

ANALISIS PERCEPATAN PEMBANGUNAN RUKO 3 LANTAI MENGUNAKAN METODE CPM DAN PERT (STUDI KASUS: RUKO PERUMAHAN HEAVENLAND PARK SIDOARJO)

Saiful Basyri¹⁾, Maulidya Octaviani²⁾, Rizki Astri Apriliani³⁾,
Sekar Ayu Kuncaravita⁴⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo Surabaya,
Email: linkernes2@gmail.com

²⁾ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo Surabaya,
Email: lityaocata@unitomo.ac.id

³⁾ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo Surabaya,
Email: rizki.apriliani@unitomo.ac.id

⁴⁾ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo Surabaya,
Email: sekar.ayu@unitomo.ac.id

Abstract

In the development of construction projects, various things can occur that cause delays in the duration of the project, so that it can hamper the implementation of the project duration. Delays in project work can occur due to various factors, such as uncertain weather, design changes, errors in planning, and many other factors. These factors can have a considerable impact on the duration of project completion. So it is necessary to analyze the acceleration of duration in its implementation, but must still pay attention to cost efficiency and quality. The 3-Storey Shophouse Construction Work Project in the Heavenland Park Residential Area East Circle Sidoarjo experienced a request for acceleration in completion time. Based on this request, this study was conducted to analyze whether the request could be realized or not by knowing the critical path, and effective time and cost using the Critical Path Method (CPM) and Program Evaluation and Review Technique (PERT). It is known that the normal implementation time of the project is 52 weeks with a total cost of Rp.788,256,732, -. Based on the results of this study using the CPM method, it can be seen that the critical path in the project is preparation work (A), Foundation Soil work (B), 1st floor Concrete Construction work (C), 1st floor Wall work (F), 2nd floor Concrete Construction work (D), 2nd floor Wall work (G), 3rd floor Concrete Construction work (E), 1st floor work (I), 2nd floor work (J), 3rd floor work (K), 3rd floor frame work (Q), 3rd floor finishing work (W), and other work (Y). (After that we re-analyze the series of work on the critical path using the PERT method so that we get a project completion period of 50 - 54 weeks and a probability of 0.03% - 99.97% after knowing the probability value of completing the work, crashing can be done by accelerating the duration of work on the critical path with the lowest Cost Slope cost value of work, namely Finishing Work Lt.3 (W) with a work duration of 5 weeks. (W) with a work duration of 5 weeks and a work value of Rp. Rp. 5,883,117 while still paying attention to the percentage of project completion that has been calculated previously, an acceleration of 50 weeks is selected with a work completion probability of 0.03%, so a change in the completion time of Work W from 5 weeks to 3 weeks with a work value of Rp. Rp. 9,805,195. Then it can be obtained that the effective duration of the project is 50 weeks with a probability value of 0.03%. The total effective cost of the project is Rp. 790,433,442, thus the acceleration that can be done from the initial duration is 2 weeks but with a note to increase the cost of work by Rp. 2,176,710.

Keywords: CPM, PERT, Critical Path, Analysis, Acceleration.

Abstrak

Pada proyek konstruksi dapat terjadi berbagai hal yang menyebabkan keterlambatan durasi proyek, sehingga dapat menghambat pelaksanaan durasi proyek. Keterlambatan pekerjaan proyek dapat terjadi karena berbagai faktor, seperti cuaca yang tidak menentu, perubahan desain, kesalahan dalam perencanaan, dan banyak lagi faktor-faktor lainnya. Faktor-faktor tersebut dapat menimbulkan dampak yang cukup besar terhadap durasi penyelesaian proyek. Sehingga diperlukan analisis percepatan durasi dalam pelaksanaannya, namun harus tetap memperhatikan keefisienan biaya dan mutu. Proyek Pekerjaan Pembangunan Ruko 3 Lantai di Kawasan Perumahan *Heavenland Park* Lingkar Timur Sidoarjo mengalami permintaan percepatan dalam waktu penyelesaian. Berdasarkan permintaan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis permintaan tersebut dapat direalisasikan atau tidak dengan mengetahui jalur kritis, serta waktu maupun biaya yang efektif dengan menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM) dan *Program Evaluation and Review Technique* (PERT). Diketahui bahwa waktu pelaksanaan normal proyek tersebut adalah 52 Minggu dengan total biaya Rp.788.256.732,- . Berdasarkan hasil penelitian ini menggunakan metode CPM dapat diketahui bahwa jalur kritis pada proyek tersebut adalah pekerjaan persiapan (A), pekerjaan Tanah Pondasi (B), pekerjaan Konstruksi Beton Lt.1 (C), pekerjaan Dinding Lt.1 (F), pekerjaan Konstruksi Beton Lt.2 (D), pekerjaan Dinding Lt.2 (G), pekerjaan Konstruksi Beton Lt.3 (E), pekerjaan Lantai Lt.1 (I), pekerjaan Lantai Lt.2 (J), pekerjaan Lantai Lt.3 (K), pekerjaan Kusen Lt.3 (Q), Pekerjaan Finishing Lt.3 (W), dan pekerjaan Lain – lain (Y). setelahnya kita analisis kembali dari rangkaian pekerjaan pada jalur kritis menggunakan metode PERT sehingga mendapat jangka waktu penyelesaian proyek yaitu 50 – 54 minggu serta probabilitas 0,03% - 99,97% setelah diketahui nilai probabilitas penyelesaian pekerjaan maka dapat dilakukan *Crashing* dengan mempercepat durasi pekerjaan yang berada di jalur kritis dengan nilai biaya *Cost Slope* pekerjaan terendah yakni Pekerjaan Finishing Lt.3 (W) dengan lama pekerjaan 5 minggu dan nilai pekerjaan Rp. Rp 5.883.117 dengan tetap memperhatikan persentase penyelesaian proyek yang sudah dihitung sebelumnya maka dipilih percepatan menjadi 50 minggu yang probabilitas penyelesaian pekerjaan 0,03% maka didapatkan perubahan pada waktu penyelesaian Pekerjaan W dari 5 minggu menjadi 3 minggu dengan nilai pekerjaan yaitu Rp. Rp 9.805.195. Maka dapat diperoleh durasi efektif proyek tersebut adalah 50 minggu dengan nilai probabilitas sebesar 0,03%. Total biaya efektif proyek tersebut adalah sebesar Rp. 790.433.442, dengan demikian percepatan yang dapat dilakukan dari durasi awal adalah 2 minggu namun dengan catatan menambah biaya pekerjaan sebesar Rp. 2.176.710.

Kata Kunci: CPM, PERT, Jalur Kritis, Analisis, Percepatan.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Proyek pembangunan ruko 3 lantai di Perumahan Heaven Land Park (HLP) Sidoarjo bertujuan untuk menciptakan ruang usaha bagi masyarakat serta membuka peluang bisnis baru bagi pengembang perumahan. Permintaan percepatan pembangunan dari pembeli unit rumah/ruko menuntut metode khusus untuk mencegah kerugian tanpa mengorbankan kepuasan pembeli. Perencanaan biaya, mutu, dan waktu proyek adalah faktor penting yang kadang-kadang memerlukan pemantauan dan pengendalian agar proyek tetap terkendali.

Kegagalan implementasi proyek seringkali disebabkan oleh perencanaan yang kurang matang dan ketidakefektifan kegiatan proyek, yang dapat mengakibatkan keterlambatan dan peningkatan biaya. Untuk menghindari pemborosan waktu dan biaya, perusahaan perlu merencanakan percepatan waktu penyelesaian proyek dengan menggunakan metode seperti penambahan jam kerja, alat bantu yang lebih produktif, dan bahan material yang lebih cepat pemasangannya.

Penelitian di Pembangunan Ruko 3 Lantai di Perumahan Heavenland Park yang berada di Jalan Raya Lingkar Timur Ngemplak Klurak Kecamatan Candi Kabupaten Sidoarjo ini bertujuan agar proyek dapat diselesaikan dengan lebih cepat. Terkait dengan permintaan dari Pembeli Ruko yang merasa pembangunan ruko terlalu lama yang akhirnya meminta percepatan pembangunan untuk mengejar target operasional dan opening dari usaha yang akan dijalankan. Peneliti ingin di proyek Pembangunan Ruko 3 lantai di Perumahan Heavenland Park ini berjalan sesuai dengan target yang sudah di minta oleh bakal pemilik ruko yang sudah disetujui oleh owner perusahaan developer perumahan.

Analisis durasi proyek yang efektif menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM) dan *Project Evaluation and Review Technique* (PERT) dapat membantu mengoptimalkan durasi pelaksanaan proyek dan mengurangi keterlambatan. Metode ini memungkinkan identifikasi jalur kritis yang harus diperhatikan agar proyek dapat diselesaikan tepat waktu. Dengan menggabungkan metode CPM dan PERT, penelitian ini bertujuan untuk menemukan solusi dalam mempercepat pembangunan tanpa mengorbankan mutu bangunan dan menambah nilai kontrak pembangunan yang berpotensi merugikan kedua belah pihak.

Sehingga dengan penelitian ini, upaya mencari solusi dalam mempercepat pembangunan tanpa mengurangi mutu bangunan dan menambah nilai kontrak pembangunan yang akan mengakibatkan kerugian di kedua belah pihak, terutama pada proyek Pembangunan Ruko 3 lantai di Perumahan Heavenland Park, maka dari itu peneliti menggunakan metode cpm dan pert.

TINJAUAN PUSTAKA

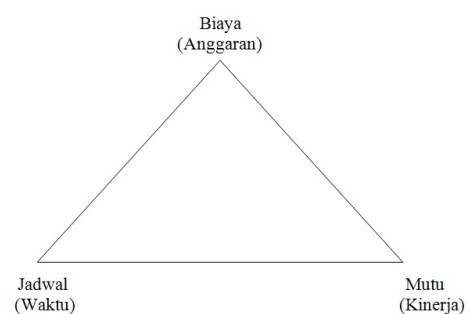
Landasan atau acuan teori atau temuan melalui berbagai penelitian terdahulu sangat diperlukan dan dapat dijadikan sebagai data pendukung. Salah satu data pendukung yang peneliti sebutkan perlu dibuat bagian tersendiri yaitu apa yang telah diteliti sebelumnya guna membantu permasalahan yang sedang dibahas dalam penelitian ini.

Dalam hal ini, fokus penelitian terdahulu yang dijadikan acuan adalah terkait dengan permasalahan penjadwalan proyek agar waktu penyelesaian dapat dipercepat dan biaya yang dikeluarkan menjadi efektif. Oleh karena itu peneliti melakukan kajian terhadap beberapa hasil penelitian berupa jurnal melalui internet yang dapat dilihat pada dibawah ini.

Proyek adalah usaha untuk mencapai tujuan tertentu waktu mulai dan selesai yang jelas, biaya yang jelas, proses yang jelas serta syarat pekerjaan yang akan diselesaikan (Soeharto,1995). Proyek juga dapat didefinisikan sebagai sekumpulan aktivitas yang saling berhubungan dimana ada titik awal dan titik akhir serta hasil tertentu, proyek biasanya bersifat lintas fungsi organisasi sehingga membutuhkan bermacam-macam keahlian dari berbagai profesi dan organisasi.

Manajemen Proyek

Manajemen adalah proses perencanaan dan pengorganisasian kegiatan untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan (Soeharto, 1999). Manajemen proyek adalah pemikiran tentang bagaimana mengelola proyek secara efisien dan tepat waktu. Istilah manajemen proyek memiliki arti yang berbeda karena menggambarkan komitmen sumber daya manusia dan orang-orang untuk melaksanakan kegiatan penting dalam suatu periode waktu, sehingga setelah selesai proyek akan dibubarkan. Ada tiga fase dalam manajemen proyek: perencanaan, penjadwalan dan identifikasi (Heizer dan Reinder, 2006).



Gambar 1 Hubungan Triple Constraint
Sumber: Iman Soeharto, 1999

Penjadwalan Proyek

Penjadwalan proyek salah satu dari bagian perencanaan. Penjadwalan proyek menetapkan durasi waktu penyelesaian kegiatan suatu proyek yang harus

diselesaikan, material proyek yang digunakan, dan tenaga kerja yang dibutuhkan.

Penjadwalan proyek merupakan alokasi waktu yang tersedia untuk melakukan setiap pekerjaan untuk menyelesaikan suatu proyek sampai hasil terbaik dicapai dengan mempertimbangkan kendala yang ada.

Secara garis besar, ada beberapa metode untuk diagram penjadwalan yang familiar dalam penjadwalan proyek, antara lain:

- a. Diagram batang
- b. Penjadwalan linier
- c. Diagram jaringan (*Network Diagram*)

Perhitungan Waktu

Setelah jaringan kerja proyek dapat dijelaskan, langkah berikutnya adalah memperkirakan waktu setiap kegiatan, dan menganalisis seluruh diagram jaringan kerja untuk menentukan waktu terjadinya masing-masing kejadian (event). Untuk memudahkan perhitungan waktu digunakan notasi sebagai berikut (Soeharto,1999):

1. *Earliest Start* (ES) adalah waktu paling awal (tercepat) suatu kegiatan dapat dimulai, dengan menunjukkan waktu yang diharapkan dari kegiatan dan persyaratan untuk urutan pekerjaan
2. *Earliest Finish* (EF) adalah waktu paling awal suatu kegiatan dapat diselesaikan, atau waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan kegiatan + perkiraan waktu yang diperlukan.
3. *Latest Allowable Start* (LS) adalah waktu paling lambat untuk dapat memulai suatu kegiatan tanpa menunda keseluruhan proyek.
4. *Latest Allowable Finish* (LF) adalah waktu paling lambat untuk dapat menyelesaikan suatu kegiatan tanpa menunda penyelesaian proyek secara keseluruhan, atau sama dengan LS + waktu kegiatan yang diharapkan.
5. *Duration* (D) adalah jangka waktu suatu kegiatan, diukur dengan satuan waktu dalam hari, minggu, bulan, dan lain - lain.
6. *Float* (s) batas toleransi keterlambatan kegiatan.

Crashing Project

Hubungan antara biaya dan waktu dapat dilihat pada gambar 2. Titik A menunjukkan titik normal, sedangkan titik B adalah titik dipersingkat. Garis yang menghubungkan titik A dan titik B disebut kurva biaya - waktu. Untuk menganalisa hubungan antara waktu dan biaya kegiatan dipakai definisi berikut (Soeharto,1999):

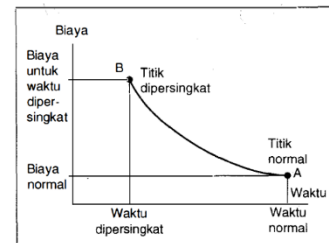
- a. Kurun waktu normal (D)
- b. Biaya normal (B)
- c. Kurun waktu dipercepat (*Crash Time*) (D')
- d. Biaya untuk waktu dipersingkat (*Crash Cost*) (B')

Kenaikan biaya akibat percepatan (*cost slope*) dapat ditentukan dengan menghitung terlebih dahulu biaya pekerjaan akibat percepatan dengan rumus (Soeharto,1999):

$$B' = \frac{D'}{D} \times B$$

Setelah biaya dipercepat diketahui maka dapat ditentukan kenaikan biaya akibat percepatan (*cost slope*) dengan menggunakan persamaan:

$$Cost\ Slope = \frac{B' - B}{D - D'}$$



Gambar 2. Hubungan antara Waktu dan Biaya
Sumber : Iman Soeharto, 1999

Microsoft Project

Microsoft Project adalah alat bantu atau tools yang dapat membantu dalam penyusunan perencanaan dan penjadwalan suatu proyek. Penggunaan *microsoft project* akan memudahkan pengguna dalam merencanakan penjadwalan suatu proyek secara terperinci. ini merupakan software administrasi proyek yang digunakan untuk menyusun rencana kerja dalam sebuah proyek. Dan masih banyak lagi keunggulan yang didapat untuk mempermudah proses administrasi sebuah proyek

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis metode penelitian ini adalah kuantitatif. Metode yang digunakan berupa rencana optimalisasi proyek CPM dan PERT berdasarkan data yang diperoleh dari kontraktor pelaksana proyek. Objek dari penelitian ini adalah Ruko 3 lantai di Perumahan Heavenland Park Sidoarjo dan subjek penelitian ini adalah percepatan waktu proyek dengan metode CPM dan PERT.

Pengumpulan Data

Data – data yang digunakan adalah data sekunder yang didapat dari kontraktor pelaksana proyek dengan metode wawancara terhadap bagian terkait dan dibantu dengan data yang diperoleh oleh perusahaan developer perumahan. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu Kurva-S, Bill of Quantity, dan data penunjang lain pada Proyek Pekerjaan Pembangunan Ruko 3 Lantai di Perumahan Heavenland Park Sidoarjo.

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan selama satu semester untuk merencanakan durasi dan biaya efektif proyek dengan metode CPM dan PERT pada Proyek Pekerjaan Pembangunan Ruko 3 Lantai di Perumahan Heavenland Park Sidoarjo.

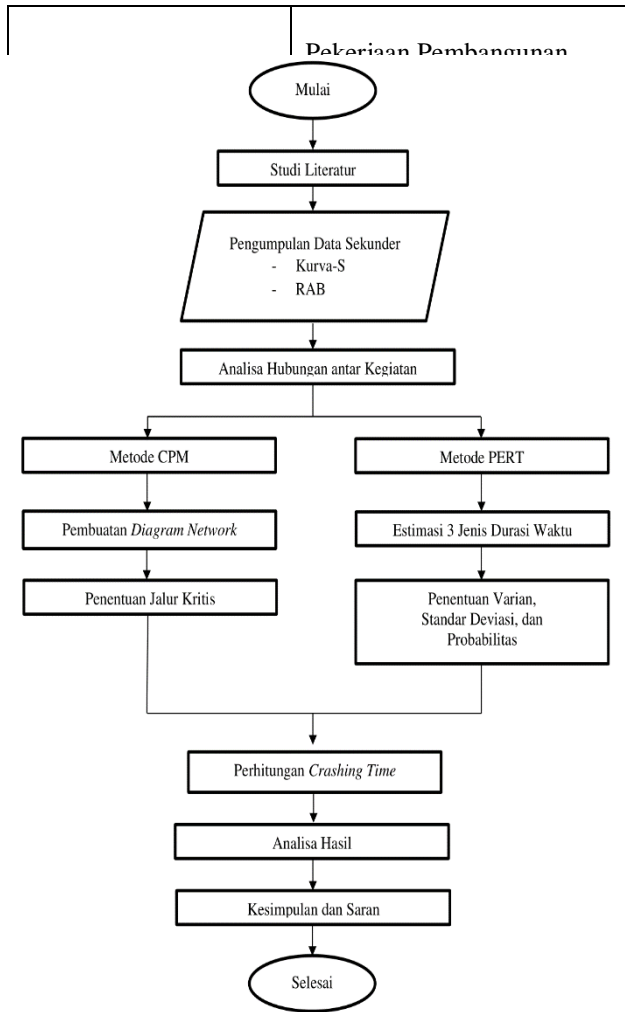


Diagram Alur Penelitian

Gambar 3. Diagram Alur Penelitian

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data Kontrak Proyek

Tabel 1. Data Kontrak Proyek
Sumber : PT.Graha Mukti Indah, 2023

e	Pekerjaan Konstruksi Beton(Lt3)	Rp 51.865.677	6
f	Pekerjaan Dinding (Lt1)	Rp 76.185.598	4
g	Pekerjaan Dinding (Lt2)	Rp 68.612.273	4
h	Pekerjaan Dinding (Lt3)	Rp 70.852.954	4
i	Pekerjaan Lantai (Lt1)	Rp 23.153.826	4
j	Pekerjaan Lantai (Lt2)	Rp 21.537.435	3
k	Pekerjaan Lantai (Lt3)	Rp 17.978.986	4
l	Pekerjaan Utility (Lt1)	Rp 15.738.937	4
m	Pekerjaan Utility (Lt2)	Rp 6.152.969	3
n	Pekerjaan Utility (Lt3)	Rp 7.469.984	4
o	Pekerjaan Kusen (Lt1)	Rp 21.198.492	2
p	Pekerjaan Kusen (Lt2)	Rp 12.574.834	1
q	Pekerjaan Kusen (Lt3)	Rp 24.527.385	3
r	Pekerjaan Instalasi Listrik (Lt1)	Rp 6.198.754	2
s	Pekerjaan Instalasi Listrik (Lt2)	Rp 3.599.841	1
t	Pekerjaan Instalasi Listrik (Lt3)	Rp 4.051.391	1
u	Pekerjaan Finishing (Lt1)	Rp 7.333.114	3
v	Pekerjaan Finishing (Lt2)	Rp 6.277.655	2
w	Pekerjaan Finishing (Lt3)	Rp 5.883.117	5
x	Pekerjaan Atap	Rp 22.124.618	4
y	Pekerjaan Lain-Lain	Rp 13.226.985	1

Daftar kegiatan serta besaran biaya pada Proyek Pembangunan Ruko 3 Lantai di Perumahan Heavenland Park Sidoarjo dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Daftar Kegiatan Proyek Kondisi Normal

No	Pekerjaan	Biaya (Rp)	Durasi (minggu)
a	Pekerjaan Persiapan	Rp 2.006.880	2
b	Pekerjaan Tanah Dan Pondasi	Rp 25.745.756	4
c	Pekerjaan Konstruksi Beton(Lt1)	Rp 115.971.395	6
d	Pekerjaan Konstruksi Beton(Lt2)	Rp 79.872.303	6

Metode CPM

Dalam pengolahan data pada penelitian ini, hal pertama yang dilakukan yaitu pembuatan diagram *network* atau diagram jaringan. Diagram jaringan kerja mempresentasikan pekerjaan, nama pekerjaan, pekerjaan pendahulu, dan durasi pekerjaan. Ketergantungan hubungan antar kegiatan proyek dapat dilihat pada Tabel 3. dibawah ini.

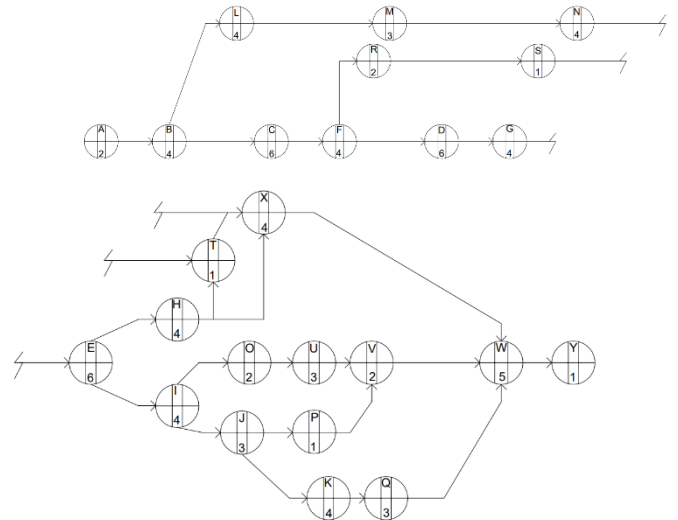
Tabel 3. Hubungan Antar Kegiatan Proyek

Kegiatan	Pekerjaan	Pendahulu	Durasi (Minggu)
a	Pekerjaan Persiapan		2

b	Pekerjaan Tanah Dan Pondasi	a	4
c	Pekerjaan Konstruksi Beton(Lt1)	b	6
d	Pekerjaan Konstruksi Beton(Lt2)	f	6
e	Pekerjaan Konstruksi Beton(Lt3)	g	6
f	Pekerjaan Dinding (Lt1)	c	4
g	Pekerjaan Dinding (Lt2)	d	4
h	Pekerjaan Dinding (Lt3)	e	4
i	Pekerjaan Lantai (Lt1)	e	4
j	Pekerjaan Lantai (Lt2)	i	3
k	Pekerjaan Lantai (Lt3)	j	4
l	Pekerjaan Utility (Lt1)	b	4
m	Pekerjaan Utility (Lt2)	f,l	3
n	Pekerjaan Utility (Lt3)	g,m	4
o	Pekerjaan Kusen (Lt1)	i	2
p	Pekerjaan Kusen (Lt2)	j	1
q	Pekerjaan Kusen (Lt3)	k	3
r	Pekerjaan Instalasi Listrik (Lt1)	f	2
s	Pekerjaan Instalasi Listrik (Lt2)	g,r	1
t	Pekerjaan Instalasi Listrik (Lt3)	h,s	1
u	Pekerjaan Finishing (Lt1)	o	3
v	Pekerjaan Finishing (Lt2)	p,u	2
w	Pekerjaan Finishing (Lt3)	q,v,x	5

x	Pekerjaan Atap	h,n,t	4
y	Pekerjaan Lain-Lain	w	1

Diagram jaringan adalah jaringan yang berisi lintasan aktivitas dan urutan aktivitas yang akan dilakukan selama pelaksanaan proyek. Berkat diagram jaringan, dapat diketahui pekerjaan apa saja yang termasuk dalam jalur kritis Berdasarkan tabel 3 di atas, penulis menggambarkan diagram *network* atau diagram jaringan kerja pada Proyek Pekerjaan Pembangunan Ruko 3 Lantai di Perumahan *Heavenland Park* Sidoarjo pada Gambar 4 dibawah.



Gambar 4. Diagram Network

Penentuan Jalur Kritis

Pada diagram jaringan kerja tersebut terdapat beberapa jalur kegiatan yang dilakukan, yaitu:

- 1.a-b-c-f-d-g-e-h-t-x-w-y = (2+4+6+4+6+6+4+6+4+1+4+5) = 49
- 2.a-b-c-f-d-g-e-h-x-w-y = (2+4+6+4+6+4+6+4+4+5+1) = 42
- 3.a-b-l-m-n-x-w-y = (2+4+4+3+4+4+5+1) = 27
- 4.a-b-c-f-r-s-t-x-w-y = (2+4+6+4+2+1+1+4+5+1) = 30
- 5.a-b-c-f-d-g-e-i-o-u-v-w-y = (2+4+6+4+6+4+6+4+2+3+2+5+1) = 49
- 6.a-b-c-f-d-g-e-i-j-p-v-w-y = (2+4+6+4+6+4+6+4+3+1+2+4+1) = 48
- 7.a-b-c-f-d-g-e-i-j-k-q-w-y = (2+4+6+4+6+4+6+4+3+4+3+5+1) = 52

Jalur kritis pada proyek Pekerjaan Pembangunan Ruko 3 Lantai pada Perumahan *Heavenland Park* Sidoarjo adalah a-b-c-f-d-g-e-i-j-k-q-w-y, dengan durasi pelaksanaan proyek terlama yaitu 52 minggu atau 364 hari. Yang artinya sesuai dengan jadwal rencana pelaksanaan awal kontrak pekerjaan pembangunan yaitu 52 minggu,

Untuk mengetahui pekerjaan apa saja yang memiliki waktu luang, dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini. Langkah pertama dalam menentukan waktu

luang dimulai dengan perhitungan maju dan mundur Setelah dilakukan perhitungan maju (forward pass) dan perhitungan mundur (backward pass)

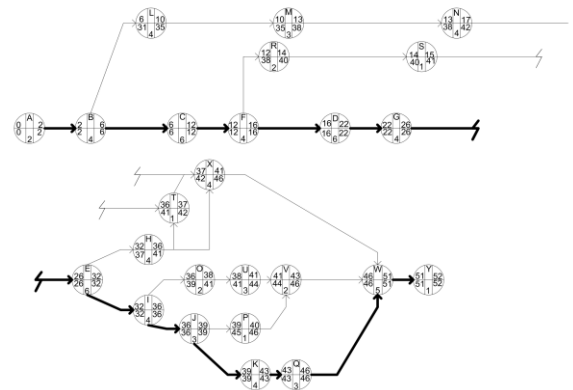
1. Perhitungan ES
 - a. ES Pekerjaan A = 0
 - b. ES Pekerjaan B = EF(A) = 2
 - c. ES Pekerjaan C = EF(B) = 6 (dan seterusnya)
2. Perhitungan EF
 - a. EF Pekerjaan A = ES(A) + d(A) = 0 + 2 = 2
 - b. EF Pekerjaan B = ES(B) + d(B) = 2 + 4 = 6
 - c. EF Pekerjaan C = ES(C) + d(C) = 6 + 6 = 12 (dan Seterusnya)
3. Perhitungan LS
 - a. LS Pekerjaan A = LF(A) - d(A) = 2 - 2 = 0
 - b. LS Pekerjaan B = LF(B) - d(B) = 6 - 4 = 2
 - c. LS Pekerjaan C = LF(C) - d(C) = 12 - 6 = 6 (dan Seterusnya)
4. Perhitungan LF
 - a. LF Pekerjaan A = LS(B) = 2
 - b. LF Pekerjaan B = LS(C) = 6
 - c. LF Pekerjaan C = LS(D) = 16 (dan Seterusnya)
5. Perhitungan TF
 - a. TF Pekerjaan A = LF(A) - ES(A) - d(A) = 2 - 0 - 2 = 0
 - b. TF Pekerjaan B = LF(B) - ES(B) - d(B) = 6 - 2 - 4 = 0
 - c. TF Pekerjaan C = LF(C) - ES(C) - d(C) = 12 - 6 - 6 = 0 (dan Seterusnya)

Hasil perhitungan pekerjaan seterusnya hingga pekerjaan terakhir dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. Perhitungan Waktu ES, EF, LS, LF, dan TF

Kegiatan	Es	Ef	Ls	Lf	Tf	Keterangan
a	0	2	0	2	0	Jalur Kritis
b	2	6	2	6	0	Jalur Kritis
c	6	12	6	12	0	Jalur Kritis
d	16	22	16	22	0	Jalur Kritis
e	26	32	26	32	0	Jalur Kritis
f	12	16	12	16	0	Jalur Kritis
g	22	26	22	26	0	Jalur Kritis
h	32	36	37	41	5	bukan jalur kritis
i	32	36	32	36	0	Jalur Kritis
j	36	39	36	39	0	Jalur Kritis
k	39	43	39	43	0	Jalur Kritis
l	6	10	31	35	25	bukan jalur kritis
m	10	13	35	38	25	bukan jalur kritis

n	13	17	38	42	25	bukan jalur kritis
o	36	38	39	41	3	bukan jalur kritis
p	39	40	45	46	6	bukan jalur kritis
q	43	46	43	46	0	Jalur Kritis
r	12	14	32	40	26	bukan jalur kritis
s	14	15	40	41	26	bukan jalur kritis
t	36	37	41	42	5	bukan jalur kritis
u	38	41	41	44	3	bukan jalur kritis
v	41	43	44	46	3	bukan jalur kritis
w	46	51	46	51	0	Jalur Kritis
x	37	41	42	46	5	bukan jalur kritis
y	51	52	51	52	0	Jalur Kritis



Gambar 5. Diagram jaringan kerja setelah perhitungan maju dan mundur

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 4.4, dapat diketahui jalur kritis berada pada kegiatan a-b-c-f-d-g-e-i-j-k-q-w-y karena kegiatan - kegiatan tersebut tidak memiliki waktu senggang atau TF = 0. Sedangkan kegiatan lain seperti pekerjaan h,l,m,n,o,p,r,s,t,u,v,x tidak termasuk dalam jalur kritis. Kegiatan. - kegiatan tersebut tidak termasuk ke dalam jalur kritis dikarenakan memiliki waktu senggang (float).

METODE PERT

Perhitungan metode PERT menggunakan 3 perkiraan waktu yaitu waktu optimis (a), waktu pesimis (b), dan waktu yang memungkinkan (m). Untuk mencari waktu optimis (a) dan waktu optimis, harus dicari dulu waktu rata - rata dan nilai standart deviasi tiap item pekerjaan.

Mencari rata-rata durasi pekerjaan:

$$\bar{D} = \frac{\sum D}{n}$$

$$\bar{D} = \frac{52}{25} = 2.08$$

Mencari Standart Deviasi Pekerjaan:

$$s_x = \sqrt{\frac{\Sigma(Dx - \bar{D})^2}{n - 1}}$$

$$s_a = \sqrt{\frac{\Sigma(2 - 2.08)^2}{25 - 1}} = 0.01633$$

$$s_b = \sqrt{\frac{\Sigma(4 - 2.08)^2}{25 - 1}} = 0.39192$$

(dan seterusnya)

Mencari waktu optimis (a) dan waktu pesimis (b):

$$a = D_x - s_x$$

$$b = D_x + s_x$$

Pekerjaan A

$$a = D_a - s_a = 2 - 0.01633 = 1.984$$

$$a = D_a + s_a = 2 + 0.01633 = 2.016$$

(dan seterusnya)

Setelah waktu pelaksanaan ditentukan dengan menggunakan tiga perkiraan waktu di atas, dapat ditentukan waktu yang diharapkan (Te), deviasi standar (S) dan varian kegiatan seperti pada perhitungan dibawah ini.

1. Menentukan waktu yang diharapkan (Te)

$$\begin{aligned} \text{Te Pekerjaan A} &= \frac{a + 4m + b}{6} \\ &= \frac{1.984 + 4(2) + 2.016}{6} \\ &= 2 \end{aligned}$$

(dan seterusnya)

2. Menentukan Deviasi Standar (S)

$$\begin{aligned} \text{S Pekerjaan A} &= \frac{1}{6} (b - a) \\ &= \frac{1}{6} (2.016 - 1.984) \\ &= 0.005 \end{aligned}$$

(dan seterusnya)

3. Menentukan Varians kegiatan proyek

$$\begin{aligned} \text{V Pekerjaan A} &= S^2 = \left[\frac{b-a}{6} \right]^2 \\ &= \left[\frac{2.016 - 1.984}{6} \right]^2 \\ &= 0.00003 \end{aligned}$$

(dan seterusnya)

Tabel 5. Waktu optimis pesimis dan TE, S, Varians

Kegiatan	Waktu Opti	Waktu Nor	Waktu Pesi	Te	S	V
----------	------------	-----------	------------	----	---	---

	mis (a)	mal (m)	mis (b)			
a	1,98 4	2	2,01 6	2	0,005	0,00 003
b	3,60 8	4	4,39 2	4	0,131	0,01 707
c	5,20 0	6	6,80 0	6	0,267	0,07 114
d	5,20 0	6	6,80 0	6	0,267	0,07 114
e	5,20 0	6	6,80 0	6	0,267	0,07 114
f	3,60 8	4	4,39 2	4	0,131	0,01 707
g	3,60 8	4	4,39 2	4	0,131	0,01 707
h	3,60 8	4	4,39 2	4	0,131	0,01 707
i	3,60 8	4	4,39 2	4	0,131	0,01 707
j	2,81 2	3	3,18 8	3	0,063	0,00 392
k	3,60 8	4	4,39 2	4	0,131	0,01 707
l	3,60 8	4	4,39 2	4	0,131	0,01 707
m	2,81 2	3	3,18 8	3	0,063	0,00 392
n	3,60 8	4	4,39 2	4	0,131	0,01 707
o	1,98 4	2	2,01 6	2	0,005	0,00 003
p	1,00 0	1	1,22 0	1,0367 423	0,037	0,00 135
q	2,81 2	3	3,18 8	3	0,063	0,00 392
r	1,98 4	2	2,01 6	2	0,005	0,00 003
s	1,00 0	1	1,22 0	1,0367 423	0,037	0,00 135
t	1,00 0	1	1,22 0	1,0367 423	0,037	0,00 135
u	2,81 2	3	3,18 8	3	0,063	0,00 392
v	1,98 4	2	2,01 6	2	0,005	0,00 003
w	4,40 4	5	5,59 6	5	0,199	0,03 947
x	3,60 8	4	4,39 2	4	0,131	0,01 707

y	1,00 0	1	1,22 0	1,0367 423	0,037	0,00 135
---	-----------	---	-----------	---------------	-------	-------------

Berdasarkan tabel diatas dapat dihitung $\Sigma(V) = 0,42769$, nilai standar deviasi $\Sigma(S) = 2.594$, dan total waktu pelaksanaan proyek pada jalur kritis adalah 52 minggu. Selanjutnya dapat digunakan rumus berikut untuk menentukan Varians (V) dan Deviasi Standart (V) yang berada di jalur kritis.

$$1. \text{Varians pada jalur kritis} \\ = (0.00003 + 0.01707 + 0.7114 + 0.7114 + 0.7114 + 0.01707 + 0.01707 + 0.01707 + 0.00392 + 0.01707 + 0.00392 + 0,03947 + 0.00135) \\ = 0.34745$$

$$2. \text{Deviasi Standar (S)} \\ S = \sqrt{V} \\ = \sqrt{0.347745} \\ = 0.589$$

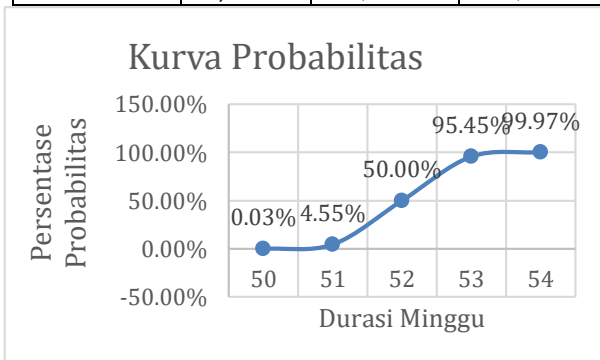
Dari sifat kurva distribusi normal dimana area berada dalam interval $(TE - 3S)$ dan $(TE + 3S)$ maka besar rentang 3S adalah $3 \times 0.589 = 1.7684$. Maka kurun waktu penyelesaian proyek adalah 52 ± 1.7684 minggu. Perkiraan penyelesaian proyek paling cepat adalah $52 - 1.7684 = 50.232 \sim 50$ minggu, dan perkiraan penyelesaian proyek paling lambat adalah $52 + 1.7684 = 53.77 \sim 54$ minggu. Jika dalam hal ini target yang ingin dicapai adalah kurun waktu yang paling cepat, maka nilai $T(d) = 50$ minggu. Kemudian dapat diketahui probabilitas waktu penyelesaian tersebut melalui perhitungan dibawah ini.

$$Z = \frac{T(d) - TE}{S} \\ = \frac{50 - 52}{0.589} \\ = -3.393$$

Berdasarkan tabel distribusi normal dapat diketahui nilai probabilitasnya yaitu $(Z = 0.0003) = 0.0003 \times 100\% = 0.03\%$. Hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan penyelesaian proyek dalam kurun waktu 50 minggu hanya sekitar 0.03%. Untuk hasil analisa selengkapnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 6. Target dan probabilitas penyelesaian proyek

Target Penyelesaian (minggu)	Deviasi Standart (Z)	Distribusi Normal	Probabilitas
50	-3,39559	0,0003	0,03%
51	-1,69779	0,0455	4,55%



52	0,00000	0,5000	50,00%
53	1,69779	0,9545	95,45%
54	3,39559	0,9997	99,97%

Gambar 6. Kurva probabilitas

CRASHING TIME

Dari Kurva S atau time schedule dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Proyek Pekerjaan Pembangunan Ruko 3 Lantai di Perumahan Heavenland Park Sidoarjo, diketahui bahwa durasi penyelesaian proyek adalah 52 minggu dengan total biaya Rp.710,141,200.00 (sebelum ditambahkan dengan 10% untuk biaya PPN). Sedangkan biaya tidak langsung diperoleh dari 10% total biaya proyek yaitu $Rp.710,141,200.00 \times PPN 11\% = Rp.78,115,532.00$

Kenaikan biaya akibat percepatan (*cost slope*) dapat ditentukan dengan menghitung terlebih dahulu biaya pekerjaan akibat percepatan dengan rumus (Soeharto, 1999): $B' = \frac{D}{D'} \times B$

Perhitungan Biaya Akibat Percepatan 1 minggu
 B' Pekerjaan A dipercepat 1 minggu

$$= \frac{D}{D'} \times B \\ = \frac{2}{1} \times 2.006.880 \\ = 4.013.760 \\ \text{(dan seterusnya)}$$

Setelah biaya dipercepat diketahui maka dapat ditentukan kenaikan biaya akibat percepatan (*cost slope*) dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Cost Slope} = \frac{B' - B}{D - D'}$$

Perhitungan *Cost Slope*

Cost Slope Pekerjaan A dipercepat 1 minggu

$$= \frac{B' - B}{D - D'} \\ = \frac{4.013.760 - 2.006.880}{2 - 1} \\ = 2.006.880 \\ \text{(dan seterusnya)}$$

Dalam penelitian ini, percepatan waktu proyek dilakukan dengan cara mempercepat waktu pada aktivitas-aktivitas pekerjaan yang berada pada jalur kritis dan memiliki total biaya terkecil, sehingga dapat diketahui besaran biaya serta waktu penyelesaian proyek yang efektif. Tabel 7. Biaya Pekerjaan Pada Jalur Kritis Setelah percepatan

Kegiatan	DIPERCEPAT 1 MINGGU				Cost Slope (Rp)
	Durasi (minggu)		Biaya (Rp)		
	Normal	Dipercepat	Normal	Dipercepat	
a	2	1	Rp 2.006.880	Rp 4.013.760	Rp 2.006.880
b	4	3	Rp 25.745.756	Rp 34.327.675	Rp 8.581.919

c	6	5	Rp 115.971. .395	Rp 139.165.6 74	Rp 23.194. 279
d	6	5	Rp 79.872. 303	Rp 95.846.76 3	Rp 15.974. 461
e	6	5	Rp 51.865. 677	Rp 62.238.81 3	Rp 10.373. 135
f	4	3	Rp 76.185. 598	Rp 101.580.7 98	Rp 25.395. 199
g	4	3	Rp 68.612. 273	Rp 91.483.03 0	Rp 22.870. 758
i	4	3	Rp 23.153. 826	Rp 30.871.76 8	Rp 7.717.9 42
j	3	2	Rp 21.537. 435	Rp 32.306.15 2	Rp 10.768. 717
k	4	3	Rp 17.978. 986	Rp 23.971.98 1	Rp 5.992.9 95
q	3	2	Rp 24.527. 385	Rp 36.791.07 7	Rp 12.263. 692
w	5	4	Rp 5.883.1 17	Rp 7.353.896	Rp 1.470.7 79

DIPERCEPAT 2 MINGGU

Kegiatan	Durasi (minggu)		Biaya (Rp)		Cost Slope (Rp)
	Normal	Dipercepat	Normal	Dipercepat	
b	4	2	Rp 25.745. 756	Rp 51.491.51 3	Rp 12.872. 878
c	6	4	Rp 115.971. .395	Rp 173.95 7.092	Rp 28.992. 849
d	6	4	Rp 79.872. 303	Rp 119.808.4 54	Rp 19.968. 076
e	6	4	Rp 51.865. 677	Rp 77.798.51 6	Rp 12.966. 419
f	4	2	Rp 76.185. 598	Rp 152.371.1 96	Rp 38.092. 799
g	4	2	Rp 68.612. 273	Rp 137.224.5 46	Rp 34.306. 136
i	4	2	Rp 23.153. 826	Rp 46.307.65 1	Rp 11.576. 913
j	3	1	Rp 21.537. 435	Rp 64.612.30 4	Rp 21.537. 435
k	4	2	Rp 17.978. 986	Rp 35.957.97 1	Rp 8.989.4 93

q	3	1	Rp 24.527. 385	Rp 73.582.15 5	Rp 24.527. 385
w	5	3	Rp 5.883.1 17	Rp 9.805.195	Rp 1.961.0 39

Berdasarkan hasil analisa sebelumnya, diketahui bahwa durasi penyelesaian Proyek Pekerjaan Pembangunan Ruko 3 Lantai di Perumahan Heavenland Park Sidoarjo dalam kondisi normal yaitu 52 minggu dengan biaya langsung Rp.710.141.159,- dan biaya tidak langsung PPN 11% Rp.78.115.532,- Pekerjaan yang dipercepat adalah Pekerjaan Finishing lt.3 (W).

Apabila Pekerjaan W dipercepat 2 minggu maka durasi penyelesaian proyek yaitu:

$$= A + B + C + D + E + F + G + I + J + K + Q + W + Y$$

$$= 2+4+6+4+6+4+6+4+3+4+3+3+1 = 50 \text{ minggu}$$

Total biaya langsung dipercepat :

Biaya langsung = biaya total kondisi normal + slope pekerjaan W

$$= 710.141.159 + 1.961.039$$

$$= 712.102.198 \sim 712.102.200,- \text{ (dibulatkan)}$$

Total biaya tidak langsung dipercepat :

$$\text{Biaya tidak langsung} = 712.102.200 \times \text{PPN } 11\%$$

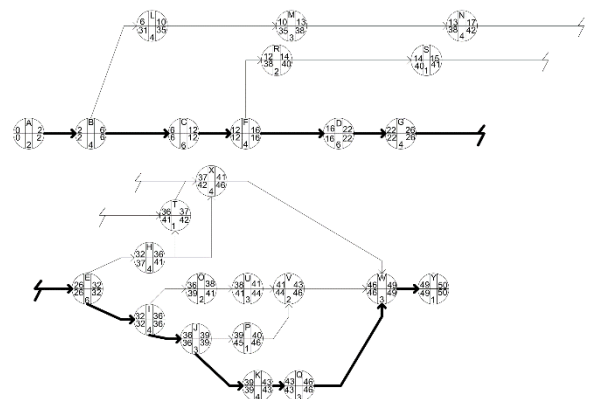
$$= 78.331.242$$

Total biaya dipercepat = biaya langsung + biaya tidak langsung

$$= 712.102.200 + 78.331.242 = \text{Rp.}790.433.442,-$$

Maka dari perhitungan total biaya proyek mengalami kenaikan terkecil sebesar Rp.790.433.442 – Rp.788.256.732 = Rp.2.176.710,- dengan melakukan percepatan waktu selama 2 minggu pada pekerjaan yang berada dalam jalur kritis dan memiliki cost slope kecil yaitu Pekerjaan finishing lt.3 yang semula berdurasi 5 minggu menjadi 3 minggu. Artinya Proyek Pekerjaan Pembangunan Ruko 3 Lantai di Perumahan Heavenland Park Sidoarjo memiliki peluang untuk diselesaikan dalam waktu 50 minggu.

Berikut adalah diagram jaringan kerja setelah dilakukan percepatan.



Gambar 7. Diagram jaringan pekerjaan setelah *Crashing*

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Aktivitas kegiatan yang dilalui oleh lintasan kritis adalah pekerjaan persiapan (A), pekerjaan Tanah Pondasi (B), pekerjaan Konstruksi Beton lt.1 (C), pekerjaan Dinding lt.1 (F), pekerjaan Konstruksi Beton lt.2 (D), pekerjaan Dinding lt.2 (G), pekerjaan Konstruksi Beton lt.3 (E), pekerjaan Lantai lt.1 (I), pekerjaan Lantai lt.2 (J), pekerjaan Lantai lt.3 (K), pekerjaan Kusen lt.3 (Q), Pekerjaan Finishing lt.3 (W), dan pekerjaan Lain – lain (Y). Pekerjaan - pekerjaan tersebut termasuk dalam jalur kritis karena tidak memiliki *float* atau waktu longgar.
2. Durasi efektif untuk menyelesaikan proyek Pekerjaan Ruko 3 Lantai di Perumahan *Heavenland Park* Sidoarjo dari perencanaan awal 52 minggu setelah di Analisa menggunakan metode CPM dan PERT didapatkan hasil durasi efektif pengerjaan dengan waktu 50 minggu dengan nilai probabilitas sebesar 0,03%.
3. Total biaya efektif untuk menyelesaikan proyek Pekerjaan Pembangunan Ruko 3 Lantai di Perumahan *Heavenland Park* Sidoarjo adalah sebesar Rp. 790.433.442 dengan biaya awal perencanaan yaitu Rp.788.256.732 hal itu di karenakan terjadi adanya percepatan penyelesaian proyek yang mengharuskan untuk menambah biaya agar proyek dapat di percepat yaitu dengan selisih harga sebesar Rp. 2.176.710.
4. Dengan menggunakan metode CPM dapat diketahui bahwa jalur kritis atau durasi terlama pekerjaan pembangunan Ruko 3 lantai adalah 52 minggu apabila ingin di percepat menjadi 50 minggu sesuai dengan menggunakan metode PERT diketahui probabilitas dalam penyelesaian pekerjaan yaitu 0,03% hal ini dapat digunakan sebagai estimasi dalam menyikapi permintaan percepatan penyelesaian target pembangunan Ruko 3 Lantai dan menjadi acuan apabila terjadi perubahan target penyelesaian pembangunan ruko untuk pekerjaan berikutnya yaitu dengan mempercepat penyelesaian pekerjaan Finishing lt.3 (W) yang semula berdurasi 5 minggu di percepat menjadi 3 minggu.
5. Setelah mendapatkan Jalur Kritis yaitu 52 minggu menggunakan metode CPM dan mendapat jangka waktu penyelesaian proyek yaitu 50 – 54 minggu serta probabilitas 0,03% - 99,97% dalam penyelesaian pekerjaan menggunakan metode PERT, maka dapat dilakukan *Crashing* dengan mempercepat durasi pekerjaan yang berada di jalur kritis dengan nilai biaya pekerjaan terendah yakni Pekerjaan Finishing lt.3 (W) dengan lama pekerjaan 5 minggu dan nilai pekerjaan Rp.5.883.117 dengan tetap memperhatikan persentase penyelesaian proyek yang sudah dihitung sebelumnya yaitu percepatan menjadi 50 minggu yang probabilitas penyelesaian pekerjaan 0,03% maka didapatkan perubahan pada waktu penyelesaian Pekerjaan W dari 5 minggu menjadi 3 minggu dengan nilai pekerjaan yaitu Rp 9.805.195 .

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik berkat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu peneliti mengucapkan terima kasih kepada PT. Graha Mukti Inda dan CV.Setya Karya yang telah membantu dalam pengumpulan data dalam penelitian ini. Juga Dosen Pembimbing, yang memberikan arahan yang baik dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Angelin, Atica, and Silvi Ariyanti. n.d.(2018) “Analisis Penjadwalan Proyek New Product Development Menggunakan Metode PERT Dan CPM.”
- Alamsyah, N. M, 2021, PROJECT MANAGEMENT - Chapter 02- *Basic Concept*.
<https://www.academia.edu/45148006/45147991>
- Brando, R., Walangitan, P. D. R. O., & Tjakra, J. (2017). Sistem Pengendalian Waktu Dengan *Critical Path Method* (Cpm) Pada Proyek Konstruksi (Studi Kasus : Menara Alfa Omega Tomohon). *Jurnal Sipil Statik*, 5(6), 363–371.
- Dimiyati, A. H., & Nurjaman, K. (2014), *Manajemen Proyek*, (Yogyakarta : Penerbit Pustaka Setia, 2014).
- Dipohusodo, Istimawan, (1996), *Manajemen Proyek & Konstruksi*. Jilid 1”, (Jogjakarta : Penerbit Kanisius, 1996).
- Dwi Nugraha, A., & Paing Heru Waskito, J. (2023). Evaluasi Pelaksanaan Proyek Dengan Metode Cpm Dan Pert (Studi Kasus Proyek Pekerjaan Finishing Lanjutan Pembangunan Gedung Program Studi Desain Interior Tahun 2019 Kampus Its). *11*(2), 79–090.
- Ekanugraha. & Rahmat, A., (2016), “Evaluasi Pelaksanaan Proyek Dengan Metode Cpm Dan Pert”.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/3761>
- Haris, A., & Tinggi Teknik PLN Jakarta, S. (2019). Implementasi Metode PERT dan CPM pada Sistem Informasi Manajemen Proyek Pembangunan Kapal. In *Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika* (Vol. 28, Issue 1).
- Heizer, Jay dan Barry Render. 2006. “*Operations Management: Manajemen Operasi*”, (Jakarta : Penerbit Salemba Empat, 2006).
- Iluk, T., Ridwan, A., & Winarto, S. (2020). Penerapan Metode CPM Dan PERT Pada Gedung Parkir 3 Lantai Grand Pannglima Polim Kediri.
<https://doi.org/10.30737/jurmateks>
- Safitri, S. (2021), “Analisis Penjadwalan Proyek Gedung Menggunakan Metode Cpm-Pert (*Critical Path Method-Program Evaluation And Review Technique*) (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Apslc Universitas Gadjah Mada)”.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/29874>
- Santoso, W. (2018), “Analisis Percepatan Proyek Menggunakan Metode Crashing Dengan Penambahan Jam Kerja Empat Jam Dan Sistem Shift

Kerja (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Gedung
Animal Health Care Prof. Soeparwi, Fakultas
Kedokteran Hewan UGM, Yogyakarta)".
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/5337>

Siswanto, H. B, (2007). *Pengantar Manajemen.*(Jakarta :
Penerbit Bumi Aksara, 2007)

Soeharto, I. (1999), *Manajemen proyek: dari konseptual
sampai operasional.* Jilid 1: konsep, studi
kelayakan, dan jaringan kerja", (Jakarta : Penerbit
Erlangga, 1999).

Wufram, I. E,(2002), *Manajemen proyek konstruksi,*
(Yogyakarta : Penerbit Andi, 2002).