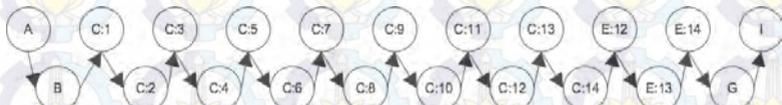
Tabel 4.2 *Path List* dari *Critical Path Network* yang dibentuk

Nama Path	Alur Aktivitas	Durasi
P1	A,B,C:1,H,F,I	357
P2	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,D,F,I	357
P3	A,B,C:1,C:2,C:3,E:1,G,I	203
P4	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,E:2,G,I	238
P5	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,E:3,G,I	266
P6	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,E:4,G,I	280
P7	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,E:5,G,I	294
P8	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,E:6,G,I	308
P9	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,E:7,G,I	322
P10	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,E:8,G,I	336
P11	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,E:9,G,I	350
P12	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,E:10,G,I	371
P13	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C13,E:11,G,I	385
P14	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C13,C:14,E:12,E:13,E:14,G,I	427
P15	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C13,C:14,E:12,E:13,E:14,I	357

Pada tabel diatas (dapat dilihat dilampiran), terdapat 3 informasi yaitu *Path Name* atau Nama Jalur, *Path List* atau Daftar Jalur

dan *Duration* atau Durasi total dari tiap jalur. Pada Nama Jalur, merupakan notasi yang melambangkan Jalur – jalur yang terdapat pada CPM yang telah dibentuk sebelumnya. Terdapat 15 jalur yang terbentuk dari CPM diatas. Daftar Jalur melambangkan deskripsi dari notasi aktivitas yang dilalui tiap jalurnya. Notasi aktivitas tersebut membentuk jaringan kerja yang berkaitan satu dengan lainnya, disesuaikan dengan pola pembangunan serta jadwal pembangunan dari proyek tersebut.

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa *Critical Path* dari Proyek Pembangunan Gedung Universitas Kristen Petra Konstruksi PT. Pembangunan Perumahan (Persero) adalah Path 14 (P14) dengan total durasi 427 hari dengan list aktivitas yaitu A, B, C:1, C:2, C:3, C:4, C:5, C:6, C:7, C:8, C:9, C:10, C:11, C:12, C:13, C:14, E:12, E:13, E:14, G dan I.



Gambar 4.2 Gambar *Network Scheduling Critical Path*

Pada Gambar diatas, adalah gambar *network scheduling* dari critical path yang telah terbentuk pada tabel sebelumnya. *Network scheduling* inilah yang nantinya akan mengalami proses *crashing* karena merupakan jalur dengan durasi terpanjang dari segala jalur yang telah terbentuk. Untuk melihat *network scheduling* secara keseluruhan, dapat dilihat di Lampiran C. Dan untuk aktivitas yang ada didalam *critical path* adalah sebagai berikut :

- a. Persiapan
- b. Pekerjaan Struktur Tanah
- c. Pekerjaan Struktur Beton
 - a. Lantai *Basement*
 - b. Lantai 1
 - c. Lantai 2
 - d. Lantai 3
 - e. Lantai 4
 - f. Lantai 5
 - g. Lantai 6
 - h. Lantai 7
 - i. Lantai 8
 - j. Lantai 9

- k. Lantai 10
- l. Lantai 11
- m. Lantai 12
- n. Lantai Atap
- d. Pekerjaan Arsitektur
 - a. Lantai 11
 - b. Lantai 12
 - c. Lantai Atap
- e. Pekerjaan Hardscape Landscape
- f. Finishing

Tabel 4.3 Tabel Aktivitas dengan Informasi *Critical Path*

AKTIVITAS	DESKRIPSI	PREDECESSOR	KRITIS
A	Persiapan	-	Y
B	Perkerjaan Tanah	A	Y
C:1	Pekerjaan Struktur Beton Semi Basement	B	Y
C:2	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 1	C:1	Y
C:3	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 2	C:2	Y
C:4	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 3	C:3	Y
C:5	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 4	C:4	Y
C:6	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 5	C:5	Y
C:7	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 6	C:6	Y
C:8	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 7	C:7	Y
C:9	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 8	C:8	Y
C:10	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 9	C:9	Y
C:11	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 10	C:10	Y
C:12	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 11	C:11	Y
C:13	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 12	C:12	Y
C:14	Pekerjaan Struktur Beton Lantai Atap	C:13	Y
D	Pekerjaan Struktur Baja	C:14	Y

E:1	Pekerjaan Arsitektur Semi Basement	C:3	N
E:2	Pekerjaan Arsitektur Lantai 1	C:4	N
E:3	Pekerjaan Arsitektur Lantai 2	C:5	N
E:4	Pekerjaan Arsitektur Lantai 3	C:6	N
E:5	Pekerjaan Arsitektur Lantai 4	C:7	N
E:6	Pekerjaan Arsitektur Lantai 5	C:8	N
E:7	Pekerjaan Arsitektur Lantai 6	C:9	N
E:8	Pekerjaan Arsitektur Lantai 7	C:10	N
E:9	Pekerjaan Arsitektur Lantai 8	C:11	N
E:10	Pekerjaan Arsitektur Lantai 9	C:12	N
E:11	Pekerjaan Arsitektur Lantai 10	C:13	N
E:12	Pekerjaan Arsitektur Lantai 11	C:14	N
E:13	Pekerjaan Arsitektur Lantai 12	E:12	N
E:14	Pekerjaan Arsitektur Lantai Atap	E:13	N
F	Pekerjaan Tampak	D	Y
G	Pekerjaan Hardscape Landscape	E:1 - E:11	N
H	Pekerjaan Plumbing	C:1	N
I	Finishing	F,E:14,G	Y

Data diatas (dapat dilihat dilampiran) merupakan hasil kesimpulan dari CPM yang telah dibentuk sebelumnya. Data diatas mengandung beberapa informasi diantaranya Notasi, Deskripsi Kerja tiap Notasi, *Predecessor* dan *Critical Path* atau Jalur Kritisnya. Jalur kritis diatas dipilih berdasarkan durasi terlama yang diperoleh dari CPM *Network* yang telah dibentuk. Sedangkan untuk durasi tiap tiap path-nya terdapat pada tabel dibawah.

4.1.2 Crash Cost per Activity

Crash Cost per Activity adalah biaya lebih yang dikeluarkan kembali sebagai resiko dari proses percepatan yang dilakukan oleh konstruktor dalam pembangunan. Untuk Unit Universitas Kristen Petra

sendiri, pertimbangan dari biaya percepatan ini adalah terkait beberapa hal, diantaranya :

1. Jasa konstruksi
2. Tambahan biaya yang lain (konsumsi, bahan bakar, listrik, dll)

Sedangkan untuk komponen dan barang – barang kebutuhan lain seperti persewaan alat berat, tidak dihitung dikarenakan biaya tersebut merupakan biaya paket dan tidak mengalami kenaikan ketika proses dari percepatan berjalan.

Adapun untuk perhitungan biaya percepatan (*Crash Cost*) dijelaskan melalui tabel berikut.

Tabel 4.4 Biaya Normal dan *Crash* Persiapan

URAIAN	Waktu		Biaya		Crash Per Day
	Normal	Crash	Normal	Crash	
Persiapan	21	-	11.557.853.383,00	-	-

Pada aktivitas persiapan, dari data yang dihimpun, dengan melalui proses wawancara dan interview langsung kelapangan, untuk proses persiapan tidak dapat dilakukan *Crashing* atau percepatan, dikarenakan tahapan persiapan sangat membutuhkan kematangan dan ketelitian dalam proses pelaksanaannya, sehingga sulit untuk dilakukan percepatan. Selain itu dalam tahapan persiapan, untuk bentuk pola *scheduling* belum tersusun secara rapi dan matang sehingga mustahil untuk melakukan proses percepatan.

Tabel 4.5 Biaya dan Waktu Normal dan *Crash* Pekerjaan Struktur Tanah.

URAIAN	Waktu		Biaya		Crash Per Day
	Normal	Crash	Normal	Crash	
Struktur Tanah	14	12	1.807.599.681,5	1.988.359.649,65	90.379.984

Pada Pekerjaan Struktur tanah, biaya percepatannya adalah 10% per harinya dari total biaya yang dikeluarkan dalam jasa pengerjaan Struktur Tanah. Besaran 10% merupakan biaya kurang lebih yang disepakati antara Kontraktor yaitu PT. Pembangunan Perumahan

(Persero) dengan Pihak pemberi dana yaitu Universitas Kristen Petra Surabaya.

Sedangkan durasi percepatan merupakan hasil proses interview dengan pihak PT. Perumahan Pembangunan (Persero) disesuaikan dengan kesulitan mempertimbangkan dengan kondisi kerja serta *availablity* dari tim *crashing*.

Tabel 4.6 Biaya dan Waktu Normal dan *Crash* Pekerjaan Struktur Beton

URAIAN	Waktu		Biaya		Crash Per Day
	Normal	Crash	Normal	Crash	
REKAPITULASI					
LANTAI SEMI BASEMENT	28	24	118,740,699.07	130,614,768.98	2,968,517.48
LANTAI SATU	35	30	915,500,428.12	1,007,050,470.93	18,310,008.56
LANTAI DUA	35	30	738,607,196.24	812,467,915.86	14,772,143.92
LANTAI TIGA	28	24	767,921,985.39	844,714,183.93	19,198,049.63
LANTAI LIMA	14	12	333,099,438.75	366,409,382.63	16,654,971.94
LANTAI ENAM	14	12	353,893,214.58	389,282,536.04	17,694,660.73
LANTAI TUJUH	14	12	377,781,830.34	415,560,013.37	18,889,091.52
LANTAI DELAPAN	14	12	376,900,694.65	414,590,764.12	18,845,034.73
LANTAI SEMBILAN	14	12	319,241,854.23	351,166,039.65	15,962,092.71
LANTAI SEPULUH	21	18	324,370,803.68	356,807,884.05	10,812,360.12
LANTAI SEBELAS	14	12	289,873,301.18	318,860,631.30	14,493,665.06
LANTAI DUABELAS	14	12	191,179,677.96	210,297,645.76	9,558,983.90
LANTAI ATAP	14	12	177,306,291.46	195,036,920.61	8,865,314.57

Pada Pekerjaan Struktur Beton , biaya percepatannya adalah 10% per harinya dari total biaya yang dikeluarkan dalam jasa pengerjaan Struktur Beton. Besaran 10% merupakan biaya kurang lebih yang disepakati antara Kontraktor yaitu PT. Pembangunan Perumahan (Persero) dengan Pihak pemberi dana yaitu Universitas Kristen Petra Surabaya. Selain itu, perbedaan dari tiap lantainya disesuaikan dengan detail dari tiap lantai yang dikerjakan oleh kontraktor sehingga besaran biaya, baik normal maupun yang dipercepat memiliki perbedaan masing – masing. Sedangkan durasi percepatan merupakan hasil proses interview dengan pihak PT. Perumahan Pembangunan (Persero) disesuaikan dengan kesulitan mempertimbangkan dengan kondisi kerja serta *availablity* dari tim *crashing*.

Tabel 4.7 Biaya dan Waktu Normal dan *Crash* Pekerjaan Struktur Baja

URAIAN	Waktu		Biaya		Crash Per Day
	Normal	Crash	Normal	Crash	
Struktur Baja	28	26	5,467,619,457.06	6,014,381,402.77	273,380,972.8

Pada Pekerjaan Struktur Baja , biaya percepatannya adalah 10% per harinya dari total biaya yang dikeluarkan dalam jasa pengerjaan Struktur Baja. Besaran 10% merupakan biaya kurang lebih yang disepakati antara Kontraktor yaitu PT. Pembangunan Perumahan (Persero) dengan Pihak pemberi dana yaitu Universitas Kristen Petra Surabaya. Sedangkan durasi percepatan merupakan hasil proses interview dengan pihak PT. Perumahan Pembangunan (Persero) disesuaikan dengan kesulitan mempertimbangkan dengan kondisi kerja serta *availability* dari tim *crashing*.

Tabel 4.8 Biaya dan Waktu Normal dan *Crash* Pekerjaan Arsitektur

URAIAN	Waktu		Biaya		Crash Per Day
	Normal	Crash	Normal	Crash	
LANTAI SEMI BASEMENT	14	12	790,883,447.73	869,971,792.50	39,544,172.39
LANTAI SATU	14	12	556,078,852.17	611,686,737.39	27,803,942.61
LANTAI DUA	14	12	815,428,527.29	896,971,380.02	40,771,426.36
LANTAI TIGA	14	12	2,011,485,035.71	2,212,633,539.28	100,574,251.79
LANTAI LIMA	14	12	1,263,650,334.96	1,390,015,368.46	63,182,516.75
LANTAI ENAM	14	12	608,903,241.28	669,793,565.41	30,445,162.06
LANTAI TUJUH	14	12	613,802,441.73	675,182,685.90	30,690,122.09
LANTAI DELAPAN	14	12	674,312,113.77	741,743,325.15	33,715,605.69
LANTAI SEMBILAN	14	12	489,107,846.75	538,018,631.43	24,455,392.34
LANTAI SEPULUH	14	12	592,294,473.88	651,523,921.27	29,614,723.69
LANTAI SEBELAS	14	12	282,195,791.77	310,415,370.95	14,109,789.59
LANTAI DUABELAS	14	12	312,543,287.58	343,797,616.34	15,627,164.38
LANTAI ATAP	14	12	28,026,226.00	30,828,848.60	1,401,311.30

Pada Pekerjaan Arsitektur , biaya percepatannya adalah 10% per harinya dari total biaya yang dikeluarkan dalam jasa pengerjaan Arsitektur. Besaran 10% merupakan biaya kurang lebih yang disepakati antara Kontraktor yaitu PT. Pembangunan Perumahan (Persero) dengan Pihak pemberi dana yaitu Universitas Kristen Petra Surabaya. Selain itu, perbedaan dari tiap lantainya disesuaikan dengan detail dari tiap lantai yang dikerjakan oleh kontraktor sehingga besaran biaya, baik normal maupun yang dipercepat memiliki perbedaan masing – masing.

Sedangkan durasi percepatan merupakan hasil proses interview dengan pihak PT. Perumahan Pembangunan (Persero) disesuaikan

dengan kesulitan mempertimbangkan dengan kondisi kerja serta *availability* dari tim *crashing*.

Tabel 4.9 Biaya dan Waktu Normal dan *Crash* Pekerjaan Tampak

URAIAN	Waktu		Biaya		Crash Per Day
	Normal	Crash	Normal	Crash	
Tampak	21	19	3,977,092,673.47	4,374,801,940.8	198,854,633.67

Pada Pekerjaan Tampak, biaya percepatannya adalah 10% per harinya dari total biaya yang dikeluarkan dalam jasa pengerjaan Tampak. Besaran 10% merupakan biaya kurang lebih yang disepakati antara Kontraktor yaitu PT. Pembangunan Perumahan (Persero) dengan Pihak pemberi dana yaitu Universitas Kristen Petra Surabaya.

Sedangkan durasi percepatan merupakan hasil proses interview dengan pihak PT. Perumahan Pembangunan (Persero) disesuaikan dengan kesulitan mempertimbangkan dengan kondisi kerja serta *availability* dari tim *crashing*.

Tabel 4.10 Biaya dan Waktu Normal dan *Crash* Pekerjaan *Hardscape* dan *Landscape*

URAIAN	Waktu		Biaya		Crash Per Day
	Normal	Crash	Normal	Crash	
Pekerjaan <i>Hardscape</i> & <i>Landscape</i>	84	80	81,528,916.43	89,681,808.07	2,038,222.91

Pada Pekerjaan *Hardscape* dan *Landscape*, biaya percepatannya adalah 10% per harinya dari total biaya yang dikeluarkan dalam jasa pengerjaan *Hardscape* dan *Landscape*. Besaran 10% merupakan biaya kurang lebih yang disepakati antara Kontraktor yaitu PT. Pembangunan Perumahan (Persero) dengan Pihak pemberi dana yaitu Universitas Kristen Petra Surabaya.

Sedangkan durasi percepatan merupakan hasil proses interview dengan pihak PT. Perumahan Pembangunan (Persero) disesuaikan dengan kesulitan mempertimbangkan dengan kondisi kerja serta *availability* dari tim *crashing*.

Tabel 4.11 Biaya dan Waktu Normal dan *Crash* Pekerjaan *Plumbing*

URAIAN	Waktu		Biaya	
	Normal	Crash	Normal	Crash
Plumbing	273	-	23,862,358.00	-

Pada pekerjaan *Plumbing*, Jasa percepatannya telah digabungkan pada proses pekerjaan Beton, dikarenakan pekerjaan *Plumbing* dikerjakan berbarengan dengan pekerjaan Beton.

4.2 Perancangan Penyelesaian Menggunakan *Linear Programming*

Dalam penyusunan sistem penyelesaian menggunakan linear programming, terdapat beberapa data utama yang dibutuhkan dalam penyelesaiannya. Data tersebut nantinya akan dimasukkan kedalam software LINDO untuk menemukan solusi permasalahan dari beberapa data yang dimasukkan kedalamnya. Adapun beberapa data yang disusun adalah pendefinisian variabel, menentukan fungsi objektif, fungsi kendala serta model matematika.

4.2.1 Pendefinisian Variabel

Pendefinisian variabel digunakan untuk memberikan notasi untuk tiap kegiatan, baik secara durasi, maupun secara biaya. Untuk pendefinisian Variabel antara lain adalah :

Tabel 4.12 Tabel Variabel *Crash Day* berdasarkan Aktivitas

AKTIVITAS	DESKRIPSI	Variabel Waktu (Hari)	
		Normal	Selisih Waktu Normal dan Crash
A	Persiapan	X_A	Y_A
B	Perkerjaan Tanah	X_B	Y_B
C:1	Pekerjaan Struktur Beton Semi Basement	$X_{C:1}$	Y_{C1}
C:2	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 1	$X_{C:2}$	Y_{C2}
C:3	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 2	$X_{C:3}$	Y_{C3}
C:4	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 3	$X_{C:4}$	Y_{C4}

C:5	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 4	$X_{C:5}$	Y_{C5}
C:6	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 5	$X_{C:6}$	Y_{C6}
C:7	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 6	$X_{C:7}$	Y_{C7}
C:8	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 7	$X_{C:8}$	Y_{C8}
C:9	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 8	$X_{C:9}$	Y_{C9}
C:10	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 9	$X_{C:10}$	Y_{C10}
C:11	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 10	$X_{C:11}$	Y_{C11}
C:12	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 11	$X_{C:12}$	Y_{C12}
C:13	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 12	$X_{C:13}$	Y_{C13}
C:14	Pekerjaan Struktur Beton Lantai Atap	$X_{C:14}$	Y_{C14}
D	Pekerjaan Struktur Baja	X_D	Y_D
E:1	Pekerjaan Arsitektur Semi Basement	$X_{E:1}$	$Y_{E:1}$
E:2	Pekerjaan Arsitektur Lantai 1	$X_{E:2}$	$Y_{E:2}$
E:3	Pekerjaan Arsitektur Lantai 2	$X_{E:3}$	$Y_{E:3}$
E:4	Pekerjaan Arsitektur Lantai 3	$X_{E:4}$	$Y_{E:4}$
E:5	Pekerjaan Arsitektur Lantai 4	$X_{E:5}$	$Y_{E:5}$
E:6	Pekerjaan Arsitektur Lantai 5	$X_{E:6}$	$Y_{E:6}$
E:7	Pekerjaan Arsitektur Lantai 6	$X_{E:7}$	$Y_{E:7}$
E:8	Pekerjaan Arsitektur Lantai 7	$X_{E:8}$	$Y_{E:8}$
E:9	Pekerjaan Arsitektur Lantai 8	$X_{E:9}$	$Y_{E:9}$
E:10	Pekerjaan Arsitektur Lantai 9	$X_{E:10}$	$Y_{E:10}$
E:11	Pekerjaan Arsitektur Lantai 10	$X_{E:11}$	$Y_{E:11}$
E:12	Pekerjaan Arsitektur Lantai 11	$X_{E:12}$	$Y_{E:12}$
E:13	Pekerjaan Arsitektur Lantai 12	$X_{E:13}$	$Y_{E:13}$
E:14	Pekerjaan Arsitektur Lantai Atap	$X_{E:14}$	$Y_{E:14}$
F	Pekerjaan Tampak	X_F	Y_F
G	Pekerjaan Hardscape Landscape	X_G	Y_G
H	Pekerjaan Plumbing	X_H	Y_h
I	Finishing	X_I	Y_I

Tabel diatas menotasikan sebagai variabel dari crash per day masing – masing aktivitas yang mengalami proses *crashing*. Variabel Y sebagai pengganti total durasi hari yang dipercepat pada tiap aktivitasnya. Nantinya varibel Y ini akan menjadi fungsi tujuan dari proses optimasi menggunakan LINDO. Sedangkan Variabel X adalah notasi untuk melambangkan dari durasi per hari normal dari tiap aktivitasnya. Nantinya variabel X akan menjadi dasar dari fungsi kendala sebagai bentuk dari durasi normal yang akan membentuk *Network Scheduling* untuk menentukan *Critical Path* dari model tersebut.

4.2.2 Menentukan Fungsi Objektif, Kendala dan Model Matematika

Untuk fungsi objektif dari linear programming ini adalah menentukan biaya crashing paling minimal yang dikeluarkan, berdasarkan dari *critical path* yang dibentuk dari *network scheduling* yang dibentuk melalui fungsi kendalanya. Untuk model matematika dari fungsi objektif atau tujuan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & 0Y_A + 90379984.08Y_B + 2968517.48Y_{C:1} + 18310008.56Y_{C:2} + \\ & 14772,143.92Y_{C:3} + 19198049.63Y_{C:4} + 24697994.74Y_{C:5} + \\ & 16654971.94Y_{C:6} + 17694660.73Y_{C:7} + 18889091.52Y_{C:8} + \\ & 18,845,034.73Y_{C:9} + 15962092.71Y_{C:10} + 10812360.12Y_{C:11} + \\ & 14493665.06Y_{C:12} + 9558983.90Y_{C:13} + 8865314.57Y_{C:14} + \\ & 273380972,85Y_D + 39544172.39Y_{E:1} + 27803942.61Y_{E:2} + \\ & 40771426.36Y_{E:3} + 100574251.79Y_{E:4} + 63182516.75Y_{E:5} + \\ & 30445162.06Y_{E:6} + 30690122.09Y_{E:7} + 33715605.69Y_{E:8} + \\ & 33146790.55Y_{E:9} + 24455392.34Y_{E:10} + 29614723.69Y_{E:11} + \\ & 14109789.59Y_{E:12} + 15627164.38Y_{E:13} + 1401311.30Y_{E:14} + \\ & 198854633,67Y_F + 2038222,91Y_G + 0Y_H \end{aligned}$$

Diatas merupakan fungsi tujuan atau objektif yang terdiri dari variabel Y_N dimana

N = aktivitas

Y = durasi aktivitas dipercepat per N hari

Untuk fungsi kendala, terdapat beberapa fungsi kendala, dapat dibagi menjadi 2 kategori kendala, diantaranya adalah :

1. Fungsi Kendala berdasarkan durasi normal tiap aktivitas

Fungsi Kendala ini digunakan untuk membentuk *network scheduling* utama dari aktivitas – aktivitas yang ada, sehingga

dapat ditemukan *critical path* untuk melakukan proses *crashing*. Untuk model matematikanya dapat dilihat pada lampiran A

2. Fungsi Kendala berdasarkan durasi maksimal *crashing*
Fungsi Kendala ini digunakan untuk menotasikan batas maksimal *crashing* per hari yang diperbolehkan, serta antinegasi yang menotasikan bahwa tiap variabel bernilai lebih besar dari 0. Pada prosesnya, fungsi kendala diatas sebagai data utama untuk menjalankan program pada LINDO, hingga nantinya dapat diambil hasil paling optimal dari fungsi tujuan yang dibentuk. Untuk model matematikanya dapat dilihat pada Lampiran A.

BAB V HASIL DAN ANALISA

Pada BAB V, menampilkan hasil dan analisa dari 2 model penyelesaian yang digunakan, yaitu menggunakan Crashing Algorithm dan Linear Programming, Dua model penyelesaian ini pada akhirnya memiliki hasil berupa added cost masing –masing sesuai dengan bentuk penyelesaiannya.

5.1 Penyelesaian Menggunakan *Crashing Algorithm*

Setelah kita mendapatkan Critical Path atau Jalur Kritis dari Proses Pembangunan Proyek Gedung Universitas Kristen Petra Surabaya oleh PT. Pembangunan Perumahan (Persero).

Pada proses *Crashing Algorithm*, menggunakan Iterasi satu persatu dimana dimulai dari Iterasi 0 yang melambangkan Aktivitas Normal dan Cost Normal dari Proses Pengerjaan Proyek UK Petra Surabaya.

Tabel 5.1 Iterasi 0 dan Iterasi 1

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427	-	-	179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14

Pada Iterasi 0, menampilkan biaya total normal dan durasi normal dari pengerjaan proyek UK Petra Surabaya. Sedangkan pada Iterasi 1, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 1 dengan menggunakan aktivitas E:14 dengan biaya perhari Rp. 1,401,311.30 dan durasi 2 sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 179,548,270,350.60. E:14 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.2 *Path List* Terbaru setelah Proses *Crashing*

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C1,H,F,I	357	357
P2	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12,C13,C14,D,F,I	357	357
P3	A,B,C1,C2,C3,E1,G,I	203	203
P4	A,B,C1,C2,C3,C4,E2,G,I	238	238
P5	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,E3,G,I	266	266
P6	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,E4,G,I	280	280
P7	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,E5,G,I	294	294
P8	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,E6,G,I	308	308
P9	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,E7,G,I	322	322
P10	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,E8,G,I	336	336
P11	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,E9,G,I	350	350
P12	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12,E10,G,I	371	371
P13	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12,C13,E11,G,I	385	385
P14	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12,C13,C14,E12,E13,E14,G,I	427	425
P15	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12,C13,C14,E12,E13,E14,I	357	352

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan E:14 sebanyak 2 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P14 dan P15.

Tabel 5.3 Iterasi 2

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427	-	-	179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14

Pada Iterasi 2, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 2 dengan menggunakan aktivitas G dengan biaya perhari Rp. 2,308,222.91 dan durasi 4 sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 179,556,423,242.24. G merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.4 *Path List* Terbaru setelah Proses *Crashing*

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C:1,H,F,I	357	357
P2	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,D,F,I	357	357
P3	A,B,C:1,C:2,C:3,E:1,G,I	203	199
P4	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,E:2,G,I	238	234
P5	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,E:3,G,I	266	262
P6	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,E:4,G,I	280	276
P7	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,E:5,G,I	294	290
P8	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,E:6,G,I	308	304
P9	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,E:7,G,I	322	318
P10	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,E:8,G,I	336	332
P11	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,E:9,G,I	350	346
P12	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,E:10,G,I	371	367
P13	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,E:11,G,I	385	381
P14	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,G,I	425	421
P15	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,I	352	352

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan G sebanyak 4 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13 dan P14.

Tabel 5.5 Iterasi 3

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427	-	-	179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14
3	C:1	4	417	2,968,517.48	11,874,069.92	179,568,297,312.16	P14

Pada Iterasi 3, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 3 dengan menggunakan aktivitas C:1 dengan biaya perhari Rp. 2,968,517.48 dan durasi 4 sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 179,568,297,312.16. C:1 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.6 *Path List* Terbaru setelah Proses *Crashing*

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C:1,H,F,I	357	353
P2	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,D,F,I	357	353
P3	A,B,C:1,C:2,C:3,E:1,G,I	199	195
P4	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,E:2,G,I	234	230
P5	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,E:3,G,I	262	258
P6	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,E:4,G,I	276	272
P7	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,E:5,G,I	290	286
P8	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,E:6,G,I	304	300
P9	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,E:7,G,I	318	314
P10	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,E:8,G,I	332	328
P11	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,E:9,G,I	346	342
P12	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,E:10,G,I	367	363
P13	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,E:11,G,I	381	377
P14	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,G,I	421	417
P15	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,I	352	348

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan C:1 sebanyak 4 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14 dan P15.

Tabel 5.7 Iterasi 4

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427	-	-	179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14
3	C:1	4	417	2,968,517.48	11,874,069.92	179,568,297,312.16	P14
4	C:14	2	415	8,865,314.57	17,730,629.15	179,586,027,941.31	P14

Pada Iterasi 4, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 4 dengan menggunakan aktivitas C:14 dengan biaya perhari Rp. 8,865,314.57 dan durasi 2 hari sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 179,586,027,941.31. C:14 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.8 *Path List* Terbaru setelah Proses *Crashing*

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C:1,H,F,I	353	351
P2	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,D,F,I	353	351
P3	A,B,C:1,C:2,C:3,E:1,G,I	195	195
P4	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,E:2,G,I	230	230
P5	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,E:3,G,I	258	258
P6	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,E:4,G,I	272	272
P7	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,E:5,G,I	286	286
P8	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,E:6,G,I	300	300
P9	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,E:7,G,I	314	314
P10	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,E:8,G,I	328	328
P11	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,E:9,G,I	342	342
P12	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,E:10,G,I	363	363
P13	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,E:11,G,I	377	377
P14	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,G,I	417	415
P15	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,I	348	346

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan C:14 sebanyak 2 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P1, P2, P14 dan P15.

Tabel 5.9 Iterasi 5

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427	-	-	179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14
3	C:1	4	417	2,968,517.48	11,874,069.92	179,568,297,312.16	P14
4	C:14	2	415	8,865,314.57	17,730,629.15	179,586,027,941.31	P14
5	C:13	2	413	9,558,983.90	19,117,967.80	179,605,145,909.11	P14

Pada Iterasi 5, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 5 dengan menggunakan aktivitas C:13 dengan biaya perhari Rp. 9,558,983.90 dan durasi 2 hari sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 179,605,145,909.11. C:13 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.10 *Path List* Terbaru setelah Proses *Crashing*

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C:1,H,F,I	351	349
P2	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,D,F,I	351	349
P3	A,B,C:1,C:2,C:3,E:1,G,I	195	195
P4	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,E:2,G,I	230	230
P5	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,E:3,G,I	258	258
P6	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,E:4,G,I	272	272
P7	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,E:5,G,I	286	286
P8	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,E:6,G,I	300	300
P9	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,E:7,G,I	314	314
P10	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,E:8,G,I	328	328
P11	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,E:9,G,I	342	342
P12	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,E:10,G,I	363	363
P13	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,E:11,G,I	377	375
P14	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,G,I	415	413
P15	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,I	346	344

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan C:13 sebanyak 2 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P1, P2, P13, P14 dan P15.

Tabel 5.11 Iterasi 6

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427	-	-	179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14
3	C:1	4	417	2,968,517.48	11,874,069.92	179,568,297,312.16	P14
4	C:14	2	415	8,865,314.57	17,730,629.15	179,586,027,941.31	P14
5	C:13	2	413	9,558,983.90	19,117,967.80	179,605,145,909.11	P14
6	C:11	3	410	10,812,360.12	32,437,080.37	179,637,582,989.47	P15

Pada Iterasi 6, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 6 dengan menggunakan aktivitas C:11 dengan biaya perhari Rp. 10,812,369.12 dan durasi 3 hari sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 179,637,582,989.47. C:11 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.12 Path List Terbaru setelah Proses Crashing

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C:1,H,F,I	349	346
P2	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,D,F,I	349	346
P3	A,B,C:1,C:2,C:3,E:1,G,I	195	195
P4	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,E:2,G,I	230	230
P5	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,E:3,G,I	258	258
P6	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,E:4,G,I	272	272
P7	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,E:5,G,I	286	286
P8	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,E:6,G,I	300	300
P9	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,E:7,G,I	314	314
P10	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,E:8,G,I	328	328
P11	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,E:9,G,I	342	339
P12	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,E:10,G,I	363	360
P13	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,E:11,G,I	375	372
P14	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,G,I	413	410
P15	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,I	344	341

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan C:11 sebanyak 2 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P1, P2, P11, P12, P13, P14 dan P15. C:11 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.13 Iterasi 7

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427	-	-	179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14
3	C:1	4	417	2,968,517.48	11,874,069.92	179,568,297,312.16	P14
4	C:14	2	415	8,865,314.57	17,730,629.15	179,586,027,941.31	P14
5	C:13	2	413	9,558,983.90	19,117,967.80	179,605,145,909.11	P14
6	C:11	3	410	10,812,360.12	32,437,080.37	179,637,582,989.47	P14
7	E:12	2	408	14,109,789.59	28,219,579.18	179,665,802,568.65	P14

Pada Iterasi 7, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 7 dengan menggunakan aktivitas E:12 dengan biaya perhari Rp. 14,109,789.59 dan durasi 2 hari sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 179,665,802,568.65. E:12 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.14 Path List Terbaru setelah Proses *Crashing*

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C:1,H,F,I	346	346
P2	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,D,F,I	346	346
P3	A,B,C:1,C:2,C:3,E:1,G,I	195	195
P4	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,E:2,G,I	230	230
P5	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,E:3,G,I	258	258
P6	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,E:4,G,I	272	272
P7	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,E:5,G,I	286	286
P8	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,E:6,G,I	300	300
P9	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,E:7,G,I	314	314
P10	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,E:8,G,I	328	328
P11	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,E:9,G,I	339	339
P12	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,E:10,G,I	360	360
P13	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,E:11,G,I	372	372
P14	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,G,I	410	408
P15	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,I	341	339

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan E:12 sebanyak 2 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P14 dan P15.

Tabel 5.15 Iterasi 8

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427	-	-	179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14
3	C:1	4	417	2,968,517.48	11,874,069.92	179,568,297,312.16	P14
4	C:14	2	415	8,865,314.57	17,730,629.15	179,586,027,941.31	P14
5	C:13	2	413	9,558,983.90	19,117,967.80	179,605,145,909.11	P14
6	C:11	3	410	10,812,360.12	32,437,080.37	179,637,582,989.47	P14
7	E:12	2	408	14,109,789.59	28,219,579.18	179,665,802,568.65	P14
8	C:12	2	406	14,493,665.06	28,987,330.12	179,694,789,898.77	P14

Pada Iterasi 8, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 8 dengan menggunakan aktivitas C:12 dengan biaya perhari Rp. 14,439,665.06 dan durasi 2 hari sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 179,694,789,898.77. C:12 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.16 Path List Terbaru setelah Proses *Crashing*

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C:1,H,F,I	346	344
P2	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,D,F,I	346	344
P3	A,B,C:1,C:2,C:3,E:1,G,I	195	195
P4	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,E:2,G,I	230	230
P5	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,E:3,G,I	258	258
P6	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,E:4,G,I	272	272
P7	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,E:5,G,I	286	286
P8	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,E:6,G,I	300	300
P9	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,E:7,G,I	314	314
P10	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,E:8,G,I	328	328
P11	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,E:9,G,I	339	339
P12	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,E:10,G,I	360	358
P13	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,E:11,G,I	372	370
P14	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,G,I	408	406
P15	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,I	339	337

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan C:12 sebanyak 2 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P1, P2, P12, P13, P14 dan P15.

Tabel 5.17 Iterasi 9

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427	-	-	179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14
3	C:1	4	417	2,968,517.48	11,874,069.92	179,568,297,312.16	P14
4	C:14	2	415	8,865,314.57	17,730,629.15	179,586,027,941.31	P14
5	C:13	2	413	9,558,983.90	19,117,967.80	179,605,145,909.11	P14
6	C:11	3	410	10,812,360.12	32,437,080.37	179,637,582,989.47	P14
7	E:12	2	408	14,109,789.59	28,219,579.18	179,665,802,568.65	P14
8	C:12	2	406	14,493,665.06	28,987,330.12	179,694,789,898.77	P14
9	C:3	5	401	14,772,143.92	73,860,719.62	179,768,650,618.39	P14

Pada Iterasi 9, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 9 dengan menggunakan aktivitas C:3 dengan biaya perhari Rp. 14,772,143.92 dan durasi 5 hari sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 179,768,650,618.39. C:3 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.18 Path List Terbaru setelah Proses *Crashing*

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C:1,H,F,I	344	339
P2	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,D,F,I	344	339
P3	A,B,C:1,C:2,C:3,E:1,G,I	195	190
P4	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,E:2,G,I	230	225
P5	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,E:3,G,I	258	253
P6	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,E:4,G,I	272	267
P7	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,E:5,G,I	286	281
P8	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,E:6,G,I	300	295
P9	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,E:7,G,I	314	309
P10	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,E:8,G,I	328	323
P11	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,E:9,G,I	339	334
P12	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,E:10,G,I	358	353
P13	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,E:11,G,I	370	365
P14	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,G,I	406	401
P15	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,I	337	332

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan C:3 sebanyak 5 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14 dan P15.

Tabel 5.19 Iterasi 10

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427	-	-	179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14
3	C:1	4	417	2,968,517.48	11,874,069.92	179,568,297,312.16	P14
4	C:14	2	415	8,865,314.57	17,730,629.15	179,586,027,941.31	P14
5	C:13	2	413	9,558,983.90	19,117,967.80	179,605,145,909.11	P14
6	C:11	3	410	10,812,360.12	32,437,080.37	179,637,582,989.47	P14
7	E:12	2	408	14,109,789.59	28,219,579.18	179,665,802,568.65	P14
8	C:12	2	406	14,493,665.06	28,987,330.12	179,694,789,898.77	P14
9	C:3	5	401	14,772,143.92	73,860,719.62	179,768,650,618.39	P14
10	E:13	2	399	15,627,164.38	31,254,328.76	179,799,904,947.15	P14

Pada Iterasi 10, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 10 dengan menggunakan aktivitas E:13 dengan biaya perhari Rp. 15,627,164.38 dan durasi 2 hari sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 179,799,904,947.15. E:13 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.20 Path List Terbaru setelah Proses *Crashing*

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C:1,H,F,I	339	339
P2	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,D,F,I	339	339
P3	A,B,C:1,C:2,C:3,E:1,G,I	190	190
P4	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,E:2,G,I	225	225
P5	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,E:3,G,I	253	253
P6	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,E:4,G,I	267	267
P7	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,E:5,G,I	281	281
P8	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,E:6,G,I	295	295
P9	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,E:7,G,I	309	309
P10	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,E:8,G,I	323	323
P11	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,E:9,G,I	334	334
P12	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,E:10,G,I	353	353
P13	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,E:11,G,I	365	365
P14	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,G,I	401	399
P15	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,I	332	330

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan E:13 sebanyak 2 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P14 dan P15.

Tabel 5.21 Iterasi 11

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427	-	-	179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14
3	C:1	4	417	2,968,517.48	11,874,069.92	179,568,297,312.16	P14
4	C:14	2	415	8,865,314.57	17,730,629.15	179,586,027,941.31	P14
5	C:13	2	413	9,558,983.90	19,117,967.80	179,605,145,909.11	P14
6	C:11	3	410	10,812,360.12	32,437,080.37	179,637,582,989.47	P14
7	E:12	2	408	14,109,789.59	28,219,579.18	179,665,802,568.65	P14
8	C:12	2	406	14,493,665.06	28,987,330.12	179,694,789,898.77	P14
9	C:3	5	401	14,772,143.92	73,860,719.62	179,768,650,618.39	P14
10	E:13	2	399	15,627,164.38	31,254,328.76	179,799,904,947.15	P14
11	C:10	2	397	15,962,092.71	31,924,185.42	179,831,829,132.57	P14

Pada Iterasi 11, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 11 dengan menggunakan aktivitas C:10 dengan biaya perhari Rp. 15,962,092.71 dan durasi 2 hari sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 179,831,829,132.57. C:10 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.22 Path List Terbaru setelah Proses *Crashing*

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C:1,H,F,I	339	337
P2	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,D,F,I	339	337
P3	A,B,C:1,C:2,C:3,E:1,G,I	190	190
P4	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,E:2,G,I	225	225
P5	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,E:3,G,I	253	253
P6	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,E:4,G,I	267	267
P7	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,E:5,G,I	281	281
P8	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,E:6,G,I	295	295
P9	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,E:7,G,I	309	309
P10	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,E:8,G,I	323	321
P11	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,E:9,G,I	334	332
P12	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,E:10,G,I	353	351
P13	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,E:11,G,I	365	363
P14	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,G,I	399	397
P15	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,I	330	328

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan C:10 sebanyak 2 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P1, P2, P10, P11, P12, P13, P14 dan P15.

Tabel 5.23 Iterasi 12

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427	-	-	179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14
3	C:1	4	417	2,968,517.48	11,874,069.92	179,568,297,312.16	P14
4	C:14	2	415	8,865,314.57	17,730,629.15	179,586,027,941.31	P14
5	C:13	2	413	9,558,983.90	19,117,967.80	179,605,145,909.11	P14
6	C:11	3	410	10,812,360.12	32,437,080.37	179,637,582,989.47	P14
7	E:12	2	408	14,109,789.59	28,219,579.18	179,665,802,568.65	P14
8	C:12	2	406	14,493,665.06	28,987,330.12	179,694,789,898.77	P14
9	C:3	5	401	14,772,143.92	73,860,719.62	179,768,650,618.39	P14
10	E:13	2	399	15,627,164.38	31,254,328.76	179,799,904,947.15	P14
11	C:10	2	397	15,962,092.71	31,924,185.42	179,831,829,132.57	P14
12	C:6	2	395	16,654,971.94	33,309,943.88	179,865,139,076.45	P14

Pada Iterasi 12, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 12 dengan menggunakan aktivitas C:6 dengan biaya perhari Rp. 16,654,971.94 dan durasi 2 hari sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 179,865,139,076.45. C:6 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.24 Path List Terbaru setelah Proses Crashing

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C1,H,F,I	337	335
P2	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12,C13,C14,D,F,I	337	335
P3	A,B,C1,C2,C3,E1,G,I	190	190
P4	A,B,C1,C2,C3,C4,E2,G,I	225	225
P5	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,E3,G,I	253	253
P6	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,E4,G,I	267	265
P7	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,E5,G,I	281	279
P8	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,E6,G,I	295	293
P9	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,E7,G,I	309	307
P10	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,E8,G,I	321	319
P11	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,E9,G,I	332	330
P12	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12,E10,G,I	351	349
P13	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12,C13,E11,G,I	363	361
P15	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12,C13,C14,E12,E13,E14,G,I	397	395
P16	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12,C13,C14,E12,E13,E14,I	328	326

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan C:6 sebanyak 2 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P1, P2, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14 dan P15.

Tabel 5.25 Iterasi 13

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427			179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14
3	C:1	4	417	2,968,517.48	11,874,069.92	179,568,297,312.16	P14
4	C:14	2	415	8,865,314.57	17,730,629.15	179,586,027,941.31	P14
5	C:13	2	413	9,558,983.90	19,117,967.80	179,605,145,909.11	P14
6	C:11	3	410	10,812,360.12	32,437,080.37	179,637,582,989.47	P14
7	E:12	2	408	14,109,789.59	28,219,579.18	179,665,802,568.65	P14
8	C:12	2	406	14,493,665.06	28,987,330.12	179,694,789,898.77	P14
9	C:3	5	401	14,772,143.92	73,860,719.62	179,768,650,618.39	P14
10	E:13	2	399	15,627,164.38	31,254,328.76	179,799,904,947.15	P14
11	E:10	2	397	15,962,092.71	31,924,185.42	179,831,829,132.57	P14
12	C:6	2	395	16,654,971.94	33,309,943.88	179,865,139,076.45	P14
13	C:7	2	393	17,694,660.73	35,389,321.46	179,900,528,397.91	P14

Pada Iterasi 13, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 13 dengan menggunakan aktivitas C:7 dengan biaya perhari Rp. 17,694,660.73 dan durasi 2 hari sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 179,900,528,391.91. C:7 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.26 Path List Terbaru setelah Proses *Crashing*

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C:1,H,F,I	335	333
P2	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,D,F,I	335	333
P3	A,B,C:1,C:2,C:3,E:1,G,I	190	190
P4	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,E:2,G,I	225	225
P5	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,E:3,G,I	253	253
P6	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,E:4,G,I	265	265
P7	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,E:5,G,I	279	277
P8	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,E:6,G,I	293	291
P9	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,E:7,G,I	307	305
P10	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,E:8,G,I	319	317
P11	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,E:9,G,I	330	328
P12	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,E:10,G,I	349	347
P13	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,E:11,G,I	361	359
P14	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,G,I	395	393
P15	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,I	326	324

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan C:7 sebanyak 2 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P1, P2, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14 dan P15.

Tabel 5.27 Iterasi 14

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427			179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14
3	C:1	4	417	2,968,517.48	11,874,069.92	179,568,297,312.16	P14
4	C:14	2	415	8,865,314.57	17,730,629.15	179,586,027,941.31	P14
5	C:13	2	413	9,558,983.90	19,117,967.80	179,605,145,909.11	P14
6	C:11	3	410	10,812,360.12	32,437,080.37	179,637,582,989.47	P14
7	E:12	2	408	14,109,789.59	28,219,579.18	179,665,802,568.65	P14
8	C:12	2	406	14,493,665.06	28,987,330.12	179,694,789,898.77	P14
9	C:3	5	401	14,772,143.92	73,860,719.62	179,768,650,618.39	P14
10	E:13	2	399	15,627,164.38	31,254,328.76	179,799,904,947.15	P14
11	C:10	2	397	15,962,092.71	31,924,185.42	179,831,829,132.57	P14
12	C:6	2	395	16,654,971.94	33,309,943.88	179,865,139,076.45	P14
13	C:7	2	393	17,694,660.73	35,389,321.46	179,900,528,397.91	P14
14	C:2	5	388	18,310,008.56	91,550,042.81	179,992,078,440.72	P14

Pada Iterasi 14, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 14 dengan menggunakan aktivitas C:2 dengan biaya perhari Rp. 18,310,008.56 dan durasi 5 hari sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 179,992,078,440.72. C:2 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.28 Path List Terbaru setelah Proses *Crashing*

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C:1,H,F,I	333	328
P2	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,D,F,I	333	328
P3	A,B,C:1,C:2,C:3,E:1,G,I	190	185
P4	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,E:2,G,I	225	220
P5	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,E:3,G,I	253	248
P6	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,E:4,G,I	265	260
P7	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,E:5,G,I	277	272
P8	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,E:6,G,I	291	286
P9	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,E:7,G,I	305	300
P10	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,E:8,G,I	317	312
P11	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,E:9,G,I	328	323
P12	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,E:10,G,I	347	342
P13	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,E:11,G,I	359	354
P14	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,G,I	393	388
P15	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,I	324	319

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan C:2 sebanyak 5 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14 dan P15.

Tabel 5.29 Iterasi 15

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427	-	-	179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14
3	C:1	4	417	2,968,517.48	11,874,069.92	179,568,297,312.16	P14
4	C:14	2	415	8,865,314.57	17,730,629.15	179,586,027,941.31	P14
5	C:13	2	413	9,558,983.90	19,117,967.80	179,605,145,909.11	P14
6	C:11	3	410	10,812,360.12	32,437,080.37	179,637,582,989.47	P14
7	E:12	2	408	14,109,789.59	28,219,579.18	179,665,802,568.65	P14
8	C:12	2	406	14,493,665.06	28,987,330.12	179,694,789,898.77	P14
9	C:3	5	401	14,772,143.92	73,860,719.62	179,768,650,618.39	P14
10	E:13	2	399	15,627,164.38	31,254,328.76	179,799,904,947.15	P14
11	C:10	2	397	15,962,092.71	31,924,185.42	179,831,829,132.57	P14
12	C:6	2	395	16,654,971.94	33,309,943.88	179,865,139,076.45	P14
13	C:7	2	393	17,694,660.73	35,389,321.46	179,900,528,397.91	P14
14	C:2	5	388	18,310,008.56	91,550,042.81	179,992,078,440.72	P14
15	C:9	2	386	18,845,034.73	37,690,069.47	180,029,768,510.19	P14

Pada Iterasi 15, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 15 dengan menggunakan aktivitas C:9 dengan biaya perhari Rp. 18,845,034.73 dan durasi 2 hari sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 180,029,768,510.90. C:9 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.30 Path List Terbaru setelah Proses *Crashing*

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C:1,H,F,I	328	326
P2	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,D,F,I	328	326
P3	A,B,C:1,C:2,C:3,E:1,G,I	185	185
P4	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,E:2,G,I	220	220
P5	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,E:3,G,I	248	248
P6	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,E:4,G,I	260	260
P7	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,E:5,G,I	272	272
P8	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,E:6,G,I	286	286
P9	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,E:7,G,I	300	298
P10	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,E:8,G,I	312	310
P11	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,E:9,G,I	323	321
P12	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,E:10,G,I	342	340
P13	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,E:11,G,I	354	352
P14	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,G,I	388	386
P15	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,I	319	317

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan C:9 sebanyak 2 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P1, P2, P9, P10, P11, P12, P13, P14 dan P15.

Tabel 5.31 Iterasi 16

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427			179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14
3	C:1	4	417	2,968,517.48	11,874,069.92	179,568,297,312.16	P14
4	C:14	2	415	8,865,314.57	17,730,629.15	179,586,027,941.31	P14
5	C:13	2	413	9,558,983.90	19,117,967.80	179,605,145,909.11	P14
6	C:11	3	410	10,812,360.12	32,437,080.37	179,637,582,989.47	P14
7	E:12	2	408	14,109,789.59	28,219,579.18	179,665,802,568.65	P14
8	C:12	2	406	14,493,665.06	28,987,330.12	179,694,789,898.77	P14
9	C:3	5	401	14,772,143.92	73,860,719.62	179,768,650,618.39	P14
10	E:13	2	399	15,627,164.38	31,254,328.76	179,799,904,947.15	P14
11	C:10	2	397	15,962,092.71	31,924,185.42	179,831,829,132.57	P14
12	C:6	2	395	16,654,971.94	33,309,943.88	179,865,139,076.45	P14
13	C:7	2	393	17,694,660.73	35,389,321.46	179,900,528,397.91	P14
14	C:2	5	388	18,310,008.56	91,550,042.81	179,992,078,440.72	P14
15	C:9	2	386	18,845,034.73	37,690,069.47	180,029,768,510.19	P14
16	C:8	2	384	18,889,091.52	37,778,183.03	180,067,546,693.22	P14

Pada Iterasi 16, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 16 dengan menggunakan aktivitas C:8 dengan biaya perhari Rp. 18,889,091.52 dan durasi 2 hari sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 180,067,546,693.22. C:8 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.32 Path List Terbaru setelah Proses Crashing

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C:1,H,F,I	326	324
P2	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,D,F,I	326	324
P3	A,B,C:1,C:2,C:3,E:1,G,I	185	185
P4	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,E:2,G,I	220	220
P5	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,E:3,G,I	248	248
P6	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,E:4,G,I	260	260
P7	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,E:5,G,I	272	272
P8	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,E:6,G,I	286	284
P9	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,E:7,G,I	298	296
P10	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,E:8,G,I	310	308
P11	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,E:9,G,I	321	319
P12	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,E:10,G,I	340	338
P13	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,E:11,G,I	352	350
P14	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,G,I	386	384
P15	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,I	317	315

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan C:8 sebanyak 2 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P1, P2, P 8, P9, P10, P11, P12, P13, P14 dan P15.

Tabel 5.33 Iterasi 17

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427	-	-	179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14
3	C:1	4	417	2,968,517.48	11,874,069.92	179,568,297,312.16	P14
4	C:14	2	415	8,865,314.57	17,730,629.15	179,586,027,941.31	P14
5	C:13	2	413	9,558,983.90	19,117,967.80	179,605,145,909.11	P14
6	C:11	3	410	10,812,360.12	32,437,080.37	179,637,582,989.47	P14
7	E:12	2	408	14,109,789.59	28,219,579.18	179,665,802,568.65	P14
8	C:12	2	406	14,493,665.06	28,987,330.12	179,694,789,898.77	P14
9	C:3	5	401	14,772,143.92	73,860,719.62	179,768,650,618.39	P14
10	E:13	2	399	15,627,164.38	31,254,328.76	179,799,904,947.15	P14
11	C:10	2	397	15,962,092.71	31,924,185.42	179,831,829,132.57	P14
12	C:6	2	395	16,654,971.94	33,309,943.88	179,865,139,076.45	P14
13	C:7	2	393	17,694,660.73	35,389,321.46	179,900,528,397.91	P14
14	C:2	5	388	18,310,008.56	91,550,042.81	179,992,078,440.72	P14
15	C:9	2	386	18,845,034.73	37,690,069.47	180,029,768,510.19	P14
16	C:8	2	384	18,889,091.52	37,778,183.03	180,067,546,693.22	P14
17	C:4	4	380	19,198,049.63	76,792,198.54	180,144,338,891.76	P14

Pada Iterasi 17, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 17 dengan menggunakan aktivitas C:4 dengan biaya perhari Rp. 19,198,049.63 dan durasi 4 hari sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 180,144,338,891.76. C:4 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.34 Path List Terbaru setelah Proses *Crashing*

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C1,H,F,I	324	320
P2	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12,C13,C14,D,F,I	324	320
P3	A,B,C1,C2,C3,E1,G,I	185	185
P4	A,B,C1,C2,C3,C4,E2,G,I	220	216
P5	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,E3,G,I	248	244
P6	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,E4,G,I	260	256
P7	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,E5,G,I	272	268
P8	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,E6,G,I	284	280
P9	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,E7,G,I	296	292
P10	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,E8,G,I	308	304
P11	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,E9,G,I	319	315
P12	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12,E10,G,I	338	334
P13	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12,C13,E11,G,I	350	346
P14	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12,C13,C14,E12,E13,E14,G,I	384	380
P15	A,B,C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11,C12,C13,C14,E12,E13,E14,I	315	311

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan C:4 sebanyak 4 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P1, P2, P4, P5, P6, P7 P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14 dan P15.

Tabel 5.35 Iterasi 18

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427	-	-	179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14
3	C:1	4	417	2,968,517.48	11,874,069.92	179,568,297,312.16	P14
4	C:14	2	415	8,865,314.57	17,730,629.15	179,586,027,941.31	P14
5	C:13	2	413	9,558,983.90	19,117,967.80	179,605,145,909.11	P14
6	C:11	3	410	10,812,360.12	32,437,080.37	179,637,582,989.47	P14
7	E:12	2	408	14,109,789.59	28,219,579.18	179,665,802,568.65	P14
8	C:12	2	406	14,493,665.06	28,987,330.12	179,694,789,898.77	P14
9	C:3	5	401	14,772,143.92	73,860,719.62	179,768,650,618.39	P14
10	E:13	2	399	15,627,164.38	31,254,328.76	179,799,904,947.15	P14
11	C:10	2	397	15,962,092.71	31,924,185.42	179,831,829,132.57	P14
12	C:6	2	395	16,654,971.94	33,309,943.88	179,865,139,076.45	P14
13	C:7	2	393	17,694,660.73	35,389,321.46	179,900,528,397.91	P14
14	C:2	5	388	18,310,008.56	91,550,042.81	179,992,078,440.72	P14
15	C:9	2	386	18,845,034.73	37,690,069.47	180,029,768,510.19	P14
16	C:8	2	384	18,889,091.52	37,778,183.03	180,067,546,693.22	P14
17	C:4	4	380	19,198,049.63	76,792,198.54	180,144,338,891.76	P14
18	C:5	2	378	24,697,994.74	49,395,989.48	180,193,734,881.24	P14

Pada Iterasi 18, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 18 dengan menggunakan aktivitas C:5 dengan biaya perhari Rp. 24,697,994.74 dan durasi 2 hari sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 180,193,734,881.24. C:5 merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.36 Path List Terbaru setelah Proses Crashing

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C:1,H,F,I	320	318
P2	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,D,F,I	320	318
P3	A,B,C:1,C:2,C:3,E:1,G,I	185	185
P4	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,E:2,G,I	216	216
P5	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,E:3,G,I	244	242
P6	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,E:4,G,I	256	254
P7	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,E:5,G,I	268	266
P8	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,E:6,G,I	280	278
P9	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,E:7,G,I	292	290
P10	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,E:8,G,I	304	302
P11	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,E:9,G,I	315	313
P12	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,E:10,G,I	334	332
P13	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,E:11,G,I	346	344
P14	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,G,I	380	378
P15	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,I	311	309

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan C:5 sebanyak 2 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P1, P2, P5, P6, P7 P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14 dan P15.

Tabel 5.37 Iterasi 19

Iter	Activity Crashed	Crashed By	Project Duration	Group M/C	Added Cost	Total Cost	New Critical Path
0	-	-	427	-	-	179,545,467,728.00	P14
1	E:14	2	425	1,401,311.30	2,802,622.60	179,548,270,350.60	P14
2	G	4	421	2,038,222.91	8,152,891.64	179,556,423,242.24	P14
3	C:1	4	417	2,968,517.48	11,874,069.92	179,568,297,312.16	P14
4	C:14	2	415	8,865,314.57	17,730,629.15	179,586,027,941.31	P14
5	C:13	2	413	9,558,983.90	19,117,967.80	179,605,145,909.11	P14
6	E:11	3	410	10,812,360.12	32,437,080.37	179,637,582,989.47	P14
7	E:12	2	408	14,109,789.59	28,219,579.18	179,665,802,568.65	P14
8	C:12	2	406	14,493,665.06	28,987,330.12	179,694,789,898.77	P14
9	C:3	5	401	14,772,143.92	73,860,719.62	179,768,650,618.39	P14
10	E:13	2	399	15,627,164.38	31,254,328.76	179,799,904,947.15	P14
11	C:10	2	397	15,962,092.71	31,924,185.42	179,831,829,132.57	P14
12	C:6	2	395	16,654,971.94	33,309,943.88	179,865,139,076.45	P14
13	C:7	2	393	17,694,660.73	35,389,321.46	179,900,528,397.91	P14
14	C:2	5	388	18,310,008.56	91,550,042.81	179,992,078,440.72	P14
15	C:9	2	386	18,845,034.73	37,690,069.47	180,029,768,510.19	P14
16	C:8	2	384	18,889,091.52	37,778,183.03	180,067,546,693.22	P14
17	C:4	4	380	19,198,049.63	76,792,198.54	180,144,338,891.76	P14
18	C:5	2	378	24,697,994.74	49,395,989.48	180,193,734,881.24	P14
19	B	2	376	90,379,984.08	180,759,968.15	180,374,494,849.39	P14

Pada Iterasi 19, dilakukan aktivitas *Crashing* atau percepatan Iterasi 18 dengan menggunakan aktivitas B dengan biaya perhari Rp. 90,379,984.08 dan durasi 2 hari sesuai dengan tabel diatas. Didapatkan biaya total sebesar Rp 180,374494,849.39. B merupakan aktivitas dengan biaya *crash* terkecil.

Tabel 5.38 *Path List* Terbaru setelah Proses *Crashing*

Path Name	Path List	Duration	Duration After Crash
P1	A,B,C:1,H,F,I	318	316
P2	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,D,F,I	318	316
P3	A,B,C:1,C:2,C:3,E:1,G,I	185	183
P4	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,E:2,G,I	216	214
P5	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,E:3,G,I	242	240
P6	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,E:4,G,I	254	252
P7	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,E:5,G,I	266	264
P8	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,E:6,G,I	278	276
P9	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,E:7,G,I	290	288
P10	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,E:8,G,I	302	300
P11	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,E:9,G,I	313	311
P12	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,E:10,G,I	332	330
P13	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,E:11,G,I	344	342
P14	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,G,I	378	376
P15	A,B,C:1,C:2,C:3,C:4,C:5,C:6,C:7,C:8,C:9,C:10,C:11,C:12,C:13,C:14,E:12,E:13,E:14,I	309	307

Pada Tabel diatas, terjadi perubahan Durasi setelah terjadinya proses *Crashing* dikarenakan pengurangan B sebanyak 2 hari. *Path List* yang mengalami perubahan antara lain P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14 dan P15.

Setelah melalui beberapa Iterasi yaitu 19 Iterasi, proses percepatan atau *Crashing* menggunakan *Crashing Algorithm* bisa dihentikan. Ini dikarenakan seluruh aktivitas di Jalur Kritis atau *Critical Path* telah dilakukan proses percepatan, sehingga tidak adal lagi aktivitas yang bisa dipercepat.

Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa Hasil dari proses percepatan Proyek Pembangunan Universitas Kristen Petra Surabaya oleh PT. Pembangunan Perumahan (Persero) adalah sebagai berikut :

Tabel 5.39 Tabel Perbandingan Biaya dan Durasi Normal serta *Crash* Pada Proyek

No	Biaya Total		Durasi	
	Normal	Crash	Normal	Crash
1	179,545,467,728	180,374,494,849	427	376

Pada tabel diatas, didapatkan kesimpulan bahwa percepatan Optimal dari Proyek Pembangunan Universitas Kristen Petra Surabaya oleh PT. Pembangunan Perumahan (Persero) yaitu berdurasi **376** hari, berkurang sebanyak **51** hari dari waktu normal yaitu sebesar **427** hari. Untuk biaya total setelah percepatan adalah sebesar Rp. 180,374,494,000, naik sebanyak 0.46% dari biaya normal yaitu sebesar Rp. 179,545,467,728.00.

Untuk biaya total setelah proses pembulatan dan PPn sebesar 10%, didapatkan biaya total sebesar **Rp. 198,412,500,000.00** dengan kenaikan biaya sebesar **Rp. 829.027.121,00** sebagai konsekuensi dari terjadinya proses *crashing* menggunakan *Crashing Algorithm*. Untuk Network Diagram serta Tabel Aktivitas terbaru dapat dilihat di Lampiran C.

5.2 Penyelesaian Menggunakan *Linear Programming*

Pada metode pembandingnya, menggunakan *Linear Programming* sebagai metode pembanding dari *Crashing Algorithm*. Nantinya, hasil pada *Linear Programming* akan dibandingkan dengan *Crashing Algorithm*, sehingga dapat diambil kesimpulan terkait dengan metode yang lebih efektif. Data terkait fungsi tujuan dan fungsi kendalan telah dibahas di Bab sebelumnya, sehingga untuk fungsi yang ditulis pada LINDO yang dapat dilihat pada lampiran A.

Dengan menggunakan aplikasi LINDO, didapatkan hasil sebagai berikut:

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 34

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 829027121.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
YA	0.000000	0.000000
YB	2.000000	90379984.000000
YC1	4.000000	2968517.500000
YC2	5.000000	18310008.000000
YC3	5.000000	14772144.000000
YC4	4.000000	19198050.000000
YC5	2.000000	24697994.000000
YC6	2.000000	16654972.000000
YC7	2.000000	17694660.000000
YC8	2.000000	18889092.000000
YC9	2.000000	18845034.000000
YC10	2.000000	15962093.000000

YC11	3.000000	10812360.000000
YC12	2.000000	14493665.000000
YC13	2.000000	9558984.000000
YC14	3.000000	8865315.000000
YD	0.000000	0.000000
YE1	0.000000	0.000000
YE2	0.000000	0.000000
YE3	0.000000	0.000000
YE4	0.000000	0.000000
YE5	0.000000	0.000000
YE6	0.000000	0.000000
YE7	0.000000	0.000000
YE8	0.000000	0.000000
YE9	0.000000	0.000000
YE10	0.000000	0.000000
YE11	0.000000	0.000000
YE12	3.000000	14109790.000000
YE13	3.000000	15627164.000000
YE14	3.000000	1401311.250000
YF	0.000000	0.000000
YG	4.000000	2038222.875000
YH	0.000000	0.000000
YI	0.000000	0.000000
XA	0.000000	0.000000
XB	0.000000	12.000000
XC1	0.000000	24.000000
XH	0.000000	0.000000
XC2	0.000000	30.000000
XC3	0.000000	30.000000
XE1	0.000000	0.000000
XC4	0.000000	24.000000
XC5	0.000000	12.000000
XE2	0.000000	0.000000
XC6	0.000000	12.000000
XE3	0.000000	0.000000
XC7	0.000000	12.000000
XE4	0.000000	0.000000
XC8	0.000000	12.000000

XE5	0.000000	0.000000
XC9	0.000000	12.000000
XE6	0.000000	0.000000
XC10	0.000000	12.000000
XE7	0.000000	0.000000
XC11	0.000000	18.000000
XE8	0.000000	0.000000
XC12	0.000000	12.000000
XE9	0.000000	0.000000
XC13	0.000000	12.000000
XE10	0.000000	0.000000
XC14	0.000000	12.000000
XE11	0.000000	14.000000
XD	0.000000	26.000000
XE12	0.000000	0.000000
XE13	0.000000	12.000000
XE14	0.000000	12.000000
XF	0.000000	0.000000
XG	0.000000	80.000000
XH	0.000000	0.000000
XI	0.000000	0.000000
NO. ITERATIONS=	34	

Pada proses LINDO, didapatkan *objective value* atau hasil proses sebesar 829027121.0000000 atau melambangkan besaran biaya sebesar Rp. 829.027.121,00 yang merupakan biaya tambahan yang didapat ketika proses *crashing* dilakukan. Dalam skenario LINDO diatas, kita dapat menyimpulkan beberapa proses, diantaranya :

1. Total Iterasi yang terjadi sebanyak 34, yang merupakan rangkuman dari beberapa kegiatan diantaranya penyusunan *Network Scheduling*, menentukan *Critical Path*, melakukan proses *crashing* dan menyimpulkan total biaya *crashing* serta durasi dari aktivitas terbaru
2. Pada variabel Y, merupakan notasi dari biaya yang dikeluarkan per aktivitas yang mengalami *crashing*, dapat ditunjukkan dari beberapa aktivitas bernotasi Y diantaranya

$Y_A, Y_B, Y_{C1}, Y_{C2}, Y_{C3}, Y_{C4}, Y_{C5}, Y_{C6}, Y_{C7}, Y_{C8}, Y_{C9}, Y_{C10}, Y_{C11}, Y_{C12}, Y_{C13}, Y_{C14}, Y_{E12}, Y_{E13}, Y_{E14}, Y_G$ dan Y_1 . Aktivitas dengan notasi diatas merupakan aktivitas dengan *critical path*, sehingga besaran biaya *crashing* per harinya ditampilkan pada tiap iterasi yang ada dihasil running menggunakan LINDO, sedangkan untuk aktivitas lain yang bukan merupakan *critical path*, untuk value cost nya 0 dikarenakan tidak mengalami proses *crashing*.

3. Pada Variabel X , merupakan notasi yang melambangkan durasi terbaru dari tiap aktivitas setelah dilakukannya proses *crashing*. Durasi tersebut nantinya akan menjadi durasi terbaru dari durasi pengerjaan proyek. Dapat dilihat durasi yang memiliki nilai adalah durasi yang berada pada *critical path*, sedangkan durasi yang tidak berada pada *critical path* bernilai 0 dan dianggap memiliki durasi normal seperti pada fungsi kendala yang dimasukkan pada program LINDO sebagai fungsi kendala yang membentuk *network scheduling*. Dari hasil *running* menggunakan program LINDO, didapatkan durasi dari proses *crashing* optimal dipercepat sebanyak 51 hari yang merupakan total durasi yang mengalami reduksi dari durasi normal tiap aktivitas, dengan data reduksi berasal dari fungsi kendala yang dimasukkan dalam program LINDO berdasarkan data yang didapatkan ada proses identifikasi sistem.
4. Untuk aktivitas lain seperti pembentukan *network scheduling*, penentuan *critical path*, tidak dapat diamati dikarenakan berada pada mekanisme internal dari program LINDO, namun dapat disimpulkan bahwa aktivitas yang mengalami proses *crashing* hanya aktivitas yang berada pada *critical path*, sesuai dengan *critical path* yang telah diselesaikan melalui metode *Crashing Algorithm*.



-----halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB VI PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data diatas, didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya :

1. Durasi percepatan optimal proyek yaitu sebesar 376 hari kerja dari durasi normal sebesar 427 hari. Mengalami percepatan sebesar 51 hari atau 11,94% dari total durasi sebelumnya.
2. Biaya proses percepatan menggunakan Crashing Algorithm adalah sebesar Rp. 829.027.121,00. Dari biaya total sebelum proses percepatan sebesar Rp. 179.545.467.728,00 menjadi Rp.180.374.494.849,00 atau mengalami kenaikan sebesar 0,46% dari total biaya pada kondisi normal.
3. Dalam penggunaan Linear Programming, didapatkan hasil berupa *cost value* optimal dari hasil *running* adalah sebesar Rp. 829.027.121,00 dengan total durasi dipercepat sebanyak 51 hari dari 34 iterasi yang dilakukan.
4. Hasil yang didapatkan dalam masing – masing metode adalah sama, yaitu total biaya percepatan adalah sebesar Rp. 829.027.121,00 menjadi total biaya sebesar Rp. 180,374,494,849.00. Sedangkan durasi mengalami pengurangan sebesar 51 hari menjadi 376 hari.
5. Tidak terjadi perubahan Critical Path pada tiap iterasi yang dilakukan, baik menggunakan *Crashing Algorithm*, maupun menggunakan *Linear Programming*.
6. Penggunaan *Crashing Algorithm* relatif lebih mudah, dikarenakan selain pada proses iterasinya selalu menggunakan *Critical Path* yang sama, dengan *Crashing Algorithm* tidak perlu melakukan permodelan matematika terlebih dahulu, sehingga lebih mudah untuk dilakukan dibandingkan dengan metode lain, seperti *Linear Programming*.

5.2. Rekomendasi

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa dari Tugas Akhir ini dapat dirumuskan beberapa rekomendasi untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Melakukan uji metode Crashing Algorithm terhadap kasus lain, terutama untuk kasus yang kompleks seperti mengalami pergeseran Critical Path pada proses iterasi di Crashing Algorithm.
2. Menambahkan klasifikasi pengaruh percepatan atau Crashing Algorithm dengan Quality atau Kualitas dari pengerjaan di tiap aktivitas yang dipercepat, sehingga mampu mendapatkan kesimpulan serta perbandingan dari 3 sisi, yaitu durasi, biaya serta kualitas dari percepatan proyek.

LAMPIRAN A

MODEL MATEMATIKA DARI FUNGSI KENDALA LINEAR PROGRAMMING

Untuk fungsi kendala, terdapat beberapa fungsi kendala, dapat dibagi menjadi 2 kategori kendala, diantaranya adalah :

1. Fungsi Kendala berdasarkan durasi normal tiap aktivitas

Adapun Fungsi kendala adalah sebagai berikut :

- $X_A + 0 = 21$
- $X_B + Y_A \leq 14$
- $X_{C1} + Y_A \leq 28$
- $X_H + Y_B \leq 28$
- $X_{C2} + Y_B \leq 35$
- $X_{C3} + Y_{C1} \leq 35$
- $X_{E1} + Y_{C2} \leq 35$
- $X_{C4} + Y_{C2} \leq 28$
- $X_{C5} + Y_{C3} \leq 28$
- $X_{E2} + Y_{C3} \leq 14$
- $X_{C6} + Y_{C4} \leq 14$
- $X_{E3} + Y_{C4} \leq 14$
- $X_{C7} + Y_{C5} \leq 14$
- $X_{E4} + Y_{C5} \leq 14$
- $X_{C8} + Y_{C6} \leq 14$
- $X_{E5} + Y_{C6} \leq 14$
- $X_{C9} + Y_{C7} \leq 14$
- $X_{E6} + Y_{C7} \leq 14$
- $X_{C10} + Y_{C8} \leq 14$
- $X_{E7} + Y_{C8} \leq 14$
- $X_{C11} + Y_{C9} \leq 21$
- $X_{E8} + Y_{C9} \leq 21$
- $X_{C12} + Y_{C10} \leq 14$
- $X_{E9} + Y_{C10} \leq 14$
- $X_{C13} + Y_{C11} \leq 14$
- $X_{E10} + Y_{C11} \leq 14$
- $X_{C14} + Y_{C12} \leq 21$

- $X_{E11} + Y_{C12} \leq 21$
- $X_D + Y_{C13} \leq 14$
- $X_{E12} + Y_{C13} \leq 14$
- $X_{E13} + Y_{E13} \leq 14$
- $X_{E14} + Y_{E14} \leq 14$
- $X_G + Y_{E1} \leq 14$
- $X_G + Y_{E2} \leq 14$
- $X_G + Y_{E3} \leq 14$
- $X_G + Y_{E4} \leq 14$
- $X_G + Y_{E5} \leq 14$
- $X_G + Y_{E6} \leq 14$
- $X_G + Y_{E7} \leq 14$
- $X_G + Y_{E8} \leq 14$
- $X_G + Y_{E9} \leq 14$
- $X_G + Y_{E10} \leq 14$
- $X_G + Y_{E11} \leq 14$
- $X_G + Y_{E12} \leq 14$
- $X_G + Y_{E13} \leq 14$
- $X_G + Y_{E14} \leq 14$
- $X_F + Y_F \leq 28$
- $X_D + Y_F \leq 28$
- $X_{E:14} + Y_G \leq 14$
- $X_{E:13} + Y_{E14} \leq 14$
- $X_{C:1} + Y_H \leq 273$

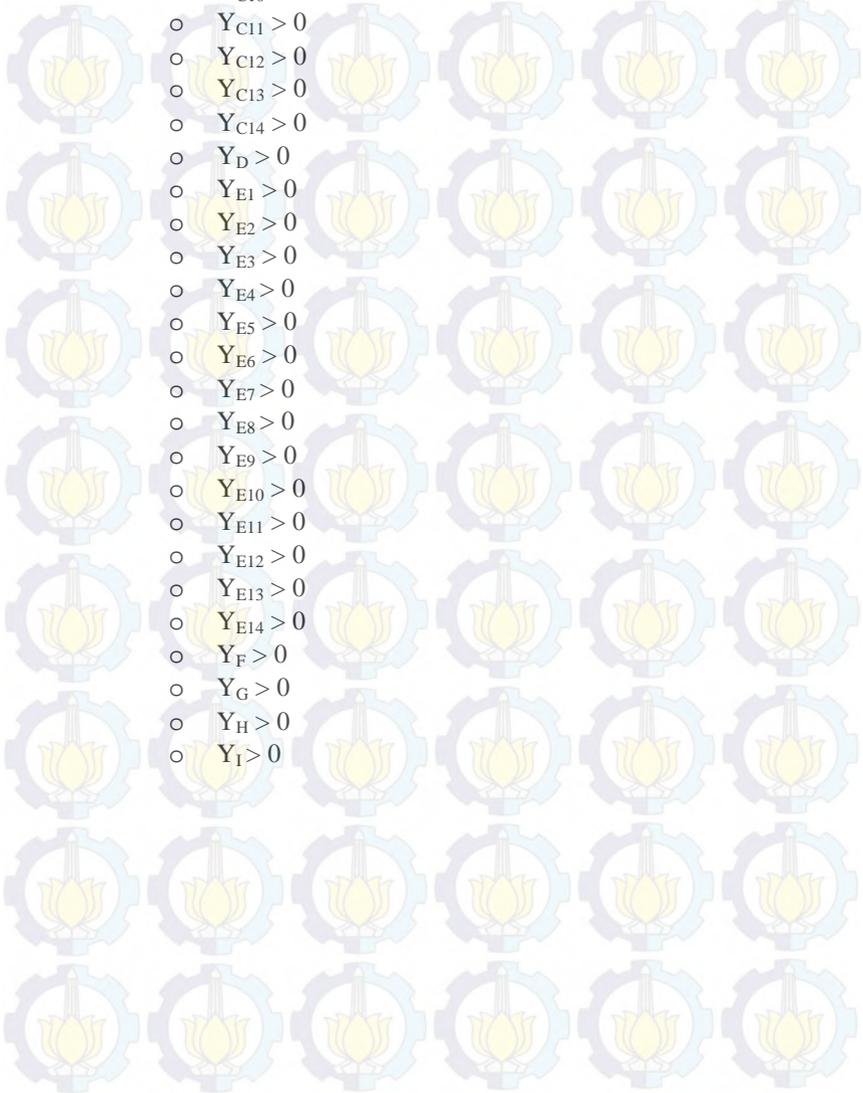
Fungsi Kendala diatas digunakan untuk membentuk *network scheduling* utama dari aktivitas – aktivitas yang ada, sehingga dapat ditemukan *critical path* untuk melakukan proses *crashing*.

2. Fungsi Kendala berdasarkan durasi maksimal *crashing*
Adapun Fungsi Kendala adalah sebagai berikut :

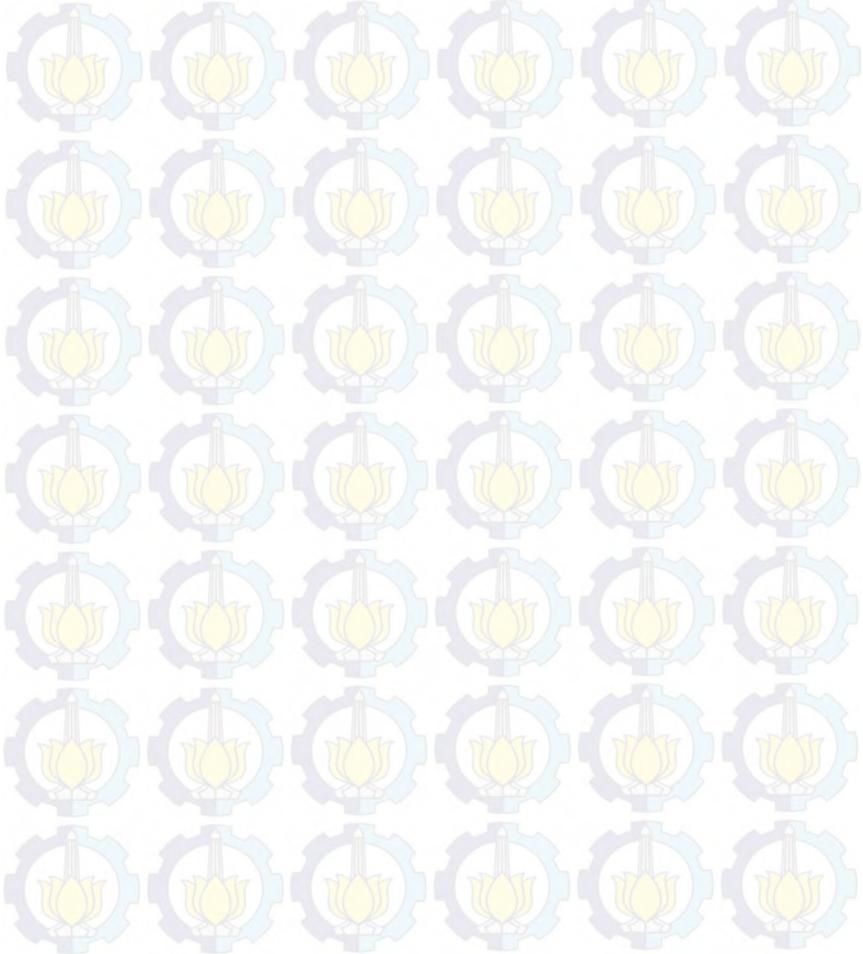
- | | |
|-------------------|-------------------|
| ○ $Y_A \leq 0$ | ○ $Y_{C3} \leq 5$ |
| ○ $Y_B \leq 2$ | ○ $Y_{C4} \leq 4$ |
| ○ $Y_{C1} \leq 4$ | ○ $Y_{C5} \leq 4$ |
| ○ $Y_{C2} \leq 5$ | ○ $Y_{C6} \leq 2$ |

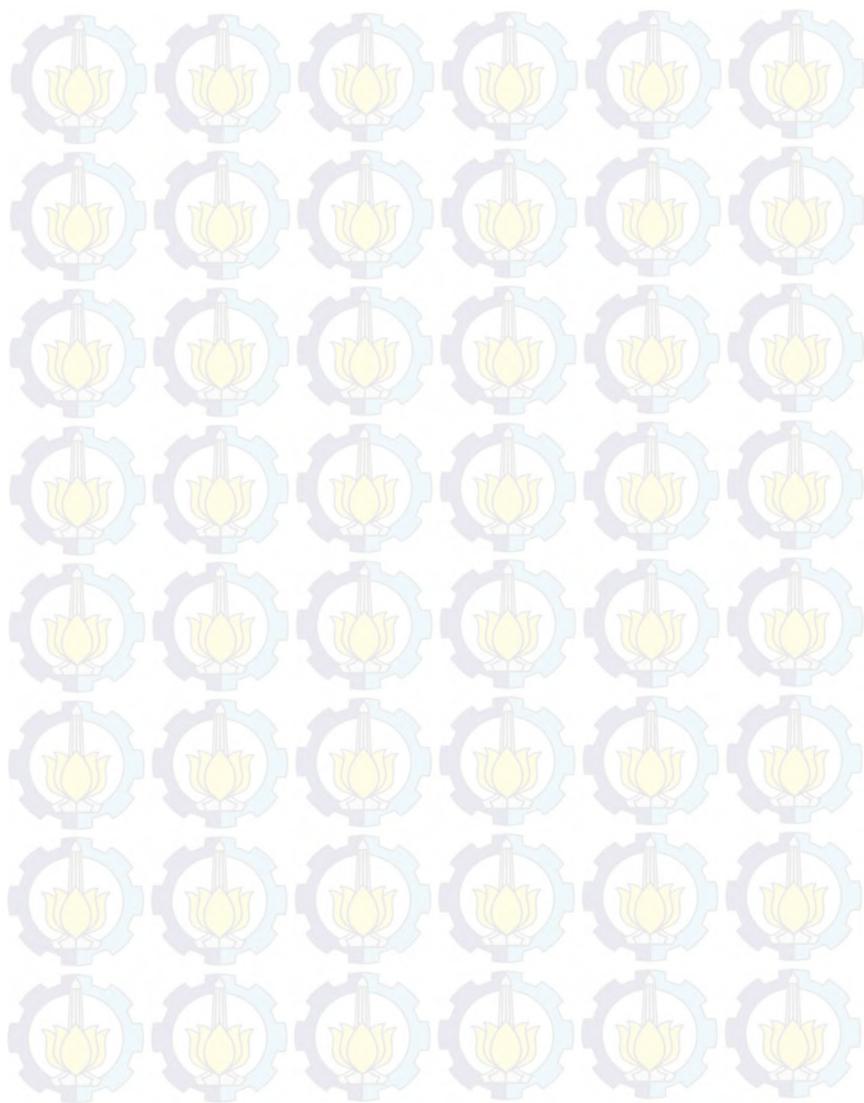
- $Y_{C7} \leq 2$
- $Y_{C8} \leq 2$
- $Y_{C9} \leq 2$
- $Y_{C10} \leq 2$
- $Y_{C11} \leq 2$
- $Y_{C12} \leq 3$
- $Y_{C13} \leq 2$
- $Y_{C14} \leq 2$
- $Y_D \leq 2$
- $Y_{E1} \leq 2$
- $Y_{E2} \leq 2$
- $Y_{E3} \leq 2$
- $Y_{E4} \leq 2$
- $Y_{E5} \leq 2$
- $Y_{E6} \leq 2$
- $Y_{E7} \leq 2$
- $Y_{E8} \leq 2$
- $Y_{E9} \leq 2$
- $Y_{E10} \leq 2$
- $Y_{E11} \leq 2$
- $Y_{E12} \leq 2$
- $Y_{E13} \leq 2$
- $Y_{E14} \leq 2$
- $Y_F \leq 3$
- $Y_G \leq 4$
- $Y_H \leq 0$
- $Y_I \leq 0$
- $X_A > 0$
- $X_B > 0$
- $X_{C1} > 0$
- $X_{C2} > 0$
- $X_{C3} > 0$
- $X_{C4} > 0$
- $X_{C5} > 0$
- $X_{C6} > 0$
- $X_{C7} > 0$
- $X_{C8} > 0$
- $X_{C9} > 0$
- $X_{C10} > 0$
- $X_{C11} > 0$
- $X_{C12} > 0$
- $X_{C13} > 0$
- $X_{C14} > 0$
- $X_D > 0$
- $X_{E1} > 0$
- $X_{E2} > 0$
- $X_{E3} > 0$
- $X_{E4} > 0$
- $X_{E5} > 0$
- $X_{E6} > 0$
- $X_{E7} > 0$
- $X_{E8} > 0$
- $X_{E9} > 0$
- $X_{E10} > 0$
- $X_{E11} > 0$
- $X_{E12} > 0$
- $X_{E13} > 0$
- $X_{E14} > 0$
- $X_F > 0$
- $X_G > 0$
- $X_H > 0$
- $X_I > 0$
- $Y_A > 0$
- $Y_B > 0$
- $Y_{C1} > 0$
- $Y_{C2} > 0$
- $Y_{C3} > 0$
- $Y_{C4} > 0$
- $Y_{C5} > 0$
- $Y_{C6} > 0$
- $Y_{C7} > 0$
- $Y_{C8} > 0$

- $Y_{C9} > 0$
- $Y_{C10} > 0$
- $Y_{C11} > 0$
- $Y_{C12} > 0$
- $Y_{C13} > 0$
- $Y_{C14} > 0$
- $Y_D > 0$
- $Y_{E1} > 0$
- $Y_{E2} > 0$
- $Y_{E3} > 0$
- $Y_{E4} > 0$
- $Y_{E5} > 0$
- $Y_{E6} > 0$
- $Y_{E7} > 0$
- $Y_{E8} > 0$
- $Y_{E9} > 0$
- $Y_{E10} > 0$
- $Y_{E11} > 0$
- $Y_{E12} > 0$
- $Y_{E13} > 0$
- $Y_{E14} > 0$
- $Y_F > 0$
- $Y_G > 0$
- $Y_H > 0$
- $Y_I > 0$



Fungsi Kendala diatas digunakan untuk menotasikan batas maksimal crashing per hari yang diperbolehkan, serta antinegasi yang menotasikan bahwa tiap tiap variabel bernilai lebih besar dari 0. Pada prosesnya, fungsi kendala diatas sebagai data utama untuk menjalankan program pada LINDO, hingga nantinya dapat diambil hasil paling optimal dari fungsi tujuan yang dibentuk.





LAMPIRAN B

MODEL PADA LINDO DALAM PENYELESAIAN MENGUNAKAN LINEAR PROGRAMMING

Untuk model matematika, baik fungsi tujuan maupun fungsi kendala yang dimasukkan dalam LINDO untuk mencari solusi dari permasalahan Crashing adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } & 0Y_A + 90379984.08Y_B + 2968517.48Y_{C:1} + 18310008.56Y_{C:2} \\ & + 14772,143.92Y_{C:3} + 19198049.63Y_{C:4} + 24697994.74Y_{C:5} + \\ & 16654971.94Y_{C:6} + 17694660.73Y_{C:7} + 18889091.52Y_{C:8} + \\ & 18,845,034.73Y_{C:9} + 15962092.71Y_{C:10} + 10812360.12Y_{C:11} + \\ & 14493665.06Y_{C:12} + 9558983.90Y_{C:13} + 8865314.57Y_{C:14} + \\ & 273380972,85Y_D + 39544172.39Y_{E:1} + 27803942.61Y_{E:2} + \\ & 40771426.36Y_{E:3} + 100574251.79Y_{E:4} + 63182516.75Y_{E:5} + \\ & 30445162.06Y_{E:6} + 30690122.09Y_{E:7} + 33715605.69Y_{E:8} + \\ & 33146790.55Y_{E:9} + 24455392.34Y_{E:10} + 29614723.69Y_{E:11} + \\ & 14109789.59Y_{E:12} + 15627164.38Y_{E:13} + 1401311.30Y_{E:14} + \\ & 198854633,67Y_F + 2038222,91Y_G + 0Y_H + 0Y_I \end{aligned}$$

Sets

$$\begin{aligned} X_A + 0 & \leq 21 \\ X_B + Y_A & \leq 14 \\ X_{C1} + Y_A & \leq 28 \\ X_H + Y_B & \leq 28 \\ X_{C2} + Y_B & \leq 35 \\ X_{C3} + Y_{C1} & \leq 35 \\ X_{E1} + Y_{C2} & \leq 35 \\ X_{C4} + Y_{C2} & \leq 28 \\ X_{C5} + Y_{C3} & \leq 28 \\ X_{E2} + Y_{C3} & \leq 14 \\ X_{C6} + Y_{C4} & \leq 14 \\ X_{E3} + Y_{C4} & \leq 14 \\ X_{C7} + Y_{C5} & \leq 14 \\ X_{E4} + Y_{C5} & \leq 14 \\ X_{C8} + Y_{C6} & \leq 14 \end{aligned}$$

$$X_{E5} + Y_{C6} \leq 14$$

$$X_{C9} + Y_{C7} \leq 14$$

$$X_{E6} + Y_{C7} \leq 14$$

$$X_{C10} + Y_{C8} \leq 14$$

$$X_{E7} + Y_{C8} \leq 14$$

$$X_{C11} + Y_{C9} \leq 21$$

$$X_{E8} + Y_{C9} \leq 21$$

$$X_{C12} + Y_{C10} \leq 14$$

$$X_{E9} + Y_{C10} \leq 14$$

$$X_{C13} + Y_{C11} \geq 14$$

$$X_{E10} + Y_{C11} \geq 14$$

$$X_{C14} + Y_{C12} \leq 21$$

$$X_{E11} + Y_{C12} \leq 21$$

$$X_D + Y_{C13} \leq 14$$

$$X_{E12} + Y_{C13} \leq 14$$

$$X_{E13} + Y_{E13} \leq 14$$

$$X_{E14} + Y_{E14} \leq 14$$

$$X_G + Y_{E1} \leq 14$$

$$X_G + Y_{E2} \leq 14$$

$$X_G + Y_{E3} \leq 14$$

$$X_G + Y_{E4} \leq 14$$

$$X_G + Y_{E5} \leq 14$$

$$X_G + Y_{E6} \leq 14$$

$$X_G + Y_{E7} \leq 14$$

$$X_G + Y_{E8} \leq 14$$

$$X_G + Y_{E9} \leq 14$$

$$X_G + Y_{E10} \leq 14$$

$$X_G + Y_{E11} \leq 14$$

$$X_G + Y_{E12} \leq 14$$

$$X_G + Y_{E13} \leq 14$$

$$X_G + Y_{E14} \leq 14$$

$$X_F + Y_F \leq 28$$

$$X_D + Y_F \leq 28$$

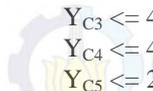
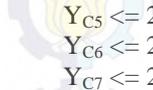
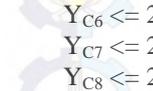
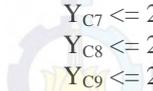
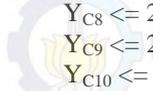
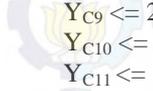
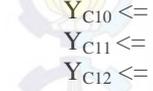
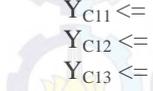
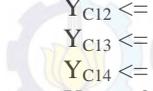
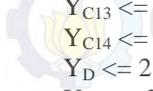
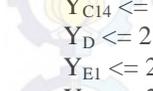
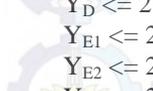
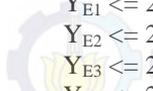
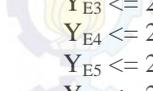
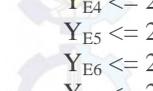
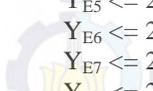
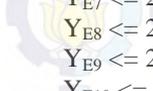
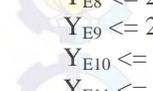
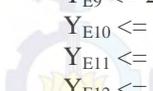
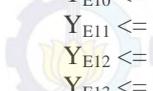
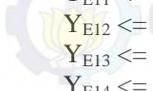
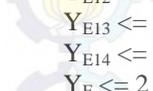
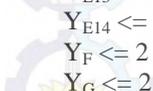
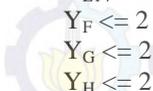
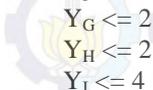
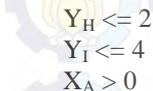
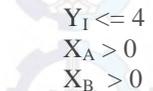
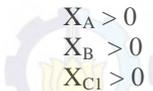
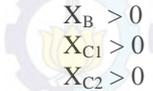
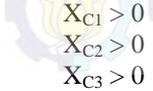
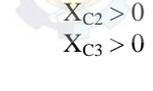
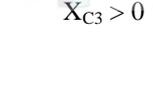
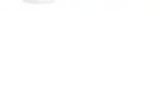
$$X_{E:14} + Y_G \leq 14$$

$$X_{E:13} + Y_{E14} \leq 14$$

$$X_{C:1} + Y_H \leq 273$$

$$Y_A \leq 0$$

$$Y_B \leq 4$$

$Y_{C1} \leq 5$					
$Y_{C2} \leq 5$					
$Y_{C3} \leq 4$					
$Y_{C4} \leq 4$					
$Y_{C5} \leq 2$					
$Y_{C6} \leq 2$					
$Y_{C7} \leq 2$					
$Y_{C8} \leq 2$					
$Y_{C9} \leq 2$					
$Y_{C10} \leq 2$					
$Y_{C11} \leq 3$					
$Y_{C12} \leq 2$					
$Y_{C13} \leq 2$					
$Y_{C14} \leq 2$					
$Y_D \leq 2$					
$Y_{E1} \leq 2$					
$Y_{E2} \leq 2$					
$Y_{E3} \leq 2$					
$Y_{E4} \leq 2$					
$Y_{E5} \leq 2$					
$Y_{E6} \leq 2$					
$Y_{E7} \leq 2$					
$Y_{E8} \leq 2$					
$Y_{E9} \leq 2$					
$Y_{E10} \leq 2$					
$Y_{E11} \leq 2$					
$Y_{E12} \leq 2$					
$Y_{E13} \leq 2$					
$Y_{E14} \leq 2$					
$Y_F \leq 2$					
$Y_G \leq 2$					
$Y_H \leq 2$					
$Y_I \leq 4$					
$X_A > 0$					
$X_B > 0$					
$X_{C1} > 0$					
$X_{C2} > 0$					
$X_{C3} > 0$					

$$X_{C4} > 0$$

$$X_{C5} > 0$$

$$X_{C6} > 0$$

$$X_{C7} > 0$$

$$X_{C8} > 0$$

$$X_{C9} > 0$$

$$X_{C10} > 0$$

$$X_{C11} > 0$$

$$X_{C12} > 0$$

$$X_{C13} > 0$$

$$X_{C14} > 0$$

$$X_D > 0$$

$$X_{E1} > 0$$

$$X_{E2} > 0$$

$$X_{E3} > 0$$

$$X_{E4} > 0$$

$$X_{E5} > 0$$

$$X_{E6} > 0$$

$$X_{E7} > 0$$

$$X_{E8} > 0$$

$$X_{E9} > 0$$

$$X_{E10} > 0$$

$$X_{E11} > 0$$

$$X_{E12} > 0$$

$$X_{E13} > 0$$

$$X_{E14} > 0$$

$$X_F > 0$$

$$X_G > 0$$

$$X_H > 0$$

$$X_I > 0$$

$$Y_A > 0$$

$$Y_B > 0$$

$$Y_{C1} > 0$$

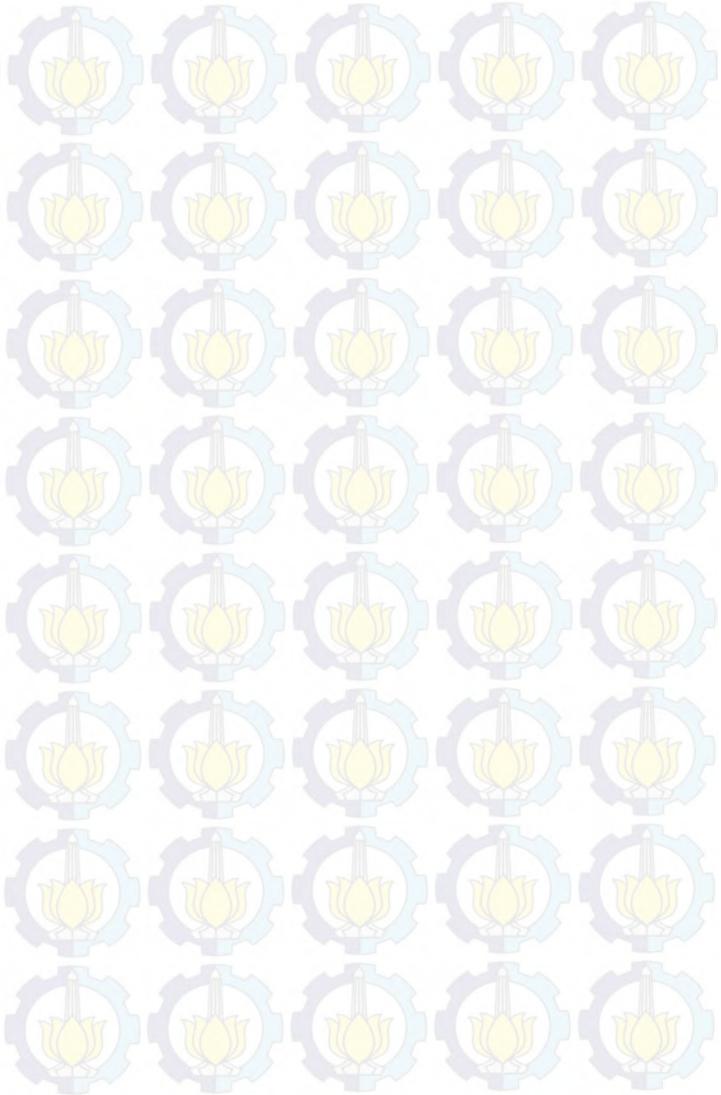
$$Y_{C2} > 0$$

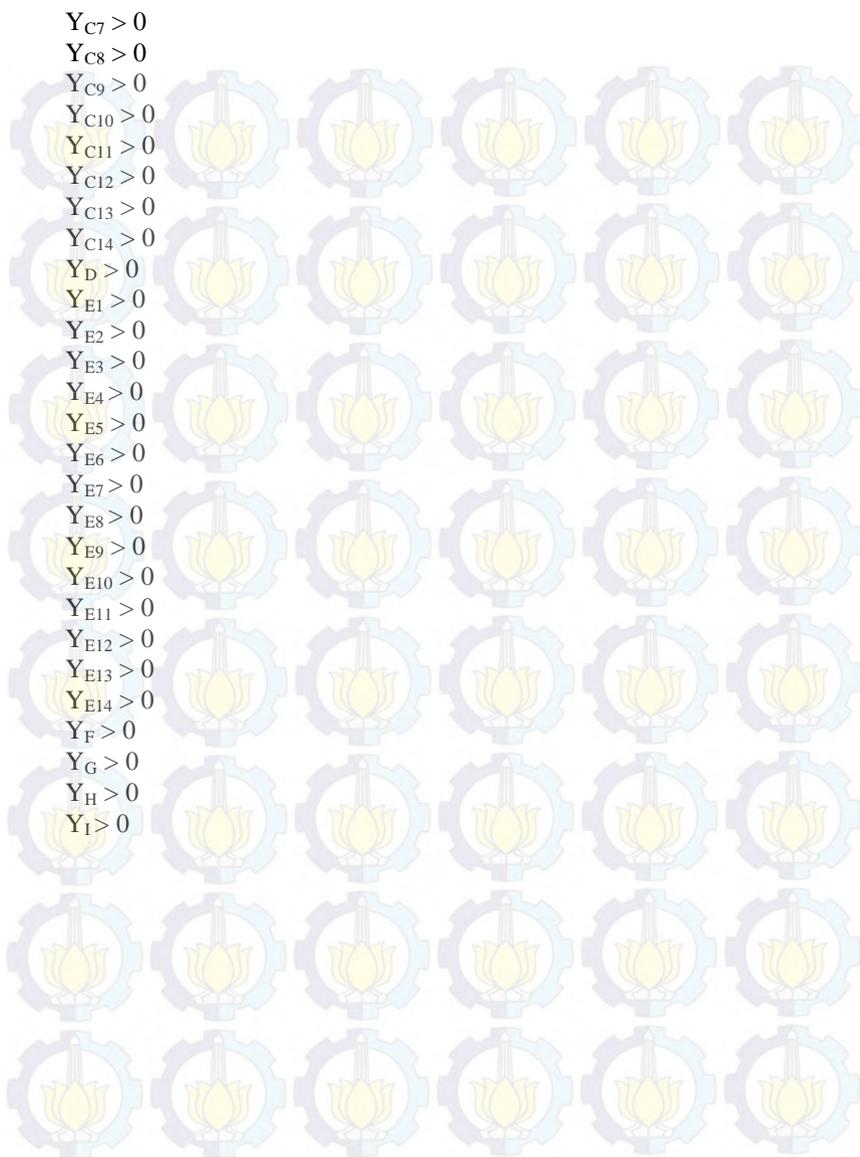
$$Y_{C3} > 0$$

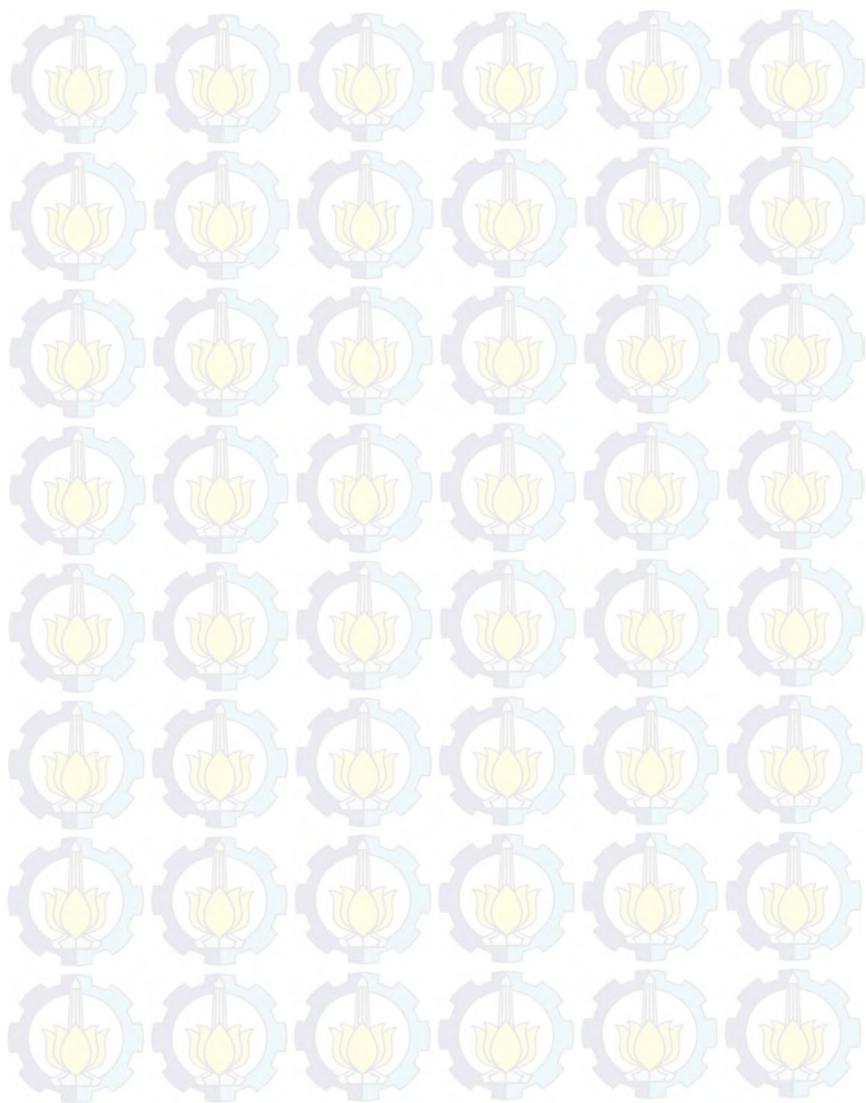
$$Y_{C4} > 0$$

$$Y_{C5} > 0$$

$$Y_{C6} > 0$$







LAMPIRAN C

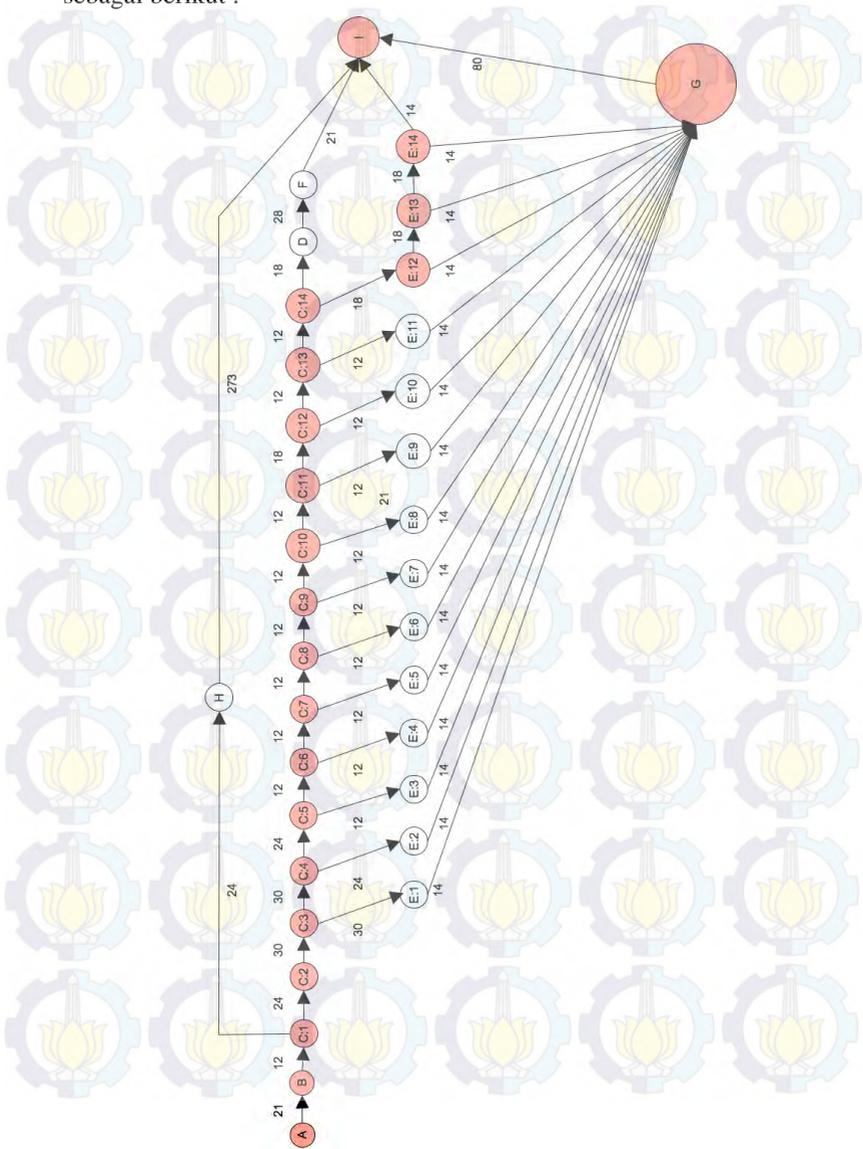
DATA AKTIVITAS SERTA NETWORK DIAGRAM TERBARU

Untuk data durasi aktivitas terbaru, serta Network Diagram atau Scheduling dari pengerjaan proyek, dapat dilihat sebagai berikut :

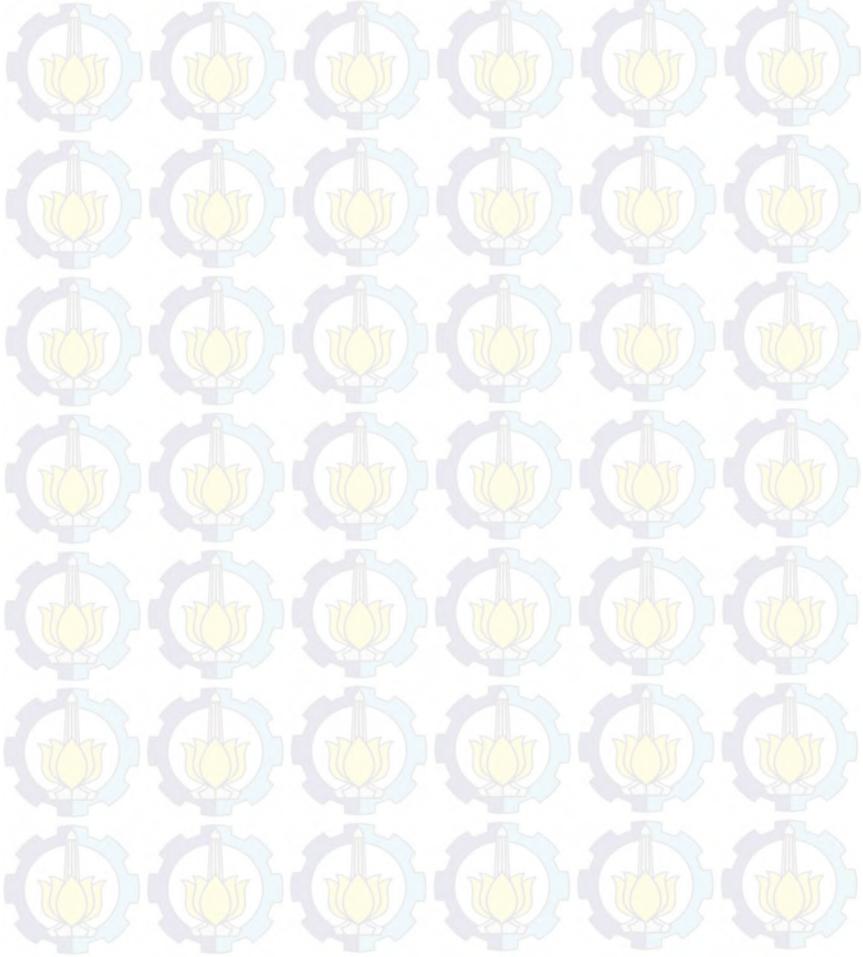
AKTIVITAS	DESKRIPSI	PREDECESSOR	DURASI (Hari)	DURASI TERBARU (Hari)
A	Persiapan	-	21	21
B	Perkerjaan Tanah	A	14	12
C:1	Pekerjaan Struktur Beton Semi Basement	B	28	24
C:2	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 1	C:1	35	30
C:3	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 2	C:2	35	30
C:4	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 3	C:3	28	24
C:5	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 4	C:4	14	12
C:6	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 5	C:5	14	12
C:7	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 6	C:6	14	12
C:8	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 7	C:7	14	12
C:9	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 8	C:8	14	12
C:10	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 9	C:9	14	12
C:11	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 10	C:10	21	18
C:12	Pekerjaan Struktur Beton Lantai 11	C:11	14	12
C:13	Pekerjaan Struktur	C:12	14	12

	Beton Lantai 12			
C:14	Pekerjaan Struktur Beton Lantai Atap	C:13	14	12
D	Pekerjaan Struktur Baja	C:14	28	28
E:1	Pekerjaan Arsitektur Semi Basement	C:3	14	14
E:2	Pekerjaan Arsitektur Lantai 1	C:4	14	14
E:3	Pekerjaan Arsitektur Lantai 2	C:5	14	14
E:4	Pekerjaan Arsitektur Lantai 3	C:6	14	14
E:5	Pekerjaan Arsitektur Lantai 4	C:7	14	14
E:6	Pekerjaan Arsitektur Lantai 5	C:8	14	14
E:7	Pekerjaan Arsitektur Lantai 6	C:9	14	14
E:8	Pekerjaan Arsitektur Lantai 7	C:10	14	14
E:9	Pekerjaan Arsitektur Lantai 8	C:11	14	14
E:10	Pekerjaan Arsitektur Lantai 9	C:12	14	14
E:11	Pekerjaan Arsitektur Lantai 10	C:13	14	14
E:12	Pekerjaan Arsitektur Lantai 11	C:14	14	12
E:13	Pekerjaan Arsitektur Lantai 12	E:12	14	12
E:14	Pekerjaan Arsitektur Lantai Atap	E:13	14	12
F	Pekerjaan Tampak	D	28	28
G	Pekerjaan Hardscape Landscape	E:1 - E:11	84	80
H	Pekerjaan Plumbing	C:1	-	-
I	Finishing	F,E:14,G	-	-

Sedangkan untuk gambar Network Diagram Terbaru adalah sebagai berikut :



Gambar diatas merupakan Network Diagram Terbaru setelah proses Crashing dilakukan. Untuk lingkaran yang berwarna merah, merupakan aktivitas yang mengalami proses Crashing. Terjadi perubahan durasi ketika diamati lalu dibandingkan dengan Network Diagram pada BAB IV.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afshari, Khosravi, Ghorbanali, Borzabadi, valipour, *Indentification Of Causes On Non Excusable Delays Of Contruction Projects, International Conference On E-Business, Management And Economic IPEDR Vol.3. IACSIT Press . Hongkong, 2011*
- [2] Al-Momani, Ayman H. “*A Linear Programming Algorithm For Least Cost Scheduling*”, Civil Engineering Department Mu'tah University, Jordan, 2012
- [3] Atkinson, “*Project Management : Cost, Time And Quality, Two Best Guesses And A Phenomenon, Its Time To Accept Other Success Criteria*”, International journal of project management, 2009.
- [4] Bowen, Cattel, Hall, Edwards, Pearl, “*Perceptions Of Time, Cost And Quality Management On Building Projects*”, The Australian Journal Of Construction Economics And Building, Australia, 2012.
- [5] Bubshait, Farooq,” *Team Building And Project Success, Cost engineering*”, Saudi Arabia, 2009.
- [6] Ervianto, “*Manajemen Proyek Konstruksi*”, Andi Offset, Yogyakarta, 2002.
- [7] Husen, “*Manajemen Proyek: Perencanaan Penjadwalan & Pengendalian Proyek*”, Andi Offset, Yogyakarta, 2009.
- [8] Kuhl. Michale E, Tolentino-Pena. R A, “*A Dynamic Crashing Method for Project Management Using Simulation-Based Optimization*”, Industrial & System Engineering Department Rochester Institute of Technology, Rochester NY USA, 2008.
- [9] Liebermann, Hiller “*Introduction Of Operational Research Seventh Edition*”, McGraw Hill, USA, 2000
- [10] Xu. D, Hua. X, ”*The Applications of Crashing Algorithm in Project Management*”, Management Department Shandong Jiaotong University, Jinan China, 2011.



RIWAYAT HIDUP



Adri Tria Andoko lahir di Dumai (Riau), 17 Juli 1992 dari pasangan Joko Purnomo dan Hesti Andaru Astuiti. Adri merupakan anak ke 3 dari 3 bersaudara. Berpendidikan di SMA Muhammadiyah 2 Surabaya pada tahun 2007 hingga 2010, dan melanjutkan studi ke Teknik Elektro FTI-ITS pada tahun 2010 hingga saat ini. Di Teknik Elektro ITS, mengambil bidang studi Teknik Sistem Pengaturan dengan masa studi 11 semester. Pernah berkecimpung dalam sejumlah organisasi di ITS, seperti UKM Robotika, BEM FTI-ITS, Himatekro FTI-ITS, serta Laboratorium Teknik Sistem B405 Teknik Elektro FTI-ITS. Memiliki hobby menulis, membaca, bermain musik, serta berinteraksi dengan banyak orang. Tugas Akhir dengan judul Analisa Penerapan Algoritma Crashing dalam Permasalahan Percepatan Proyek disusun pada tahun 2015 hingga 2016.