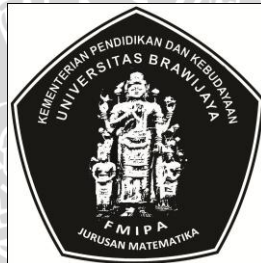


**PENGGUNAAN FAKTOR PENYESUAI $C(\delta)$ DALAM
PENDUGAAN RAGAM SEBARAN BETA PADA PERT
(Studi Kasus Waktu Penyelesaian Proyek Gedung Islamic Center
Probolinggo)**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
dalam bidang Statistika**

oleh:
ULFALINA HAPSARI
105090500111011



**PROGRAM STUDI STATISTIKA
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2014**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGGUNAAN FAKTOR PENYESUAI $C(\delta)$ DALAM
PENDUGAAN RAGAM SEBARAN BETA PADA PERT
(Studi Kasus Waktu Penyelesaian Proyek Gedung Islamic Center
Probolinggo)**

oleh:

**ULFALINA HAPSARI
105090500111011**

**Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji pada tanggal 8 April
2014 dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Statistika**

Pembimbing

Dr. Rahma Fitriani, S.Si., M.Sc.

NIP. 197603281999032001

Mengetahui,

**Ketua Jurusan Matematika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

Dr. Abdul Rouf Alghofari, M.Sc.

NIP. 196709071992031001

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ulfalina Hapsari

NIM : 105090500111011

Jurusan : Matematika

Program Studi : Statistika

Penulis Skripsi berjudul :

**PENGGUNAAN FAKTOR PENYESUAI $C(\delta)$ DALAM
PENDUGAAN RAGAM SEBARAN BETA PADA PERT
(Studi Kasus Waktu Penyelesaian Proyek Gedung Islamic Center
Probolinggo)**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka Skripsi ini, semata-mata digunakan sebagai acuan/referensi.
2. Apabila kemudian hari diketahui bahwa isi Skripsi saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung akibat hukum dari keadaan tersebut.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan segala kesadaran.

Malang, 8 April 2014

Yang Menyatakan,

Ulfalina Hapsari

NIM. 105090500111011

ABSTRAK

Program Evaluation and Review Technique (PERT) adalah metode umum yang biasa digunakan dalam penjadwalan waktu proyek. PERT digunakan untuk menduga waktu aktivitas dari pengaruh ketidakpastian waktu. Metode yang sering digunakan dalam penentuan waktu dan peluang penyelesaian proyek adalah PERT klasik. Velasco, dkk. (2011) memperkenalkan PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam sebagai perbaikan PERT klasik. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji penggunaan faktor penyesuai $C(\delta)$ dalam pendugaan ragam sebaran beta pada PERT dan pengaruhnya terhadap peluang penyelesaian proyek pada kurun waktu tertentu dengan studi kasus waktu penyelesaian proyek Gedung Islamic Center Probolinggo. Diperoleh penduga rata-rata waktu penyelesaian proyek yang sama antara metode PERT klasik dan PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam. Proyek diharapkan selesai dalam kurun waktu 324 hari. Ragam yang dihasilkan PERT klasik sebesar 9.2, sedangkan PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam sebesar 11.6. Dengan menggunakan faktor penyesuai $C(\delta)$, diperoleh peluang penyelesaian proyek dalam kurun waktu tertentu yang lebih kecil. Manajemen proyek membutuhkan biaya tidak langsung sebesar Rp 2,460,232,741 untuk waktu 329 hari dan untuk waktu 330 hari pihak manajemen proyek membutuhkan Rp 2,465,142,690.

Kata kunci: PERT, Faktor penyesuai $C(\delta)$, Sebaran beta

ABSTRACT

Program Evaluation and Review Technique (PERT) is a common method used in the project scheduling. PERT is used to estimate the time of the uncertainty effect. The method is often used in the determination of project completion time and probability is a classical PERT. Velasko , et al. (2011) introduced PERT variance adjustment factor $C(\delta)$ as a classical PERT improvement. The purpose of this study is to examine the use of adjustment factor $C(\delta)$ to estimate the variance of beta distribution and its effect on the PERT project completion probability at a certain time with a case study project completion time of the Islamic Center of Probolinggo building. Project expected to be completed within of 324 days. The variance of classical PERT produced by 9.2, while PERT variance adjustment factor $C(\delta)$ of 11.6. By using the adjustment factor $C(\delta)$ obtained the probability completion of the project within a certain time smaller . Project management requires indirect costs amounting to Rp 2,460,232,741 for the period 329 days and project management requires Rp 2,465,142,690 for the period 330 days

Keyword: PERT, Adjustment factor $C(\delta)$, Beta distribution

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan tuntunan-Nya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan mata kuliah Skripsi dengan bobot 6 sks di Program Studi Statistika, Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya Malang.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah memperoleh banyak bantuan dari beberapa pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Rahma Fitriani, S.Si., M.Sc selaku Dosen Pembimbing Skripsi atas bimbingan yang telah diberikan.
2. Bapak Samingun Handoyo, S.Si., M.Cs selaku Dosen penguji I atas saran dan kritik selama ini.
3. Ibu Ir.Heni Kusdarwati, M.S selaku Dosen penguji II atas saran dan kritik selama ini.
4. Ayah, Ibu, dan adik saya, terima kasih atas doa dan dukungan yang telah diberikan selama ini.
5. Fahd Faisal Afriza, Ika, Arista, Mahdiyatus, Anggono, Dina dan teman-teman statistika 2010 serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu saya selama penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan untuk perbaikan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, 8 April 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL SKRIPSI	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian PERT	7
2.2 Pembentukan Jaringan pada PERT	7
2.2.1 Simbol-simbol yang Digunakan	7
2.2.2 Penentuan Waktu	8
2.2.3 Penentuan Jalur Kritis	10
2.3 PERT Klasik	10
2.4 PERT dengan Faktor Penyesuai $C(\delta)$ pada Ragam	16
2.5 Pendugaan Total Waktu PERT	19
2.6 Pertimbangan Waktu dan Biaya dalam Proyek	21
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Data Penelitian	23
3.2 Metode Analisis Data	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Lintasan Kritis	27

4.2 Pendugaan Waktu Penyelesaian Proyek pada PERT	29
4.3 Peluang Penyelesaian Proyek pada PERT.....	31
4.4 Efek $C(\delta)$ terhadap Waktu dan Biaya Proyek	32

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran	39

DAFTAR PUSTAKA	41
-----------------------------	----

LAMPIRAN	43
-----------------------	----



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1. Jenis aktivitas dan durasi waktu proyek Gedung Islamic Center Probolinggo.....	27
Tabel 4.2. Ringkasan rata-rata dan ragam aktivitas pada jalur kritis	29
Tabel 4.3. Ringkasan waktu dan peluang penyelesaian proyek...	31



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. <i>Node</i> pada <i>Network</i>	8
Gambar 3.1. Diagram alir analisis PERT.....	25
Gambar 4.1. Kurva δ dan $C(\delta)$	32
Gambar 4.2. Fungsi kepekatan peluang sebaran beta, $p= 3 - \sqrt{2}= 1.58579$, $q= 3 + \sqrt{2}= 4.41421$, $m= 0.14645$	33
Gambar 4.3. Fungsi kepekatan peluang sebaran beta, $p= 3 - 0.8= 2.2$, $q= 3 + 0.8= 3.8$, $m= 0.3$	34
Gambar 4.4. Fungsi kepekatan peluang sebaran beta, $p= 3 - 0= 3$, $q= 3 + 0= 3$, $m= 0.5$	34
Gambar 4.5. Fungsi kepekatan peluang sebaran beta, $p= 3 - (-1.2)= 4.2$, $q= 3 + (-1.2) = 3$, $m= 0.8$	35



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Biaya tidak langsung proyek.....	43
Lampiran 2. Biaya langsung proyek	44
Lampiran 3. Jaringan proyek Gedung Islamic Center Probolinggo	45
Lampiran 4. Rata-rata setiap aktivitas proyek Gedung Islamic Center Probolinggo.....	47
Lampiran 5. Tabel langkah maju dan langkah mundur pada CPM.	49
Lampiran 6. Perhitungan langkah maju dan langkah mundur pada CPM	51
Lampiran 7. <i>Output software</i> QM analisis PERT	59
Lampiran 8. Perhitungan peluang penyelesaian proyek Gedung Islamic Center Probolinggo.....	60
Lampiran 9. Tabel perhitungan biaya tidak langsung untuk 329 dan 330 hari pelaksanaan proyek Gedung Islamic Center Probolinggo.....	62



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesatnya pembangunan di negara berkembang semakin dapat dirasakan. Proyek pembangunan gedung-gedung besar dan bertingkat dengan proses pembangunan yang cukup rumit dapat dilihat di kota-kota besar. Proses pembangunan yang rumit tentunya memerlukan suatu manajemen proyek yang profesional untuk menyusun strategi perencanaan agar tujuan pembangunan tercapai.

Project scheduling (penjadwalan proyek) adalah bagian terpenting dari proses perencanaan, penjadwalan, dan pengontrolan waktu dan biaya proyek. Sering dijumpai suatu proyek pembangunan yang ditangani kontraktor menggunakan jasa konsultan proyek untuk menangani segala hal yang berkaitan dengan penjadwalan dikarenakan proyek pembangunan gedung-gedung besar memiliki tingkat kerumitan proses yang tinggi. Ketepatan penjadwalan proyek sangatlah penting karena jadwal merupakan pedoman dalam menyelesaikan proyek agar proyek dapat selesai dengan waktu dan biaya proyek yang efisien. Tanpa penjadwalan yang tepat, maka sangat mungkin suatu proyek akan mengalami kegagalan yang akan merugikan pihak terkait, misalnya perpanjangan waktu dan peningkatan tenaga kerja mengakibatkan peningkatan biaya proyek.

Dalam menjalankan tugasnya pihak manajemen proyek memiliki jadwal pelaksanaan yang sekaligus berfungsi untuk mengontrol jalannya proses pembangunan. Metode umum yang biasa digunakan dalam penjadwalan waktu proyek adalah *Program Evaluation and Review Technique* (PERT). Menurut Nahmias (2009), PERT adalah perluasan *Critical Path Method* (CPM). Bila CPM menggunakan pendekatan waktu deterministik, yaitu *single time estimate* pada setiap aktivitas, maka PERT dikembangkan untuk menghadapi ketidakpastian waktu yang tinggi pada pelaksanaan proyek di masing-masing aktivitas. Terdapat tiga perkiraan waktu di setiap aktivitas pada PERT, yaitu waktu optimistik (a), waktu realistik (m), dan waktu pesimistik (b). PERT digunakan untuk menduga waktu aktivitas dari pengaruh ketidakpastian waktu, sehingga proses kerja PERT pada dasarnya adalah memperoleh rata-

rata dan ragam setiap aktivitas dengan mempertimbangkan aktivitas-aktivitas yang berada pada jalur kritis untuk memperkirakan waktu dan peluang penyelesaian proyek secara keseluruhan.

PERT telah dikembangkan oleh banyak ahli. Berbagai macam pendekatan telah dilakukan untuk memperbaiki rata-rata dan ragam PERT. Rata-rata dan ragam PERT klasik pertama kali diperkenalkan oleh Malcolm, dkk. (1959), yang prinsipnya adalah mencari nilai rata-rata dan ragam PERT dari fungsi kepekatan peluang sebaran beta dengan empat parameter, yaitu a , b , p , dan q dengan masing-masing adalah batas bawah, batas atas, dan dua parameter bentuk dari sebaran beta. Namun, para ahli mengalami kesulitan dalam menetapkan parameter p dan q ketika tidak ada data yang tersedia untuk menduga dua parameter ini. Oleh sebab itu, digunakan *expert judgement* (pendapat ahli) untuk menetapkan nilai p dan q . PERT klasik menetapkan nilai $p = 3 \pm \sqrt{2}$ dan $q = 3 \mp \sqrt{2}$. Nilai p dan q akan digunakan sebagai acuan untuk mencari rumus rata-rata dan ragam PERT klasik yang akan dimanfaatkan untuk mencari rata-rata dan ragam dari masing-masing aktivitas pada proyek.

Perdebatan tentang pendekatan yang digunakan dalam PERT di antara para ahli pengembang metode PERT telah lama terjadi karena para ahli memiliki pendapat tersendiri yang didasarkan pada eksperimen yang mereka lakukan. Menurut Velasko, dkk. (2011), metode pemilihan parameter PERT klasik tidak konsisten. Oleh karena itu, mereka mengembangkan metode alternatif untuk menduga rata-rata dan ragam PERT dengan cara mengusulkan nilai $p = 3 - h$ dan $q = 3 + h$ dengan rentang h adalah -2 sampai 2.

Metode umum yang biasa digunakan dalam penentuan waktu dan peluang penyelesaian proyek adalah PERT klasik. Informasi yang tersedia pada data proyek akan digunakan untuk menduga rata-rata dan ragam PERT klasik. Informasi tersebut meliputi waktu optimistik (a), waktu realistik (m), dan waktu pesimistik (b).

Permasalahan pertama yang timbul pada PERT klasik adalah ketika parameter bentuk p dan q telah ditentukan serta nilai a dan b terdapat pada data, ternyata penduga rata-rata dan ragam tidak mampu mengakomodasi informasi pada data. Nilai m pada data dan nilai duga m tidak selalu sama. Akan tetapi tidak demikian pada PERT dengan faktor penyesuaian $C(\delta)$ pada ragam, nilai m pada data dan nilai duga m akan selalu sama. Hal ini dikarenakan parameter

bentuk p dan q disesuaikan dengan nilai m pada data. Penentuan parameter bentuk p dan q akan selalu mengikutkan unsur δ yang merupakan jarak relatif m terhadap waktu optimistik a . Nilai δ mencerminkan sikap manajemen proyek dalam memperkirakan waktu terselesaikannya suatu aktivitas. Nilai m merupakan unsur penting dalam pendugaan rata-rata pada PERT. Selama ini dalam praktek seolah-olah tidak terjadi masalah mengenai pendugaan rata-rata pada PERT klasik karena nilai m yang digunakan dalam perhitungan adalah nilai m pada data, sehingga rata-rata PERT klasik dan PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam sama.

Permasalahan kedua yang muncul pada PERT klasik adalah pendugaan ragam yang masih diragukan kebenarannya. Penentuan parameter bentuk p dan q pada PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam berusaha membuat nilai m pada data dan nilai duga m akan selalu sama. Selanjutnya, ketika nilai p dan q tersebut digunakan untuk menduga ragam sebaran beta, maka unsur δ akan muncul pada ragam PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam. Faktor penyesuai $C(\delta)$ merupakan fungsi dari δ yang akan memberikan bobot pada ragam PERT klasik. Pada rentang δ [0.15,0.85], ragam PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ lebih konservatif dibanding PERT klasik. Faktor penyesuai $C(\delta)$ cenderung memberikan bobot yang akan memperbesar ragam PERT klasik. Meskipun pada rentang δ [0.15,0.85] ragam yang dihasilkan cenderung lebih besar, akan tetapi ragam tersebut adalah ragam yang benar karena tidak menyebabkan perbedaan antara nilai m data dan nilai duga m .

Ragam sangat penting pada PERT dikarenakan ragam akan mempengaruhi pendugaan waktu penyelesaian proyek dan peluang penyelesaian proyek pada kurun waktu tertentu akan berbeda pula apabila nilai penduga ragam yang dihasilkan berbeda. Peluang penyelesaian proyek akan menjadi pertimbangan penting bagi pihak manajemen dalam menentukan berapa lama proyek tersebut harus diselesaikan. Oleh karena itu, atas dasar masalah tersebut, maka penulis tertarik untuk mengkaji penggunaan faktor penyesuai $C(\delta)$ dalam pendugaan ragam sebaran beta pada PERT dan pengaruhnya terhadap peluang penyelesaian proyek pada kurun waktu tertentu dengan studi kasus waktu penyelesaian proyek Gedung Islamic Center Probolinggo.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pendugaan rata-rata dan ragam waktu penyelesaian proyek pada PERT klasik dan PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam terhadap peluang penyelesaian proyek pada kurun waktu tertentu ?
3. Bagaimana pengaruh δ terhadap waktu dan biaya proyek?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah disampaikan sebelumnya, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pendugaan rata-rata dan ragam waktu penyelesaian proyek pada PERT klasik dan PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam terhadap peluang penyelesaian proyek pada kurun waktu tertentu.
3. Bagaimana pengaruh faktor penyesuai $C(\delta)$ terhadap waktu dan biaya proyek.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini dibatasi pada masalah:

1. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data *project schedulling* pada proyek pembangunan Gedung Islamic Center Probolinggo.
2. Penentuan jalur kritis pada jaringan menggunakan *Critical Path Method (CPM)*.
3. Asumsi sebaran yang melandasi PERT klasik dan PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam adalah asumsi sebaran beta.
4. Nilai rata-rata dan ragam masing-masing aktivitas ditentukan dengan PERT klasik dan PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam.

1.5 Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi bahwa PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam merupakan perbaikan PERT klasik. Selanjutnya informasi tersebut dapat digunakan pihak manajemen proyek sebagai pertimbangan untuk menerapkan PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam dalam penjadwalan waktu penyelesaian proyek.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian PERT

Program Evaluation and Review Technique (PERT) adalah teknik yang dikembangkan berdasarkan penggunaan *network* (jaringan). PERT memiliki perbedaan dengan *Critical Path Method* (CPM). PERT menggunakan *triple time estimate*, sedangkan pada CPM digunakan *single time estimate*. Namun, dewasa ini terdapat kecenderungan untuk menggabungkan kedua pendekatan ini menjadi apa yang dikenal sebagai *PERT-type system* untuk tujuan penjadwalan proyek. *PERT-type system* memanfaatkan CPM untuk mendapatkan jalur kritis. Jalur kritis yang diperoleh akan digunakan pada PERT sebagai dasar untuk memperoleh rata-rata dan ragam total penyelesaian proyek (Dimiyati dan Dimiyati, 2010).

PERT terutama tepat digunakan ketika terdapat ketidakpastian dalam pendugaan waktu kegiatan proyek. Metode ini dianggap penting untuk mengendalikan penjadwalan secara efektif, seperti dalam proyek pembangunan dan penelitian (Hillier dan Lieberman, 1990).

2.2 Pembentukan Jaringan pada PERT

2.2.1 Simbol-simbol yang Digunakan

Menurut Dimiyati dan Dimiyati (2010), terdapat tiga buah simbol yang digunakan dalam menggambarkan *network* (jaringan), yaitu sebagai berikut:

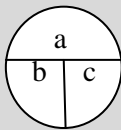
1. \longrightarrow *Arrow* (anak panah), mewakili suatu aktivitas yang memiliki durasi waktu. Kepala anak panah menjadi pedoman arah kegiatan. Panjang dan kemiringan anak panah tidak memiliki arti.
2. \bigcirc *Node* (lingkaran kecil), mewakili suatu kejadian atau *event*. Kejadian merupakan tempat bertemunya satu atau beberapa aktivitas.
3. $----\blacktriangleright$ Anak panah terputus-putus, mewakili suatu aktivitas *dummy*. Aktivitas *dummy* adalah aktivitas bayangan atau aktivitas yang tidak memiliki durasi waktu.

Penggunaan simbol-simbol tersebut memiliki aturan sebagai berikut:

1. Di antara dua kejadian yang sama hanya boleh digambarkan satu anak panah.
2. Nama aktivitas dinyatakan dengan huruf besar atau nomor kejadian.
3. Aktivitas harus dimulai dari kejadian bernomor rendah ke kejadian bernomor tinggi.
4. Diagram hanya memiliki satu *initial event* (kejadian permulaan) dan satu *terminal event* (kejadian akhir).

2.2.2 Penentuan Waktu

Dalam penentuan waktu terdapat dua perhitungan, yaitu perhitungan maju dan perhitungan mundur. Untuk melakukan kedua perhitungan ini, maka *node* dibagi menjadi tiga bagian sebagai berikut:



Gambar 2.1 *Node* pada *Network*

keterangan:

a= ruang untuk nomor *event*

b= ruang untuk TE

c= ruang untuk TL

Notasi yang digunakan untuk memudahkan perhitungan maju dan mundur adalah sebagai berikut:

1. TE = *earliest event occurrence time*, yaitu saat tercepat terjadinya *event*.
2. TL = *latest event occurrence time*, yaitu saat paling lambat terjadinya *event*.
3. ES = *earliest activity start time*, yaitu saat tercepat dimulainya aktivitas.
4. LS = *latest activity start time*, yaitu saat paling lambat dimulainya aktivitas.

5. EF = *earliest activity finish time*, yaitu saat tercepat diselesaikannya aktivitas.
6. LF = *latest activity finish time*, yaitu saat paling lambat diselesaikannya aktivitas.
7. t = *activity duration time*, waktu yang diperlukan untuk suatu aktivitas
8. S = *total slack/total float*
9. SF = *free slack/free float*

Pada perhitungan maju, apabila saat tercepat terjadinya *initial event* ditentukan pada hari ke-0 maka berlaku $TE_{(i)}=0$.

$$\begin{aligned} ES_{(i,j)} &= TE_{(i)} = 0 \\ EF_{(i,j)} &= ES_{(i,j)} + t_{(i,j)} = TE_{(i)} + t_{(i,j)} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Suatu *event* hanya dapat terjadi apabila aktivitas-aktivitas yang berakhir pada *event* tersebut sudah diselesaikan semua. Oleh sebab itu, saat tercepat terjadinya suatu *event* sama dengan nilai terbesar dari saat tercepat diselesaikannya suatu aktivitas-aktivitas yang berakhir pada *event* tersebut.

$$TE_{(j)} = \max(EF_{(i_1,j)}, EF_{(i_2,j)}, \dots, EF_{(i_n,j)}) \quad (2.2)$$

Perhitungan mundur dapat dilakukan setelah perhitungan maju dilakukan. Pada *terminal event* berlaku $TL_{(j)} = LF_{(i,j)} = TE_{(j)}$.

$$LS_{(i,j)} = LF_{(i,j)} - t_{(i,j)} = TL_{(i)} - t_{(i,j)} \quad (2.3)$$

Setiap aktivitas dapat dimulai apabila *event* yang mendahuluinya telah terjadi. Oleh karena itu, saat terlambat terjadinya suatu *event* sama dengan nilai terkecil dari saat paling lambat dimulainya aktivitas-aktivitas yang berpangkal pada *event* tersebut.

$$TL_{(j)} = \min(LS_{(i,j_1)}, LS_{(i,j_2)}, \dots, LS_{(i,j_n)}) \quad (2.4)$$

(Dimiyati dan Dimiyati, 2010)

2.2.3 Penentuan Jalur Kritis

Critical path (jalur kritis) merupakan satu atau beberapa jalur yang terdiri dari kegiatan-kegiatan pada jaringan sebagai penentu jangka waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan. Selain jalur kritis masih terdapat jalur-jalur lain yang memiliki waktu lebih pendek daripada waktu pada jalur kritis, sehingga aktivitas-aktivitas yang terdapat di selain jalur kritis memiliki waktu terlambat, yang dinamakan *float/slack* (Dimiyati dan Dimiyati, 2010).

Jumlah pengunduran waktu penyelesaian aktivitas tanpa mempengaruhi waktu tercepat penyelesaian proyek disebut *total float*.

$$\begin{aligned} S_{(i,j)} &= LS_{(i,j)} - ES_{(i,j)} \\ &= TL_{(j)} - t_{(i,j)} - TE_{(i)} \end{aligned} \quad (2.5)$$

atau

$$\begin{aligned} S_{(i,j)} &= LF_{(i,j)} - EF_{(i,j)} \\ &= TL_{(j)} - TE_{(i)} - t_{i,j} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Jumlah pengunduran waktu penyelesaian aktivitas tanpa mempengaruhi waktu tercepat dimulainya aktivitas lain pada jaringan disebut *free float*.

$$\begin{aligned} SF_{(i,j)} &= TE_{(j)} - EF_{(i,j)} \\ &= TE_{(j)} - TE_{(i)} - t_{(i,j)} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Aktivitas-aktivitas yang berada pada jalur kritis dinamakan aktivitas kritis, mempunyai $S=SF=0$.

2.3 PERT Klasik

PERT klasik pertama kali diperkenalkan oleh Malcolm, dkk. pada tahun 1958 (Malcolm, dkk., 1959), yang prinsipnya adalah asumsi sebaran beta merupakan asumsi yang melandasi PERT klasik. Peubah acak durasi waktu menyebar mengikuti sebaran beta. Fungsi kepekatan peluang (fkp) sebaran beta adalah sebagai berikut:

$$f(x|a, b, p, q) = \frac{(x - a)^{p-1}(b - x)^{q-1}}{B(p, q)(b - a)^{p+q-1}}, a < x < b; p, q > 1 \quad (2.8)$$

di mana:

a = waktu optimistik atau batas bawah

b = waktu pesimistik atau batas atas

p, q = parameter bentuk sebaran beta

Menurut Hillier dan Lieberman (1990), terdapat tiga dugaan durasi waktu pada PERT, yaitu sebagai berikut:

1. Waktu dugaan optimistik (a) adalah waktu yang sepertinya tidak dapat terjadi tetapi mungkin terjadi jika semua hal berlangsung dengan lancar. Secara statistik, a adalah dugaan bagi batas bawah.
2. Waktu dugaan paling mungkin (m) adalah waktu dugaan yang paling realistis yang dibutuhkan untuk melakukan suatu kegiatan. Secara statistik, m merupakan suatu modus (nilai tertinggi) dari sebaran peluang bagi waktu kegiatan.
3. Waktu dugaan pesimistik (b) waktu yang sepertinya tidak dapat terjadi tetapi mungkin terjadi jika semua hal berlangsung dengan buruk. Secara statistik, b adalah dugaan bagi batas atas.

Menurut Soeharto (1995), tujuan menggunakan tiga angka dugaan tersebut adalah untuk memberikan rentang yang lebih besar dalam melakukan pendugaan kurun waktu kegiatan dibanding satu angka deterministik. Ketiga dugaan durasi waktu tersebut akan dimanfaatkan untuk mencari nilai harapan dan ragam dari waktu yang dibutuhkan disetiap kegiatan. Nilai harapan durasi waktu setiap kegiatan $E(X)$ merupakan rata-rata (μ) durasi waktu terselesainya suatu kegiatan pada sebuah jaringan, sedangkan simpangan baku durasi waktu masing-masing kegiatan adalah akar dari ragam (σ^2). Besaran-besaran ini akan digunakan untuk menduga durasi waktu total penyelesaian suatu proyek.

Jika X adalah sebuah peubah acak kontinu dengan fungsi kepekatan peluang $f(x)$, maka nilai dari peubah X yang memaksimumkan fkp disebut modus (m). Modus sebaran beta dapat dicari dengan menggunakan konsep turunan parsial pertama dari suatu fungsi untuk mendapatkan nilai yang memaksimumkan fungsi tersebut.

$$\begin{aligned}
\frac{df(x|a, b, p, q)}{dx} &= \frac{d \left[\frac{(x-a)^{p-1}(b-x)^{q-1}}{B(p, q)(b-a)^{p+q-1}} \right]}{dx} \\
&= \frac{(p-1)(x-a)^{p-2}(b-x)^{q-1} - (q-1)(x-a)^{p-1}(b-x)^{q-2}}{B(p, q)(b-a)^{p+q-1}} \\
&= 0 \\
&= (p-1) \frac{(x-a)^{p-1}}{x-a} (b-x)^{q-1} \\
&\quad - (q-1)(x-a)^{p-1} \frac{(b-x)^{q-1}}{(b-x)} = 0 \\
&= (x-a)^{p-1}(b-x)^{q-1} \left(\frac{p-1}{x-a} - \frac{q-1}{b-x} \right) = 0 \\
&= \frac{(x-a)^{p-1}(b-x)^{q-1}}{(x-a)(b-x)} [(b-x)(p-1) - (x-a)(q-1)] = 0 \\
&= (b-x)(p-1) - (x-a)(q-1) = 0 \\
&= bp - b - px + x - qx + x + aq - a = 0 \\
&= b(p-1) + a(q-1) - x(p+q-2) = 0
\end{aligned}$$

dengan menyelesaikan persamaan tersebut maka akan didapat modus (m) sebaran beta sebagai berikut:

$$x = m = \left(\frac{p-1}{p+q-2} \right) b + \left(\frac{q-1}{p+q-2} \right) a \quad (2.9)$$

Selanjutnya, untuk mendapatkan μ terlebih dahulu akan dilakukan pengintegralan terhadap fkp sebaran beta. Pengintegralan ini

bertujuan untuk mencari *Cumulative Density Function* (fungsi sebaran kumulatif). Integral a sampai b dari fkp sebaran beta merupakan fungsi sebaran kumulatif yang bernilai 1.

$$\begin{aligned}
 F(X) &= \int_a^b \frac{(x-a)^{p-1}(b-x)^{q-1}}{B(p,q)(b-a)^{p+q-1}} dx = 1 \\
 &= \int_a^b (x-a)^{p-1}(b-x)^{q-1} dx = B(p,q)(b-a)^{p+q-1} \quad (2.10)
 \end{aligned}$$

Persamaan (2.10) dapat dimanfaatkan untuk memperoleh nilai μ secara lebih mudah. Nilai μ dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\mu = E(X) = E(X-a) + a \quad (2.11)$$

Oleh sebab itu, terlebih dahulu akan dicari $E(x-a)$.

$$\begin{aligned}
 E(X-a) &= \int_a^b \frac{(x-a)(x-a)^{p-1}(b-x)^{q-1}}{B(p,q)(b-a)^{p+q-1}} dx \\
 &= \int_a^b \frac{(x-a)^p(b-x)^{q-1}}{B(p,q)(b-a)^{p+q-1}} dx \\
 &= \frac{B(p+1,q)(b-a)^{p+q}}{B(p,q)(b-a)^{p+q-1}} \\
 E(X-a) &= \frac{p}{p+q} (b-a) \quad (2.12)
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, akan dicari $E(x)$.

$$E(X) = \mu = \frac{p}{p+q} (b-a) + a$$

$$\mu = E(X) = \frac{p}{p+q} b + \frac{q}{p+q} a \quad (2.13)$$

Untuk memperoleh σ^2 digunakan definisi ragam. Ragam dari sebuah variabel acak X merupakan nilai harapan dari $(X - \mu)^2$.

$$\begin{aligned} E(X - \mu)^2 &= \int_a^b \frac{(x - \mu)^2 (x - a)^{p-1} (b - x)^{q-1}}{B(p, q)(b - a)^{p+q-1}} dx \\ &= \int_a^b \frac{\left(x - \frac{pb + qa}{p + q}\right)^2 (x - a)^{p-1} (b - x)^{q-1}}{B(p, q)(b - a)^{p+q-1}} dx \\ \sigma^2 &= \frac{pq}{(p + q + 1)(p + q)^2} (b - a)^2 \quad (2.14) \end{aligned}$$

Empat parameter distribusi beta adalah a , b , p , dan q dengan masing-masing adalah batas bawah, batas atas, dan dua parameter bentuk dari sebaran beta. Namun, para ahli mengalami kesulitan dalam menetapkan parameter p dan q ketika tidak ada data yang tersedia untuk menduga dua parameter ini. Oleh sebab itu, digunakan *expert judgement* (pendapat ahli) untuk menetapkan nilai p dan q . PERT klasik menetapkan nilai $p = 3 \pm \sqrt{2}$ dan $q = 3 \mp \sqrt{2}$. Penggunaan nilai $p = 3 \pm \sqrt{2}$ dan $q = 3 \mp \sqrt{2}$ akan menyebabkan sebaran beta PERT menjadi mesokurtik, yaitu memiliki kurtosis sebesar 3 (Pleguezuelo, dkk., 2003).

Jika digunakan $p = 3 - \sqrt{2}$ dan $q = 3 + \sqrt{2}$,

maka

$$p + q = (3 - \sqrt{2}) + (3 + \sqrt{2}) = 6 \quad (2.15)$$

dengan menggunakan nilai $p = 3 - \sqrt{2}$ dan $q = 3 + \sqrt{2}$, selanjutnya persamaan (2.9), (2.13), dan (2.14) yang masing-masing merupakan persamaan untuk modus, rata-rata, dan ragam distribusi beta akan diselesaikan untuk mendapatkan modus, rata-rata, dan ragam PERT klasik.

Berikut akan disubstitusikan nilai yang didapat pada persamaan (2.15) ke persamaan (2.9) untuk mendapatkan modus PERT klasik .

$$\begin{aligned}
 m &= \left(\frac{3 - \sqrt{2} - 1}{6 - 2} \right) b + \left(\frac{3 + \sqrt{2} - 1}{6 - 2} \right) a \\
 &= \frac{(2 - \sqrt{2})b + (2 + \sqrt{2})a}{4} \\
 4m &= 2b - \sqrt{2}b + 2a + \sqrt{2}a \quad (2.16)
 \end{aligned}$$

Persamaan (2.15) akan disubstitusikan ke persamaan (2.13), maka didapat persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 \mu &= E(X) = \frac{(3 - \sqrt{2})}{6} b + \frac{(3 + \sqrt{2})}{6} a \\
 \mu &= E(X) = \frac{3b - \sqrt{2}b + 3a + \sqrt{2}a}{6} \quad (2.17)
 \end{aligned}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.16) ke persamaan (2.17), maka akan didapatkan rumus untuk μ PERT klasik.

$$\begin{aligned}
 \mu &= \frac{3b - \sqrt{2}b + 3a + \sqrt{2}a}{6} = \frac{b + 2b - \sqrt{2}b + 2a + \sqrt{2}a + a}{6} \\
 \mu &= \frac{a + 4m + b}{6} \quad (2.18)
 \end{aligned}$$

Langkah berikutnya akan dicari σ^2 PERT klasik. Digunakan $p = 3 - \sqrt{2}$ dan $q = 3 + \sqrt{2}$, maka

$$pq = (3 - \sqrt{2})(3 + \sqrt{2}) = 7$$

dan

$$p + q + 1 = 3 - \sqrt{2} + 3 + \sqrt{2} + 1 = 7$$

sehingga

$$pq = p + q + 1 \quad (2.19)$$

Substitusi persamaan (2.15) dan (2.19) ke persamaan (2.14), maka didapat persamaan sebagai berikut:

$$\sigma^2 = \frac{pq}{pq(6)^2} (b - a)^2$$

$$\sigma^2 = \frac{(b - a)^2}{36} \quad (2.20)$$

2.4 PERT dengan Faktor Penyesuai $C(\delta)$ pada Ragam

PERT adalah sebuah metode yang bekerja pada kondisi ketidakpastian waktu, sehingga baik PERT klasik maupun PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam bekerja pada kondisi tersebut. PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam merupakan perbaikan dari PERT klasik yang dikembangkan oleh Velasco, dkk. (2011). Metode ini memiliki asumsi yang sama dengan PERT klasik, yaitu sebaran beta adalah sebaran yang melandasinya. Letak perbedaannya adalah pada *adjustment factor* $C(\delta)$ yang menjadi pembobot ragam. Bobot ini menyebabkan ragam menjadi besar pada nilai δ tertentu. Selain itu, Faktor $C(\delta)$ menyebabkan efek

conservative uncertainty, artinya ragam yang dihasilkan oleh PERT dengan faktor penyesuaian $C(\delta)$ pada ragam dapat memberikan bobot yang lebih besar pada ketidakpastian waktu. Taha (1993), menjelaskan bahwa jika dua jalur atau lebih memiliki nilai rata-rata yang sama, maka jalur dengan ragam terbesar dipilih. Hal ini dikarenakan ragam besar mencerminkan ketidakpastian yang lebih besar. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh lebih konservatif.

Parameter p dan q yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$p = 3 - h, \quad q = 3 + h, \quad h \in (-2, 2) \quad (2.21)$$

Kemudian akan diperkenalkan δ , yaitu jarak relatif m terhadap waktu optimistik a .

$$\delta = \frac{m - a}{b - a}, \quad \delta \in [0, 1] \quad (2.22)$$

sehingga

$$m = (1 - \delta)a + \delta b \quad (2.23)$$

Persamaan (2.21) akan disubstitusikan ke persamaan (2.9).

$$m = \left(\frac{3 - h - 1}{3 - h + 3 + h - 2} \right) b + \left(\frac{3 + h - 1}{3 - h + 3 + h - 2} \right) a$$

$$m = \left(\frac{2 + h}{4} \right) a + \left(\frac{2 - h}{4} \right) b \quad (2.24)$$

Dengan menggunakan persamaan (2.23) dan persamaan (2.24), maka akan dapat ditulis sebagai berikut:

$$1 - \delta = \frac{2 + h}{4}$$

Persamaan tersebut akan diselesaikan untuk mendapatkan h yang merupakan fungsi dari δ .

$$h(\delta) = 2 - 4\delta \quad (2.25)$$

Substitusi persamaan (2.25) ke persamaan (2.21), maka akan menjadi:

$$p = 1 + 4\delta, q = 5 - 4\delta \quad (2.26)$$

Untuk mendapatkan μ , maka langkah selanjutnya yaitu mensubstitusikan persamaan (2.26) pada persamaan (2.13).

$$\mu = E(x) = \frac{(1 + 4\delta)}{1 + 4\delta + 5 - 4\delta} b + \frac{(5 - 4\delta)}{1 + 4\delta + 5 - 4\delta} a$$

$$\mu = \frac{b + 4\delta b + 5a - 4\delta a}{6}$$

$$\mu = \frac{b + 4[(1 - \delta)a + \delta b] + a}{6}$$

persamaan tersebut akan diselesaikan dengan memanfaatkan persamaan (2.23).

$$\mu = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (2.27)$$

Persamaan (2.27) merupakan rata-rata dari PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam. Terlihat bahwa rata-rata ini sama dengan rata-rata PERT klasik, yaitu pada persamaan (2.18).

Perlu dicari ragam PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ dengan mensubstitusi persamaan (2.26) pada persamaan (2.14).

$$\sigma^2 = \frac{(1 + 4\delta)(5 - 4\delta)}{(1 + 4\delta + 5 - 4\delta + 1)(1 + 4\delta + 5 - 4\delta)^2} (b - a)^2$$

$$= \frac{(5 + 16\delta - 16\delta^2)(b - a)^2}{7(36)}$$

$$= \left[\frac{5}{7} + \frac{16\delta(1-\delta)}{7} \right] \frac{(b-a)^2}{36}$$

$$\sigma^2 = C(\delta) \frac{(b-a)^2}{36} \quad (2.28)$$

Dengan demikian berarti:

$$C(\delta) = \left[\frac{5}{7} + \frac{16\delta(1-\delta)}{7} \right] \in \left[\frac{5}{7}, \frac{9}{7} \right] \quad (2.29)$$

Faktor $C(\delta)$ merupakan fungsi dari $\delta \in [0,1]$. Ketika $\delta = 0$, maka $C(\delta) = \frac{5}{7}$. Menurut Velasco, dkk. (2011), ragam maksimum diperoleh ketika $\delta = \frac{1}{2}$, sehingga $C(\delta) = \frac{9}{7}$. Oleh sebab itu, $C(\delta)$ terletak diantara rentang $\frac{5}{7}$ sampai $\frac{9}{7}$. Ketika $C(\delta) = 1$, maka $\delta(1-\delta) = \frac{1}{8}$, $\delta = \frac{1}{2} \pm \frac{1}{4}\sqrt{2}$, sehingga $\delta \in \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{4}\sqrt{2}, \frac{1}{2} + \frac{1}{4}\sqrt{2} \right] \approx [0.15, 0.85]$. Ketika δ terletak pada rentang ini, maka efek δ terhadap ragam adalah ragam yang lebih besar dari ragam PERT klasik.

2.5 Pendugaan Total Waktu PERT

Pendugaan waktu dan ragam masing-masing aktivitas pada *network* memanfaatkan persamaan (2.18) dan (2.20) untuk PERT klasik, sedangkan untuk PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam menggunakan persamaan (2.27) dan (2.28).

Pada PERT terdapat suatu asumsi bahwa distribusi dari total durasi aktivitas adalah normal. *Central Limit Theorem* (CLT) atau dalil limit pusat digunakan untuk mendukung asumsi tersebut. CLT mengatakan bahwa apapun sebaran populasi jika sebaran penarikan contoh berukuran besar, maka rata-rata contoh kira-kira menyebar normal. Oleh karena total waktu aktivitas adalah penjumlahan waktu sepanjang jalur kritis, maka seharusnya dapat didekati dengan distribusi normal selama waktu aktivitas adalah *independent* (bebas). Anggap perkiraan waktu masing-masing aktivitas kritis adalah T_1 ,

T_2, \dots, T_k , k adalah kegiatan sepanjang jalur kritis. Total waktu penyelesaian proyek adalah $T = T_1 + T_2 + \dots + T_k$. Rata-rata dan ragam durasi waktu total proyek adalah penjumlahan rata-rata dan ragam aktivitas sepanjang *critical path* (jalur kritis), maka:

$$E(CP) = \sum_{(i,j) \in CP} E(T_{ij}) = \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_k \quad (2.30)$$

$$Var(CP) = \sum_{(i,j) \in CP} Var(T_{ij}) = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_k^2 \quad (2.31)$$

(Nahmias, 2009)

Menurut dalil limit pusat, peubah CP mengikuti sebaran normal dengan rata-rata $E(CP)$ dan ragam $Var(CP)$. Kemudian dengan waktu penjadwalan yang ditentukan oleh peneliti sebesar ST, berlaku hubungan berikut:

$$\begin{aligned} P(CP \leq ST) &= P\left(\frac{CP - E(CP)}{\sqrt{Var(CP)}} \leq \frac{ST - E(CP)}{\sqrt{Var(CP)}}\right) \\ &= P\left(Z \leq \frac{ST - E(CP)}{\sqrt{Var(CP)}}\right) \end{aligned} \quad (2.32)$$

di mana $Z \approx N(0,1)$, artinya variabel Z mengikuti fungsi normal dengan rata-rata nol dan simpangan baku satu, sehingga Z disebut normal baku (Taha, 1993).

Penggunaan persamaan (2.32) pada proyek secara nyata adalah untuk menentukan probabilitas atau peluang penyelesaian proyek dalam kurun waktu kurang dari ST. Probabilitas yang berkenaan dengan realisasi waktu penyelesaian proyek memberikan informasi yang berguna untuk menentukan alokasi waktu dan biaya proyek. Perencanaan waktu dan biaya proyek yang tepat akan mengurangi tertundanya pelaksanaan proyek. Untuk proyek pemerintah mungkin dapat memperkecil besarnya Sisa Anggaran Proyek (SIAP) baik tingkat pusat maupun daerah (Badri, 1991).

Menurut Soeharto (1995), dalam menganalisis peluang penyelesaian proyek dikesampingkan adanya usaha-usaha tambahan guna mempercepat penyelesaian pekerjaan, misalnya dengan

penambahan sumber daya. Setelah diketahui berapa persen kemungkinan tercapainya target jadwal kegiatan, maka hal ini merupakan informasi yang penting bagi pengelola proyek untuk mempersiapkan langkah-langkah yang diperlukan.

2.6 Pertimbangan Waktu dan Biaya dalam Proyek

Menurut Badri (1991), penentuan waktu aktivitas proyek harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

1. Kemampuan penyediaan sumber daya, seperti biaya, tenaga kerja/*skill*, material, tanah/alam.
2. Peralatan kerja yang tersedia dan yang dibutuhkan.
3. Tempat kerja (*work space*).
4. Jam kerja, istirahat, *shift* kerja, presensi kerja.
5. Hari libur, cuti pegawai, faktor musim.
6. Keamanan hal-hal tidak terduga.

Terdapat bermacam-macam jenis biaya dalam proyek. Berikut adalah dua macam biaya menurut Badri (1995) yang terdapat dalam proyek secara umum:

1. Biaya langsung proyek (*direct cost project*) adalah biaya untuk segala sesuatu yang akan menjadi komponen permanen hasil akhir proyek. Berikut adalah biaya yang termasuk biaya langsung proyek:
 - Penyiapan lahan (*site preparation*).
 - Pengadaan peralatan utama.
 - Biaya merakit dan memasang peralatan utama.
 - Pipa, terdiri dari pipa transfer, pipa penghubung antar peralatan, dan lain-lain.
 - Alat-alat listrik dan instrumen.
 - Pembangunan gedung perkantoran, pusat pengendalian operasi (*control room*), gudang, dan bangunan sipil lainnya.
 - Fasilitas pendukung seperti *utility* dan *offsite*. Terdiri dari pembangkit uap, pembangkit listrik, fasilitas air pendingin, tangki, dan dermaga.
 - Pembebasan tanah.

2. Biaya tidak langsung proyek (*indirect cost project*) adalah pengeluaran untuk manajemen, supervisor, dan pembayaran jasa untuk pengadaan bagian proyek yang tidak akan menjadi produk permanen, tetapi diperlukan dalam proses pembangunan proyek. Berikut adalah biaya yang termasuk biaya tidak langsung proyek:

- Gaji dan pengeluaran lain bagi tenaga administrasi, tim penyelia, dan manajemen proyek.
- Biaya pengadaan fasilitas sementara untuk pekerja, seperti perumahan atau asrama sementara.
- Menyewa atau membeli alat-alat berat untuk konstruksi.
- Ongkos untuk menyewa kantor, termasuk keperluan *utility*, seperti listrik dan air.
- Pajak, pungutan/sumbangan, biaya izin, dan biaya administrasi.

Total biaya proyek adalah penjumlahan biaya langsung proyek dan biaya tidak langsung proyek. Keduanya berubah-ubah sesuai dengan waktu dan kemajuan proyek. Meskipun tidak dapat diperhitungkan dengan rumus tertentu, tapi pada umumnya makin lama proyek berjalan maka makin tinggi kumulatif biaya tidak langsung yang diperlukan. (Soeharto, 1995)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder proyek pembangunan Gedung Islamic Center Probolinggo berdasarkan penelitian Damayanti (2005).

Keterangan yang terdapat pada data proyek pembangunan Gedung Islamic Center Probolinggo yaitu, jenis aktivitas mulai awal hingga akhir proyek, kode untuk masing-masing aktivitas, aktivitas terdahulu yang menjelaskan keterkaitan aktivitas tertentu dengan aktivitas yang mendahuluinya, dan peubah waktu aktivitas. Peubah waktu aktivitas terdiri dari waktu optimistik (a), waktu realistik (m), dan waktu pesimistik (b). Data tersebut terlampir pada Lampiran 1. Selain itu, terdapat pula informasi mengenai biaya tidak langsung dan langsung proyek yang terlampir pada Lampiran 2 dan 3.

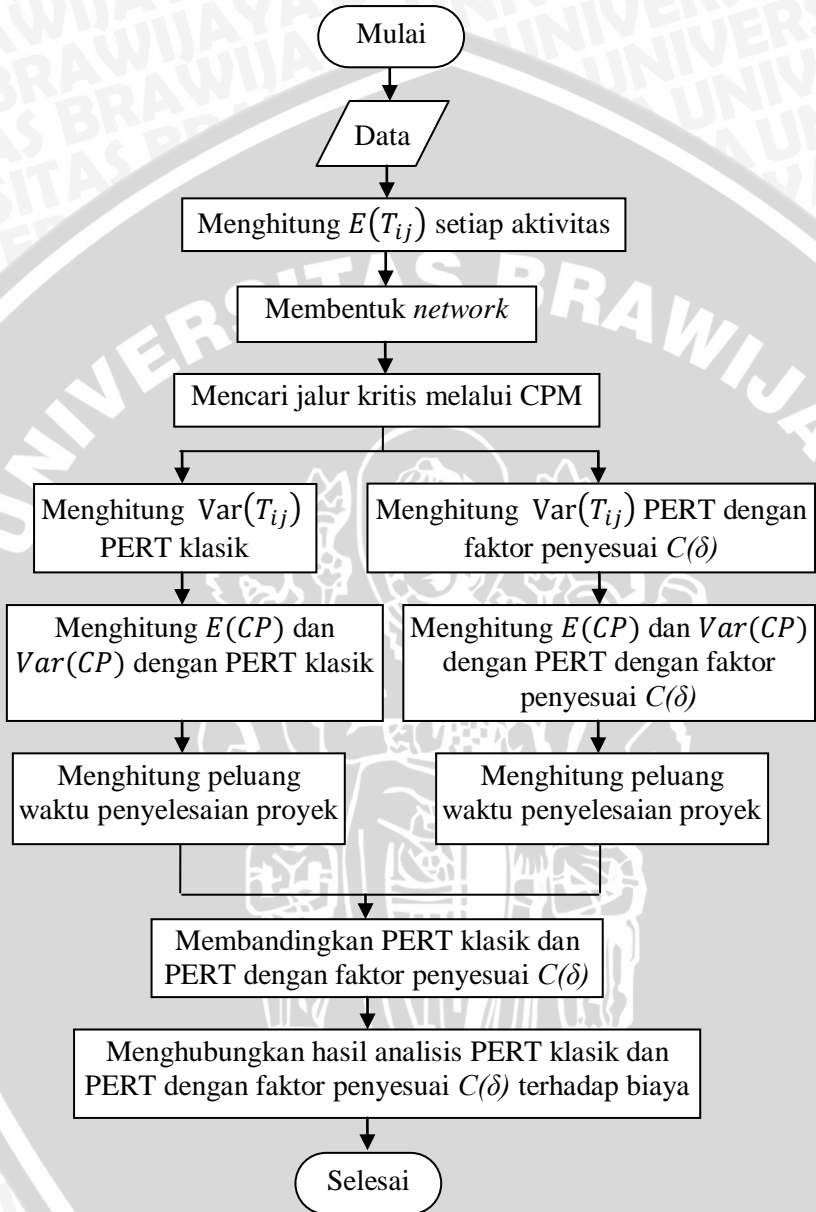
3.2 Metode Analisis Data

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Membentuk dan menggambarkan jaringan kerja.
2. Melakukan perhitungan rata-rata setiap aktivitas pada proyek ($E(T_{ij})$). Persamaan yang digunakan adalah persamaan (2.18) atau (2.27).
3. Menentukan lintasan kritis dengan *Critical Path Method* menggunakan persamaan (2.2), (2.4), (2.5), dan (2.7).
4. Melakukan perhitungan ragam setiap aktivitas pada jalur kritis ($Var(T_{ij})$) sesuai persamaan (2.20), serta rata-rata dan ragam total aktivitas pada jalur kritis ($E(CP)$ dan $Var(CP)$) menggunakan PERT klasik sesuai persamaan (2.30) dan (2.31).
5. Melakukan perhitungan ragam setiap aktivitas pada jalur kritis ($Var(T_{ij})$) sesuai persamaan (2.28), serta rata-rata dan ragam total aktivitas pada jalur kritis ($E(CP)$ dan $Var(CP)$) menggunakan PERT dengan faktor penyesuaian $C(\delta)$ sesuai persamaan (2.30) dan (2.31).

6. Membandingkan $E(T_{ij})$, $\text{Var}(T_{ij})$, $E(CP)$ dan $\text{Var}(CP)$ antara PERT klasik dan PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$.
7. Menghitung dan membandingkan peluang penyelesaian proyek pada kurun waktu tertentu dengan menggunakan PERT klasik dan PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$. Persamaan yang digunakan adalah persamaan (2.32).
8. Menghubungkan hasil analisis PERT klasik dan PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ terhadap waktu dan biaya proyek.





Gambar 3.1 Diagram alir analisis PERT

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Lintasan Kritis

Seperti yang telah dijelaskan pada Sub Bab 3.2, dalam melakukan analisis PERT maka terlebih dahulu dibentuk jaringan kerja seperti terlampir pada Lampiran 3. Selanjutnya, perhitungan rata-rata setiap aktivitas pada proyek ($E(T_{ij})$) dapat dilihat pada Lampiran 4. Penentuan lintasan kritis dilakukan melalui metode CPM secara manual dapat dilihat pada Lampiran 5 dan 6. Lampiran 7 adalah *output* software QM dalam penentuan lintasan kritis. Lintasan kritis yang terbentuk antara perhitungan manual dan menggunakan *software* QM sama. Lintasan kritis yang terbentuk adalah lintasan yang melalui aktivitas A-B-C-D-E-d₁-K-L-H₀-d₁₂-M₀-N₀. Garis merah pada Lampiran 3 menandakan lintasan kritis yang terbentuk.

Tabel 4.1. Jenis aktivitas dan durasi waktu proyek Gedung Islamic Center Probolinggo

No.	Jenis Aktivitas	Peristiwa (i,j)	Kode Akt.	Aktivitas Pendahulu	Waktu yang Diperkirakan		
					a	m	b
I	Lantai Dasar						
1	Pek. Persiapan	(0,1)	A	-	12	15	18
2	Pek. Pondasi	(1,2)	B	A	25	28	31
3	Pek. Tanah	(2,3)	C	B	18	20	22
4	Pek. Beton	(3,4)	D	C	20	22	24
5	Pek. Pasangan	(4,5)	E	D	20	23	26
6	Pek. Plesteran	(4,6)	F	D	18	20	22
7	Pek. Kosen & Kaca	(5,7)	G	E	19	23	27
8	Pek. Pengg/Kunci	(5,8)	H	E	7	10	13
9	Pek. Langit-langit	(8,9)	I	G,H	15	17	19
10	Pek. Pengecatan	(9,36)	J	F,I	17	20	23
11	Pek. Pel. Dind&Lant.	(6,10)	K	E,F	14	15	16

Tabel 4.1. (Lanjutan)

12	Pek. Ins. Listrik	(10,11)	L	K	75	77	79
13	Pek. Sanitair	(10,12)	M	K	78	80	82
II	Lantai 1						
1	Pek. Beton 1	(4,13)	N	D	33	35	39
2	Pek. Pasangan 1	(13,14)	O	N	33	35	37
3	Pek. Plesteran 1	(13,15)	P	N	22	24	28
4	Pek. Kosen& Kaca 1	(14,16)	Q	O	30	32	34
5	Pek. Pengg/Kunci 1	(14,18)	R	O	29	30	31
6	Pek. Langit-langit 1	(14,17)	S	O	37	40	46
7	Pek. Pelapis Dinding & Lantai 1	(18,19)	T	Q,R,S	30	33	39
8	Pek. Ins. Listrik 1	(19,20)	U	T	34	35	37
9	Pek. Pengecatan 1	(20,36)	V	P,U	19	22	25
III	Lantai 2						
1	Pek. Beton 2	(13,21)	W	N	31	35	39
2	Pek. Rangka Atap	(21,22)	X	W	21	25	29
3	Pek. Penutup Atap	(22,24)	Y	X	15	17	21
4	Pek. Pasangan 2	(22,23)	Z	X	30	36	39
5	Pek. Plesteran 2	(24,25)	A ₀	Y,Z	23	25	29
6	Pek. Kosen&Kaca 2	(23,27)	B ₀	Z	23	25	27
7	Pek. Pengg/Kunci 2	(23,28)	C ₀	Z	20	28	30
8	Pek. Langit-langit 2	(23,29)	D ₀	Z	19	20	24
9	Pek. Pel.Din.&Lan 2	(24,26)	E ₀	Y,Z	20	22	26
10	Pek. Ins. Listrik 2	(26,30)	F ₀	A ₀ ,E ₀	17	19	21
11	Pek. Pengecatan 2	(30,36)	G ₀	B ₀ ,C ₀ ,D ₀ ,F ₀	20	23	29
IV	Lain-lain						
1	Pek. Rumah Genset	(11,31)	H ₀	L	57	60	63
2	Pek. Pagar	(11,32)	I ₀	L	25	28	34
3	Pek. Sal. Air Hujan	(12,33)	J ₀	M	28	30	36
4	Pek. Duiker	(12,34)	K ₀	M	55	57	61

Tabel 4.1. (Lanjutan)

5	Pek. Tangga Maintenance	(34,36)	L_0	J_0, K_0	10	16	19
6	Pek. Raam	(32,35)	M_0	H_0, I_0	40	45	50
7	Pek. Rambu & Nama Ruang	(35,36)	N_0	M_0	14	19	20

Tabel 4.1 menerangkan jenis aktivitas dan waktu yang diperkirakan dalam proyek Gedung Islamic Center Probolinggo. Satuan waktu yang diperkirakan menggunakan hari. Kode aktivitas dan aktivitas disimbolkan dengan huruf kapital. Kolom Peristiwa (i,j) menjelaskan dua kejadian (*node*) yang dihubungkan oleh suatu aktivitas pada proyek. Kode a , m , dan b masing-masing adalah waktu optimistik, realistik, dan pesimistik dengan satuan hari. Pada Tabel 4.1 juga diterangkan bahwa pembangunan Gedung Islamic Center Probolinggo dimulai dari pembangunan lantai dasar, lantai satu, lantai dua, dan pembangunan lain-lain.

4.2 Pendugaan Waktu Penyelesaian Proyek pada PERT

Waktu total penyelesaian proyek pada PERT merupakan penjumlahan rata-rata aktivitas pada jalur kritis. Pendugaan rata-rata dan ragam waktu penyelesaian proyek Gedung Islamic Center Probolinggo dengan menggunakan PERT klasik dan PERT dengan faktor penyesuaian $C(\delta)$ pada ragam disajikan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Ringkasan rata-rata dan ragam aktivitas pada jalur kritis

Aktivitas	PERT Klasik		PERT dengan Faktor Penyesuaian $C(\delta)$	
	$E(T_{ij})$	$Var(T_{ij})$	$E(T_{ij})$	$Var(T_{ij})$
A	15	1	15	1.286
B	28	1	28	1.286
C	20	0.444	20	0.571
D	22	0.444	22	0.571

Tabel 4.2. (Lanjutan)

E	23	1	23	1.286
d₁	0	0	0	0
K	15	0.111	15	0.143
L	77	0.444	77	0.571
H₀	60	1	60	1.286
d₁₂	0	0	0	0
M₀	45	2.778	45	3.571
N₀	18.3	1	18.3	1.032
Total	323.333	9.222	323.333	11.603

Berdasarkan hasil pada Tabel 4.2, tentu saja rata-rata tidak mengalami perubahan karena faktor penyesuaian $C(\delta)$ hanya diterapkan pada ragam, sehingga waktu total penyelesaian proyek pada kedua metode ini juga sama. Proyek diharapkan selesai dalam kurun waktu 323.3333 hari atau mendekati 324 hari. Perbedaan dari PERT klasik dan PERT dengan faktor penyesuaian $C(\delta)$ pada ragam terletak pada nilai ragam setiap aktivitas pada jalur kritis. Ragam setiap aktivitas untuk PERT dengan faktor penyesuaian $C(\delta)$ cenderung lebih besar dibanding PERT klasik, sehingga ragam total juga lebih besar. Ragam total PERT klasik sebesar 9.2222, sedangkan ragam total PERT dengan faktor penyesuaian $C(\delta)$ pada ragam sebesar 11.6032. Faktor penyesuaian $C(\delta)$ membuat ragam menjadi lebih besar yang artinya ketidakpastian waktu penyelesaian proyek juga semakin besar. Jika menggunakan 3σ , maka rentang waktu penyelesaian proyek PERT klasik adalah ± 9.1104 dan PERT dengan faktor penyesuaian $C(\delta)$ adalah ± 10.2190 . Dapat dikatakan bahwa kurun waktu penyelesaian proyek PERT klasik adalah 323.3333 ± 9.1104 hari, sedangkan kurun waktu penyelesaian proyek PERT dengan faktor penyesuaian $C(\delta)$ pada ragam adalah 323.3333 ± 10.2190 hari.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa faktor penyesuaian $C(\delta)$ memberikan pengaruh terhadap ragam masing-masing aktivitas pada jalur kritis. Pada kasus proyek Gedung Islamic Center Probolinggo pengaruh yang diberikan oleh faktor penyesuaian $C(\delta)$ adalah ragam yang cenderung lebih besar jika dibanding dengan

ragam PERT klasik, artinya pada kasus ini ragam PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ lebih konservatif dibanding PERT klasik. Meskipun ragam yang dihasilkan cenderung lebih besar, akan tetapi ragam tersebut adalah ragam yang benar.

4.3 Peluang Penyelesaian Proyek pada PERT

Pimpinan proyek sering kali menginginkan suatu analisis untuk mengetahui kemungkinan suatu proyek mencapai target jadwal tertentu. Tabel 4.3 merupakan ringkasan kemungkinan waktu dan peluang proyek Gedung Islamic Center Probolinggo. Perhitungan peluang terdapat pada Lampiran 8.

Tabel 4.3. Ringkasan waktu dan peluang penyelesaian proyek

PERT Klasik		PERT dengan Faktor Penyesuai $C(\delta)$	
Waktu (\leq)	Peluang	Waktu (\leq)	Peluang
324	0.5	324	0.5
325	0.63	325	0.61
330	0.98	330	0.96
327	0.85	328	0.85
328	0.90	329	0.90
329	0.95	330	0.95

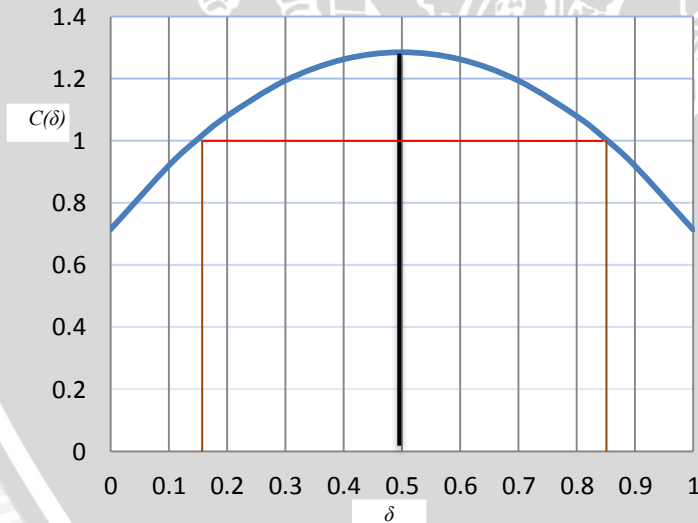
Seperti yang dijelaskan pada Sub Bab 4.2 bahwa faktor $C(\delta)$ memperbesar ragam masing-masing aktivitas pada jalur kritis, maka jika dikaji lebih lanjut pasti terdapat pengaruh terhadap peluang penyelesaian proyek pada kurun waktu tertentu karena ragam termasuk unsur penentu peluang. Hasil pada Tabel 4.3 menjelaskan bahwa terdapat perbedaan peluang penyelesaian proyek pada kurun waktu yang sama antara PERT klasik dan PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam. Dengan menggunakan faktor penyesuai $C(\delta)$, diperoleh peluang penyelesaian proyek dalam kurun waktu tertentu yang lebih kecil. Sebaliknya untuk mencapai besaran peluang penyelesaian proyek yang sama dapat dilihat bahwa PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam memberikan solusi waktu

penyelesaian yang cenderung lebih lama. Kondisi ini dapat dijelaskan dengan mempelajari nilai δ yang akan dibahas pada Sub Bab 4.4.

Ketika pimpinan proyek ingin memprediksi kemungkinan proyek Gedung Islamic Center Probolinggo selesai pada kurun waktu ≤ 325 hari, maka pada PERT klasik dihasilkan peluang sebesar 63% dan pada PERT dengan faktor penyesuai diperoleh peluang sebesar 61%. Meskipun pada PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam, diperoleh peluang penyelesaian proyek yang lebih kecil, akan tetapi peluang tersebut adalah peluang yang benar dan mampu mewakili informasi dari data.

4.4 Efek $C(\delta)$ terhadap Waktu dan Biaya Proyek

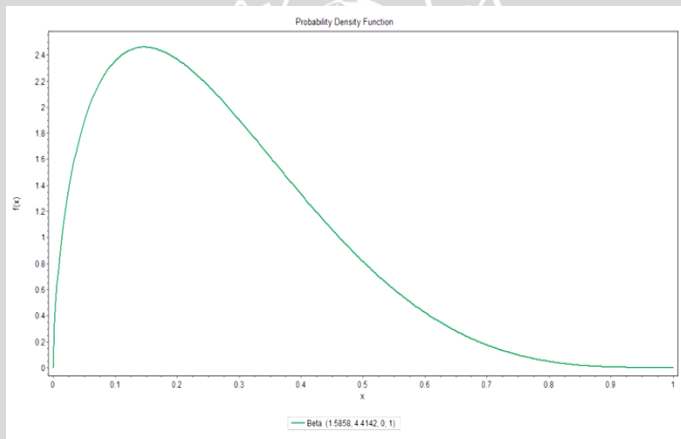
Menurut Velasco (2011), faktor penyesuai $C(\delta)$ adalah fungsi dari $\delta \in [0,1]$. Hubungan antara δ dan $C(\delta)$ dapat dilihat pada Gambar 4.1.



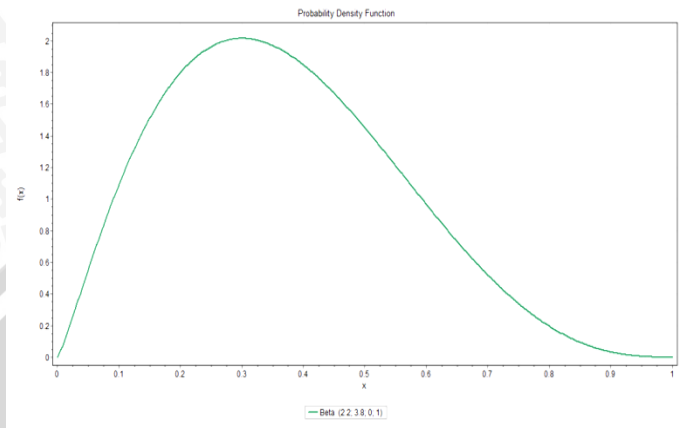
Gambar 4.1. Kurva δ dan $C(\delta)$

Kurva pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa $C(\delta)$ bernilai 1 ketika $\delta = 0.15$ dan $\delta = 0.85$. Ketika $C(\delta) = 1$, ragam PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam memiliki ragam yang sama dengan PERT klasik. Jika nilai δ berada pada rentang $[0.15, 0.85]$, maka bobot yang diberikan oleh $C(\delta)$ akan memperbesar ragam. Bobot terbesar diberikan ketika $\delta = 0.5$. Namun, bobot yang diberikan $C(\delta)$ akan memperkecil ragam apabila berada diluar rentang $[0.15, 0.85]$.

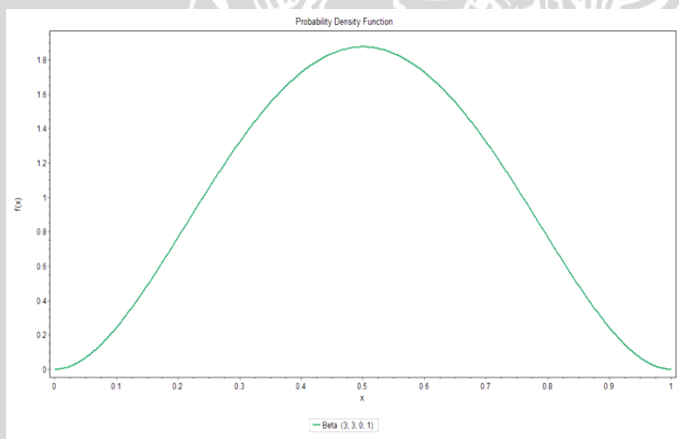
PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ memberikan perbaikan terhadap pendugaan ragam pada PERT klasik dengan memunculkan $C(\delta)$ untuk berbagai nilai δ . Faktor penyesuai $C(\delta)$ muncul karena penentuan parameter bentuk p dan q disesuaikan dengan besarnya m yang diinginkan.



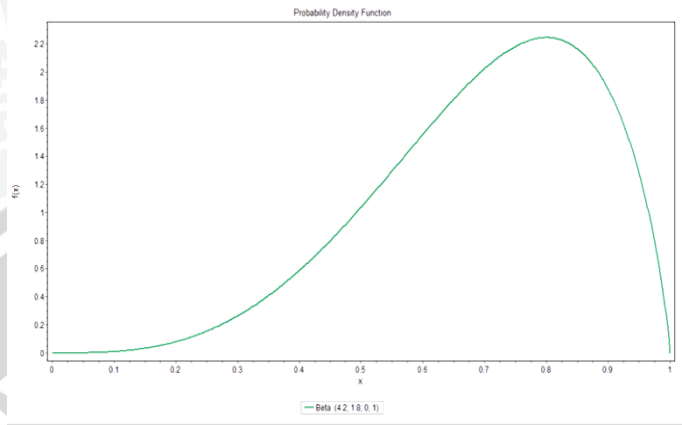
Gambar 4.2. Fungsi kepekatan peluang sebaran beta, $p = 3 - \sqrt{2} = 1.58579$, $q = 3 + \sqrt{2} = 4.41421$, $m = 0.14645$



Gambar 4.3. Fungsi kepekatan peluang sebaran beta, $p= 3 - 0.8= 2.2$, $q= 3 + 0.8= 3.8$, $m= 0.3$



Gambar 4.4. Fungsi kepekatan peluang sebaran beta, $p= 3 - 0= 3$, $q= 3 + 0= 3$, $m= 0.5$



Gambar 4.5. Fungsi kepekatan peluang sebaran beta, $p= 3-(-1.2)= 4.2$, $q=3+(-1.2) = 3$, $m= 0.8$

Pada Gambar 4.2, ketika nilai $m= 0.14645 \approx 0.15$, maka $\delta= 0.15$. Pada nilai tersebut ragam PERT klasik dan PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam adalah sama, yaitu sebesar $\frac{1}{36}$. Parameter bentuk yang digunakan pada Gambar 4.2 adalah parameter bentuk yang diusulkan oleh PERT klasik $p=3 - \sqrt{2}$, $q= 3 + \sqrt{2}$.

Gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 adalah gambar fungsi kepekatan peluang sebaran beta dengan berbagai nilai m . Jika menggunakan PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam, maka penentuan parameter bentuk p dan q akan berubah-ubah sesuai fungsi pada persamaan (2.21). Untuk Penentuan nilai parameter bentuk p dan q akan berpengaruh terhadap penentuan ragam PERT, dapat dilihat pada persamaan (2.28). Ragam PERT Gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 sebesar $C(\delta) \left[\frac{1}{36} \right]$. Nilai $C(\delta)$ berturut-turut adalah 1.19428, 1.28571, dan 1.08.

Menurut Velasco, dkk. (2011), metode pemilihan parameter PERT klasik tidak konsisten. Parameter bentuk p dan q yang digunakan PERT klasik ternyata menghasilkan penduga rata-rata dan ragam yang tidak mampu mengakomodasi informasi pada data. Nilai m pada data dan nilai duga m tidak selalu sama. PERT klasik

berusaha menggunakan nilai $p=3-\sqrt{2}$ dan $q=3+\sqrt{2}$ untuk semua nilai m yang mungkin. Berbeda dengan PERT klasik, PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam memanfaatkan pendekatan lain yang menyebabkan perbedaan dalam penentuan parameter bentuk, sehingga muncul faktor penyesuai $C(\delta)$ yang akan memberikan pembobot pada ragam PERT klasik.

Efek penggunaan faktor penyesuai $C(\delta)$ terlihat pada ragam dan peluang seperti yang dijelaskan pada Sub Bab 4.2 dan 4.3. Secara tidak langsung pasti juga terdapat pengaruh $C(\delta)$ terhadap biaya proyek. Jika pihak manajemen proyek ingin mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan agar proyek dapat diselesaikan dengan kemungkinan 95%, maka dari Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa PERT klasik membutuhkan waktu ≤ 329 hari sedangkan PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam membutuhkan waktu yang lebih lama, yaitu ≤ 330 hari. Perbedaan perkiraan waktu penyelesaian proyek ini pasti juga berpengaruh pada besarnya biaya proyek yang harus disiapkan pihak manajemen proyek. Besarnya biaya proyek yang harus dipersiapkan oleh manajemen proyek harus direncanakan dengan matang karena akan mempengaruhi proses penyelesaian proyek. Jika terjadi kekurangan biaya di tengah proses pembangunan proyek, maka penyelesaian proyek juga akan terkendala. Begitu juga jika biaya yang dipersiapkan terlalu banyak, maka perencanaan biaya menjadi tidak efisien.

Menurut Badri (1991), biaya tidak langsung proyek (*indirect cost project*) adalah pengeluaran untuk manajemen, supervisor, dan pembayaran jasa untuk pengadaan bagian proyek yang tidak akan menjadi produk permanen, tetapi diperlukan dalam proses pembangunan proyek. Rincian biaya tidak langsung proyek Gedung Islamic Center Probolinggo dapat dilihat pada Lampiran 1 dan perhitungan akan biaya tidak langsung dapat dilihat pada Lampiran 9. Proyek membutuhkan biaya tidak langsung sebesar Rp 2,460,232,741.90 untuk waktu 329 hari, sedangkan dalam waktu 330 hari ternyata proyek membutuhkan biaya tidak langsung sebesar Rp 2,465,142,690.28. Selisih biaya tidak langsung antara kedua waktu penyelesaian proyek ini sebesar Rp 4,909,948.38. Dapat dikatakan bahwa semakin lama proyek diselesaikan biaya tidak langsung proyek akan semakin tinggi.

Efek faktor penyesuai $C(\delta)$ terhadap waktu dan biaya tidak langsung proyek sudah dijelaskan sebelumnya, akan tetapi untuk efek faktor penyesuai $C(\delta)$ terhadap biaya langsung sulit untuk dijelaskan dengan suatu angka karena keterbatasan data yang ada. Semakin pendek waktu yang dibutuhkan suatu aktivitas pada proyek, maka biaya yang digunakan untuk membayar upah tenaga kerja juga semakin sedikit dan semakin lama waktu yang dibutuhkan, maka biaya untuk upah tenaga kerja semakin meningkat. Kondisi ini di bawah asumsi tidak ada perubahan akan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan disetiap aktivitas pada proyek.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa diperoleh penduga rata-rata waktu penyelesaian proyek yang sama antara metode PERT klasik dan PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam tetapi ragamnya berbeda. Proyek Gedung Islamic Center Probolinggo diharapkan selesai dalam kurun waktu 323.333 hari atau mendekati 324 hari. Ragam total PERT klasik sebesar 9.222, sedangkan ragam total PERT dengan faktor penyesuai $C(\delta)$ pada ragam sebesar 11.603.

Dengan menggunakan faktor penyesuai $C(\delta)$, diperoleh peluang penyelesaian proyek dalam kurun waktu tertentu yang lebih kecil.

Pada kasus Proyek Gedung Islamic Center Probolinggo pihak manajemen proyek membutuhkan biaya tidak langsung sebesar Rp 2,460,232,741.90 untuk waktu 329 hari dan untuk waktu 330 hari pihak manajemen proyek membutuhkan Rp 2,465,142,690.28.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka saran yang dapat diberikan peneliti adalah untuk penelitian lebih lanjut mengenai efek faktor penyesuai $C(\delta)$ terhadap biaya langsung proyek sebaiknya menggunakan data biaya langsung proyek yang lengkap.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

- Badri, S. 1991. *Dasar-dasar Network Planning (Dasar-dasar Pelaksanaan Jaringan Kerja)*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Damayanti, F. 2005. Optimalisasi Pelaksanaan Proyek dengan Metode PERT dan Program Percepatan. *Skripsi*. Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya. Malang.
- Dimiyati, T.T., dan A. Dimiyati. 2011. *Operations Research Model-model Pengambilan Keputusan*. Sinar Baru Algesindo. Bandung.
- Hiller, F.S., dan G.J. Lieberman. 1990. *Pengantar Riset Operasi*. Edisi kelima. Terjemahan Ellen Gunawan dan Ardi Wirda Mulia. Erlangga. Jakarta.
- Malcolm, D.G., J.H. Roseboom, C.E. Clark, W. Fazar. 1959. Application of A Technique for Research and Development Program Evaluation. *Operations Research*. 7: 646-669.
- Nahmias, S. 2009. *Production and Operations Analysis*. Sixth Edition. McGraw-Hill. New York.
- Pleguezuelo, R.H., J.G. Perez, S.C. Rambaud. 2003. A Note on The Reasonableness of PERT Hypotheses. *Operations Research Letter*. 31: 60-62.
- Soeharto, I. 1995. *Manajemen Proyek dari Konseptual sampai Operasional*. Erlangga. Jakarta.
- Taha, H.A. 1997. *Riset Operasi*. Edisi kelima. Jilid 2. Terjemahan Daniel Wirajaya. Binarupa Aksara. Jakarta.

Velasco, J.M.H., R.H. Pleguezuelo, J.H. van Dorp. 2011. Revisiting the PERT Mean and Variance. *European Journal of Operational Research*. 210: 448-451.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

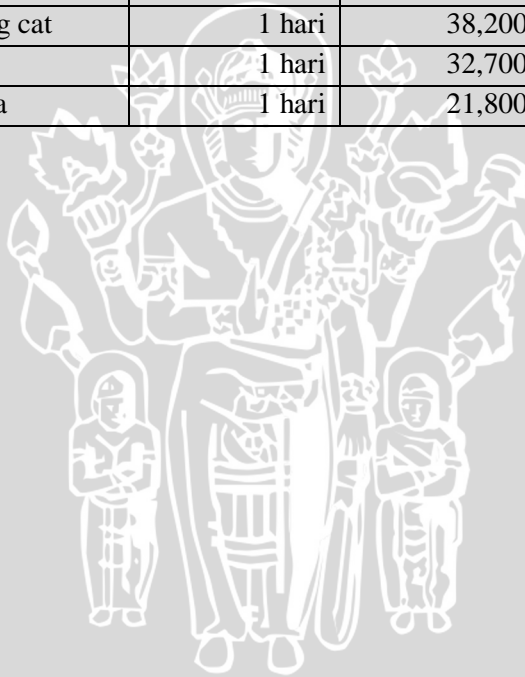


Lampiran 1. Biaya tidak langsung proyek

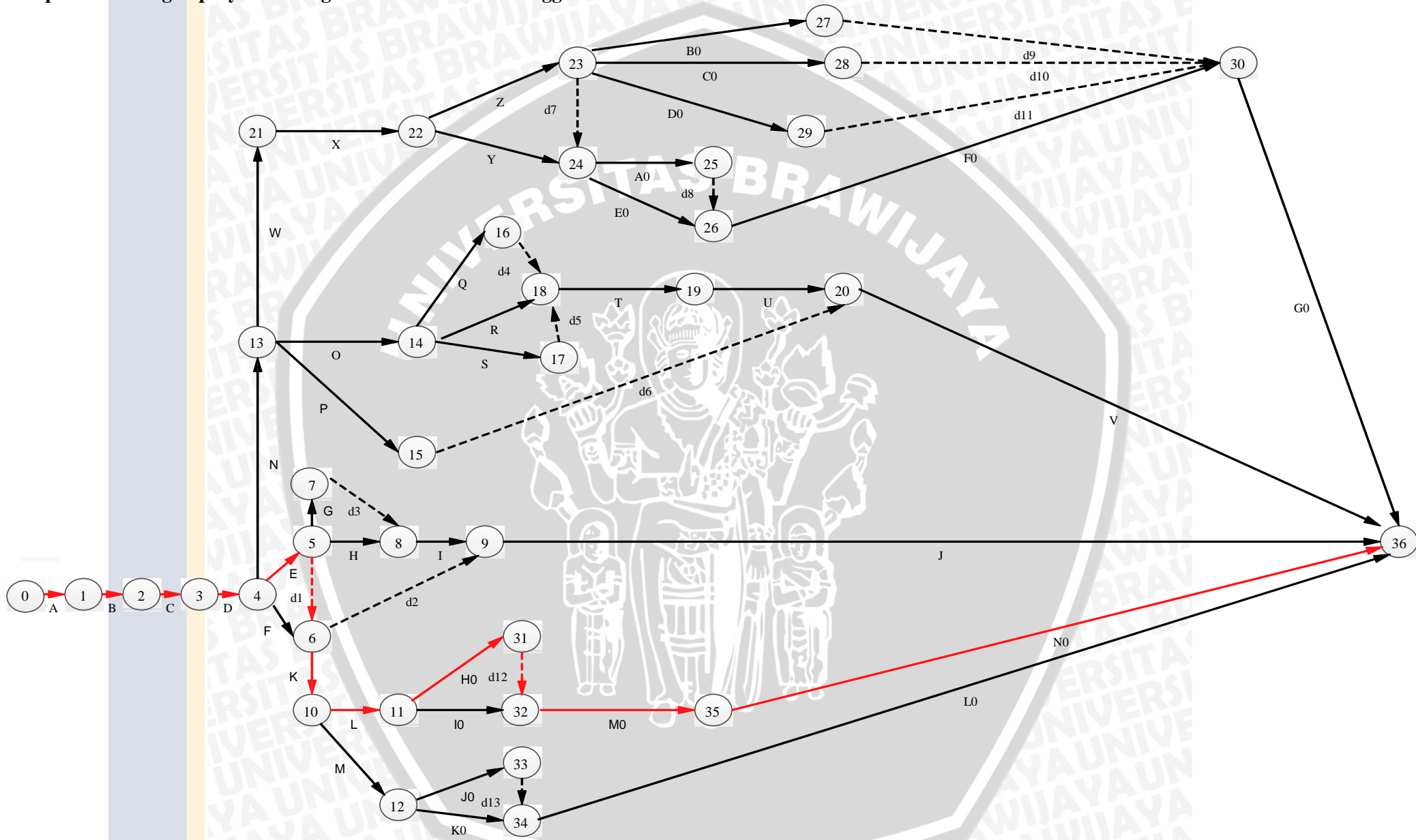
No	Uraian	324 hari (Rp)
1	Asuransi	212,157,318
2	Pemeliharaan alat	170,977,357
3	Pekerjaan penampung	267,075,000
4	Upah staf lapangan	400,690,800
5	Alat perbengkelan	185,875,050
6	BBM alat perbengkelan	8,775,000
7	Kendaraan kontraktor	289,791,850
8	Kendaraan pengawas lapangan	191,924,625
9	Dapur umum	287,275,000
10	Listrik kerja/mess	9,450,000
11	Air mess	5,150,000
12	Administrasi proyek	313,342,750
13	Dokumentasi	3,750,000
14	Biaya telepon	5,504,250
15	Pemeliharaan kantor	83,944,000

Lampiran 2. Biaya langsung proyek

No.	Uraian	Satuan	Harga Satuan (Rp)
1	Mandor	1 hari	41,500
2	Kepala tukang batu	1 hari	38,200
3	Tukang batu	1 hari	32,700
4	Kepala ukang besi	1 hari	38,200
5	Tukang besi	1 hari	32,700
6	Kepala tukang kayu	1 hari	38,200
7	Tukang kayu	1 hari	32,700
8	Kepala tukang cat	1 hari	38,200
9	Tukang cat	1 hari	32,700
10	Pegawai biasa	1 hari	21,800



Lampiran 3. Jaringan proyek Gedung Islamic Center Probolinggo





Lampiran 4. Rata-rata setiap aktivitas proyek Gedung Islamic Center Probolinggo

No.	Jenis Aktivitas	Kode Aktivitas	$E(T_{ij})$	δ
I	Lantai Dasar			
1	Pek. Persiapan	A	15	0.5
2	Pek. Pondasi	B	28	0.5
3	Pek. Tanah	C	20	0.5
4	Pek. Beton	D	22	0.5
5	Pek. Pasangan	E	23	0.5
6	Pek. Plesteran	F	20	0.5
7	Pek. Kosen & Kaca	G	23	0.5
8	Pek. Pengg/Kunci	H	10	0.5
9	Pek. Langit-langit	I	17	0.5
10	Pek. Pengecatan	J	20	0.5
11	Pek. Pelapis Dinding & Lantai	K	15	0.5
12	Pek. Ins. Listrik	L	77	0.5
13	Pek. Sanitair	M	80	0.5
II	Lantai 1			
1	Pek. Beton 1	N	35.3	0.33
2	Pek. Pasangan 1	O	35	0.5
3	Pek. Plesteran 1	P	24.3	0.33
4	Pek. Kosen & Kaca 1	Q	32	0.5
5	Pek. Pengg/Kunci 1	R	30	0.5
6	Pek. Langit-langit 1	S	40.5	0.33
7	Pek. Pelapis Dinding & Lantai 1	T	33.5	0.33
8	Pek. Ins. Listrik 1	U	35.2	0.33
9	Pek. Pengecatan 1	V	22	0.5
III	Lantai 2			
1	Pek. Beton 2	W	35	0.5

Lampiran 4. (Lanjutan)

2	Pek. Rangka Atap	X	25	0.5
3	Pek. Penutup Atap	Y	17.3	0.33
4	Pek. Pasangan 2	Z	35.5	0.67
5	Pek. Plesteran 2	A ₀	25.3	0.33
6	Pek. Kosen & Kaca 2	B ₀	25	0.5
7	Pek. Pengg/Kunci 2	C ₀	27	0.8
8	Pek. Langit-langit 2	D ₀	20.5	0.2
9	Pek. Pelapis Dinding & Lantai 2	E ₀	22.3	0.33
10	Pek. Ins. Listrik 2	F ₀	19	0.5
11	Pek. Pengecatan 2	G ₀	23.5	0.33
IV	Lain-lain			
1	Pek. Rumah Genset	H ₀	60	0.5
2	Pek. Pagar	I ₀	28.5	0.33
3	Pek. Sal. Air Hujan	J ₀	30.7	0.25
4	Pek. Duiker	K ₀	57.3	0.33
5	Pek. Tangga Maintenance	L ₀	15.5	0.67
6	Pek. Raam	M ₀	45	0.5
7	Pek. Rambu & Nama Ruang	N ₀	18.3	0.83

Lampiran 5. Tabel langkah maju dan langkah mundur pada CPM

Kode Aktivitas	Peristiwa (i,j)	Durasi (t _(i,j))	Paling Cepat		Paling Lambat		TE _(i)	TE _(j)	TL _(i)	TL _(j)	S _(i,j) = TL _(j) -TE _(i) -t _(i,j)	SF _(i,j) = TE _(j) -TE _(i) -t _(i,j)	Sifat
			Mulai	Selesai	Mulai	Selesai							
			ES _(i,j)	EF _(i,j) =ES _(i,j) +t _(i,j)	LS _(i,j) =LF _(i,j) -t _(i,j)	LF _(i,j)							
A	(0,1)	15	0	15	0	15	0	15	0	15	0	0	K
B	(1,2)	28	15	43	15	43	15	43	15	43	0	0	K
C	(2,3)	20	43	63	43	63	43	63	43	63	0	0	K
D	(3,4)	22	63	85	63	85	63	85	63	85	0	0	K
E	(4,5)	23	85	108	85	108	85	108	85	108	0	0	K
F	(4,6)	20	85	105	88	108	85	108	85	108	3	3	TK
G	(5,7)	23	108	131	263.3	286.3	108	131	108	286.3	155.3	0	TK
H	(5,8)	10	108	118	276.3	286.3	108	131	108	286.3	168.3	13	TK
I	(8,9)	17	131	148	286.3	303.3	131	148	286.3	303.3	155.3	0	TK
J	(9,36)	20	148	168	303.3	323.3	148	323.3	303.3	323.3	155.3	155	TK
K	(6,10)	15	108	123	108	123	108	123	108	123	0	0	K
L	(10,11)	77	123	200	123	200	123	200	123	200	0	0	K
M	(10,12)	80	123	203	170.5	250.5	123	203	123	250.5	47.5	0	TK
N	(4,13)	35.3	85	120.3	121.8	157.1	85	120.3	85	157.1	36.8	0	TK
O	(13,14)	35	120.3	155.3	157.1	192.1	120.3	155.3	157.1	192.1	36.8	0	TK
P	(13,15)	24.3	120.3	144.6	277	301.3	120.3	144.6	157.1	301.3	156.7	0	TK
Q	(14,16)	32	155.3	187.3	200.6	232.6	155.3	187.3	192.1	232.6	45.3	0	TK
R	(14,18)	30	155.3	185.3	202.6	232.6	155.3	195.8	192.1	232.6	47.3	10.5	TK
S	(14,17)	40.5	155.3	195.8	192.1	232.6	155.3	195.8	192.1	232.6	36.8	0	TK
T	(18,19)	33.5	195.8	229.3	232.6	266.1	195.8	229.3	232.6	266.1	36.8	0	TK
U	(19,20)	35.2	229.3	264.5	266.1	301.3	229.3	264.5	266.1	301.3	36.8	0	TK
V	(20,36)	22	264.5	286.5	301.3	323.3	264.5	323.3	301.3	323.3	36.8	36.8	TK
W	(13,21)	35	120.3	155.3	160	195	120.3	155.3	157.1	195	39.7	0	TK
X	(21,22)	25	155.3	180.3	195	220	155.3	180.3	195	220	39.7	0	TK

Lampiran 5. (Lanjutan)

Y	(22,24)	17.3	180.3	197.6	238.2	255.5	180.3	215.8	220	255.5	57.9	18.2	TK
Z	(22,23)	35.5	180.3	215.8	220	255.5	180.3	215.8	220	255.5	39.7	0	TK
A ₀	(24,25)	25.3	215.8	241.1	255.5	280.8	215.8	241.1	255.5	280.8	39.7	0	TK
B ₀	(23,27)	25	215.8	240.8	274.8	299.8	215.8	240.8	255.5	299.8	59	0	TK
C ₀	(23,28)	27	215.8	242.8	272.8	299.8	215.8	242.8	255.5	299.8	57	0	TK
D ₀	(23,29)	20.5	215.8	236.3	279.3	299.8	215.8	236.3	255.5	299.8	63.5	0	TK
E ₀	(24,26)	22.3	215.8	238.1	258.5	280.8	215.8	241.1	255.5	280.8	42.7	3	TK
F ₀	(26,30)	19	241.1	260.1	280.8	299.8	241.1	260.1	280.8	299.8	39.7	0	TK
G ₀	(30,36)	23.5	260.1	283.6	299.8	323.3	260.1	323.3	299.8	323.3	39.7	39.7	TK
H ₀	(11,31)	60	200	260	200	260	200	260	200	260	0	0	K
I ₀	(11,32)	28.5	200	228.5	231.5	260	200	260	200	260	31.5	31.5	TK
J ₀	(12,33)	30.7	203	233.7	277.1	307.8	203	233.7	250.5	307.8	74.1	0	TK
K ₀	(12,34)	57.3	203	260.3	250.5	307.8	203	260.3	250.5	307.8	47.5	0	TK
L ₀	(34,36)	15.5	260.3	275.8	307.8	323.3	260.3	323.3	307.8	323.3	47.5	47.5	TK
M ₀	(32,35)	45	260	305	260	305	260	305	260	305	0	0	K
N ₀	(35,36)	18.3	305	323.3	305	323.3	305	323.3	305	323.3	0	0	K
d ₁	(5,6)	0	108	108	108	108	108	108	108	108	0	0	K
d ₂	(6,9)	0	108	108	303.3	303.3	108	148	108	303.3	195.3	40	TK
d ₃	(7,8)	0	131	131	286.3	286.3	131	131	286.3	286.3	155.3	0	TK
d ₄	(16,18)	0	187.3	187.3	232.6	232.6	187.3	195.8	232.6	232.6	45.3	8.5	TK
d ₅	(17,18)	0	195.8	195.8	232.6	232.6	195.8	195.8	232.6	232.6	36.8	0	TK
d ₆	(15,20)	0	144.6	144.6	301.3	301.3	144.6	264.5	301.3	301.3	156.7	120	TK
d ₇	(23,24)	0	215.8	215.8	255.5	255.5	215.8	215.8	255.5	255.5	39.7	0	TK
d ₈	(25,26)	0	241.1	241.1	280.8	280.8	241.1	241.1	280.8	280.8	39.7	0	TK
d ₉	(27,30)	0	240.8	240.8	299.8	299.8	240.8	260.1	299.8	299.8	59	19.3	TK
d ₁₀	(28,30)	0	242.8	242.8	299.8	299.8	242.8	260.1	299.8	299.8	57	17.3	TK
d ₁₁	(29,30)	0	236.3	236.3	299.8	299.8	236.3	260.1	299.8	299.8	63.5	23.8	TK
d ₁₂	(31,32)	0	260	260	260	260	260	260	260	260	0	0	K
d ₁₃	(33,34)	0	233.7	233.7	307.8	307.8	233.7	260.3	307.8	307.8	74.1	26.6	TK

Lampiran 6. Perhitungan langkah maju dan langkah mundur pada CPM

Perhitungan Maju

Node 0

$$TE_{(0)} = 0$$

Node 1

$$TE_{(1)} = TE_{(0)} + t_{(0,1)} = 0 + 15 = 15$$

Node 2

$$TE_{(2)} = TE_{(1)} + t_{(1,2)} = 15 + 28 = 43$$

Node 3

$$TE_{(3)} = TE_{(2)} + t_{(2,3)} = 43 + 20 = 63$$

Node 4

$$TE_{(4)} = TE_{(3)} + t_{(3,4)} = 63 + 22 = 85$$

Node 5

$$TE_{(5)} = TE_{(4)} + t_{(4,5)} = 85 + 23 = 108$$

Node 6

$$TE_{(6)} = \max \{ TE_{(4)} + t_{(4,6)} = 85 + 20 = 105, TE_{(5)} + t_{(5,6)} = 108 + 0 = 108 \} = 108$$

Node 7

$$TE_{(7)} = TE_{(5)} + t_{(5,7)} = 108 + 23 = 131$$

Node 8

$$TE_{(8)} = \max \{ TE_{(5)} + t_{(5,8)} = 108 + 10 = 118, TE_{(7)} + t_{(7,8)} = 131 + 0 = 131 \} = 131$$

Node 9

$$TE_{(9)} = \max \{ TE_{(6)} + t_{(6,9)} = 108 + 0 = 108, TE_{(8)} + t_{(8,9)} = 131 + 17 = 148 \} = 148$$

Node 10

$$TE_{(10)} = TE_{(6)} + t_{(6,10)} = 108 + 15 = 123$$

Lampiran 6. (Lanjutan)

Node 11

$$TE_{(11)} = TE_{(10)} + t_{(10,11)} = 123 + 77 = 200$$

Node 12

$$TE_{(12)} = TE_{(10)} + t_{(10,12)} = 123 + 80 = 203$$

Node 13

$$TE_{(13)} = TE_{(4)} + t_{(4,13)} = 85 + 35.3 = 120.3$$

Node 14

$$TE_{(14)} = TE_{(13)} + t_{(13,14)} = 120.3 + 35 = 155.3$$

Node 15

$$TE_{(15)} = TE_{(13)} + t_{(13,15)} = 120.3 + 24.3 = 144.6$$

Node 16

$$TE_{(16)} = TE_{(14)} + t_{(14,16)} = 155.3 + 32 = 187.3$$

Node 17

$$TE_{(17)} = TE_{(14)} + t_{(14,17)} = 155.3 + 40.5 = 195.8$$

Node 18

$$TE_{(18)} = \max \{ TE_{(14)} + t_{(14,18)} = 155.3 + 30 = 185.3, TE_{(16)} + t_{(16,18)} = 187.3 + 0 = 187.3, TE_{(17)} + t_{(17,18)} = 195.8 + 0 = 195.8 \} = 195.8$$

Node 19

$$TE_{(19)} = TE_{(18)} + t_{(18,19)} = 195.8 + 33.5 = 229.3$$

Node 20

$$TE_{(20)} = \max \{ TE_{(15)} + t_{(15,20)} = 144.6 + 0 = 144.6, TE_{(19)} + t_{(19,20)} = 229.3 + 35.2 = 264.5 \} = 264.5$$

Node 21

$$TE_{(21)} = TE_{(13)} + t_{(13,21)} = 120.3 + 35 = 155.3$$

Lampiran 6. (Lanjutan)

Node 22

$$TE_{(22)} = TE_{(21)} + t_{(21,22)} = 155.3 + 25 = 180.3$$

Node 23

$$TE_{(23)} = TE_{(22)} + t_{(22,23)} = 180.3 + 35.5 = 215.8$$

Node 24

$$TE_{(24)} = \max \{ TE_{(22)} + t_{(22,24)} = 180.3 + 17.3 = 197.6, TE_{(23)} + t_{(23,24)} = 215.8 + 0 = 215.8 \} = 215.8$$

Node 25

$$TE_{(25)} = TE_{(24)} + t_{(24,25)} = 215.8 + 25.3 = 241.1$$

Node 26

$$TE_{(26)} = \max \{ TE_{(24)} + t_{(24,26)} = 215.8 + 22.3 = 238.1, TE_{(25)} + t_{(25,26)} = 241.1 + 0 = 241.1 \} = 241.1$$

Node 27

$$TE_{(27)} = TE_{(23)} + t_{(23,27)} = 215.8 + 25 = 240.8$$

Node 28

$$TE_{(28)} = TE_{(23)} + t_{(23,28)} = 215.8 + 27 = 242.8$$

Node 29

$$TE_{(29)} = TE_{(23)} + t_{(23,29)} = 215.8 + 20.5 = 236.3$$

Node 30

$$TE_{(30)} = \max \{ TE_{(26)} + t_{(26,30)} = 241.1 + 19 = 260.1, TE_{(27)} + t_{(27,30)} = 240.8 + 0 = 240.8, TE_{(28)} + t_{(28,30)} = 242.8 + 0 = 242.8, TE_{(29)} + t_{(29,30)} = 236.3 + 0 = 236.3 \} = 260.1$$

Node 31

$$TE_{(31)} = TE_{(11)} + t_{(11,31)} = 200 + 60 = 260$$

Lampiran 6. (Lanjutan)

Node 32

$$TE_{(32)} = \max \{ TE_{(11)} + t_{(11,32)} = 200 + 28.5 = 228.5, TE_{(31)} + t_{(31,32)} = 260 + 0 = 260 \} = 260$$

Node 33

$$TE_{(33)} = TE_{(12)} + t_{(12,33)} = 203 + 30.7 = 233.7$$

Node 34

$$TE_{(34)} = \max \{ TE_{(12)} + t_{(12,34)} = 203 + 57.3 = 260.3, TE_{(33)} + t_{(33,34)} = 233.7 + 0 = 233.7 \} = 260.3$$

Node 35

$$TE_{(35)} = TE_{(32)} + t_{(32,35)} = 260 + 45 = 305$$

Node 36

$$TE_{(36)} = \max \{ TE_{(9)} + t_{(9,36)} = 148 + 20 = 168, TE_{(20)} + t_{(20,36)} = 264.5 + 22 = 286.5, TE_{(30)} + t_{(30,36)} = 260.1 + 23.5 = 283.6, TE_{(34)} + t_{(34,36)} = 260.3 + 15.5 = 275.8, TE_{(35)} + t_{(35,36)} = 305 + 18.3 = 323.3 \} = 323.3$$

Perhitungan Mundur

Node 0

$$TL_{(0)} = TL_{(1)} - t_{(0,1)} = 15 - 15 = 0$$

Node 1

$$TL_{(1)} = TL_{(2)} - t_{(1,2)} = 43 - 28 = 15$$

Node 2

$$TL_{(2)} = TL_{(3)} - t_{(2,3)} = 63 - 20 = 43$$

Node 3

$$TL_{(3)} = TL_{(4)} - t_{(3,4)} = 85 - 22 = 63$$

Node 4

$$TL_{(4)} = \min \{ TL_{(5)} - t_{(4,5)} = 108 - 23 = 85, TL_{(6)} - t_{(4,6)} = 108 - 20 = 88, TL_{(13)} - t_{(4,13)} = 157.1 - 35.3 = 121.8 \} = 85$$

Lampiran 6. (Lanjutan)

Node 5

$$TL_{(5)} = \min\{TL_{(6)} - t_{(5,6)} = 108 - 0 = 108, TL_{(7)} - t_{(5,7)} = 286.3 - 23 = 263.3, TL_{(8)} - t_{(5,8)} = 286.3 - 10 = 276.3\} = 108$$

Node 6

$$TL_{(6)} = \min\{TL_{(9)} - t_{(6,9)} = 303.3 - 0 = 303.3, TL_{(10)} - t_{(6,10)} = 123 - 15 = 108\} = 108$$

Node 7

$$TL_{(7)} = TL_{(8)} - t_{(7,8)} = 286.3 - 0 = 286.3$$

Node 8

$$TL_{(8)} = TL_{(9)} - t_{(8,9)} = 303.3 - 17 = 286.3$$

Node 9

$$TL_{(9)} = TL_{(36)} - t_{(9,36)} = 323.3 - 20 = 303.3$$

Node 10

$$TL_{(10)} = \min\{TL_{(11)} - t_{(10,11)} = 200 - 77 = 123, TL_{(12)} - t_{(10,12)} = 250.5 - 80 = 170.5\} = 123$$

Node 11

$$TL_{(11)} = \min\{TL_{(31)} - t_{(11,31)} = 260 - 60 = 200, TL_{(32)} - t_{(11,32)} = 260 - 28.5 = 231.5\} = 200$$

Node 12

$$TL_{(12)} = \min\{TL_{(33)} - t_{(12,33)} = 307.8 - 30.7 = 277.1, TL_{(34)} - t_{(12,34)} = 307.8 - 57.3 = 250.5\} = 250.5$$

Node 13

$$TL_{(13)} = \min\{TL_{(14)} - t_{(13,14)} = 192.1 - 35 = 157.1, TL_{(15)} - t_{(13,15)} = 301.3 - 24.3 = 277, TL_{(21)} - t_{(13,21)} = 195 - 24.3 = 160\} = 157.1$$

Node 14

$$TL_{(14)} = \min\{TL_{(16)} - t_{(14,16)} = 232.6 - 32 = 200.6, TL_{(17)} - t_{(14,17)} = 232.6 - 40.5 = 192.1, TL_{(18)} - t_{(14,18)} = 232.6 - 30 = 202.6\} = 192.1$$

Lampiran 6. (Lanjutan)

Node 15

$$TL_{(15)} = TL_{(20)} - t_{(15,20)} = 301.3 - 0 = 301.3$$

Node 16

$$TL_{(16)} = TL_{(18)} - t_{(16,18)} = 232.6 - 0 = 232.6$$

Node 17

$$TL_{(17)} = TL_{(18)} - t_{(17,18)} = 232.6 - 0 = 232.6$$

Node 18

$$TL_{(18)} = TL_{(19)} - t_{(18,19)} = 266.1 - 33.5 = 232.6$$

Node 19

$$TL_{(19)} = TL_{(20)} - t_{(19,20)} = 301.3 - 35.2 = 266.1$$

Node 20

$$TL_{(20)} = TL_{(36)} - t_{(20,36)} = 323.3 - 22 = 301.3$$

Node 21

$$TL_{(21)} = TL_{(22)} - t_{(21,22)} = 220 - 25 = 195$$

Node 22

$$TL_{(22)} = \min \{ TL_{(23)} - t_{(22,23)} = 255.5 - 35.5 = 220, TL_{(24)} - t_{(22,24)} = 255.5 - 17.3 = 238.2 \} = 220$$

Node 23

$$TL_{(23)} = \min \{ TL_{(24)} - t_{(23,24)} = 255.5 - 0 = 255.5, TL_{(27)} - t_{(23,27)} = 299.8 - 25 = 274.8, TL_{(28)} - t_{(23,28)} = 299.8 - 27 = 272.8, TL_{(29)} - t_{(23,29)} = 299.8 - 20.5 = 279.3 \} = 255.5$$

Node 24

$$TL_{(24)} = \min \{ TL_{(25)} - t_{(24,25)} = 280.8 - 25.3 = 255.5, TL_{(26)} - t_{(24,26)} = 280.8 - 22.3 = 258.5 \} = 255.5$$

Lampiran 6. (Lanjutan)

Node 25

$$TL_{(25)} = TL_{(26)} - t_{(25,26)} = 280.8 - 0 = 280.8$$

Node 26

$$TL_{(26)} = TL_{(30)} - t_{(26,30)} = 299.8 - 19 = 280.8$$

Node 27

$$TL_{(27)} = TL_{(30)} - t_{(27,30)} = 299.8 - 0 = 299.8$$

Node 28

$$TL_{(28)} = TL_{(30)} - t_{(28,30)} = 299.8 - 0 = 299.8$$

Node 29

$$TL_{(29)} = TL_{(30)} - t_{(29,30)} = 299.8 - 0 = 299.8$$

Node 30

$$TL_{(30)} = TL_{(36)} - t_{(30,36)} = 323.3 - 23.5 = 299.8$$

Node 31

$$TL_{(31)} = TL_{(32)} - t_{(31,32)} = 260 - 0 = 260$$

Node 32

$$TL_{(32)} = TL_{(35)} - t_{(32,35)} = 305 - 45 = 260$$

Node 33

$$TL_{(33)} = TL_{(34)} - t_{(33,34)} = 307.8 - 0 = 307.8$$

Node 34

$$TL_{(34)} = TL_{(36)} - t_{(34,36)} = 323.3 - 15.5 = 307.8$$

Node 35

$$TL_{(35)} = TL_{(36)} - t_{(35,36)} = 323.3 - 18.3 = 305$$

Node 36

$$TL_{(36)} = TE_{(36)} = 323.3$$

Lampiran 6. (Lanjutan)

Jalur kritis yang terbentuk:

Node: 0-1-2-3-4-5-6-10-11-31-32-35-36 atau

Aktivitas: A-B-C-D-E-d₁-K-L-H₀-d₁₂-M₀-N₀

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 7. Output software QM analisis PERT

	Activity time	Early Start	Early Finish	Late Start	Late Finish	Slack	Standard Deviation
Project	323.3333						3.0368
A	15.	0.	15.	0.	15.	0.	1.
B	28.	15.	43.	15.	43.	0.	1.
C	20.	43.	63.	43.	63.	0.	0.6667
D	22.	63.	85.	63.	85.	0.	0.6667
E	23.	85.	108.	85.	108.	0.	1.
F	20.	85.	105.	88.	108.	3.	0.6667
G	23.	108.	131.	263.3333	286.3333	155.3333	1.3333
H	10.	108.	118.	276.3333	286.3333	168.3333	1.
I	17.	131.	148.	286.3333	303.3333	155.3333	0.6667
J	20.	148.	168.	303.3333	323.3333	155.3333	1.
K	15.	108.	123.	108.	123.	0.	0.3333
L	77.	123.	200.	123.	200.	0.	0.6667
M	80.	123.	203.	170.5	250.5	47.5	0.6667
N	35.3333	85.	120.3333	121.8334	157.1667	36.8334	1.
O	35.	120.3333	155.3333	157.1667	192.1667	36.8334	0.6667
P	24.3333	120.3333	144.6667	277.	301.3333	156.6667	1.
Q	32.	155.3333	187.3333	200.6667	232.6667	45.3334	0.6667
R	30.	155.3333	185.3333	202.6667	232.6667	47.3334	0.3333
S	40.5	155.3333	195.8333	192.1667	232.6667	36.8334	1.5
T	33.5	195.8333	229.3333	232.6667	266.1667	36.8334	1.5
U	35.1667	229.3333	264.5	266.1667	301.3333	36.8334	0.5
V	22.	264.5	286.5	301.3333	323.3333	36.8333	1.
W	35.	120.3333	155.3333	160.	195.	39.6667	1.3333
X	25.	155.3333	180.3333	195.	220.	39.6667	1.3333
Y	17.3333	180.3333	197.6667	238.1667	255.5	57.8334	1.
Z	35.5	180.3333	215.8333	220.	255.5	39.6667	1.5
AA	25.3333	215.8333	241.1667	255.5	280.8333	39.6667	1.
AB	25.	215.8333	240.8333	274.8333	299.8333	59.	0.6667
AC	27.	215.8333	242.8333	272.8333	299.8333	57.	1.6667
AD	20.5	215.8333	236.3333	279.3333	299.8333	63.5	0.8333
AE	22.3333	215.8333	238.1667	258.5	280.8333	42.6667	1.
AF	19.	241.1667	260.1667	280.8333	299.8333	39.6667	0.6667
AG	23.5	260.1667	283.6667	299.8333	323.3333	39.6667	1.5
AH	60.	200.	260.	200.	260.	0.	1.
AI	28.5	200.	228.5	231.5	260.	31.5	1.5
AJ	30.6667	203.	233.6667	277.1667	307.8333	74.1667	1.3333
AK	57.3333	203.	260.3333	250.5	307.8333	47.5	1.
AL	15.5	260.3333	275.8333	307.8333	323.3333	47.5	1.5
AM	45.	260.	305.	260.	305.	0.	1.6667
AN	18.3333	305.	323.3333	305.	323.3333	0.	1.

Lampiran 8. Perhitungan peluang penyelesaian proyek Gedung Islamic Center Probolinggo

1. Proyek selesai dalam kurun waktu kurang dari sama dengan 324 hari

a. PERT Klasik

$$P(CP \leq 324) = \left(Z \leq \frac{324-324}{\sqrt{9.2222}} \right) = (Z \leq 0) = 0.5$$

b. PERT dengan Faktor Penyesuai $C(\delta)$

$$P(CP \leq 324) = \left(Z \leq \frac{324-324}{\sqrt{11.6032}} \right) = (Z \leq 0) = 0.5$$

2. Proyek selesai dalam kurun waktu kurang dari sama dengan 325 hari

a. PERT Klasik

$$P(CP \leq 325) = \left(Z \leq \frac{325-324}{\sqrt{9.2222}} \right) = (Z \leq 0.33) = 0.63$$

b. PERT dengan Faktor Penyesuai $C(\delta)$

$$P(CP \leq 325) = \left(Z \leq \frac{325-324}{\sqrt{11.6032}} \right) = (Z \leq 0.29) = 0.61$$

3. Proyek selesai dalam kurun waktu kurang dari sama dengan 330 hari

a. PERT Klasik

$$P(CP \leq 330) = \left(Z \leq \frac{330-324}{\sqrt{9.2222}} \right) = (Z \leq 1.98) = 0.98$$

b. PERT dengan Faktor Penyesuai $C(\delta)$

$$P(CP \leq 330) = \left(Z \leq \frac{330-324}{\sqrt{11.6032}} \right) = (Z \leq 1.76) = 0.96$$

4. Proyek selesai dengan peluang 0.85

a. PERT Klasik

$$P(CP \leq ST) = \left(Z \leq \frac{ST-324}{\sqrt{9.2222}} \right) = (Z \leq 1.04) = 0.85$$

$$ST = 327$$

Lampiran 8. (Lanjutan)

- b. PERT dengan Faktor Penyesuai $C(\delta)$

$$P(CP \leq ST) = \left(Z \leq \frac{ST-324}{\sqrt{11.6032}} \right) = (Z \leq 1.04) = 0.85$$

$$ST = 328$$

5. Proyek selesai dengan peluang 0.90

- a. PERT Klasik

$$P(CP \leq ST) = \left(Z \leq \frac{ST-324}{\sqrt{9.2222}} \right) = (Z \leq 1.28) = 0.90$$

$$ST = 328$$

- b. PERT dengan Faktor Penyesuai $C(\delta)$

$$P(CP \leq ST) = \left(Z \leq \frac{ST-324}{\sqrt{11.6032}} \right) = (Z \leq 1.28) = 0.90$$

$$ST = 329$$

6. Proyek selesai dengan peluang 0.95

- a. PERT Klasik

$$P(CP \leq ST) = \left(Z \leq \frac{ST-324}{\sqrt{9.2222}} \right) = (Z \leq 1.64) = 0.95$$

$$ST = 329$$

- b. PERT dengan Faktor Penyesuai $C(\delta)$

$$P(CP \leq ST) = \left(Z \leq \frac{ST-324}{\sqrt{11.6032}} \right) = (Z \leq 1.64) = 0.95$$

$$ST = 330$$

Lampiran. 9 Tabel perhitungan biaya tidak langsung untuk 329 dan 330 hari pelaksanaan proyek Gedung Islamic Center Probolinggo

No	Uraian	329 hari (Rp)	330 hari (Rp)
1	Asuransi	212,157,318.00	212,157,318.00
2	Pemeliharaan alat	170,977,357.00	170,977,357.00
3	Upah staf lapangan	267,075,000.00	267,075,000.00
4	Alat perbengkelan	406,874,300.00	408,111,000.00
5	BBM alat perbengkelan	185,875,050.00	185,875,050.00
6	Kendaraan kontraktor	8,775,000.00	8,775,000.00
7	Kendaraan kontraktor	294,263,946.45	295,158,365.74
8	Kendaraan pengawas lapangan	194,886,424.77	195,478,784.72
9	Dapur umum	291,708,256.17	292,594,907.41
10	Listrik kerja/mess	9,595,833.33	9,625,000.00
11	Air mess	5,229,475.31	5,245,370.37
12	Administrasi proyek	318,178,286.27	319,145,393.52
13	Dokumentasi	3,807,870.37	3,819,444.44
14	Biaya telepon	5,589,192.13	5,606,180.56
15	Pemeliharaan kantor	85,239,432.10	85,498,518.52
	Total	2,460,232,741.90	2,465,142,690.28
	Selisih biaya antara 329 dan 330 hari		4,909,948.38