

Optimalisasi Waktu dan Biaya Menggunakan Metode *Program Evaluation and Review Technique* dan *Least Cost Analysis* Dalam Pengerjaan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare



MOH RAFLY

H011201075



Optimized using
trial version
www.balesio.com

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

Optimalisasi Waktu dan Biaya Menggunakan Metode *Program Evaluation and Review Technique* dan *Least Cost Analysis* Dalam Pengerjaan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare

MOH. RAFLY

H011201075



PROGRAM STUDI MATEMATIKA DEPARTEMEN MATEMATIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024



Optimized using
trial version
www.balesio.com

Optimalisasi Waktu dan Biaya Menggunakan Metode *Program Evaluation and Review Technique* dan *Least Cost Analysis* Dalam Pengerjaan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare

MOH. RAFLY

H011201075

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana



Program Studi Matematika

pada

PROGRAM STUDI MATEMATIKA DEPARTEMEN MATEMATIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM UNIVERSITAS

HASANUDDIN

MAKASSAR

2024



SKRIPSI

Optimalisasi Waktu dan Biaya Menggunakan Metode *Program Evaluation and Review Technique* dan *Least Cost Analysis* Dalam Pengerjaan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare

MOH. RAFLY

H011201075

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana pada 2024

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

Program Studi Matematika

Departemen Matematika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin



Mengesahkan:



Optimized using
trial version
www.balesio.com

Akhir,

Rangkuti, M.S.
985032001

Mengetahui:

Ketua Program Studi,

Dr. Firman, S.Si., M.Si.
NIP. 196804292002121001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSIDAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Optimalisasi Waktu dan Biaya Menggunakan Metode *Program Evaluation and Review Technique* dan *Least Cost Analysis* Dalam Pengerjaan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare" adalah benar karya saya dengan arahan dari Prof. Dr. Aidawayati Rangkuti, M.S, sebagai pembimbing tugas akhir. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 19 September 2024



Moh. Rafly
H011201075



Optimized using
trial version
www.balesio.com

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur atas kehadiran Allah *Subhanahu Wa ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad *Sallallahu 'Alaihi Wasallam*.

Penulis menyadari bahwa skripsi yang berjudul “Optimalisasi Waktu dan Biaya Menggunakan Metode *Program Evaluation and Review Technique* dan *Least Cost Analysis* Dalam Pengerjaan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare” ini dapat diselesaikan karena adanya bantuan, dukungan, bimbingan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua penulis, **Moh. Irwan**, ayah penulis yang sudah kerja keras untuk mendidik penulis menjadi pribadi yang baik sertamendukung apapun keputusan dari penulis, dan **Husni**, ibu penulis yang senantiasa memberikan doa dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini. Adapun adik-adik penulis, **Dafina, Rifki, Rafai, Faizah**, dan **Farah** yang selalu mendukung penulis. Pada kesempatan ini pula, dengan segala kerendahan hati penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. **Prof. Dr. Aidawayati Rangkuti, M.S.**, selaku Dosen Pembimbing yang dengan tulus, dan ikhlas banyak memberikan ilmu yang bermanfaat dan meluangkan waktu untuk membimbing dan memberi masukan serta motivasi dalam penulisanskripsi ini.
2. **Prof. Dr. Moh. Ivan Azis, M.Sc** dan **Prof. Dr. Kasbawati, S.Si, M.Si**, selaku Tim Penguji sekaligus Dosen Penasehat Akademik penulis selama menempuh pendidikan sarjana.
3. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Matematika yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama menjadi mahasiswi di Program Studi Matematika, serta Bapak dan Ibu Staff Departemen Matematika yang telah membantu dan memudahkan penulis dalam berbagai hal administrasi.
4. Pemilik NIM H011201036, **Nur Aulia Rahmadani Pratiwi**, yang senantiasa ada di sisi penulis sejak 2020, baik itu dalam keadaan senang ataupun duka.
5. Teman-teman penulis, **Fachry, Fredrick, dan Raihan** sebagai teman SMA dan kuliah penulis yang selalu membantu dan menemani penulis ketika mengalami hambatan.
6. Nenek dan kakek penulis yang telah berpulang ke rahmatullah, **Kartini** dan **Makki** yang selalu memberikan kasih sayang tulus kepada penulis sebagai cucu tertuanya.
7. **Moh. Rafly**, terima kasih kepada diri sendiri karena telah berhasil sampai titik ini. Ucapan yang selalu ditanamkan di kepala sudah terbukti. “*Semua pasti akan berlalu*”

Penulis



Moh. Rafly

ABSTRAK

MOH. RAFLY. **Optimalisasi Waktu dan Biaya Menggunakan Metode *Program Evaluation and Review Technique* dan *Least Cost Analysis* Dalam Pengerjaan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare** (dibimbing oleh Prof. Dr. Aidawayati Rangkuti, M. Sc.)

Jaringan kerja merupakan salah satu model yang paling sering digunakan dalam pengerjaan proyek, khususnya pembangunan unit perumahan. Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare, dalam membangun unitnya dapat memanfaatkan model ini dalam pembangunan unitnya. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu dan biaya optimal dalam melakukan pembangunan unit perumahan Mutiara Residence Pare-Pare. Penelitian ini menggunakan dua metode utama, yaitu *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) dan *least cost analysis*. Kedua metode tersebut akan dilakukan *crashing* atau percepatan. Penelitian ini memiliki beberapa prosedur tahap penelitian yakni: 1) Identifikasi tujuan penelitian; 2) Pengumpulan data; 3) Studi Literatur; 4) Teknik pengolahan dan Analisis data; 5) Interpretasi hasil. Hasil dari penelitian ini adalah waktu optimal penyelesaian proyek dengan menggunakan PERT dan *least cost analysis* sama yaitu 133 hari. Setelah dilakukan *crashing*, durasi proyek menjadi 122 hari. Total biaya optimal setelah percepatan dari metode PERT yaitu Rp.31.549.200,7. Sedangkan total biaya optimal setelah percepatan dari metode *least cost analysis* yaitu Rp.30/806.120,7. Jadi, durasi proyek setelah percepatan adalah 122 hari. Untuk metode yang digunakan dalam melakukan percepatan bergantung terhadap durasi percepatan yang diinginkan. Jika durasi percepatan hanya sedikit, lebih baik menggunakan metode PERT. Sedangkan untuk durasi percepatan yang banyak, lebih baik menggunakan metode *least cost analysis*.

Kata Kunci: Mutiara Residence Pare-Pare; PERT; *Least Cost Analysis*; waktu; biaya; optimal



ABSTRACT

MOH. RAFLY. **Optimizing Time and Costs Using Program Evaluation and Review Technique and Least Cost Analysis Methods in Working on the Mutiara Residence Pare-Pare Housing Unit** (supervised by Prof. Dr. Aidawayati Rangkuti, M. Sc.)

The work network is one of the models most often used in project work, especially the construction of housing units. Mutiara Residence Pare-Pare Housing, in building its units, can utilize this model. This research aims to determine the optimal time and costs for constructing housing units in Mutiara Residence Pare-Pare. This research uses two main methods, namely program evaluation and review technique (PERT) and least cost analysis. Both methods will involve crashing or acceleration. This research has several research stage procedures, namely: 1) identification of research objectives; 2) data collection; 3) literary studies; 4) data processing and analysis techniques; and 5) interpretation of results. The results of this research are the optimal project completion time using PERT and the smallest cost analysis, namely 133 days. After crashing, the project duration became 122 days. The optimal total cost after acceleration from the PERT method is IDR 31,549,200.7. Meanwhile, the optimal total cost after acceleration from the least cost analysis method is IDR 30.806,120.7. So, the project duration after acceleration is 122 days. The method used to accelerate depends on the desired acceleration duration. If the acceleration duration is small, it is better to use the PERT method. Meanwhile, for large acceleration durations, it is better to use the least cost analysis method.

Keywords: Mutiara Residence Pare-Pare; PERT; Least Cost Analysis; time; costs; optimal



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii

BAB I

PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Landasan Teori.....	3
1.6.1 Perencanaan Proyek.....	3
1.6.2 Jaringan Kerja.....	4
1.6.3 Program Evaluation and Review Technique.....	5
1.6.4 Crashing.....	11
1.6.5 Least Cost Analysis	13

BAB II



ELITIAN.....	15
.....	15
r Data.....	15

2.3 Lokasi dan Waktu Penelitian	15
2.4 Prosedur Penelitian.....	15
2.5 Diagram Alir Penelitian.....	21
BAB III	
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
3.1 Observasi Lapangan	22
3.2 Studi Literatur.....	22
3.3 Pengolahan Data dan Hasil Analisis Data	22
BAB IV	
KESIMPULAN	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN.....	64



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Jaringan.....	7
Gambar 1.2 Jaringan Kerja Kegiatan	8
Gambar 1.3 Lintasan Kritis Proyek.....	9
Gambar 3.1 Jaringan Kerja Proyek Pembangunan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare.....	28
Gambar 3.2 Jalur Kritis pada Jaringan Kerja Proyek Pembangunan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare.....	34
Gambar 3.3 Penentuan Jalur Kritis Menggunakan <i>javascript</i> pada Jaringan Kerja Proyek Pembangunan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare	36
Gambar 3.4 Jaringan Kerja dan Jalur Kritis Proyek Pembangunan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare Setelah <i>Crashing</i>	60



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Deskripsi Kegiatan dan Durasi Kegiatan.....	7
Tabel 1.2 Nilai ES, EF, LS, LF, dan Slack Kegiatan	9
Tabel 1.3 Indeks Produktifitas Kerja.....	12
Tabel 3.1 Komponen Kegiatan, Logika Ketergantungan, dan Durasi Proyek Pembangunan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare	23
Tabel 3.2 Nilai <i>Expected Time</i> , Standar Deviasi, dan Variansi Dari Kegiatan Pada Proyek Pembangunan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare	25
Tabel 3.3 Perhitungan <i>Slack</i> Kegiatan Pada Proyek Pembangunan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare.....	32
Tabel 3.4 Percepatan Waktu Kegiatan Pada Proyek Pembangunan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare.....	45
Tabel 3.5 Penambahan Biaya Percepatan Kegiatan Pada Pembangunan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare.....	49
Tabel 3.6 Nilai <i>Cost Slope</i> Pada Kegiatan Kritis di Pengerjaan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare\.....	51
Tabel 3.7 Hasil Dari Perhitungan Waktu dan Biaya Menggunakan Metode PERT	54
Tabel 3.8 Hasil Dari Perhitungan Waktu dan Biaya Menggunakan Metode <i>Least Cost Analysis</i>	58
Tabel 3.9 Perbandingan Hasil Dari Perhitungan Waktu dan Biaya Menggunakan PERT dan <i>Least Cost Analysis</i>	58



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. RAB Pembangunan Unit Type 40 Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare.....	64
Lampiran 2. Pengerjaan Unit Type 40 Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare	66
Lampiran 3. Kode Program <i>javascript</i> Untuk Mencari Jalur Kritis.....	67
Lampiran 4. Daftar Riwayat Hidup	68



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Riset operasi merupakan bagian dari matematika terapan. Fokus utama riset operasi adalah mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan proses untuk mencapai tujuan tertentu untuk memecahkan masalah kompleks dalam pengambilan keputusan. (Rangkuti A., 2022). Bidang ini memiliki pengaplikasian yang banyak di industri, seperti di manufaktur, transportasi, ataupun logistik. Tidak hanya itu, riset operasi juga dapat diaplikasikan dalam proyek pembangunan, khususnya dalam penjadwalan serta meminimumkan biaya proyek. Cabang dari riset operasi yang membahas hal ini adalah *network planning* (jaringan kerja).

Jaringan kerja adalah alat penting dalam manajemen proyek yang digunakan untuk merepresentasikan serangkaian tugas atau kegiatan serta hubungan ketergantungan antara mereka. Jaringan kerja memungkinkan manajer proyek untuk mengidentifikasi kegiatan kunci, menetapkan sumber daya dengan efisien, dan mengelola jadwal proyek secara efektif. Metode jaringan kerja yang akan digunakan adalah PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) dan *Least Cost Analysis*.

Metode PERT (Program Evaluation and Review Technique) merupakan model jaringan untuk merencanakan dan mengendalikan sebuah proyek atau pekerjaan melalui pemetaan waktu penyelesaian kegiatan yang acak. Metode PERT bisa dikatakan adalah metode manajemen waktu yang akurat atas tiap aktivitas dalam proyek (Lulut dkk., 2022). Sedangkan *Least Cost Analysis* adalah metode *scheduling* yang menentukan aktivitas dan urutan dalam melakukan strategi percepatan secara *crashing* dalam rangka mendapatkan serangkaian rencana percepatan proyek yang paling efisien atas biaya (Naufal & Budi, 2022).

Perumahan dan ruang hidup merupakan elemen fundamental dari struktur sosial dan budaya suatu masyarakat. Mereka tidak hanya memberikan perlindungan, tetapi juga menjadi landasan kehidupan sehari-hari, pertumbuhan keluarga, dan hubungan antar individu. Perumahan mencakup berbagai jenis, mulai dari apartemen modern hingga rumah tradisional yang penuh sejarah dan warisan budaya. Rumah lebih dari sekedar struktur fisik; rumah membentuk komunitas, tempat berkumpulnya tetangga, anak-anak bermain, dan hubungan terbentuk. Selain itu, pembangunan perumahan juga mencerminkan aspek ekonomi, lingkungan hidup dan politik, sehingga mempengaruhi kualitas hidup dan kesejahteraan masyarakat secara keseluruhan.

Untuk membangun rumah disuatu perumahan, sangat banyak hal yang perlu



karena itu, untuk membangun rumah tersebut dibutuhkan biaya proyek. Proyek adalah usaha atau upaya yang bersifat terencana yang dilakukan untuk mencapai tujuan tertentu. Proyek memiliki karakteristik yang membedakannya dari operasi rutin sehari-hari dalam suatu organisasi (Fery, Tukimun, 2024). Membangun rumah merupakan proyek

yang besar, sehingga memerlukan perencanaan yang matang. Beberapa hal yang sangat penting untuk diperhatikan yaitu mengenai pengalokasian sumber daya, penjadwalan untuk pengerjaan proyek, serta biaya proyek.

Penelitian yang berkaitan dengan hal tersebut ada beberapa. Riza, M. N., & Witjaksana, B. (2022) meneliti analisa biaya dan waktu dengan menggunakan metode *Least Cost Analysis* pada proyek pembangunan gedung ruang kelas baru MAN kota Surabaya. Iluk, T., Ridwan, A., & Winarto, S. (2020) meneliti penerapan metode CPM Dan PERT pada gedung parkir 3 lantai grand panglima polim Kediri. R. Violina (2022) meneliti optimasi pelaksanaan proyek pembangunan menggunakan *Critical Path Method* dan *Least Cost Analysis*.

Mengacu dari beberapa penelitian sebelumnya, proyek pembangunan unit rumah di Mutiara Residence Pare-Pare dapat dimodelkan dengan jaringan kerja. Hal ini melandasi penulis untuk meneliti tugas akhir dengan judul “ **Pengoptimalan Waktu dan Biaya Menggunakan Metode PERT dan *Least Cost Analysis* dalam Pengerjaan Unit Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare**”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diangkat, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengoptimalan biaya dan waktu dalam percepatan penjadwalan proyek pembangunan unit perumahan Mutiara Residence menggunakan metode PERT dan *Least Cost Analysis*?
2. Bagaimana perbandingan antara perhitungan PERT dan *Least Cost Analysis* ?

1.3 Batasan Masalah

1. Fokus pada salah satu unit perumahan Mutiara Residence Pare-Pare sebagai objek perencanaan renovasi.
2. Hanya fokus pada analisis estimasi waktu dan biaya berdasarkan perencanaan yang dihasilkan.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menentukan jalur kritis, waktu optimal, serta biaya minimum dalam percepatan waktu proyek menggunakan metode PERT dan *Least Cost Analysis* pada pembangunan unit perumahan Mutiara Residence Pare-Pare.
2. Membandingkan metode mana yang lebih optimal dalam mengoptimalkan durasi serta biaya dalam pembangunan unit perumahan Citra ReGENCY Pare-Pare.



an

ri digunakan sebagai sarana untuk mengaplikasikan pengetahuan yang telah diperoleh dalam perkuliahan, khususnya materi riset operasi kerja.

2. Bagi Pembaca

Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk memahami penerapan metode PERT dan *Least Cost Analysis* dalam mengoptimalkan waktu dan biaya pengerjaan suatu proyek.

3. Bagi Pihak Perumahan Mutiara Residence Pare-Pare

Hasil Penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam mengoptimalkan dan meminimumkan waktu serta biaya dalam pembangunan unit rumah.

1.6 Landasan Teori

1.6.1 Perencanaan Proyek

Suatu proyek merupakan kombinasi dari kegiatan-kegiatan (*activities*) yang saling berkaitan dan harus dilaksanakan dengan mengikuti suatu urutan tertentu sebelum seluruh kegiatan dapat diselesaikan secara tuntas. Kegiatan-kegiatan ini saling berkaitan sehingga ada kemungkinan suatu kegiatan tidak dapat dimulai sebelum kegiatan lainnya diselesaikan. Suatu kegiatan dalam suatu proyek biasanya dipandang sebagai suatu pekerjaan (*job*) yang dalam penyelesaiannya memerlukan waktu, tenaga, dan biaya. Pada umumnya proyek adalah usaha suatu waktu (*one-time effort*), maksudnya urutan kegiatan-kegiatan yang sama tidak mungkin terulang lagi di waktu yang datang. Jauh sebelum ini penjadwalan suatu proyek dilakukan melalui perencanaan. Perencanaan adalah penentuan mengenai apa yang harus dicapai, kapan, dan bagaimana hal tersebut dilaksanakan. Perencanaan (*planning*) merupakan salah satu fungsi manajemen dan bertujuan memecahkan persoalan pada berbagai macam perencanaan seperti perencanaan pembangunan nasional, regional, dan sectoral, perencanaan personalia/tenaga kerja, perencanaan peralatan, perencanaan keuangan, perencanaan produksi, dan perencanaan pemasaran/penjualan.

Secara ringkas pokok-pokok perencanaan adalah sebagai berikut :

1. Menentukan target, tanpa adanya target sukar untuk membuat evaluasi.
2. Kegiatan-kegiatan yang harus dilakukan.
3. Urutan kegiatan.
4. Penaksiran waktu yang diperlukan untuk melaksanakan tiap kegiatan menegaskan kapan suatu kejadian dimulai dan kapan berakhir. Secara keseluruhan kapan proyek selesai.
5. Bila perlu, menetapkan alokasi biaya dan peralatan guna pelaksanaan tiap kegiatan, meskipun pada hakikatnya hal ini tidak begitu penting (Rangkuti A., 2022).

Dalam merencanakan suatu proyek, khususnya dalam hal penjadwalan terdapat beberapa metode yang sering digunakan. Metode-metode tersebut seperti metode kurva kerja, metode analisis pekerjaan, serta metode lainnya. Semua kelebihan dan kekurangan masing-masing tergantung proyek yang



1.6.2 Jaringan Kerja

Jaringan kerja merupakan suatu model yang sering digunakan dalam penyelenggaraan proyek, produk dari model ini berupa informasi seluruh kegiatan dalam diagram jaringan kerja tersebut. Dengan penggunaan jaringan kerja maka dapat dilakukan analisis jadwal penyelesaian, identifikasi masalah, probabilitas penyelesaian, kebutuhan biaya percepatan proyek, dan sebagainya (Dian dkk., 2021).

Kegiatan yang merupakan komponen proyek dan saling ketergantungan di antara mereka disajikan dengan tanda-tanda. Terdapat dua jenis jaringan kerja yaitu:

1. *Activity on arrow* (AOA) atau kegiatan pada anak panah. Jenis kegiatan ini diwakili oleh panah yang menghubungkan dua lingkaran yang mewakili dua peristiwa. Metode yang termasuk dalam klasifikasi jaringan kerja ini adalah metode CPM dan PERT.
2. *Activity on node* (AON) atau kegiatan yang ditulis di dalam lingkaran atau kotak. Pada jaringan kerja ini, anak panah hanya menggambarkan hubungan ketergantungan antara kegiatan. Metode yang termasuk dalam klasifikasi jaringan kerja ini adalah metode PDM. (Violina, A., 2022)

Untuk menggambarkan suatu jaringan, menggunakan tiga jenis symbol yaitu :

1. Anak panah (*arrow*) yang disimbolkan dengan tanda $\rightarrow$, menyatakan kegiatan atau aktivitas (*activity*). Kegiatan ini diartikan sebagai hal yang memerlukan durasi (*duration*) dalam pemakaian *resources* (tenaga kerja, peralatan, material, biaya). Jumlah waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan seluruh pekerjaan proyek dinamakan durasi proyek. Kepala anak panah menjadi pedoman arah tiap kegiatan/aktivitas yang menunjukkan bahwa kegiatan dimulai dari permulaan dan berjalan maju sampai akhir dengan arah kiri ke kanan. Bentuk anak panah tidak harus berupa garis lurus, namun bisa berupa garis lengkung atau atas dasar estetika sehingga penampilan diagram jaringan menjadi lebih menarik.
2. Lingkaran kecil (*node*) yang disimbolkan dengan tanda O, menyatakan sebuah kejadian atau peristiwa (*event*). Setiap kegiatan selalu dimulai dengan dengan peristiwa dan diakhiri dengan peristiwa. Setiap peristiwa diberi penomoran sebagai pembeda antar peristiwa. Penomoran dilakukan secara urutan menaik.
3. Anak panah terputus-putus (*dummy*), menunjukkan kegiatan semu (*dummy*) yang berfungsi untuk membatasi mulainya kegiatan. Kegiatan dummy memiliki durasi nol karena hanya sebagai penghubung antara dua kegiatan. (Lulut dkk., 2022)



Simbol-simbol tersebut diatas mengikuti aturan-aturan antara lain :

Dapat 2 kejadian yang sama, hanya digambar dengan 1 anak panah

2. Nama sebuah kegiatan/aktivitas diberi tanda huruf atau nomor.
3. Aktivitas/kegiatan mengalir mulai dari peristiwa/event bernomor rendah ke peristiwa/event bernomor tinggi (*ascending order*).
4. Diagram hanya memiliki 1 *initial event* dan 1 *terminal event*. (Lulut dkk., 2022)

1.6.3 Program Evaluation Review Technique (PERT)

Project Evaluation and Review Technique (PERT) adalah sebuah model Management Science untuk perencanaan dan pengendalian sebuah proyek. Teknik PERT adalah suatu metode yang bertujuan untuk mengurangi adanya penundaan, maupun gangguan produksi, serta mengkoordinasikan berbagai bagian suatu pekerjaan secara menyeluruh dan mempercepat selesainya proyek. Teknik ini memungkinkan untuk menghasilkan suatu pekerjaan yang terkendali dan teratur, karena jadwal dan anggaran dari suatu pekerjaan telah ditentukan terlebih dahulu sebelum dilaksanakan. Tujuan dari PERT adalah suatu pencapaian dimana waktu merupakan dasar penting dari PERT dalam penyelesaian kegiatan suatu proyek (Josua & Jane, 2020).

Untuk menggunakan metode PERT, perlu diketahui dahulu mengenai metode *Critical Path Method* (CPM). CPM satu metode yang berkembang baik dari konsep jaringan kerja (*network planning*). Metode ini dikembangkan oleh J.E Kelly dari Remington Rand dan M.R. Walker dari duPoint pada tahun 1957 sebagai perangkat untuk membantu pembangunan serta pemeliharaan pabrik kimia di duPoint. Metode ini digunakan untuk membantu manajer proyek dalam merencanakan, memantau dan mengendalikan proyek besar dan kompleks. Pada metode CPM terdapat jalur kritis, yaitu jalur yang memiliki sekumpulan komponen kegiatan dengan total periode waktu terpanjang dan menunjukkan periode waktu penyelesaian proyek tercepat. Oleh karena itu, jalur kritis mencakup sejumlah kegiatan penting mulai dari kegiatan pertama hingga kegiatan terakhir proyek

Dalam melakukan perhitungan waktu proyek, ada beberapa istilah yang harus diketahui. Istilah tersebut adalah sebagai berikut (Rangkuti, A., 2022) :

1. *Earliest time of occurrence* (TE) menunjukkan waktu paling awal suatu kegiatan yang berasal dari *node* tersebut dapat dimulai karena menuurut aturan dasar jaringan kerja, suatu kegiatan baru dapat dimulai bila kegiatan terdahulu telah selesai.
2. *Earliest activity start time* (ES) menunjukkan waktu mulai paling awal suatu kegiatan
3. *Earliest activity finish time* (EF) menunjukkan waktu selesai paling awal suatu kegiatan. Bila hanya ada satu kegiatan terdahulu, maka suatu kegiatan terdahulu adalah ES kegiatan berikutnya.



Latest activity start time (LS) menunjukkan waktu paling akhir kegiatan boleh
 ya memperlambat proyek secara keseluruhan.

Latest activity finish time (LF) menunjukkan waktu paling akhir kegiatan boleh

Perhitungan waktu penyelesaian proyek dilakukan dengan 2 tahap yaitu (Lulut dkk., 2022) :

1. Perhitungan Maju

Perhitungan maju adalah perhitungan yang dilakukan dengan dimulai dari initial event menuju terminal event. Tujuannya untuk menghitung waktu paling cepat terjadinya events dan waktu paling cepat dimulai serta berakhirnya tiap kegiatan. Terdapat tiga langkah yang akan dilakukan pada perhitungan maju, yaitu:

- a. Untuk initial event berlaku $TE = 0$ karena waktu paling cepat terjadinya initial event ditentukan pada hari ke-nol.

- b. Jika initial event terjadi pada hari ke-nol, maka

$$\begin{aligned} ES(i,j) &= TE(j) = 0 \\ EF(i,j) &= ES(i,j) + t(i,j) \\ &= TE(I) + t(i,j) \end{aligned} \quad (1.1)$$

dengan $t(i,j)$: Durasi kegiatan (i,j)

- c. Event yang menggabungkan beberapa kegiatan (merge event)

Sebuah event hanya dapat terjadi apabila seluruh kegiatan terdahulu telah diselesaikan. Maka waktu paling cepat terjadinya sebuah event sama dengan nilai terbesar dari waktu tercepat untuk menyelesaikan kegiatan-kegiatan yang berakhir pada event tersebut.

$$TE_{(j)} = \max (EF(i_1,j), EF(i_2,j), \dots, EF(i_n,j)) \quad (1.2)$$

2. Perhitungan Mundur

Perhitungan mundur adalah perhitungan yang dilakukan dengan dimulai dari terminal event menuju initial event. Tujuannya untuk menghitung waktu paling lambat terjadinya events dan waktu paling lambat dimulai serta berakhirnya tiap kegiatan. Pada perhitungan mundur juga terdapat 3 langkah perhitungan, yaitu:

- a. Pada terminal event berlaku $TL = TE$.

- b. Waktu paling lambat suatu kegiatan dimulai sama dengan waktu paling lambat untuk menyelesaikan kegiatan itu dikurangi dengan duration kegiatan tersebut.

$$LS = LF - t$$

$$LF(i,j) = TL \text{ dimana } TL = TE$$

maka

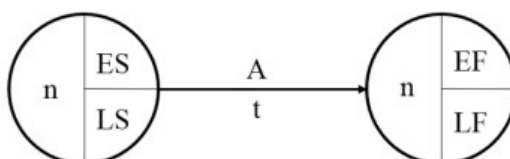
$$LS(i,j) = TL(j) - t(i,j) \quad (1.3)$$

- c. Event yang mengeluarkan beberapa kegiatan (burst event). Sebuah event hanya dapat terjadi apabila seluruh kegiatan terdahulu telah diselesaikan. Maka waktu paling lambat terjadinya sebuah event sama dengan nilai terkecil dari waktu paling lambat untuk memulai kegiatan-kegiatan yang berpangkal pada event tersebut.

$$TL_j = \min (LS(i,j_1), LS(i,j_2), \dots, LS(i,j_n)) \quad (1.4)$$



Perhitungan waktu proyek dilakukan melalui tabel tabular atau bantuan gambar diagram jaringan sehingga dapat memudahkan dalam menghitung EF dan LF. Untuk membantu perhitungan maju dan mundur ini, lingkaran 104 (node) peristiwa/kejadian (event) dibagi atas tiga bagian yaitu seperti berikut.



Gambar 1.1. Diagram Jaringan

Keterangan:

n = Nomor kejadian

A = Nama kegiatan

t = Durasi kegiatan

Setelah penyelesaian perhitungan waktu, diperlukan untuk mengetahui mengenai waktu tenggang (*float time*) atau slack. Waktu tenggang dapat dirumuskan :

$$S_x = LF_x - EF_x = LS_x - ES_x \quad (1.5)$$

Sebagai contoh misalnya diketahui nilai $S = 5$, itu berarti aktivitas tersebut dapat mulai tepat pada saat ES atau mundur 1 hari, 2 hari, dan maksimal mundur yang diizinkan adalah 5 hari saat dari ES. Sedangkan jalur kritis adalah jalur yang memiliki aktivitas-aktivitas kritis karena memiliki nilai $S = 0$ atau bisa dilihat berdasarkan kesamaan antara nilai $EF = LF$.

Contoh:

Andi mengerjakan sebuah proyek yang mencakup 7 jenis kegiatan dengan durasi sebagai berikut:

Tabel 1.1 Deskripsi Kegiatan dan Durasi Kegiatan

Kegiatan	Deskripsi	Kegiatan pendahulu	Durasi (Hari)
A	Membangun pondasi	-	5
B	Membangun dinding dan langit-langit	A	8
C	Membangun atap	B	10
D	Tertutupkan kabelan listrik	B	5
E	Pasang jendela	B	4
F	Pasang keramik	E	6
G	Selesai rumah	C, F	3

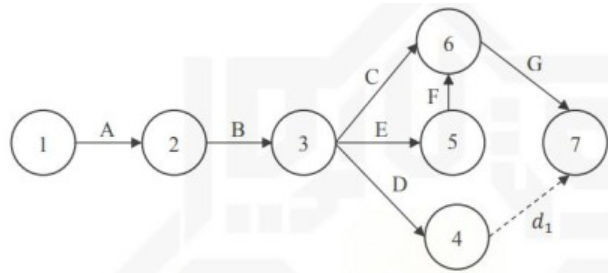


Tentukan waktu optimal untuk pengerjaan proyek di atas menggunakan metode CPM.

Penyelesaian:

Berikut langkah-langkah menggunakan metode CPM untuk menyelesaikan data diatas:

Langkah 1: Menggambar jaringan kerja



Gambar 1.2. Jaringan Kerja Kegiatan

Langkah 2 : Menentukan lintasan kritis

Untuk menentukan lintasan kritis diperlukan perhitungan maju dan perhitungan mundur berdasarkan Persamaan. Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

a. Perhitungan maju untuk kegiatan membangun pondasi dihitung menggunakan Persamaan sebagai berikut:

$$ES(1,2) = TE = 0$$

$$EF(1,2) = ES(1,2) + t(1,2)$$

$$= 0 + 5$$

$$= 5$$

$$TE(6) = \max(ES(3,6) + t(3,6) ; ES(5,6) + t(5,6))$$

$$= \max(13 + 10 ; 17 + 6)$$

$$= \max(23 ; 23)$$

$$= 23$$

Perhitungan maju ini dilakukan pada semua kegiatan mulai dari kegiatan awal yaitu membangun pondasi hingga kegiatan akhir yaitu mengecat rumah.

b. Perhitungan mundur untuk kegiatan mengecat rumah dihitung menggunakan Persamaan sebagai berikut:

$$TL(7) = TE(7) = 26$$

$$LS(i,j) = TL(7) - t(6,7)$$

$$= 26 - 3$$

$$= 23$$

$$TL(3) = \min(LS(3,4) - t(3,4) ; LS(3,5) - t(3,5) ; LS(3,6) - t(3,6))$$

$$= \min(26 - 5 ; 17 - 4 ; 23 - 10)$$

$$= \min(21 ; 13 ; 13)$$



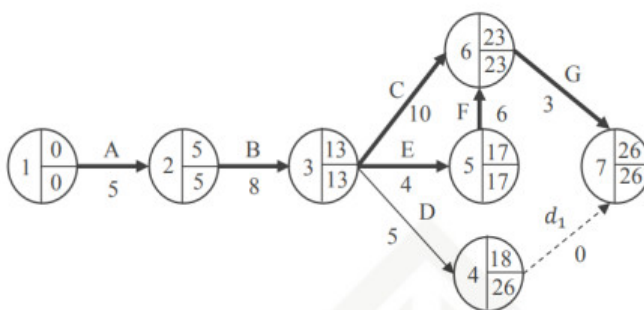
ini dilakukan pada semua kegiatan mulai dari kegiatan akhir yaitu mengecat rumah hingga kegiatan awal yaitu membangun pondasi. Setelah perhitungan mundur selesai maka akan diperoleh nilai total float/slack setiap kegiatan. Hasil perhitungan menggunakan Persamaan. Hasil perhitungan maju,

perhitungan mundur dan perhitungan total float/slack selengkapnya diperoleh sebagai berikut:

Tabel 1.2 Nilai ES, EF, LS, LF, dan Slack Kegiatan

Kegiatan	<i>Earliest</i>		<i>Latest</i>		Slack (LF-EF)	Sifat
	<i>Start (ES)</i>	<i>Finish (EF)</i>	<i>Start (LS)</i>	<i>Finish (LF)</i>		
A	0	5	0	5	0	Kritis
B	5	13	5	13	0	Kritis
C	13	23	13	23	0	Kritis
D	13	18	13	26	8	Tidak Kritis
E	13	17	13	17	0	Kritis
F	17	23	17	23	0	Kritis
G	23	26	23	26	0	Kritis

Berdasarkan Tabel diatas diperoleh kegiatan dengan nilai slack bernilai nol merupakan kegiatan kritis, sedangkan kegiatan dengan nilai slack tidak bernilai nol bukan merupakan kegiatan kritis.



Gambar 1.3. Lintasan Kritis Proyek

Berdasarkan Gambar diatas diperoleh 2 lintasan kritis yaitu lintasan A – B – C – G dengan waktu penyelesaian proyek selama 26 hari dan lintasan A – B – E – F – G dengan waktu penyelesaian proyek selama 26 hari.

Setelah mengetahui metode CPM, pengerjaan menggunakan metode PERT akan mudah dilakukan karena dasar dari metode CPM dan metode PERT sebenarnya sama. Hal yang membedakan dari kedua metode ini adalah penggunaan waktu, yang dimana



akan waktu tunggal, sedangkan metode PERT menggunakan Waktu pekerjaan metode PERT terdiri atas tiga kategori waktu ai berikut:

stic Time, merupakan asumsi perkiraan waktu penyelesaian aling cepat atas dasar tidak terdapat kendala dalam penyelesaian.

2. b = Pessimistic Time, merupakan asumsi perkiraan waktu penyelesaian pekerjaan waktu paling lambat atas dasar, terdapat berbagai macam kendala dalam penyelesaian. Kendala tersebut dapat berupa keterbatasan ketersediaan dana, faktor alam (hujan ataupun bencana alam), keterbatasan ketersediaan sumberdaya, perizinan, dan sebagainya.
3. m = Most Likely Time, merupakan asumsi perkiraan waktu penyelesaian pekerjaan dimana memiliki waktu lebih lama dari waktu optimis, tetapi lebih cepat dari waktu pesimis, dengan kemungkinan ketercapaian tinggi. Sebagai kendala yang ada diasumsikan dapat teratasi (Dian dkk., 2021).

Ketiga nilai perkiraan waktu tersebut, yaitu a , b , m , dihubungkan menjadi satu nilai yang disebut expected return (Te). Nilai tersebut merupakan nilai mean jika kejadian tersebut dikerjakan berulang dalam jumlah besar. Nilai expected return (Te) dapat diperoleh pada persamaan:

$$Te = \frac{a+4m+b}{6} \quad (1.6)$$

Dengan menggunakan konsep Te , maka jalur kritis dapat diidentifikasi. Pada jalur kritis berlaku slack = 0. Rentang waktu pada tiga nilai estimasi PERT menandai derajat ketidakpastian dalam estimasi kurun waktu. Besarnya ketidakpastian tergantung pada besarnya angka a dan b , dirumuskan sebagai berikut (Josua & Jane, 2020) :

Standar Deviasi kegiatan (S):

$$S = \frac{1}{6}(b - a) \quad (1.7)$$

Varians kegiatan $V(Te)$:

$$V(Te) = S^2 = \left(\frac{(b-a)}{6}\right)^2 \quad (1.8)$$

Selain itu, untuk mengetahui kemungkinan proyek mencapai waktu target yang diharapkan, dapat menggunakan persamaan berikut (Wahyudin & Umar, 2021) :

$$Z = \frac{Td - Te}{S} \quad (1.9)$$

Z = Probabilitas proyek selesai

Td = Waktu target penyelesaian proyek

Te = Waktu kegiatan yang diharapkan

2. Standar Deviasi



am menentukan PERT adalah sebagai berikut (Lulut dkk., 2022):

egiatan spesifik

2. Menentukan urutan kegiatan yang tepat
3. Membangun diagram jaringan
4. Memperkirakan waktu yang diperlukan untuk setiap kegiatan
5. Menentukan jalur kritis
6. Memperbarui grafik PERT

1.6.4 Crashing

Proyek konstruksi merupakan suatu kegiatan yang waktu pelaksanaannya terbatas dan merupakan kegiatan yang sementara dimana sebelum proyek dilaksanakan biasanya telah ditetapkan awal dan akhir pelaksanaan pekerjaannya. Pada pelaksanaan proyek konstruksi berbagai hal dapat terjadi yang bisa menyebabkan bertambahnya waktu pelaksanaan sehingga penyelesaian proyek menjadi terlambat. Keterlambatan pekerjaan proyek dapat diantisipasi dengan melakukan percepatan dalam pelaksanaannya, namun harus tetap memperhatikan faktor biaya dan mutu, pertambahan biaya yang dikeluarkan diharapkan seminimum mungkin (Armalisa dkk., 2021)

Konsep dari *crashing* adalah melakukan tindakan pada jangka waktu tertentu untuk membuat durasi kegiatan lebih pendek dari durasi normalnya. Tindakan yang dilakukan dapat mencakup penambahan jam kerja, penambahan tenaga kerja, penambahan peralatan dan sebagainya. *Crashing* mengacu pada percepatan pada aktivitas secara berurutan untuk membuat durasi proyek lebih pendek dari nilai normalnya.

Penerapan percepatan pada suatu proyek dapat mempengaruhi biaya dan waktu yang meliputi:

1. Waktu normal (*normal time*) yaitu waktu yang diperlukan sebuah proyek untuk melakukan rangkaian kegiatan sampai selesai tanpa mempertimbangkan penggunaan sumber daya.
2. Biaya normal (*normal cost*) yaitu biaya langsung yang dikeluarkan untuk menyelesaikan proyek dalam waktu normal.
3. Waktu percepatan (*crash duration*) yaitu waktu tercepat untuk menyelesaikan kegiatan secara keseluruhan yang secara teknis masih mungkin dilakukan.
4. Biaya untuk waktu dipercepat (*crash cost*) yaitu jumlah biaya langsung yang dikeluarkan untuk menyelesaikan proyek dalam waktu yang dipercepat (Violina, A., 2022)



akan memperoleh kesuksesan bergantung pada efektifitas daya, dimana sumber daya yang paling sulit untuk dikelola adalah jika dilakukan perhitungan tingkat kemampuan pekerja dalam pekerjaan dalam satuan waktu (produktivitas kerja) agar dapat efektif dan efisien dengan sumber daya yang digunakan.

$$\text{Produktivitas harian (PH)} = \frac{\text{Volume}}{\text{Durasi normal}} \quad (1.10)$$

$$\text{Produktivitas tiap jam (PJ)} = \frac{\text{Produktivitas harian}}{\text{Jam kerja per hari}} \quad (1.11)$$

$$\text{PH setelah percepatan} = (JK \times PJ) + (a \times b \times PJ) \quad (1.12)$$

dengan:

JK : Jam kerja per hari

a : Lama penambahan jam kerja (lembur)

b : Koefisien penurunan produktivitas akibat penambahan jam kerja (lembur)

Penambahan jam kerja (lembur) dilakukan dengan menambahkan durasi jam kerja sesuai dengan yang diinginkan. Semakin besar penambahan durasi, maka akan menimbulkan penurunan produktivitas. Koefisien penurunan produktivitas akibat penambahan jam kerja dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1.3 Indeks Produktivitas kerja

Jam Lembur (Jam)	Penurunan Indeks Produktivitas	Prestasi Kerja
1	0,1	90 %
2	0,2	80 %
3	0,3	70 %
4	0,4	60 %

Sumber : Sofia D. S. & Putri A. A. E., 2021

Penambahan waktu kerja akan menambah besar biaya normal untuk tenaga kerja. Berdasarkan Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia Nomor KEP. 102/MEN/VI/2004 pasal 3, pasal 7, dan pasal 11 diperhitungkan bahwa upah penambahan kerja bervariasi. Pada penambahan waktu kerja satu jam pertama, pekerja mendapatkan tambahan upah 1,5 kali upah perjam waktu normal dan pada penambahan jam kerja berikutnya maka pekerja akan mendapatkan 2 kali upah perjam waktu normal (Sofia D. S. & Putri A. A. E., 2021)

Perhitungan biaya tambahan pekerja dapat dirumuskan sebagai berikut:

a. Biaya normal pekerja perhari

$$\text{Biaya normal} = \text{Produktivitas harian} \times \text{Harga upah pekerja} \quad (1.13)$$



$$\text{pekerja perjam} \times \text{mal} = \text{Produktivitas perjam} \times \text{Harga upah pekerja} \quad (1.14)$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya lembur} = & (1,5 \times \text{upah 1 jam lembur pertama}) + \\ & (2 \times n \times \text{upah 1 jam normal untuk jam} \\ & \text{lembur berikutnya}) \end{aligned} \quad (1.15)$$

d. Biaya percepatan pekerja perhari

$$\text{Biaya percepatan perhari} = (\text{Jam kerja perhari} \times \text{produktifitas harian}) + (n \times \text{biaya lembur perjam}) \quad (1.16)$$

dimana:

n : Jumlah penambahan jam kerja (lembur)

e. Biaya Percepatan

$$\text{Biaya percepatan} = \text{Durasi percepatan} \times \text{Biaya percepatan pekerja perhari} \quad (1.17)$$

f. Total biaya percepatan

$$\text{Total biaya percepatan} = \text{Biaya percepatan} + \text{Biaya normal} \quad (1.18)$$

Kemudian pada metode crashing, terdapat istilah *cost slope* (kemiringan). *Cost slope* merupakan biaya yang dilakukan untuk melakukan percepatan durasi proyek untuk setiap waktu. Dengan mengetahui *cost slope*, maka pelaksana proyek akan lebih mudah membandingkan aktivitas kritis mana yang dapat dipercepat. Rumus *cost slope* atau biaya yang digunakan untuk mempersingkat durasi adalah (Nur R. I., 2021) :

$$\text{Cost Slope} = \frac{\text{Total biaya percepatan} - \text{Biaya normal}}{\text{Durasi normal} - \text{Durasi dipercepat}} \quad (1.19)$$

1.6.5 Least Cost Analysis

Metode *Least Cost Analysis* adalah metode *scheduling* yang menentukan aktivitas dan urutan dalam melakukan strategi percepatan secara crashing dalam rangka mendapatkan serangkaian rencana percepatan proyek yang paling efisien atas biaya (Riza & Wijdaksana, 2022). Biaya *least cost analysis* meliputi biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tidak langsung (*indirect cost*), jika adanya bonus maka jumlah dari biaya langsung dan biaya tidak langsung harus dikurangi dengan bonus (profit) dari perusahaan. (Paramata & Utiahman, 2019).

Biaya langsung adalah biaya yang langsung berhubungan dengan pelaksanaan pekerjaan pembangunan dilapangan. Sedangkan biaya tidak langsung adalah biaya yang tidak secara langsung berhubungan dengan pembangunan dilapangan (Riza & Wijdaksana, 2022). Contoh biaya langsung seperti biaya material dan pekerja. Sedangkan contoh dari biaya tidak langsung seperti biaya overhead dan biaya tidak



dan biaya tidak langsung serta total biaya dapat dirumuskan

$$\text{ng} = \text{biaya langsung proyek} + \text{penambahan biaya} \quad (1.20)$$

$$\text{Biaya tak langsung} = \text{biaya tak langsung perhari} \times \text{total waktu proyek} \quad (1.21)$$

$$\text{Total biaya} = \text{Biaya langsung} + \text{Biaya tak langsung} - \text{bonus} \quad (1.22)$$

Tahapan dalam menerapkan menerapkan metode *least cost analysis* adalah sebagai berikut (Riza & Wijdaksana, 2022) :

1. Mendata rencana awal durasi dan biaya tiap aktivitas (kondisi normal).
2. Membuat diagram jaringan jadwal proyek pembangunan.
3. Menentukan jalur kritis.
4. Menentukan daftar kegiatan yang akan dilakukan *crashing*.
5. Mendata estimasi durasi dan biaya setiap kegiatan dalam kondisi *crash*.
6. Menghitung nilai *Cost Slope*.
7. Melakukan *crashing* secara bertahap.
8. Menentukan titik optimal *crashing*.

