

Kajian Metode PERT-CPM dan Pemanfaatannya dalam Manajemen Waktu dan Biaya Pelaksanaan Proyek

Wiji Yuwono¹⁾, M. Elfan Kaukab²⁾, Yusqi Mahfud³⁾

¹⁾Fakultas Pascasarjana, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Indonesia

^{2,3)}Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Sains Al-Qur'an, Wonosobo, Indonesia

¹wiji.yuwono.psc20@mail.umy.ac.id

²elfan@unsiq.ac.id

³yusqi@unsiq.ac.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi waktu dan biaya kegiatan proyek Pembangunan Gedung Kantor Kelurahan Wonorejo Kecamatan Selomerto Kabupaten Wonosobo. Metode PERT menganalisis kemungkinan tercapainya waktu proyek yang telah direncanakan dalam time schedule. CPM menganalisis waktu dan biaya proyek melalui percepatan kegiatan yang terdapat pada jalur kritis. Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data proyek pembangunan Gedung Kantor Kelurahan Wonorejo. Langkah untuk mengurangi dampak keterlambatan kegiatan diusulkan melakukan proses crashing. Crashing dilakukan pada kegiatan yang berada pada jalur kritis. Dari hasil penelitian ini didapatkan 42 jalur kritis dari 58 aktivitas. Waktu yang direncanakan dalam time schedule selesai dalam waktu 49 hari kalender, namun pada kenyataan dilapangan proyek mengalami keterlambatan waktu dan dapat diselesaikan selama 60 hari. Setelah dilakukan perhitungan jalur kritis menggunakan metode CPM, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek yaitu selama 32 hari. Dengan metode PERT didapatkan perhitungan probabilitas terselesaikannya proyek selama 49 hari adalah sebesar 99,38%. Setelah dilakukan crash program tiga kali didapatkan durasi optimum selama 37 hari dan biaya crash sebesar Rp. 2.368.000. Dengan menghitung biaya sewa alat yang lebih besar dari biaya crash sehingga proyek dapat diselesaikan selama 37 hari tanpa menambah biaya crash, karena biaya tidak langsung lebih besar daripada biaya crash.

Kata kunci: optimalisasi waktu dan biaya, jalur kritis, PERT-CPM.

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the time and cost of project activities for the construction of the Wonorejo Village Office Building, Selomerto District, Wonosobo Regency. PERT method analyzes the possibility of achieving the project time that has been planned in the schedule. CPM analyzes project time and cost by accelerating activities on the critical path. In this study, the data used is data on the construction project of the Wonorejo Village Office Building. Steps to reduce the impact of delays in activities are proposed to carry out a crashing process. Crashing is carried out on activities that are on the critical path. The results of this study obtained 42 critical paths from 58 activities. The planned time in the schedule was completed within 49 calendar days, but in reality, the project experienced a time delay and could be completed for 60 days. After calculating the critical path using the CPM method, the time required to complete the project is 32 days. With the PERT method, the calculation of the probability of completing the project for 49 days is 99.38%. After crashing the program three times, the optimum duration was 37 days and the crash cost was Rp. 2,368,000. By calculating the cost of equipment rental which is greater than the cost of the crash so that the project can be completed in 37 days without increasing the cost of the crash because the indirect cost is greater than the cost of the crash.

Keywords: time and cost optimization, critical path, PERT-CPM.

1. PENDAHULUAN

Pekerjaan konstruksi sangat bergantung pada beberapa sumber daya dalam pelaksanaannya yang terdiri dari material, tenaga kerja, biaya, metode pelaksanaan dan peralatan. Di era globalisasi pembangunan konstruksi berkembang semakin cepat dan diiringi oleh keberagaman metode pelaksanaan konstruksi yang berpengaruh pada waktu dan biaya penyelesaian proyek (Mandiyo Priyo dan Khairul Fajri Indraga, 2016). Salah satu contohnya yaitu *Pembangunan* Gedung Kantor Kelurahan Wonorejo Kecamatan Selomerto CV Dwi Manunggal, yang bergantung terhadap keterbatasan waktu dan biaya proyek. Maka dari itu, dibutuhkan pengendalian agar proyek tersebut dapat berjalan sesuai dengan waktu dan biaya yang sesuai dengan perencanaan. Pengendalian adalah salah satu fungsi dari manajemen proyek yang bertujuan agar pekerjaan dapat berjalan mencapai sasaran tanpa banyak penyimpangan (Adzuha Desmi, 2016). Pengendalian proyek adalah usaha sistematis untuk menentukan standar yang sesuai dengan sasaran perencanaan, merancang sistem informasi, membandingkan pelaksanaan dengan standar, menganalisis kemungkinan adanya penyimpangan antara pelaksanaan dengan standar, dan mengambil tindakan pembetulan yang diperlukan agar sumber daya dapat digunakan secara efektif dan efisien dalam rangka mencapai sasaran (Soeharto, 1997)

Pekerjaan Proyek dapat diartikan sebagai kegiatan yang berlangsung dalam jangka waktu yang telah ditentukan dengan mengalokasikan sumber daya tertentu dan dimaksudkan untuk menghasilkan produk atau deliverable yang kriteria mutunya telah digariskan dengan jelas (Soeharto, 1999). Demi kelancaran jalannya sebuah proyek dibutuhkan manajemen yang akan mengelola proyek dari awal hingga proyek berakhir, yakni manajemen proyek. Hal ini dapat dilakukan bila ada konsep perencanaan yang matang dan didasarkan pada data, informasi, kemampuan, dan pengalaman. Jadwal merupakan salah satu parameter yang menjadi tolok ukur keberhasilan suatu proyek konstruksi, disamping anggaran dan mutu. Penjadwalan perlu diperhatikan dalam manajemen proyek untuk menentukan durasi maupun urutan kegiatan proyek, sehingga terbentuklah penjadwalan yang logis dan realistis. Pada umumnya, penjadwalan proyek menggunakan estimasi durasi yang pasti. Namun, banyak faktor ketidakpastian (uncertainty) sehingga durasi masing-masing kegiatan tidak dapat ditentukan dengan pasti. Faktor penyebab ketidakpastian durasi tersebut diantaranya adalah produktivitas pekerja, cuaca dan lain-lain.

Masa Pelaksanaan Proyek Pembangunan Gedung Kantor Kelurahan Wonorejo Kecamatan Selomerto Cv. Dwi Manunggal selama 90 hari kerja dengan anggaran biaya Rp. 191.566.000 sesuai yg tercantum dalam Surat Perjanjian Pemborongan Nomor : 050/21/01/2017 Tanggal : 06 September 2017. Aktivitas proyek Pembangunan Gedung Kantor Kelurahan Wonorejo Kecamatan Selomerto Cv. Dwi Manunggal meliputi beberapa aktivitas besar, yakni kegiatan persiapan, pekerjaan bongkar, pekerjaan pondasi, foot plat, pekerjaan sloof, pekerjaan balk, pekerjaan ring balk, pekerjaan kolom lt.1 dan lt.2, pekerjaan kolom praktis, pekerjaan batu bata lt.1 dan lt.2, pekerjaan jendela, pekerjaan plat lt.2, pekerjaan tangga, pekerjaan plafound, pekerjaan lantai, dan pekerjaan listrik.

Selama ini perusahaan dalam menentukan waktu dan biaya yang dibutuhkan hanya berdasarkan pengalaman. Perusahaan seringkali mendapatkan masalah dalam waktu penyelesaian proyek karena waktu penyelesaian tidak sesuai dengan waktu yang telah disepakati sebelumnya. Hal ini akan berdampak buruk bagi perusahaan, diantaranya memperburuk image perusahaan yang terkesan tidak mampu menyelesaikan proyek sesuai kontrak yang telah disepakati. Selain itu perusahaan akan mengeluarkan biaya yang lebih banyak dengan tidak tepatnya waktu penyelesaian proyek. Pemilik proyek bisa saja menginginkan proyek selesai lebih awal dari jadwal pelaksanaan atau karena faktor eksternal seperti misalnya hari besar, pergantian tahun atau faktor cuaca, dalam situasi cuaca yang kurang baik perkembangan pekerjaan mungkin lebih buruk sehingga implementasi proyek tidak seperti yang direncanakan, atau dapat dikatakan kemajuan proyek lebih lambat dari rencana awal.

Dari penjelasan di atas perlu dilakukan pengendalian waktu dan biaya proyek secara terpadu, yang berguna untuk mengatasi kerancuan dalam pelaksanaan penelitian. Maka rumusan masalah yg ditemukan dari penelitian ini yaitu terdapat perbedaan waktu perencanaan pekerjaan proyek dengan waktu pelaksanaan proyek. Pekerjaan proyek mengalami keterlambatan waktu karena penggunaan waktu dan biaya yang tidak optimal dalam proses pelaksanaan pekerjaan.

2. KAJIAN PUSTAKA

Proyek

Proyek dalam analisis jaringan kerja adalah serangkaian kegiatan-kegiatan yang bertujuan untuk menghasilkan produk yang unik dan hanya dilakukan dalam periode tertentu (temporer) (Mahersi, 2002). Kegiatan proyek dapat diartikan sebagai satu kegiatan sementara yang berlangsung dalam jangka waktu terbatas, dengan alokasi sumber daya tertentu dan dimaksudkan untuk menghasilkan produk atau *deliverable* yang kriteria mutunya telah digariskan dengan jelas (Soeharto, 1999). Proyek merupakan bagian dari program kerja suatu organisasi yang sifatnya temporer untuk mendukung pencapaian tujuan organisasi, dengan memanfaatkan sumber daya manusia maupun non sumber daya manusia (Sepry Rantesalu, 2019).

Secara umum terdapat tiga indikator yang menunjukkan keberhasilan suatu proyek (Suharto, Imam, 1997), yaitu:

- On time* (tepat waktu), yaitu kesesuaian penyelesaian waktu pekerjaan dengan jadwal yang sudah ditentukan.
- On specification* (tepat spesifikasi/kualitas), dari spesifikasi yang sudah ditentukan, pemilik pekerjaan menginginkan kualitas yang bagus.
- On budget* (tepat anggaran/biaya)

Manajemen Proyek

Ervianto (2002) menyatakan bahwa manajemen proyek adalah semua perencanaan, pelaksanaan, pengendalian, dan koordinasi suatu proyek dari awal (gagasan) hingga berakhirnya proyek untuk menjamin proyek secara tepat waktu, tepat biaya, dan tepat mutu.

CPM

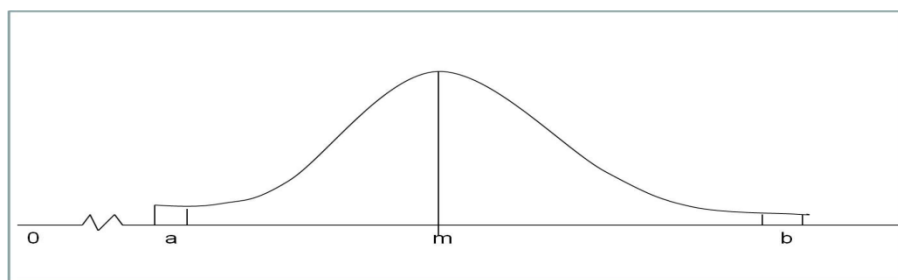
CPM pada dasarnya menitik beratkan pada persoalan keseimbangan antara biaya dan waktu penyelesaian proyek-proyek yang besar. CPM membuat asumsi bahwa waktu kegiatan diketahui pasti, sehingga hanya diperlukan satu faktor untuk tiap kegiatan. Pada CPM dipakai cara “deterministik”, yaitu memakai satu angka estimasi (Heizer dan Render, 2006).

PERT

PERT atau *Project Evaluation and Review Technique* adalah sebuah model *Management Science* untuk perencanaan dan pengendalian sebuah proyek (Siswanto, 2007). Metode PERT memberi asumsi pada durasi aktivitas sebagai hal yang probabilistik (*stochastic*) dikarenakan aktivitas konstruksi bervariasi. Menurut Soeharto (1999), mengingat besarnya pengaruh angka-angka a , m , dan b dalam metode PERT, maka beberapa hal perlu diperhatikan dalam menentukan angka estimasi, diantaranya:

- Estimator perlu mengetahui fungsi dari a , m , dan b dalam hubungannya dengan perhitungan-perhitungan dan pengaruhnya terhadap metode PERT.
- Didalam proses estimasi angka-angka a , m , dan b bagi masing-masing kegiatan, jangan sampai dipengaruhi atau dihubungkan dengan target kurun waktu penyelesaian proyek.
- Bila tersedia data-data pengalaman masa lalu (historical record), maka data demikian akan berguna untuk bahan pembandingan dan banyak membantu mendapatkan hasil yang lebih meyakinkan.

Dari kurva distribusi (Gambar 1.) dapat dijelaskan arti a , b , dan m . Kurva waktu yang menghasilkan puncak kurva adalah m . Kurva a dan b terletak dipinggir kanan kiri dari kurva distribusi, yang menandai batas rentang waktu kegiatan.



Sumber: Operations Research Jilid 2,2007

Gambar 1. Tiga Macam Taksiran Waktu pada Distribusi Beta

Perbedaan CPM dan PERT

Pada prinsipnya yang menyangkut perbedaan PERT dan CPM adalah sebagai berikut:

- a. CPM dan PERT pada dasarnya serupa, bedanya CPM adalah teknik *deterministic* sedangkan PERT bersifat *probabilistik*.
- b. Pada teknik *deterministic* (CPM), waktu kegiatan diasumsikan diketahui dengan pasti, sehingga merupakan nilai tunggal, Sedangkan pada PERT waktu kegiatan merupakan *variable random* yang memiliki distribusi *probabilistik*.
- c. Pada PERT digunakan tiga jenis waktu pengerjaan yaitu yang tercepat, terlama serta terlayak, sedangkan pada CPM hanya memiliki satu jenis informasi waktu pengerjaan yaitu waktu yang paling tepat dan layak untuk menyelesaikan suatu proyek.
- d. PERT digunakan pada perencanaan dan pengendalian proyek yang belum pernah dikerjakan, sedangkan CPM digunakan untuk menjadwalkan dan mengendalikan aktivitas yang sudah pernah dikerjakan sehingga data, waktu dan biaya setiap unsur kegiatan telah diketahui oleh *evaluator*.
- e. Pada PERT yang ditekankan tepat waktu, sebab dengan penyingkatan waktu maka biaya proyek turut mengecil, sedangkan pada CPM menekankan tepat biaya.
- f. Dalam PERT anak panah menunjukkan tata urutan (*hubungan presidentil*), sedangkan pada CPM tanda panah adalah kegiatan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode Penelitian merupakan suatu cara yang dilakukan dalam proses penelitian yaitu memperoleh fakta-fakta dan prinsip-prinsip dengan sabar, hati-hati, dan matematis untuk mewujudkan kebenaran (Ferdinand, 2006). Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan pendekatan metode penelitian kualitatif untuk menjawab rumusan masalah pertama dan metode penelitian deskriptif kuantitatif untuk menjawab permasalahan yang kedua.

Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan pendekatan PERT dan CPM. Estimasi waktu penyelesaian suatu proyek dapat diketahui dengan cara:

1. *Single duration estimate* atau perkiraan waktu (durasi) tunggal untuk setiap kegiatan (pendekatan CPM).
2. *Triple duration estimate*, yaitu cara perkiraan waktu yang didasarkan atas tiga jenis durasi waktu, yaitu waktu optimis (a), waktu pesimis (b), dan waktu realistis (m) (pendekatan PERT).

Menurut Agustini dan Rahmadi (2004), prinsip penyusunan jaringan kerja pada metode PERT dan CPM adalah sama, namun terdapat perbedaan mendasar antara keduanya, yaitu terletak pada konsep biaya pada CPM yang tidak ada didalam metode PERT.

1. Metode CPM

Sistematika dari proses penyusunan jaringan kerja (network) adalah sebagai berikut (Soeharto, 1999):

- a. Mengkaji dan mengidentifikasi lingkup proyek, menguraikan, memecahkannya menjadi kegiatan-kegiatan atau kelompok kegiatan yang merupakan komponen proyek.
- b. Menyusun kembali komponen-komponen pada butir 1, menjadi mata rantai dengan urutan yang sesuai logika ketergantungan.
- c. Memberikan perkiraan kurun waktu bagi masing-masing kegiatan yang dihasilkan dari penguraian lingkup proyek.
- d. Mengidentifikasi jalur kritis (*critical path*) dan float pada jaringan kerja.

Untuk menentukan waktu penyelesaian proyek, makaharus diidentifikasi apa yang disebut jalurkritis. Jalur (*path*) merupakan serangkaian aktivitas berhubungan yang bermula dari node awal ke node penyelesaian/akhir. Untuk menyelesaikan proyek, semua jalur harus dilewati. Oleh karena itu, harus ditentukan jumlah waktu yang dibutuhkan berbagai jalur tersebut. Jalur terpanjang yang melewati, menentukan total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proyek. Jika aktivitas pada jalur terpanjang itu ditunda, maka seluruh proyek akan mengalami keterlambatan. Aktivitas jalur terpanjang merupakan aktivitas jalur kritis, dan jalur terpanjang itu disebut jalur kritis. Setelah jalur kritis diketahui, langkah selanjutnya adalah melakukan percepatan proyek. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan waktu percepatan dan menghitung biaya tambahan untuk percepatan setiap kegiatan.
- b. Mempercepat waktu penyelesaian proyek dengan mengutamakan kegiatan kritis yang memiliki

slope biaya terendah. Apabila upaya percepatan dilakukan pada aktivitas-aktivitas yang tidak berada pada lintasan kritis, maka waktu penyelesaian keseluruhan tidak akan berkurang.

- c. Susun kembali jaringan kerjanya.
 - d. Ulangi langkah kedua dan berhenti melakukan upaya percepatan apabila terjadi pertambahan lintasan kritis. Apabila terdapat lebih dari satu lintasan kritis, maka upaya percepatan dilakukan serentak pada semua aktivitas yang berada pada lintasan kritis. Usahakan agar tidak terjadi penambahan atau pemindahan jalur kritis apabila diadakan percepatan durasi pada salah satu kegiatan.
 - e. Upaya percepatan dihentikan apabila aktivitas-aktivitas pada lintasan kritis telah jenuh seluruhnya (tidak mungkin ditekan lagi).
 - f. Hitung biaya keseluruhan akibat percepatan untuk mengetahui total biaya proyek yang dikeluarkan.
 - g. Aspek biaya dalam penjadwalan proyek diperhitungkan karena adanya hubungan ketergantungan antara durasi waktu dengan biaya. Biaya yang dihitung adalah biaya langsung.
2. Metode PERT

Pada PERT, penekanan diarahkan kepada usaha mendapatkan kurun waktu yang paling baik (kearah yang lebih akurat). PERT menggunakan unsur *probability*. Dalam Siswanto (2007), disebutkan bahwa PERT, melalui distribusi beta, menggunakan taksiran-taksiran waktu untuk menentukan waktu penyelesaian suatu kegiatan agar lebih realistis. Menurut Hayun (2005), triple duration estimate merupakan dasar perhitungan untuk PERT yang mempunyai asumsi dasar bahwa suatu kegiatan dilakukan berkali-kali, maka *actual time* akan membentuk distribusi beta dimana *optimistic* (waktu optimis) dan *pessimistic duration* (waktu pesimis) merupakan buntut (*tail*), sedangkan *most likely duration* (waktu realistis) adalah mode dari distribusi beta tersebut. Kemudian diasumsikan pendekatan dari durasi rata-rata yang disebut *expected return* (t_e) dengan rumus sebagai berikut:

$$T_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

t_e = expected duration

a = waktu optimis

m = waktu realistis

b = waktu pesimis

Dengan menggunakan konsep t_e , maka jalur kritis dapat diidentifikasi. Pada jalur kritis berlaku $slack = 0$ (Soeharto, 1999). Rentang waktu pada tiga angka estimasi PERT menandai derajat ketidakpastian dalam estimasi kurun waktu. Besarnya ketidakpastian tergantung pada besarnya angka a dan b , dirumuskan sebagai berikut:

Deviasi standar kegiatan:

$$S = \frac{1}{6} (b - a)$$

S = deviasi standar kegiatan

a = waktu optimis

b = waktu pesimis

Untuk variasi kegiatan dirumuskan :

Varians kegiatan :

$$V(te) = S^2 = \left[\frac{b - a}{6} \right]^2$$

$V(te)$ = varians kegiatan

S = deviasi standar kegiatan

a = waktu optimis

b = waktu pesimis

Untuk mengetahui kemungkinan mencapai target jadwal dapat dilakukan dengan menghubungkan antara waktu yang diharapkan (TE) dengan target T (d) yang dinyatakan dengan rumus :

$$z = \frac{T(d) - TE}{S}$$

Z = angka kemungkinan mencapai target

T (d) = target jadwal

TE = jumlah waktu kegiatan kritis

S = deviasi standar kegiatan

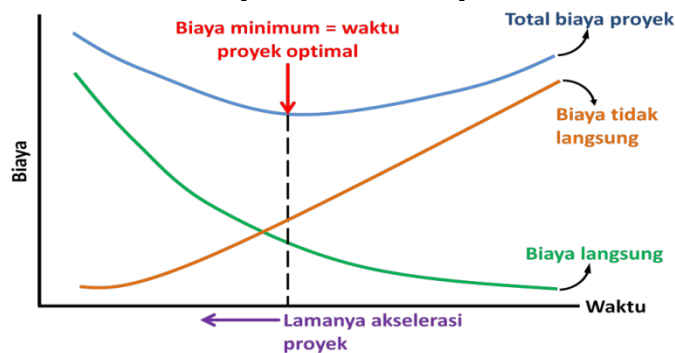
Angka z merupakan angka probabilitas yang persentasenya dapat dicari dengan menggunakan tabel distribusi normal kumulatif z.

3. Mempercepat Waktu Proyek (*Crashing Project*)

Crasing dapat diartikan sebagai akselerasi proyek. Akselerasi merupakan pengurangan waktu normal aktivitas. Akselerasi diperoleh dengan menyediakan lebih banyak sumber daya (diukur dalam satuan mata uang), bagi aktivitas yang akan dikurangi waktunya.

4. Pertukaran (*Trade-Off*) Waktu dan Biaya

Dapat digambarkan dalam bentuk grafik waktu–biaya (seperti pada Gambar. 2). Digunakan untuk membandingkan alternatif tambahan biaya untuk manfaatnya.



Gambar 2. Grafik waktu biaya

Sumber: Materi 11 EMA302 – Manajemen Operasional 2013

a. Komponen Waktu

Dalam crashing project, terdapat dua komponen waktu, yaitu:

- 1) Waktu Normal (*Normal Time*), yaitu penyelesaian aktivitas dalam kondisi normal.
- 2) Waktu Akselerasi (*Crash Time*), yaitu waktu terpendek yang paling mungkin untuk menyelesaikan aktivitas.

Dari dua komponen tersebut dapat diperoleh Total Waktu Akselerasi, dengan persamaan:

$$\text{Total Waktu Akselerasi} = \text{Waktu Normal} - \text{Waktu Akselerasi}$$

b. Komponen Biaya

Dalam *crashing project*, terdapat tiga komponen biaya, yaitu:

- 1) Biaya Normal (*Normal Cost*), yaitu biaya langsung untuk menyelesaikan aktivitas pada kondisi normal.
- 2) Biaya Akselerasi (*Crash Cost*), yaitu biaya langsung untuk menyelesaikan aktivitas pada kondisi akselerasi/crash (pada kondisi waktu terpendek yang paling mungkin untuk menyelesaikan aktivitas).

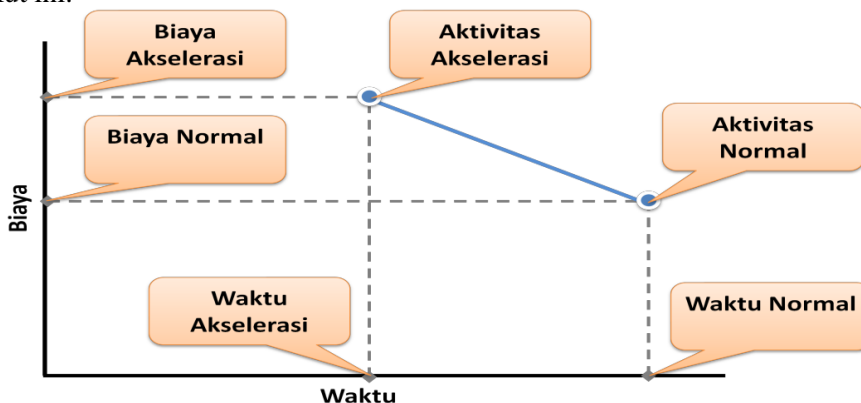
Dari dua komponen tersebut dapat diperoleh Total Biaya Akselerasi, dengan persamaan: Total biaya akselerasi = Biaya Akselerasi–Biaya Normal

- 3) Biaya Akselerasi per Unit Waktu (*Slope*), yaitu biaya langsung untuk menyelesaikan aktivitas pada kondisi akselerasi/crash (pada kondisi waktu terpendek yang paling mungkin untuk menyelesaikan aktivitas) dalam satuan waktu terkecil yang ditentukan, dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Biaya akselerasi per unit waktu } slope = \frac{\text{Total biaya akselerasi}}{\text{Total waktu akselerasi}}$$

c. Grafik Linear Waktu–Biaya

Dari komponen waktu dan biaya tersebut terdapat hubungan linear seperti yang digambarkan dalam grafik berikut ini.



Gambar 3. Grafik Linear waktu biaya

Sumber: Materi 11 EMA302 – Manajemen Operasional 2013

d. Langkah Crashing Project

- 1) Gambar diagram jaringan untuk setiap kejadian
- 2) Hitung total waktu akselerasi, total biaya akselerasi, dan biaya akselerasi per unit waktu untuk setiap kejadian.
- 3) Tentukan garis edar kritis dan lamanya waktu proyek.
- 4) Pilih aktivitas pada garis edar kritis yang memiliki biaya akselerasi minimal, dan kurangi waktu aktivitas tersebut semaksimal mungkin.

Catatan:

Jika hanya ada satu jalur kritis, pilihlah aktivitas yang:

- a) Masih bisa dilakukan crash, dan
- b) Mempunyai biaya *crash* terkecil per satuan waktu.

Jika terdapat lebih dari satu jalur kritis, maka pilih satu aktivitas sedemikian rupa sehingga:

- a) Setiap aktivitas yang dipilih masih bisa dilakukan *crash*, dan
- b) Biaya *crash* total per satuan waktu dari semua aktivitas yang dipilih merupakan yang terkecil.

- 5) Perbaharui semua waktu kegiatan, jika batas waktu yang diinginkan telah tercapai, maka berhenti. Jika tidak, ulangi langkah 3

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menentukan Hubungan Ketergantungan Antar Kegiatan

Pada tahap ini ditentukan hubungan tiap kegiatan dengan kegiatan lainnya. Tahap penentuan ketergantungan kegiatan ini dapat dilakukan dengan observasi dan wawancara kepada tenaga kerja lapangan.

Table 1. Ketergantungan Kegiatan Pelaksanaan Proyek.

| No | Item Pekerjaan | Simbol | Ketergantungan |
|----|------------------------------|--------|----------------|
| I. | Pekerjaan Persiapan | | |
| 1 | Administrasi Dan Dokumentasi | A1 | - |
| 2 | Pembersihan Lapangan | A2 | A1 |

| No | Item Pekerjaan | Simbol | Keteragantungan |
|------|--|--------|-----------------|
| 3 | Uitzet Bowplank | A3 | A2 |
| 4 | Papan Nama Kegiatan | A4 | A3 |
| li | Pekerjaan Bongkaran | | |
| 1 | Bongkaran Atap Plafon | B1 | A3,A2 |
| iii | Pekerjaan Pondasi | | |
| 1 | Galian Tanah | D1 | C7 |
| 2 | Pasir Urug | D2 | D1 |
| 3 | Aanstamping | D3 | D2 |
| 4 | Pas. Batu Kali 1:5 | D4 | D3 |
| 5 | Urugan Tanah Kembali | D5 | D4 |
| Iv | Foot Plat | | |
| 1 | Galian Tanah Sedalam 2 M | C1 | B1 |
| 2 | Pasir Urug | C2 | C1 |
| 3 | Bekisting 3x Pakai | C3 | C2 |
| 4 | Beto K. 100 | C4 | C3 |
| 5 | Pembesian Dengan Besi Polos | C5 | C4 |
| 6 | Beton K. 175 | C6 | C5 |
| 7 | Urugan Tanah Kembali | C7 | C6 |
| V | Pekerjaan Sloof | | |
| 1 | Bekisting 2x Pakai | E1 | D5 |
| 2 | Pembesian Dengan Besi Polos | E2 | E1 |
| 3 | Beton K. 175 | E3 | E2 |
| Vi | Pekerjaan Kolom 1 | | |
| 1 | Bekisting 3x Pakai | F1 | E3 |
| 2 | Pembesian Dengan Besi Polos | F2 | F1 |
| 3 | Beton K. 175 | F3 | F2 |
| Vii | Pekerjaan Balk | | |
| 1 | Bekisting 3x Pakai | G1 | F3 |
| 2 | Pembesian Dengan Besi Polos | G2 | G1 |
| 3 | Beton K. 175 | G3 | G2 |
| Viii | Pekerjaan Ring Balk | | |
| 1 | Bekisting 3x Pakai | H1 | G3 |
| 2 | Pembesian Dengan Besi Polos | H2 | H1 |
| 3 | Beton K. 175 | H3 | H2 |
| Ix | Pekerjaan Kolom Lt.2 | | |
| 1 | Bekisting 3x Pakai | I1 | N3 |
| 2 | Pembesian Dengan Besi Polos | I2 | I1 |
| 3 | Beton K. 175 | I3 | I2 |
| X | Pekerjaan Praktis | | |
| 1 | Bekisting 3x Pakai | J1 | I3 |
| 2 | Pembesian Dengan Besi Polos | J2 | J1 |
| 3 | Beton K. 175 | J3 | J2 |
| Xi | Pekerjaan Pas. Batu Bata 1/2 Batu Lt.1 | | |
| 1 | Pas. Batu Bata 1/2 Batu 1:5 | K1 | H3 |
| 2 | Plestewran Tebal 1.5 Campuran 1:6 | K2 | K1 |
| 3 | Acian | K3 | K2 |
| 4 | Cat Luar Baru Ex Catylac | K4 | L,K3 |
| 5 | Cat Dalam Baru Ex Catylac | K5 | K4 |
| 6 | Cat Luar Lama Ex Catylac | K6 | K5 |

| No | Item Pekerjaan | Simbol | Keteragantungan |
|-------|--|--------|-----------------|
| 7 | Cat Dalam Lama Ex Catylac | K7 | K6 |
| Xii | Pekerjaan Pas. Batu Bata 1/2 Batu Lt.2 | | |
| 1 | Pas. Batu Bata 1/2 Batu 1:5 | L | J3 |
| Xiii | Pek. Pasang Jendela Alumunium | M1 | H3 |
| Xiv | Pek. Plat Lt. 2 | | |
| 1 | Bekisting | N1 | H3 |
| 2 | Pembesian Dengan Besi Polos | N2 | N1 |
| 3 | Beton K. 175 | N3 | N2 |
| Xv | Pekerjaan Tangga | | |
| A. | Pek. Pondasi Tangga | O1 | H3 |
| B | Sloof | O2 | O1 |
| C | Balok Tangga | O3 | O2 |
| D | Bordes | O4 | O3 |
| E | Anak Tangga | O5 | O4 |
| Xvi | Pekerjaan Plafound | | |
| 1 | Rangka Plafound Kayu Albasia | P1 | L |
| 2 | Plafound Gypsum | P2 | P1 |
| 3 | Lis Plafound Gypsum 12 Cm | P3 | P2 |
| 4 | Cat Plafound Ex Catylac | P4 | P3 |
| Xvii | Pekerjaan Lantai | | |
| 1 | Pasang Keramik Polos 40x40 | Q | K5 |
| Xviii | Pekerjaan Listrik | R1 | H3 |

Menghitung Produktivitas Tenaga Kerja dan Durasi Pada Masing-masing Kegiatan.

Untuk menyusun jaringan kerja dibutuhkan durasi dari masing-masing kegiatan tersebut. Perhitungan durasi tiap-tiap kegiatan didasarkan pada volume pekerjaan, jumlah kebutuhan tenaga kerja, dan produktivitas tenaga kerja. Untuk mendapatkan angka produktivitas tenaga kerja dibutuhkan data observasi dan wawancara lapangan kepada tenaga kerja proyek. Untuk pekerjaan Galian Tanah misalnya, Produktivitas 1 tukang dan 2 pekerja (satu grup) adalah 4.8 m³ per hari. Maka dapat dikatakan bahwa dalam satu hari 1 tukang batu dan 2 pekerja dapat menyelesaikan 4.8 m³ pekerjaan galian tanah.

Setelah dihitung angka produktivitas dalam sehari, maka dapat dihitung kurun waktu (durasi) masing-masing kegiatan berdasarkan rumus:

$$\text{Durasi} : \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Produktivitas} \times \text{Jumlah Grup Pekerja}}$$

Setelah mendapatkan Durasi dari masing-masing kegiatan kemudian menentukan optimistis time dan pesimistis time. Dalam hal ini penulis melakukan interview kepada pekerja dan pelaksana kontraktor yang menangani proyek yang bersangkutan. Dalam interview tersebut didapat data sebagai berikut:

Tabel 2. Data Optimistis Time (To), Most Likely (Tm) dan Pesimistis Time (Tp).

| No | Aktivitas | to | tm | Tp |
|----|-----------|----|----|----|
| 1 | A1 | 10 | 16 | 18 |
| 2 | A2 | 6 | 8 | 10 |
| 3 | A3 | 6 | 8 | 10 |
| 4 | A4 | 1 | 2 | 3 |

| No | Aktivitas | to | tm | Tp |
|----|-----------|----|----|----|
| 30 | I1 | 4 | 4 | 6 |
| 31 | I2 | 7 | 8 | 10 |
| 32 | I3 | 4 | 4 | 6 |
| 33 | J1 | 4 | 4 | 6 |

| No | Aktivitas | to | tm | Tp |
|----|-----------|----|----|----|
| 5 | B1 | 7 | 8 | 10 |
| 6 | D1 | 14 | 16 | 18 |
| 7 | D2 | 3 | 4 | 6 |
| 8 | D3 | 3 | 4 | 6 |
| 9 | D4 | 7 | 8 | 10 |
| 10 | D5 | 4 | 4 | 6 |
| 11 | C1 | 30 | 32 | 34 |
| 12 | C2 | 4 | 4 | 6 |
| 13 | C3 | 4 | 4 | 6 |
| 14 | C4 | 4 | 4 | 6 |
| 15 | C5 | 8 | 8 | 10 |
| 16 | C6 | 4 | 4 | 6 |
| 17 | C7 | 4 | 4 | 6 |
| 18 | E1 | 2 | 2 | 4 |
| 19 | E2 | 2 | 2 | 4 |
| 20 | E3 | 2 | 2 | 4 |
| 21 | F1 | 2 | 2 | 4 |
| 22 | F2 | 2 | 2 | 4 |
| 23 | F3 | 2 | 2 | 4 |
| 24 | G1 | 4 | 4 | 6 |
| 25 | G2 | 7 | 8 | 10 |
| 26 | G3 | 4 | 4 | 6 |
| 27 | H1 | 4 | 4 | 6 |
| 28 | H2 | 7 | 8 | 10 |
| 29 | H3 | 4 | 4 | 6 |

| No | Aktivitas | to | tm | Tp |
|----|-----------|----|----|----|
| 34 | J2 | 7 | 8 | 10 |
| 35 | J3 | 4 | 4 | 6 |
| 36 | K1 | 21 | 24 | 26 |
| 37 | K2 | 15 | 16 | 18 |
| 38 | K3 | 15 | 16 | 18 |
| 39 | K4 | 2 | 2 | 3 |
| 40 | K5 | 4 | 4 | 6 |
| 41 | K6 | 7 | 8 | 10 |
| 42 | K7 | 7 | 8 | 10 |
| 43 | L | 8 | 8 | 10 |
| 44 | M1 | 23 | 24 | 26 |
| 45 | N1 | 15 | 16 | 18 |
| 46 | N2 | 14 | 16 | 18 |
| 47 | N3 | 8 | 8 | 10 |
| 48 | O1 | 14 | 16 | 18 |
| 49 | O2 | 4 | 4 | 6 |
| 50 | O3 | 3 | 4 | 5 |
| 51 | O4 | 2 | 2 | 4 |
| 52 | O5 | 18 | 20 | 22 |
| 53 | P1 | 22 | 24 | 26 |
| 54 | P2 | 15 | 16 | 17 |
| 55 | P3 | 6 | 8 | 10 |
| 56 | P4 | 6 | 8 | 10 |
| 57 | Q | 14 | 16 | 18 |
| 58 | R1 | 14 | 16 | 18 |

Menentukan Nilai yang diharapkan, Standar Deviasi, dan Varians.

Setelah mengetahui semua kegiatan dan ketergantungannya, langkah selanjutnya menentukan waktu yang diharapkan (te), Standar deviasi (se) dan varians (ve) untuk setiap kegiatan. Tujuannya adalah untuk mengetahui kepastian waktu setiap kegiatan dan berapa besar penyimpangan dari setiap kegiatan tersebut. Adapun cara perhitungan waktu yang diharapkan (te), Standar deviasi (se) dan varians (ve) untuk setiap kegiatan adalah berdasarkan Rumus

$$Te = \frac{a + b + 4m}{6}$$

Dimana: a : *optimistis time* (jam)

m : *Most likely*/durasi yang paling mungkin terjadi (jam)

b : *Pesimistis time* (jam)

$$se = \left[\frac{b - a}{6} \right]$$

$$ve = (se)^2$$

Contoh perhitungan durasi aktivitas (te) adalah sebagai berikut:
Galian Tanah

$a = 3,6$ jam

$m = 4,5$ jam

$b = 5,6$ jam

$$\text{maka}(te) = \frac{(3.6 + 5.6 + (4 \times 4.5))}{6}$$

$$\text{se} = \frac{4.53 \text{ jam}}{6} = \frac{5.6 - 3.6}{6}$$

$$\text{se} = 0.33$$

$$\text{ve} = 0.33^2$$

$$\text{ve} = 0.11$$

Langkah di atas dilakukan untuk setiap kegiatan sehingga diperoleh waktu yang diharapkan, Standar deviasi (se) dan varians (ve) untuk setiap kegiatan seperti tabel di bawah ini:

Tabel 3. Hasil Perhitungan Semua Kegiatan Te Se Ve.

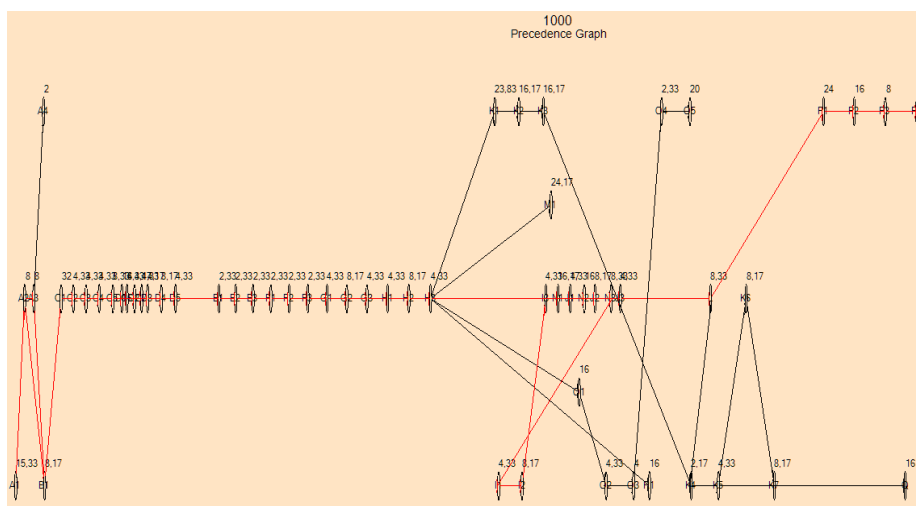
| No | Akts | to | tm | tp | te | se | ve |
|----|------|----|----|----|----|------|------|
| | | | | | | 3,7 | |
| 1 | A1 | 10 | 16 | 18 | 15 | 1,33 | 1,78 |
| 2 | A2 | 6 | 8 | 10 | 8 | 0,67 | 0,44 |
| 3 | A3 | 6 | 8 | 10 | 8 | 0,67 | 0,44 |
| 4 | A4 | 1 | 2 | 3 | 2 | 0,33 | 0,11 |
| 5 | B1 | 7 | 8 | 10 | 8 | 0,5 | 0,25 |
| 6 | D1 | 14 | 16 | 18 | 16 | 0,67 | 0,44 |
| 7 | D2 | 3 | 4 | 6 | 4 | 0,5 | 0,25 |
| 8 | D3 | 3 | 4 | 6 | 4 | 0,5 | 0,25 |
| 9 | D4 | 7 | 8 | 10 | 8 | 0,5 | 0,25 |
| 10 | D5 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,33 | 0,11 |
| 11 | C1 | 30 | 32 | 34 | 32 | 0,67 | 0,44 |
| 12 | C2 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,33 | 0,11 |
| 13 | C3 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,33 | 0,11 |
| 14 | C4 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,33 | 0,11 |
| 15 | C5 | 8 | 8 | 10 | 8 | 0,33 | 0,11 |
| 16 | C6 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,33 | 0,11 |
| 17 | C7 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,33 | 0,11 |
| 18 | E1 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0,33 | 0,11 |
| 19 | E2 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0,33 | 0,11 |
| 20 | E3 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0,33 | 0,11 |
| 21 | F1 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0,33 | 0,11 |
| 22 | F2 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0,33 | 0,11 |
| 23 | F3 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0,33 | 0,11 |
| 24 | G1 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,33 | 0,11 |
| 25 | G2 | 7 | 8 | 10 | 8 | 0,5 | 0,25 |
| 26 | G3 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,33 | 0,11 |
| 27 | H1 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,33 | 0,11 |
| 28 | H2 | 7 | 8 | 10 | 8 | 0,5 | 0,25 |
| 29 | H3 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,33 | 0,11 |
| 30 | I1 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,33 | 0,11 |
| 31 | I2 | 7 | 8 | 10 | 8 | 0,5 | 0,25 |
| 32 | I3 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,33 | 0,11 |

| No | Akts | to | tm | tp | te | se | ve |
|----|------|----|----|----|----|------|------|
| 33 | J1 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,33 | 0,11 |
| 34 | J2 | 7 | 8 | 10 | 8 | 0,5 | 0,25 |
| 35 | J3 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,33 | 0,11 |
| 36 | K1 | 21 | 24 | 26 | 24 | 0,83 | 0,69 |
| 37 | K2 | 15 | 16 | 18 | 16 | 0,5 | 0,25 |
| 38 | K3 | 15 | 16 | 18 | 16 | 0,5 | 0,25 |
| 39 | K4 | 2 | 2 | 3 | 2 | 0,17 | 0,03 |
| 40 | K5 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,33 | 0,11 |
| 41 | K6 | 7 | 8 | 10 | 8 | 0,5 | 0,25 |
| 42 | K7 | 7 | 8 | 10 | 8 | 0,5 | 0,25 |
| 43 | L | 8 | 8 | 10 | 8 | 0,33 | 0,11 |
| 44 | M1 | 23 | 24 | 26 | 24 | 0,5 | 0,25 |
| 45 | N1 | 15 | 16 | 18 | 16 | 0,5 | 0,25 |
| 46 | N2 | 14 | 16 | 18 | 16 | 0,67 | 0,44 |
| 47 | N3 | 8 | 8 | 10 | 8 | 0,33 | 0,11 |
| 48 | O1 | 14 | 16 | 18 | 16 | 0,67 | 0,44 |
| 49 | O2 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,33 | 0,11 |
| 50 | O3 | 3 | 4 | 5 | 4 | 0,33 | 0,11 |
| 51 | O4 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0,33 | 0,11 |
| 52 | O5 | 18 | 20 | 22 | 20 | 0,67 | 0,44 |
| 53 | P1 | 22 | 24 | 26 | 24 | 0,67 | 0,44 |
| 54 | P2 | 15 | 16 | 17 | 16 | 0,33 | 0,11 |
| 55 | P3 | 6 | 8 | 10 | 8 | 0,67 | 0,44 |
| 56 | P4 | 6 | 8 | 10 | 8 | 0,67 | 0,44 |
| 57 | Q | 14 | 16 | 18 | 16 | 0,67 | 0,44 |
| 58 | R1 | 14 | 16 | 18 | 16 | 0,67 | 0,44 |

Setelah waktu yang diharapkan, standar deviasi dan variansnya didapatkan, langkah selanjutnya adalah membuat jaringan kerja kegiatannya untuk mengetahui lintasan kritis dan *slack* untuk setiap kegiatannya.

Membuat Jaringan Kerja dengan Metode PERT dan CPM

Setelah mengurutkan dan menentukan waktu, langkah selanjutnya adalah membuat jaringan kerja pelaksanaan proyek. Adapun tujuan dari jaringan kerja ini adalah untuk mengetahui lintasan kritis dan *slack* untuk setiap kegiatan, jaringan kerja pada proyek adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Diagram Aktivitas

Sumber: Analisa Aplikasi POMQ

a. Perhitungan maju

Galian Tanah

$$ES = \text{Max} \{EF \text{ semua pendahulu langsung}\}$$

$$ES = 85,5$$

$$EF = ES + te$$

$$EF = 85,5 + 16$$

$$EF = 101,5$$

b. Perhitungan mundur

Galian Tanah

$$LF = \text{Min} \{LS \text{ dari seluruh kegiatan yang langsung mengikutinya}\}$$

$$LS = LF - te$$

$$LF = 101,5$$

$$LS = 101,5 - 16$$

$$LS = 85,5$$

c. Total *slack*

Galian Tanah

$$\text{Slack} = LS - ES \text{ Atau} = LF - EF$$

$$\text{Slack} = 85,5 - 85,5 = 0$$

Hasil perhitungan lintasan kritis dan kelonggaran waktunya (*slack*) selengkapnya diperoleh seperti tabel di bawah ini:

Tabel 4. Perhitungan Lintasan Kritis dan *Slack*

| No | Aktivitas Project | Ak.Time 324,5 | Es | Ef | Ls | Lf | Slack | Ket |
|----|-------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | A1 | 15,33 | 0,00 | 15,33 | 0,00 | 15,33 | 0,00 | Kritis |
| 2 | A2 | 8,00 | 15,33 | 23,33 | 15,33 | 23,33 | 0,00 | Kritis |
| 3 | A3 | 8,00 | 23,33 | 31,33 | 23,33 | 31,33 | 0,00 | Kritis |
| 4 | A4 | 2,00 | 31,33 | 33,33 | 322,5 | 324,5 | 291,17 | |
| 5 | B1 | 8,17 | 31,33 | 39,5 | 31,33 | 39,5 | 0,00 | Kritis |
| 6 | D1 | 16,00 | 101,5 | 117,5 | 101,5 | 117,5 | 0,00 | Kritis |
| 7 | D2 | 4,17 | 117,5 | 121,67 | 117,5 | 121,67 | 0,00 | Kritis |
| 8 | D3 | 4,17 | 121,67 | 125,83 | 121,67 | 125,83 | 0,00 | Kritis |
| 9 | D4 | 8,17 | 125,83 | 134,00 | 125,83 | 134,00 | 0,00 | Kritis |
| 10 | D5 | 4,33 | 134,00 | 138,33 | 134,00 | 138,33 | 0,00 | Kritis |
| 11 | C1 | 32,00 | 39,5 | 71,5 | 39,5 | 71,5 | 0,00 | Kritis |
| 12 | C2 | 4,33 | 71,5 | 75,83 | 71,5 | 75,83 | 0,00 | Kritis |
| 13 | C3 | 4,33 | 75,83 | 80,17 | 75,83 | 80,17 | 0,00 | Kritis |
| 14 | C4 | 4,33 | 80,17 | 84,5 | 80,17 | 84,5 | 0,00 | Kritis |
| 15 | C5 | 8,33 | 84,5 | 92,83 | 84,5 | 92,83 | 0,00 | Kritis |
| 16 | C6 | 4,33 | 92,83 | 97,17 | 92,83 | 97,17 | 0,00 | Kritis |
| 17 | C7 | 4,33 | 97,17 | 101,5 | 97,17 | 101,5 | 0,00 | Kritis |
| 18 | E1 | 2,33 | 138,33 | 140,67 | 138,33 | 140,67 | 0,00 | Kritis |
| 19 | E2 | 2,33 | 140,67 | 143,00 | 140,67 | 143,00 | 0,00 | Kritis |
| 20 | E3 | 2,33 | 143,00 | 145,33 | 143,00 | 145,33 | 0,00 | Kritis |
| 21 | F1 | 2,33 | 145,33 | 147,67 | 145,33 | 147,67 | 0,00 | Kritis |

| | | | | | | | | |
|----|----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22 | F2 | 2,33 | 147,67 | 150,00 | 147,67 | 150,00 | 0,00 | Kritis |
| 23 | F3 | 2,33 | 150,00 | 152,33 | 150,00 | 152,33 | 0,00 | Kritis |
| 24 | G1 | 4,33 | 152,33 | 156,67 | 152,33 | 156,67 | 0,00 | Kritis |
| 25 | G2 | 8,17 | 156,67 | 164,83 | 156,67 | 164,83 | 0,00 | Kritis |
| 26 | G3 | 4,33 | 164,83 | 169,17 | 164,83 | 169,17 | 0,00 | Kritis |
| 27 | H1 | 4,33 | 169,17 | 173,5 | 169,17 | 173,5 | 0,00 | Kritis |
| 28 | H2 | 8,17 | 173,5 | 181,67 | 173,5 | 181,67 | 0,00 | Kritis |
| 29 | H3 | 4,33 | 181,67 | 186,00 | 181,67 | 186,00 | 0,00 | Kritis |
| 30 | I1 | 4,33 | 226,5 | 230,83 | 226,5 | 230,83 | 0,00 | Kritis |
| 31 | I2 | 8,17 | 230,83 | 239,00 | 230,83 | 239,00 | 0,00 | Kritis |
| 32 | I3 | 4,33 | 239,00 | 243,33 | 239,00 | 243,33 | 0,00 | Kritis |
| 33 | J1 | 4,33 | 243,33 | 247,67 | 243,33 | 247,67 | 0,00 | Kritis |
| 34 | J2 | 8,17 | 247,67 | 255,83 | 247,67 | 255,83 | 0,00 | Kritis |
| 35 | J3 | 4,33 | 255,83 | 260,17 | 255,83 | 260,17 | 0,00 | Kritis |
| 36 | K1 | 23,83 | 186,00 | 209,83 | 245,5 | 269,33 | 59,5 | |
| 37 | K2 | 16,17 | 209,83 | 226,00 | 269,33 | 285,5 | 59,5 | |
| 38 | K3 | 16,17 | 226,00 | 242,17 | 285,5 | 301,67 | 59,5 | |
| 39 | K4 | 2,17 | 268,5 | 270,67 | 301,67 | 303,83 | 33,17 | |
| 40 | K5 | 4,33 | 270,67 | 275,00 | 303,83 | 308,17 | 33,17 | |
| 41 | K6 | 8,17 | 275,00 | 283,17 | 308,17 | 316,33 | 33,17 | |
| 42 | K7 | 8,17 | 283,17 | 291,33 | 316,33 | 324,5 | 33,17 | |
| 43 | L | 8,33 | 260,17 | 268,5 | 260,17 | 268,5 | 0,00 | Kritis |
| 44 | M1 | 24,17 | 186,00 | 210,17 | 300,33 | 324,5 | 114,33 | |
| 45 | N1 | 16,17 | 186,00 | 202,17 | 186,00 | 202,17 | 0,00 | Kritis |
| 46 | N2 | 16,00 | 202,17 | 218,17 | 202,17 | 218,17 | 0,00 | Kritis |
| 47 | N3 | 8,33 | 218,17 | 226,5 | 218,17 | 226,5 | 0,00 | Kritis |
| 48 | O1 | 16,00 | 186,00 | 202,00 | 277,83 | 293,83 | 91,83 | |
| 49 | O2 | 4,33 | 202,00 | 206,33 | 293,83 | 298,17 | 91,83 | |
| 50 | O3 | 4,00 | 206,33 | 210,33 | 298,17 | 302,17 | 91,83 | |
| 51 | O4 | 2,33 | 210,33 | 212,67 | 302,17 | 304,5 | 91,83 | |
| 52 | O5 | 20,00 | 212,67 | 232,67 | 304,5 | 324,5 | 91,83 | |
| 53 | P1 | 24,00 | 268,5 | 292,5 | 268,5 | 292,5 | 0,00 | Kritis |
| 54 | P2 | 16,00 | 292,5 | 308,5 | 292,5 | 308,5 | 0,00 | Kritis |
| 55 | P3 | 8,00 | 308,5 | 316,5 | 308,5 | 316,5 | 0,00 | Kritis |
| 56 | P4 | 8,00 | 316,5 | 324,5 | 316,5 | 324,5 | 0,00 | Kritis |
| 57 | Q | 16,00 | 275,00 | 291,00 | 308,5 | 324,5 | 33,5 | |
| 58 | R1 | 16,00 | 186,00 | 202,00 | 308,5 | 324,5 | 122,5 | |

Lintasan kritis pada tabel ini adalah yang dilalui oleh kegiatan A1-A2-A3-B-C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-D1-D2-D3-D4-D5-E1-E2-E3-F1-F2-F3-G1-G2-G3-H1-H2-H3-I1-I2-I3-J1-J2-J3-L-N1-N2-N3-P1-P2-P3-P4.

Dengan jumlah variansnya adalah 10,25. Setelah didapatkan lintasan kritis dan varians lintasan kritisnya, langkah selanjutnya adalah mencari probabilitas selesainya proyek.

Probabilitas Selesainya Proyek dengan Metode PERT

Setelah didapatkan lintasan kritis dari analisis jaringan pada Tabel.4, langkah selanjutnya melihat probabilitas selesainya proyek sesuai waktu yang ditargetkan. Target penyelesaian proyek awal adalah selama 56 hari, jadi probabilitas selesainya proyek berdasarkan perhitungan berikut.

Tabel 5. Kolom Distribusi Beta

| No | Aktvs | to | tm | tp | te | ve |
|----|-------|----|----|----|----|------|
| 1 | A1 | 10 | 16 | 18 | 15 | 1,78 |
| 2 | A2 | 6 | 8 | 10 | 8 | 0,44 |
| 3 | A3 | 6 | 8 | 10 | 8 | 0,44 |
| 4 | A4 | 1 | 2 | 3 | 2 | 0,11 |
| 5 | B1 | 7 | 8 | 10 | 8 | 0,25 |
| 6 | D1 | 14 | 16 | 18 | 16 | 0,44 |
| 7 | D2 | 3 | 4 | 6 | 4 | 0,25 |
| 8 | D3 | 3 | 4 | 6 | 4 | 0,25 |
| 9 | D4 | 7 | 8 | 10 | 8 | 0,25 |
| 10 | D5 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,11 |
| 11 | C1 | 30 | 32 | 34 | 32 | 0,44 |
| 12 | C2 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,11 |
| 13 | C3 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,11 |
| 14 | C4 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,11 |
| 15 | C5 | 8 | 8 | 10 | 8 | 0,11 |
| 16 | C6 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,11 |
| 17 | C7 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,11 |
| 18 | E1 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0,11 |
| 19 | E2 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0,11 |
| 20 | E3 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0,11 |
| 21 | F1 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0,11 |
| 22 | F2 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0,11 |
| 23 | F3 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0,11 |
| 24 | G1 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,11 |
| 25 | G2 | 7 | 8 | 10 | 8 | 0,25 |
| 26 | G3 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,11 |
| 27 | H1 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,11 |
| 28 | H2 | 7 | 8 | 10 | 8 | 0,25 |
| 29 | H3 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,11 |
| 30 | I1 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,11 |
| 31 | I2 | 7 | 8 | 10 | 8 | 0,25 |
| 32 | I3 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,11 |
| 33 | J1 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,11 |
| 34 | J2 | 7 | 8 | 10 | 8 | 0,25 |
| 35 | J3 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,11 |
| 36 | K1 | 21 | 24 | 26 | 24 | 0,69 |
| 37 | K2 | 15 | 16 | 18 | 16 | 0,25 |
| 38 | K3 | 15 | 16 | 18 | 16 | 0,25 |
| 39 | K4 | 2 | 2 | 3 | 2 | 0,03 |
| 40 | K5 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,11 |
| 41 | K6 | 7 | 8 | 10 | 8 | 0,25 |
| 42 | K7 | 7 | 8 | 10 | 8 | 0,25 |
| 43 | L | 8 | 8 | 10 | 8 | 0,11 |
| 44 | M1 | 23 | 24 | 26 | 24 | 0,25 |
| 45 | N1 | 15 | 16 | 18 | 16 | 0,25 |
| 46 | N2 | 14 | 16 | 18 | 16 | 0,44 |
| 47 | N3 | 8 | 8 | 10 | 8 | 0,11 |
| 48 | O1 | 14 | 16 | 18 | 16 | 0,44 |
| 49 | O2 | 4 | 4 | 6 | 4 | 0,11 |

| No | Aktivs | to | tm | tp | te | ve |
|----|--------|----|----|----|----|------|
| 50 | O3 | 3 | 4 | 5 | 4 | 0,11 |
| 51 | O4 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0,11 |
| 52 | O5 | 18 | 20 | 22 | 20 | 0,44 |
| 53 | P1 | 22 | 24 | 26 | 24 | 0,44 |
| 54 | P2 | 15 | 16 | 17 | 16 | 0,11 |
| 55 | P3 | 6 | 8 | 10 | 8 | 0,44 |
| 56 | P4 | 6 | 8 | 10 | 8 | 0,44 |
| 57 | Q | 14 | 16 | 18 | 16 | 0,44 |
| 58 | R1 | 14 | 16 | 18 | 16 | 0,44 |

Menghitung Probabilitas $x \geq \mu$

Berdasarkan perhitungan varians diatas, waktu penyelesaian kegiatan yang melewati lintasan kritis adalah 32 hari. Dengan menggunakan kurva normal dapat ditentukan probabilitas waktu penyelesaian proyek dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Jika manajer proyek menetapkan waktu penyelesaian proyek pada waktu 49 hari atau $x = 49$.

$$tp = \mu = 41 \text{ hari (ET terakhir / } tp / \mu \text{)}$$

$$vp = \sigma^2 = 10,25$$

$$\text{Sehingga : } \sigma = \sqrt{10,25} = 3,2$$

$x = 49$ (Waktu awal prediksi penyelesaian proyek)

Maka:

$$Z = \frac{x - \mu}{\Sigma}$$

$$Z = \frac{(49 - 41)}{\sqrt{10,25}}$$

$$= \frac{8,00}{3,2}$$

$$= 2,5$$

Pada tabel kurva normal dapat dikonversikan $Z = 2,5$ maka $Z_{\text{tabel}} = 0,4938$.

Karena rencana awal menginginkan proyek dapatselesai paling lambat 49 hari maka:

Probabilitas penyelesaian proyek/ aktivitas dalam 56 hari adalah:

Jika $x > \mu$

$$P(x < 41 \text{ hari}) = P(Z < 2,5)$$

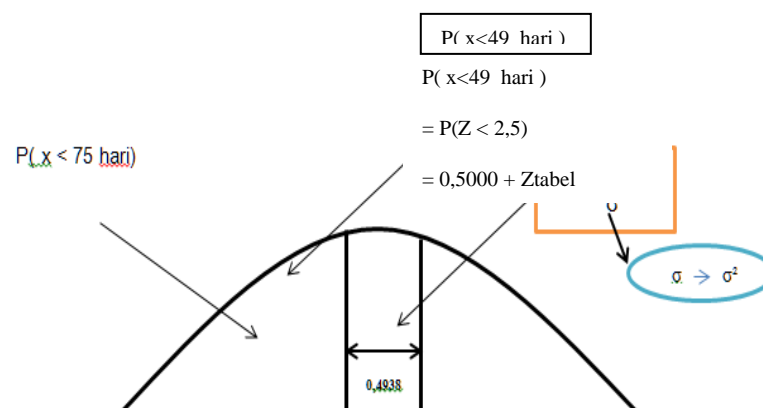
$$= 0,5000 + Z_{\text{tabel}}$$

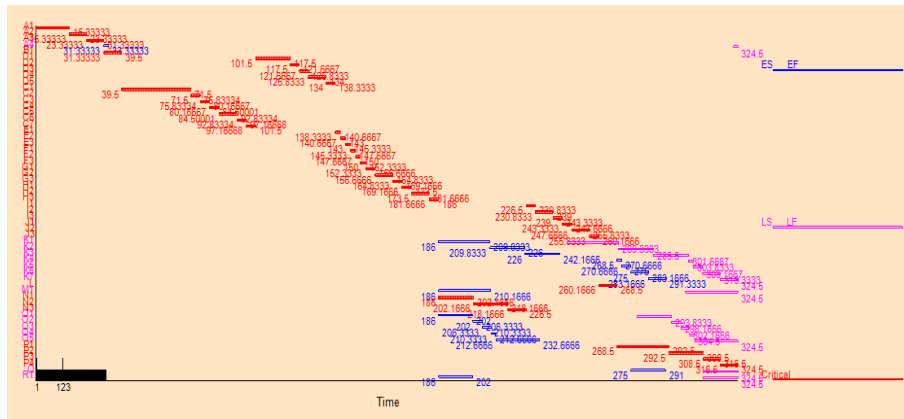
$$= 0,5000 + 0,4938$$

$$= 0,9938$$

Jadi peluang proyek diselesaikan selama 49 hari sebesar $0,9938 \times 100\% = 99,38\%$.

Analisa Probabilitas Jaringan Proyek





Gambar 9. Gantt chart Early And Late Times

Sumber: Analisa Aplikasi POMQ

1. Penentuan Total Waktu Akselerasi dan Total Biaya Akselerasi.

Tabel 5. Data Waktu Dan Biaya Dalam Kondisi Akselerasi (Crash) Proyek.

| No | Kegiatan | Waktu | Biaya | Biaya Akselerasi | | Ket |
|----|----------|------------|------------|------------------|--------|--------|
| | | Akselerasi | Akselerasi | Perkegiatan | Perjam | |
| 1 | A1 | 10,00 | 1.480.000 | 370.00 | 74.00 | Kritis |
| 2 | A2 | 6,00 | 740.00 | 148.00 | 74.00 | Kritis |
| 3 | A3 | 6,00 | 740.00 | 148.00 | 74.00 | Kritis |
| 4 | A4 | 1,00 | 222.00 | 74.00 | 74.00 | |
| 5 | B1 | 7,00 | 690.67 | 86.33 | 74.00 | Kritis |
| 6 | D1 | 14,00 | 1.332.000 | 148.00 | 74.00 | Kritis |
| 7 | D2 | 3,00 | 394.67 | 86.33 | 74.00 | Kritis |
| 8 | D3 | 3,00 | 394.67 | 86.33 | 74.00 | Kritis |
| 9 | D4 | 7,00 | 690.67 | 86.33 | 74.00 | Kritis |
| 10 | D5 | 4,00 | 345.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 11 | C1 | 16,00 | 3.552.000 | 1.184.000 | 74.00 | Kritis |
| 12 | C2 | 4,00 | 345.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 13 | C3 | 4,00 | 345.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 14 | C4 | 4,00 | 345.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 15 | C5 | 8,00 | 641.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 16 | C6 | 4,00 | 345.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 17 | C7 | 4,00 | 345.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 18 | E1 | 2,00 | 197.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 19 | E2 | 2,00 | 197.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 20 | E3 | 2,00 | 197.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 21 | F1 | 2,00 | 197.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 22 | F2 | 2,00 | 197.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 23 | F3 | 2,00 | 197.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 24 | G1 | 4,00 | 345.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 25 | G2 | 7,00 | 690.67 | 86.33 | 74.00 | Kritis |
| 26 | G3 | 4,00 | 345.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 27 | H1 | 4,00 | 345.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 28 | H2 | 7,00 | 690.67 | 86.33 | 74.00 | Kritis |

| No | Kegiatan | Waktu | Biaya | Biaya Akselerasi | | Ket |
|----|----------|------------|------------|------------------|--------|--------|
| | | Akselerasi | Akselerasi | Perkegiatan | Perjam | |
| 29 | H3 | 4,00 | 345.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 30 | I1 | 4,00 | 345.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 31 | I2 | 7,00 | 690.67 | 86.33 | 74.00 | Kritis |
| 32 | I3 | 4,00 | 345.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 33 | J1 | 4,00 | 345.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 34 | J2 | 7,00 | 690.67 | 86.33 | 74.00 | Kritis |
| 35 | J3 | 4,00 | 345.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 36 | K1 | 16,00 | 2.343.333 | 579.67 | 74.00 | |
| 37 | K2 | 15,00 | 1.282.667 | 86.33 | 74.00 | |
| 38 | K3 | 15,00 | 1.282.667 | 86.33 | 74.00 | |
| 39 | K4 | 2,00 | 172.67 | 12.33 | 74.00 | |
| 40 | K5 | 4,00 | 345.33 | 24.67 | 74.00 | |
| 41 | K6 | 7,00 | 690.67 | 86.33 | 74.00 | |
| 42 | K7 | 7,00 | 690.67 | 86.33 | 74.00 | |
| 43 | L | 8,00 | 641.33 | 24.67 | 74.00 | Kritis |
| 44 | M1 | 16,00 | 2.392.667 | 604.33 | 74.00 | |
| 45 | N1 | 8,00 | 1.800.667 | 604.33 | 74.00 | Kritis |
| 46 | N2 | 10,00 | 1.776.000 | 592.00 | 74.00 | Kritis |
| 47 | N3 | 4,00 | 937.33 | 320.67 | 74.00 | Kritis |
| 48 | O1 | 14,00 | 1.332.000 | 148.00 | 74.00 | |
| 49 | O2 | 4,00 | 345.33 | 24.67 | 74.00 | |
| 50 | O3 | 3,00 | 370.00 | 74.00 | 74.00 | |
| 51 | O4 | 2,00 | 197.33 | 24.67 | 74.00 | |
| 52 | O5 | 18,00 | 1.628.000 | 148.00 | 74.00 | |
| 53 | P1 | 22,00 | 1.924.000 | 148.00 | 74.00 | Kritis |
| 54 | P2 | 15,00 | 1.258.000 | 74.00 | 74.00 | Kritis |
| 55 | P3 | 6,00 | 740.00 | 148.00 | 74.00 | Kritis |
| 56 | P4 | 6,00 | 740.00 | 148.00 | 74.00 | Kritis |
| 57 | Q | 14,00 | 1.332.000 | 148.00 | 74.00 | |
| 58 | R1 | 14,00 | 1.332.000 | 148.00 | 74.00 | |

Lama waktu proyek adalah 325 jam atau 41 hari.

2. Penentuan Aktivitas Yang Akan di *Crash* ke satu

Untuk penentuan aktivitas yang akan dilakukan *crash*, pilih aktivitas pada jalur kritis yang memiliki biaya akselerasi minimal (perjam), akan tetapi karena biaya akselerasi semua sama maka di pilih total waktu akselerasi terbesar yaitu aktivitas C1 yaitu 16 jam (2 hari) dan kurangi waktu aktivitas tersebut semaksimal mungkin.

Dari Tabel 5, aktivitas C1 merupakan aktivitas yang memiliki total waktu akselerasi terbesar, sehingga akan dilakukan *crash* pada aktivitas ini, dengan rincian perhitungan sebagai berikut:

- a. Dengan biaya akselerasi per unit waktu sebesar Rp. 74.000.
- b. Dapat dipercepat dengan total waktu 16 Jam, sehingga:
 - 1) Waktu aktivitas setelah akselerasi
= Waktu normal – Waktu Akselerasi Digunakan
= 32 – 16 = 16 jam
 - 2) Lama waktu proyek setelah akselerasi
= Waktu proyek awal – Waktu Akselerasi Digunakan
= 325 (41 hari) – 16 (2 hari) = 309 jam (39 hari)
 - 3) Biaya tambahan setelah akselerasi
= Biaya akselerasi per jam x Waktu Akselerasi Digunakan

$$= \text{Rp } 74.000 \times 16 = \text{Rp } 1,184,000$$

3. Penentuan Aktivitas Yang Akan di *Crash* ke dua

Aktivitas N1 merupakan aktivitas berikutnya yang akan dilakukan *crash*, dengan rincian perhitungan sebagai berikut:

- a. Dengan biaya akselerasi per unit waktu sebesar Rp. 74.000.
- b. Dapat dipercepat dengan total waktu 8 Jam, sehingga:
 - 1) Waktu aktivitas setelah akselerasi
= Waktu normal – Waktu Akselerasi Digunakan
= 16 – 8 = 8 jam
 - 2) Lama waktu proyek setelah akselerasi
= Waktu proyek awal – Waktu Akselerasi Digunakan
= 309 (39 hari) – 8 (1 hari) = 301 jam (38 hari)
 - 3) Biaya tambahan setelah akselerasi
= Biaya akselerasi per jam x Waktu Akselerasi Digunakan
= Rp 74.000 x 8 = Rp 592,000

4. Penentuan Aktivitas Yang Akan di *Crash*

Selanjutnya aktivitas N2 merupakan aktivitas berikutnya yang akan dilakukan *crash*, dengan rincian perhitungan sebagai berikut:

- a. Dengan biaya akselerasi per unit waktu sebesar Rp. 74.000.
- b. Dapat dipercepat dengan total waktu 8 Jam, sehingga:
 - 1) Waktu aktivitas setelah akselerasi
= Waktu normal – Waktu Akselerasi Digunakan
= 16 – 8 = 8 jam
 - 2) Lama waktu proyek setelah akselerasi
= Waktu proyek awal – Waktu Akselerasi Digunakan
= 301 (39 hari) – 8 (1 hari) = 293 jam (37 hari)
 - 3) Biaya tambahan setelah akselerasi
= Biaya akselerasi per jam x Waktu Akselerasi Digunakan
= Rp 74.000 x 8 = Rp 592,000

5. Perbaharui Waktu Kegiatan

Dengan telah dilakukan *crash* pada tiga aktivitas , maka perhitungan waktu akan menjadi seperti berikut:

Table 6. Perhitungan Waktu Setelah Akselerasi

| NO | AKT | TE | ES | EF | LS | LF | SLACK | KET |
|----|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Project | 308 | | | | | | |
| 1 | A1 | 15,33 | 0 | 15,33 | 0 | 15,33 | 0 | KRITIS |
| 2 | A2 | 8 | 15,33 | 23,33 | 15,33 | 23,33 | 0 | KRITIS |
| 3 | A3 | 8 | 23,33 | 31,33 | 23,33 | 31,33 | 0 | KRITIS |
| 4 | A4 | 2 | 31,33 | 33,33 | 306,5 | 308,5 | 291,17 | |
| 5 | B1 | 8,17 | 31,33 | 39,5 | 31,33 | 39,5 | 0 | KRITIS |
| 6 | D1 | 16 | 85,5 | 101,5 | 85,5 | 101,5 | 0 | KRITIS |
| 7 | D2 | 4,17 | 101,5 | 105,67 | 101,5 | 105,67 | 0 | KRITIS |
| 8 | D3 | 4,17 | 105,67 | 109,83 | 105,67 | 109,83 | 0 | KRITIS |
| 9 | D4 | 8,17 | 109,83 | 118 | 109,83 | 118 | 0 | KRITIS |
| 10 | D5 | 4,33 | 118 | 122,33 | 118 | 122,33 | 0 | KRITIS |

| NO | AKT | TE | ES | EF | LS | LF | SLACK | KET |
|----|-----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 11 | C1 | 16 | 39,5 | 55,5 | 39,5 | 55,5 | 0 | KRITIS |
| 12 | C2 | 4,33 | 55,5 | 59,83 | 55,5 | 59,83 | 0 | KRITIS |
| 13 | C3 | 4,33 | 59,83 | 64,17 | 59,83 | 64,17 | 0 | KRITIS |
| 14 | C4 | 4,33 | 64,17 | 68,5 | 64,17 | 68,5 | 0 | KRITIS |
| 15 | C5 | 8,33 | 68,5 | 76,83 | 68,5 | 76,83 | 0 | KRITIS |
| 16 | C6 | 4,33 | 76,83 | 81,17 | 76,83 | 81,17 | 0 | KRITIS |
| 17 | C7 | 4,33 | 81,17 | 85,5 | 81,17 | 85,5 | 0 | KRITIS |
| 18 | E1 | 2,33 | 122,33 | 124,67 | 122,33 | 124,67 | 0 | KRITIS |
| 19 | E2 | 2,33 | 124,67 | 127 | 124,67 | 127 | 0 | KRITIS |
| 20 | E3 | 2,33 | 127 | 129,33 | 127 | 129,33 | 0 | KRITIS |
| 21 | F1 | 2,33 | 129,33 | 131,67 | 129,33 | 131,67 | 0 | KRITIS |
| 22 | F2 | 2,33 | 131,67 | 134 | 131,67 | 134 | 0 | KRITIS |
| 23 | F3 | 2,33 | 134 | 136,33 | 134 | 136,33 | 0 | KRITIS |
| 24 | G1 | 4,33 | 136,33 | 140,67 | 136,33 | 140,67 | 0 | KRITIS |
| 25 | G2 | 8,17 | 140,67 | 148,83 | 140,67 | 148,83 | 0 | KRITIS |
| 26 | G3 | 4,33 | 148,83 | 153,17 | 148,83 | 153,17 | 0 | KRITIS |
| 27 | H1 | 4,33 | 153,17 | 157,5 | 153,17 | 157,5 | 0 | KRITIS |
| 28 | H2 | 8,17 | 157,5 | 165,67 | 157,5 | 165,67 | 0 | KRITIS |
| 29 | H3 | 4,33 | 165,67 | 170 | 165,67 | 170 | 0 | KRITIS |
| 30 | I1 | 4,33 | 210,5 | 214,83 | 210,5 | 214,83 | 0 | KRITIS |
| 31 | I2 | 8,17 | 214,83 | 223 | 214,83 | 223 | 0 | KRITIS |
| 32 | I3 | 4,33 | 223 | 227,33 | 223 | 227,33 | 0 | KRITIS |
| 33 | J1 | 4,33 | 227,33 | 231,67 | 227,33 | 231,67 | 0 | KRITIS |
| 34 | J2 | 8,17 | 231,67 | 239,83 | 231,67 | 239,83 | 0 | KRITIS |
| 35 | J3 | 4,33 | 239,83 | 244,17 | 239,83 | 244,17 | 0 | KRITIS |
| 36 | K1 | 23,83 | 170 | 193,83 | 229,5 | 253,33 | 59,5 | |
| 37 | K2 | 16,17 | 193,83 | 210 | 253,33 | 269,5 | 59,5 | |
| 38 | K3 | 16,17 | 210 | 226,17 | 269,5 | 285,67 | 59,5 | |
| 39 | K4 | 2,17 | 252,5 | 254,67 | 285,67 | 287,83 | 33,17 | |
| 40 | K5 | 4,33 | 254,67 | 259 | 287,83 | 292,17 | 33,17 | |
| 41 | K6 | 8,17 | 259 | 267,17 | 292,17 | 300,33 | 33,17 | |
| 42 | K7 | 8,17 | 267,17 | 275,33 | 300,33 | 308,5 | 33,17 | |
| 43 | L | 8,33 | 244,17 | 252,5 | 244,17 | 252,5 | 0 | KRITIS |
| 44 | M1 | 24,17 | 170 | 194,17 | 284,33 | 308,5 | 114,33 | |
| 45 | N1 | 8 | 170 | 186,17 | 170 | 186,17 | 0 | KRITIS |
| 46 | N2 | 8 | 186,17 | 202,17 | 186,17 | 202,17 | 0 | KRITIS |
| 47 | N3 | 8,33 | 202,17 | 210,5 | 202,17 | 210,5 | 0 | KRITIS |
| 48 | O1 | 16 | 170 | 186 | 261,83 | 277,83 | 91,83 | |
| 49 | O2 | 4,33 | 186 | 190,33 | 277,83 | 282,17 | 91,83 | |
| 50 | O3 | 4 | 190,33 | 194,33 | 282,17 | 286,17 | 91,83 | |
| 51 | O4 | 2,33 | 194,33 | 196,67 | 286,17 | 288,5 | 91,83 | |
| 52 | O5 | 20 | 196,67 | 216,67 | 288,5 | 308,5 | 91,83 | |
| 53 | P1 | 24 | 252,5 | 276,5 | 252,5 | 276,5 | 0 | KRITIS |
| 54 | P2 | 16 | 276,5 | 292,5 | 276,5 | 292,5 | 0 | KRITIS |
| 55 | P3 | 8 | 292,5 | 300,5 | 292,5 | 300,5 | 0 | KRITIS |
| 56 | P4 | 8 | 300,5 | 308,5 | 300,5 | 308,5 | 0 | KRITIS |
| 57 | Q | 16 | 259 | 275 | 292,5 | 308,5 | 33,5 | |
| 58 | R1 | 16 | 170 | 186 | 292,5 | 308,5 | 122,5 | |

Sehingga total biaya tambahan untuk mempercepat waktu menjadi 37 hari seperti diuraikan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Waktu Proyek Setelah *Crash* (Waktu Proyek Awal = 41)

| Aktivitas | Waktu Akselerasi Yang Digunakan | Waktu Setelah Akselerasi | Proyek |
|-----------|---------------------------------|--------------------------|--------|
| C1 | 2 Hari | 39 Hari | |
| N1 | 1 Hari | 38 Hari | |
| N2 | 1 Hari | 37 Hari | |

Tabel 8. Biaya Tambahan Setelah *Crash* Manjadi 37 Hari

| Aktivitas | Waktu Akselerasi Yang Digunakan | Biaya Akselerasi |
|-----------|---------------------------------|------------------|
| C1 | 2 Hari | Rp 1,184,000 |
| N1 | 1 Hari | Rp 592,000 |
| N2 | 1 Hari | Rp 592,000 |
| | | Rp 2,368,000 |

5. PENUTUP

Berdasarkan waktu awal prediksi penyelesaian proyek 8 minggu (49 hari kerja), setelah dilakukan perhitungan probabilitas proyek, Probabilitas ($x < 49$ hari)

$$= P(Z < 2,5)$$

$$= 0,5000 + Z_{tabel}$$

$$= 0,5000 + 0,4938$$

$$= 0,9938 \text{ (99,38\%)}$$

Artinya peluang proyek dapat diselesaikan dalam waktu 49 hari adalah sebesar 99,38%.

Proyek Pembangunan Gedung Kantor Kelurahan Wonorejo memiliki durasi normal pengerjaan selama 63 hari dengan biaya tenaga kerja total sebesar Rp 37.180.000. Hasil analisis jalur kritis menunjukkan proyek dapat diselesaikan dalam waktu 41 hari dengan jadwal perencanaan yg sudah dihitung. Untuk alternatif penambahan jam kerja pada jalur kritis dilakukan 3 kali *crashing* dengan durasi optimum sebesar 37 hari, *crashing* pertama dihitung dengan penambahan biaya sebesar Rp 1.184.000, *crashing* kedua dihitung dengan penambahan biaya sebesar Rp 592.000, *crashing* ketiga dihitung dengan penambahan biaya sebesar Rp 592.000, sehingga total biaya *crashing* adalah Rp. 2.368.000.

Dengan menghitung biaya sewa alat yang lebih besar dari biaya crash sehingga proyek dapat diselesaikan selama 37 hari tanpa menambah biaya crash, karena biaya tidak langsung lebih besar daripada biaya crash.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, D. H., & Rahmadi, Y. E. 2004. Riset Operasional Konsep-Konsep Dasar. *Rineka Cipta, Jakarta*.
- Desmi, A. 2016. Studi Pengendalian Waktu dan Biaya pada Pelaksanaan Pemeliharaan Jalan Simpang Raja Bakong-Tanah Pasir dengan Menggunakan Konsep Nilai Hasil. *TERAS JURNAL-Jurnal Teknik Sipil*, 2(4).
- Ervianto, W, 2002. Manajemen Proyek Konstruksi, Edisi Revisi. Yogyakarta : Penerbit Andi
- Fajar, R. N., & Sulisty, S. 2015. Desain Aplikasi Penjualan Barang Dagangan Dengan Microsoft Visual Basic 6.0 Pada Toko Barokah. *Jurnal Akuntansi Bisnis dan Perbankan Indonesia*, 23(1).
- Ferdinand, A. 2006. Metode penelitian manajemen: pedoman penelitian untuk skripsi. *Tesis dan Disertasi Ilmu Manajemen. Semarang: Universitas Diponegoro*.

- Gee, H. 2019. Analisis Percepatan Waktu Proyek Dengan Tambahan Biaya Yang Optimum. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Bangunan*, 1(1).
- Hayun, Anggara. 2005. "Perencanaan dan Pengendalian Proyek dengan Metode PERT-CPM: Studi Kasus Fly Over Ahmad Yani, Karawang." *Journal The Winners*, Vol. 6, No.2, h. 155-174.
- Heizer, Jay dan Rander, Barry. 2006. *Manajemen Operasi*. Edisi Ketujuh. Jakarta: Salemba Empat.
- Mahersi, 2002. Pengendalian Biaya Dan Waktu Menggunakan metode Konsep Hasil Studi Kaus : Proyek Pembangunan Gedung Kejaksaan Tinggi Jawa Tengah. Skripsi. Universitas Diponegoro.
- Priyanto, E., Ervadius, B., & Wahyudi, M. A. 2020. Percepatan Waktu dan Biaya terhadap Perencanaan Proyek Febrikasi Steam Turbin Building Blok 2 Muara Tawar dengan Metode CPM. *Wahana Teknik*, 8(2).
- Priyo, M., & Indraga, K. F. 2016. Analisis Kinerja Biaya Dan Jadwal Terpadu Dengan Konsep Earned Value Method (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung). *Semesta Teknika*, 18(2), 106-121.
- Rantesalu, S, 2019. Evaluasi Waktu Pelaksanaan Pekerjaan Pada Proyek Pembangunan Gedung BAPPEDA Provinsi Kalimantan Utara Tahap III. *Potensi: Jurnal Sipil Politeknik*, 21(1), 42-46.
- Santoso, A. 2020. *Analisis Percepatan Pelaksanaan Pekerjaan Proyek Menggunakan Critical Path Method (Studi Kasus Pembangunan Pasar Baru Kota Probolinggo)* (Doctoral dissertation, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya).
- Siswanto. 2007. *Operation Research Jilid 2*. Erlangga. Jakarta
- Soeharto, I. 1997. *Manajemen konstruksi dari konseptual sampai operasional*. Erlangga : Jakarta.
- Soeharto, I. 1999. *Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional Jilid I*. Erlangga. Jakarta