

ANALISIS NETWORK DIAGRAM DENGAN METODE CPM DAN PERT PADA PROJECT PEKERJAAN PEMASANGAN KOMPONEN KELISTRIKAN KERETA LISTRIK MAKASAR PARE-PARE

Sultan Raihan Alif Abiyyu Akbar¹, Eko Setiawan¹

¹Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417
Email: D600190128@students.ums.ac

Abstrak

Proyek-proyek dalam industri perkeretaapian sering dihadapkan pada tekanan untuk menyelesaikan pekerjaan tepat waktu. Salah satu tahap krusial dalam pembangunan kereta adalah pemasangan komponen listrik. Keterlambatan dalam tahap ini dapat memiliki dampak yang signifikan, termasuk penundaan jadwal, biaya tambahan, dan ketidakpuasan pelanggan. Oleh karena itu, pemilihan metode manajemen proyek yang tepat menjadi kunci untuk meminimalisir keterlambatan. Penelitian ini membahas penerapan dua metode penjadwalan proyek yang umum digunakan, yaitu Critical Path Method (CPM) dan Program Evaluation and Review Technique (PERT) untuk menentukan waktu paling efisien pada Proyek Pemasangan Komponen Kelistrikan Kereta Listrik Makassar Pare-Pare. Berdasarkan analisis Critical Path Method dan Program Evaluation and Review Technique, terdapat 2 opsi yang dapat diterapkan pada proyek, pada opsi pertama diperoleh jalur kritis di aktivitas A-E-F-H-J-K-Q-S-U-V-W-X-Y dengan membutuhkan waktu penyelesaian proyek selama 40 hari Proyek dengan jumlah pekerja sebanyak 8 orang, proyek tersebut akan menghabiskan biaya sebesar Rp21,574,544. lalupada opsi kedua diperoleh jalur kritis di aktivitas A-E-F-H-J-N-O-Q-S-U-V-W-X-Y dengan membutuhkan waktu penyelesaian proyek selama 44 hari Proyek dengan jumlah pekerja sebanyak 5 orang, proyek tersebut akan menghabiskan biaya sebesar Rp22,964,781

Kata Kunci: Penjadwalan; Keterlambatan; CPM; PERT

Pendahuluan

Kereta api adalah salah satu moda transportasi utama di banyak negara, termasuk Indonesia. Dalam industri perkeretaapian, pemasangan komponen listrik kereta merupakan salah satu tahap krusial yang memerlukan perencanaan dan pengelolaan yang efisien. Keterlambatan dalam pemasangan komponen listrik kereta dapat menyebabkan dampak serius, termasuk penundaan jadwal perjalanan, biaya tambahan, dan ketidakpuasan pelanggan. Keterlambatan Proyek dapat disebabkan oleh beberapa hal diantaranya adalah kurangnya pengendalian pada manajemen resiko, keterbatasan anggaran sampai dengan masalah pada sumber daya. (Adhiarsya, 2022).

PT. Reka Indo Global Jasa atau biasa dikenal dengan PT. REKA adalah perusahaan yang berada di bawah naungan PT. INKA Group. Perusahaan ini bergerak dibidang jasa konsultan *engineering* dan *support* komponen kereta api, terutama pada bagian kelistrikan seperti panel listrik, battery box dan lainnya. Sebagian besar hasil Produksi perusahaan digunakan untuk mendukung produksi kereta api PT. INKA (Persero) dan anak perusahaan terkait. Perusahaan ini telah mengerjakan beberapa project besar mulai dari Proyek Pemasangan Komponen Bus Listrik sampai dengan Pemasangan Kereta Listrik.

Salah satu proyek yang dilaksanakan oleh PT. REKA yaitu Proyek Pemasangan Kelistrikan Komponen Kelistrikan Kereta Listrik Makassar Pare-pare. Berdasarkan hasil observasi dan juga wawancara dengan beberapa terkait, terdapat permasalahan berupa keterlambatan proses produksi pada proyek pemasangan kelistrikan komponen kelistrikan kereta listrik Makassar Pare-pare yang disebabkan oleh pengelolaan manajemen resiko yang kurang baik hingga perencanaan yang kurang terstruktur, permasalahan-permasalahan tersebut dapat mengakibatkan pemborosan ongkos pada proses produksi. Dalam permasalahan tersebut Manajemen proyek dibutuhkan untuk mengatur berjalannya proyek dari proyek dimulai hingga ke proyek berakhir. Manajemen proyek digunakan untuk merencanakan, mengerjakan dan mengendalikan kegiatan proyek untuk meminimalisir resiko pada waktu dan biaya proyek (Astari, 2022). Manajemen Proyek memiliki keterkaitan dengan efisiensi dan efektivitas pada kinerja proyek.

Beberapa (Fahrezi, 2023) Refrensi menyebutkan bahwa sebuah keberhasilan terjadi apabila tahap perencanaan serta pekerjaan proyek tersebut berkualitas dan memenuhi persyaratan. Perencanaan dan manajemen proyek yang baik

dapat menjamin keberhasilan proyek. Proyek yang mengalami keterlambatan, dapat disebabkan oleh kurangnya suatu perencanaan dan pengendalian proyek. Penyimpangan dalam pelaksanaan proyek tersebut dapat diminimalisir dengan melakukan analisis aktivitas-aktivitas proyek dengan menggunakan metode CPM serta PERT. CPM berfungsi sebagai tools yang menghasilkan batas waktu penyelesaian proyek dan PERT merupakan metode yang mempunyai fungsi untuk analisis waktu penyelesaian proyek sehingga dapat diketahui lamanya proyek dapat diselesaikan secara optimal (Pratama, 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu paling efisien untuk proyek tersebut serta menentukan probabilitas dari penjadwalan yang telah dibuat. Adapun metode yang digunakan untuk melakukan penjadwalan yaitu metode *Critical Path Method* (CPM) dan *Program Evaluation Review Technique* (PERT). Penelitian ini diharapkan dapat menjadi panduan praktis untuk perusahaan untuk menentukan penjadwalan pada proyek yang akan dikerjakan.

Metode Penelitian

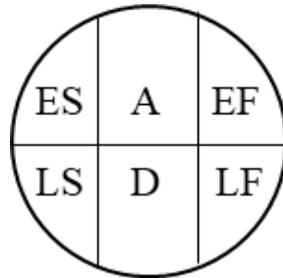
Penelitian dilaksanakan di lokasi PT. Reka Indo Global Jasa (PT.REKA), Kota Madiun, Jawa Timur. Metode pengambilan data dilakukan dengan menggunakan teknik observasi (pengamatan langsung pada kegiatan produksi pada Proyek Pemasangan Komponen Kelistrikan Kereta Listrik Makassar Pare-pare), wawancara untuk memperoleh gambaran proses produksi pada proyek, studi literatur (pengumpulan data-data sekunder yang terkait dengan penelitian). Sumber data pada penelitian ini ada dua yaitu data primer dan data sekunder dimana data primer diperoleh dari hasil observasi, wawancara staff produksi PT. REKA. Data Sekunder bersumber dari laporan penelitian, buku teks, dan jurnal.

Manajemen proyek digunakan untuk merencanakan, mengerjakan dan mengendalikan kegiatan proyek untuk meminimalisir resiko pada waktu dan biaya proyek (Pollack, 2007) Teknik ini digunakan untuk berorientasi pada tujuan untuk pembangunan proyek konstruksi seperti gedung, pembukaan kantor baru atau pengendalian kegiatan penelitian dan pembangunan. Perencanaan proyek merupakan kegiatan proyek yang sangat penting, sebuah dasar untuk proyek berjalan dengan waktu yang optimal dan efisien. Handoko (1999) menjelaskan Manajemen proyek memiliki beberapa tujuan (Saputra, 2021). diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Tepat Waktu (*On Time*). Yaitu sasaran utama dari sebuah proyek yang mengacu pada durasi pekerjaan, serta Kerugian yang disebabkan keterlambatan proses seperti penambahan dana proyek.
2. Tepat Anggaran (*On Budget*) yaitu penggunaan dana yang wajib digunakan harus sesuai dengan apa yang sudah di tentukan pada awal perencanaan proyek.
3. Tepat Spesifikasi (*On Specification*) yaitu spesifikasi dari proyek yang dibuat harus sesuai dengan apa yang sudah direncanakan pada awal proyek.

Network Planning atau biasa dikenal dengan jaringan kerja merupakan sebuah perencanaan dan pengendalian proyek yang menggambarkan hubungan ketergantungan antara pekerjaan yang dipresentasikan melalui network diagram (Ahmadi, 2018). alur kritis merupakan sebuah rangkaian aktivitas-aktivitas dari sebuah proyek yang tidak bisa ditunda waktu pelaksanaannya dan menunjukkan hubungan yang saling berkaitan satu sama lain. Semakin banyak jalur kritis dalam suatu proyek, maka akan semakin banyak pula aktivitas yang harus diawasi. Akumulasi durasi waktu paling lama dalam jalur kritis akan dijadikan sebagai estimasi waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan. Jalur kritis diperoleh dari diagram jaringan yang memperlihatkan hubungan dan urutan kegiatan dalam suatu proyek (Saputra, 2021)

Metode Jalur Kritis atau biasa dikenal dengan *Critical Path Method* (CPM) adalah adalah suatu metode perencanaan dan pengendalian proyek-proyek yang merupakan system yang paling banyak digunakan diantara semua system yang memakai prinsip pembentukam jaringan (Zareei, 2018). menurut Levin dan Kirkpatrick (1972) yaitu metode untuk merencanakan dan mengawasi proyek-proyek merupakan sistem yang paling banyak dipergunakan di antara semua sistem lain yang memakai prinsip pembentukan jaringan. Dalam aplikasi metode CPM digunakan model jaringan (*Network Planning*) untuk deskripsi identifikasi urutan rangkaian aktivitas. Pada penelitian ini digunakan model jaringan *Activity on Node* (AON) dikarenakan model jaringan ini memiliki banyak kemudahan. Model jaringan AON (Pramudya, 2023) ini ditampilkan pada gambar 1. :



Gambar 1. Network Planning Activity on Node (AON)

Adapun Rumus-rumus (Saputra, 2021) yang dipakai adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Maju

- a. Kecuali kegiatan awal, maka suatu kegiatan baru dapat dimulai bila kegiatanyang mendahuluinya (predecessor) telah selesai.
- b. Waktu selesai paling awal suatu kegiatan sama dengan waktu mulai paling awal, ditambah dengan kurun waktu kegiatan yang mendahuluinya.

$$[EF = ES + D] = \text{Earliest Start} + \text{Durasi} \tag{1}$$

2. Perhitungan Mundur

- a. Waktu mulai paling akhir suatu kegiatan sama dengan waktu selesai paling akhir dikurangi kurun waktu berlangsungnya kegiatan yang bersangkutan.
- b. Apabila suatu kegiatan terpecah menjadi 2 kegiatan atau lebih, maka waktu paling akhir (LF) kegiatan tersebut sama dengan waktu mulai paling akhir (LS) kegiatan berikutnya yang terkecil.

$$[LS = LF - D] = \text{Latest Finish} - \text{Durasi} \tag{2}$$

3. Free float

Adalah sejumlah waktu yang tersedia untuk keterlambatan atau perlambatan pelaksanaan tanpa memengaruhi dimulainya kegiatan yang langsung mengikutinya.

$$[FF = EF - ES - D] = \text{Earliest Finish} - \text{Earliest Start} - \text{Durasi}. \tag{3}$$

4. Total float

Pada Perencanaan dan Penyusunan Jadwal Proyek, arti penting dari float total adalah menunjukkan jumlah waktuyang diperkenankan suatu kegiatan boleh ditunda, tanpa mempengaruhi jadwal penyelesaian proyek secara keseluruhan.

$$[TF = LF - ES - D] = \text{Latest Finish} - \text{Earliest Start} - \text{Durasi}. \tag{4}$$

Program Evaluation and Review Technique (PERT) adalah sebuah metode yang dirancang sebagai perangkat lunak yang telah disederhanakan, untuk menghasilkan probabilitas penyelesaian proyek yang diharapkan berdasarkandurasi tertentu atau durasi kontrak. Metode ini memiliki tujuan PERT menganalisis ketidakpastian selama proses konstruksi untuk merencanakan, menjadwalkan, dan mengendalikan proyek-proyek kompleks dengan banyak ketidakpastian (Baits, 2020). Metode PERT (*Project Evaluation and Review Technique*) menggunkan tiga angka estimasi. Pertama, (a) kurun waktu optimistik yaitu waktu tersingkat untuk menyelesaikan kegiatan jika semuanya berjalan mulus. Kedua, (m) kurun waktu paling mungkin, jika terjadi berulang dengan kondisi yang hampir menyerupai. Ketiga, (b) kurun waktu pesimistik yaitu waktu yang dianggap pesimis ketika proyek berlangsung (Andardi, 2021). Adapun rumus-rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Waktu Diharapkan (TE)

Waktu yang diharapkan (*expected time*) merujuk pada perkiraan waktu yang diharapkan diperlukan untuk menyelesaikan suatu tugas atau aktivitas proyek.

$$[Te = \frac{a + 4m + b}{6}] \tag{5}$$

2. Varians

Varians membantu dalam menilai sejauh mana estimasi waktu bisa berbeda dari nilai yang diharapkan. Semakin tinggi varians, semakin tidak pasti proyek tersebut.

$$[V = \frac{(b-a)^2}{6}] \tag{6}$$

3. Std.Deviasi

Standar deviasi digunakan untuk mengukur ketidakpastian atau variabilitas dalam estimasi waktu proyek.

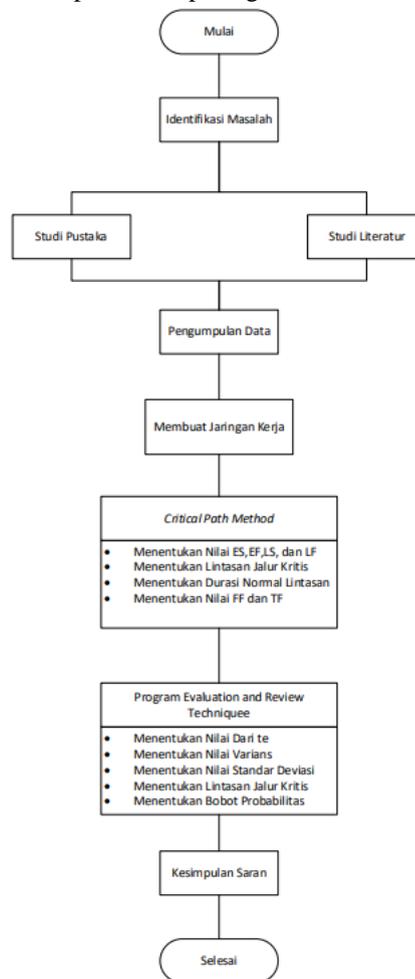
$$\sigma = \sqrt{V}] \tag{7}$$

4. Probabilitas

Angka probabilitas digunakan untuk mengukur sejauh mana suatu kejadian atau skenario tertentu dalam proyek memiliki kemungkinan untuk terjadi. Probabilitas digunakan untuk menilai risiko dan membantu manajer proyek dalam pengambilan keputusan.

$$[z = \frac{Td-Te}{\sqrt{V}}] \tag{8}$$

CPM dan PERT memiliki perbedaan pada fungsi dan juga penggunaan waktu yang dipakai, PERT digunakan untuk proyek yang memiliki waktu yang memiliki ketidakpastian, sedangkan waktu yang digunakan ada 3 jenis yaitu, (a) Waktu Optimis, (m) Waktu paling mungkin, dan (b) Waktu Pesimis. Adapun CPM digunakan untuk proyek yang memiliki waktu yang lebih stabil, sedangkan waktu yang digunakan adalah waktu yang paling mungkin (Asri, 2019). Selain memiliki perbedaan, kedua metode memiliki beberapa fungsi keterkaitan salah satunya yaitu adalah kedua metode ini dapat memberikan kemampuan untuk mengidentifikasi Jalur Kritis pada sebuah proyek, PERT dan CPM keduanya memungkinkan manajer proyek mengidentifikasi dan memfokuskan perhatian mereka pada jalur-jalur ini, memastikan bahwa tugas-tugas kritis diselesaikan tepat waktu untuk menjaga proyek tetap berada pada jalurnya (Puspitasari, 2022). Adapun alur penelitian dapat dilihat pada gambar 2. di bawah ini:



Gambar 2. Flowchart

HASIL DAN PEMBAHASAN

Critical Path Method

Pada aplikasi *Critical Path Method* diperlakukan dahulu identifikasi uraian, hubungan urutan, dan durasi dari setiap aktivitas proyek yang ada . Hubungan antar kegiatan ini menjadi dasar dari penentuan *network planning* (model jaringan) yang akan digunakan pada perhitungan metode CPM (Atin, 2019). Berikut pada Tabel 1. disajikan informasi mengenai keseluruhan aktivitas proyekf

Tabel 1. Daftar Aktivitas Proyek

Kode	Pekerjaan	Pekerjaan Lanjutan	Durasi
A	DRIVER DESK	B,C,D	2
B	HARNESS PNEUMATIC MODULE	F	1
C	HARNESS UNDERFRAME	F	4
D	HARNESS CABIN	F	5
E	HARNESS CEILING & SIDE CEILING	F	6
F	BRAKE MODUL UNIT	G,H,I	3
G	PANEL OBCU	J	5
H	PANEL TGMS	J	6
I	PANEL TCMS	J	4
J	FIBOX SPEED SENSOR	K	1
K	JB POWER PANEL	L,M,N,O,P,Q,R	4
L	SWITCH PANEL 1	S	1
M	SWITCH PANEL 2	S	2
N	SWITCH PANEL 3	S	3
O	SWITCH PANEL 4	S	3
P	SWITCH PANEL 5	S	3
Q	SWITCH PANEL 6	S	5
R	SWITCH PANEL 7	S	3
S	METER AND INDICATOR PANEL	T,U	2
T	CONTROL PANEL 1	V	2
U	CONTROL PANEL 2	V	4
V	SIDE LIGHT	W	1
W	MOTOR WIPER	X	1
X	PIDS	y	1
Y	BATTERY BOX		4

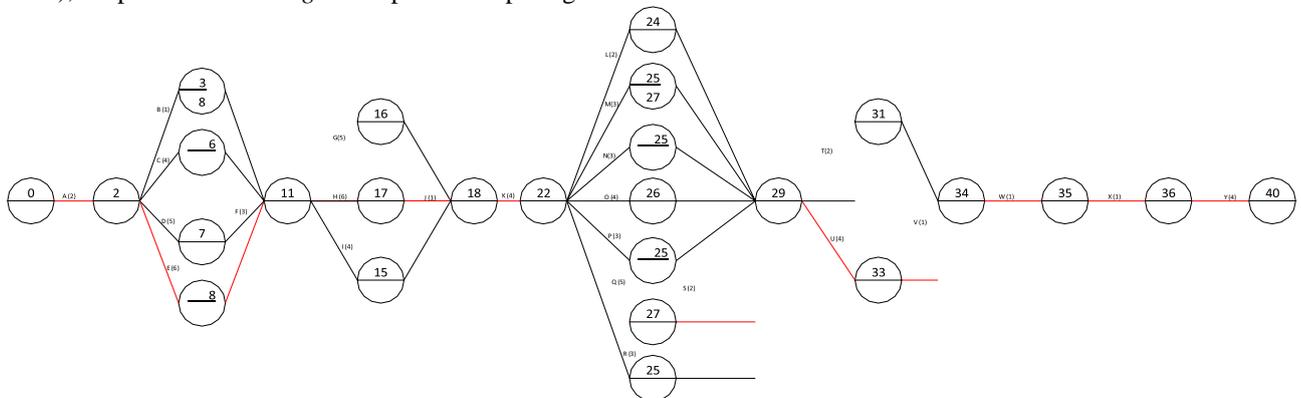
Data pada Tabel 3.1 dapat digunakan untuk membuat network diagram (model jaringan) dan perhitungan metode CPM. Perhitungan dilakukan secara *forward pass* (hitungan maju) yang berfungsi untuk mencari nilai ES (*Earliest Start*) dan EF (*Earliest Finish*). Selanjutnya secara *backward pass* (hitungan mundur) yang berfungsi untuk mencari nilai LS (*Latest Start*) dan LF (*Latest Finish*). Setelah itu, dilakukan perhitungan kelonggaran tiap aktivitas proyek melalui nilai *float* atau *slack*. Pada aktivitas proyek dengan nilai *float* atau *slack* nol dapat diidentifikasi sebagai jalur kritis. Aktivitas pada jalur kritis tidak boleh terlambat karena menjadi jalur aktivitas proyek dengan durasi terlama sehingga jika terlambat dapat mempengaruhi waktu total penyelesaian proyek secara keseluruhan. Berikut disajikan hasil perhitungan tiap komponen metode CPM pada Tabel 2. hasil perhitungan Metode CPM

Tabel 2. Perhitungan *Critical Path Method*

Kode	Pekerjaan	Pekerjaan Lanjutan	D	ESEF	LF	LS	FF	TF
A	DRIVER DESK	B,C,D	2	02	2	0	0	0
B	HARNESS PNEUMATIC MODULE	F	1	23	8	7	0	5
C	HARNESS UNDERFRAME	F	4	26	8	4	0	2
D	HARNESS CABIN	F	5	27	8	3	0	1

E	HARNESS CEILING & SIDE CEILING	F	6	2	8	8	2	0	0
F	BRAKE MODUL UNIT	G,H,I	3	8	11	11	8	0	0
G	PANEL OBCU	J	5	11	16	17	12	0	1
H	PANEL TGMS	J	6	11	17	17	11	0	0
I	PANEL TCMS	J	4	11	15	17	13	0	2
J	FIBOX SPEED SENSOR	K	1	17	18	18	17	0	0
K	JB POWER PANEL	L,M,N,O,P,Q,R	4	18	22	22	18	0	0
L	SWITCH PANEL 1	S	1	22	23	27	26	0	4
M	SWITCH PANEL 2	S	2	22	24	27	25	0	3
N	SWITCH PANEL 3	S	3	22	25	27	24	0	2
O	SWITCH PANEL 4	S	3	22	25	27	24	0	2
P	SWITCH PANEL 5	S	3	22	25	27	24	0	2
Q	SWITCH PANEL 6	S	5	22	27	27	22	0	0
R	SWITCH PANEL 7	S	3	22	25	27	24	0	2
S	METER AND INDICATOR PANEL	T,U	2	27	29	29	27	0	0
T	CONTROL PANEL 1	V	2	29	31	33	31	0	2
U	CONTROL PANEL 2	V	4	29	33	33	29	0	0
V	SIDE LIGHT	W	1	33	34	34	33	0	0
W	MOTOR WIPER	X	1	34	35	35	34	0	0
X	PIDS	Y	1	35	36	36	35	0	0
Y	BATTERY BOX		4	36	40	40	36	0	0

Setelah melakukan perhitungan pada metode CPM selanjutnya adalah menentukan jalur kritis proyek dengan cara membuat *Network Diagram* terlebih dahulu, hal ini dilakukan untuk menentukan lintasan terpanjang pada proyek (Amir, 2021), adapun *Network Diagram* dapat dilihat pada gambar 3. :



Gambar 3. *Network Diagram*

Diketahui pada gambar 3. diagram jaringan CPM, pelaksanaan proyek pemasangan komponen kelistrikan kereta listrik Makassar Pare-pare terdapat jalur kritis yaitu kegiatan pekerjaan A-E-F-H-J-K-Q-S-U-V-W-X-Y (panahmerah) dengan waktu penyelesaian proyek yaitu 40 hari dengan jumlah pekerja yang dipakai yaitu 5 orang pekerja. Setelah itu terdapat 2 opsi, opsi pertama yaitu menambahkan jumlah pekerja menjadi 8 pekerja. Sedangkan opsi kedua yaitu melakukan penyesuaian pada kegiatan yang melebihi kapasitas pekerja yang telah di tentukan. Adapun tabel Perhitungan Sumber daya yang digunakan pada opsi pertama adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Analisis Sumber Daya dengan Penambahan Pekerja

Kode	Pekerjaan	Durasi	Pekerja	Harga Satuan	Harga Total
A	DRIVER DESK	2	2	Rp 33,880	Rp 798,775
B	HARNESS PNEUMATIC MODULE	1	1	Rp 51,465	Rp 199,700
C	HARNESS UNDERFRAME	4	1	Rp 51,465	Rp 798,825
D	HARNESS CABIN	5	1	Rp 51,465	Rp 998,563
E	HARNESS CEILING & SIDE CEILING	6	2	Rp 51,465	Rp 2,396,625

Kode	Pekerjaan	Durasi	Pekerja	Harga Satuan	Harga Total
F	BRAKE MODUL UNIT	3	2	Rp 33,880	Rp 1,198,350
G	PANEL OBCU	5	1	Rp 33,880	Rp 998,656
H	PANEL TGMS	6	2	Rp 33,880	Rp 2,396,850
I	PANEL TCMS	4	1	Rp 33,880	Rp 798,975
J	FIBOX SPEED SENSOR	1	1	Rp 33,880	Rp 199,750
K	JB POWER PANEL	4	1	Rp 33,880	Rp 799,025
L	SWITCH PANEL 1	1	1	Rp 33,880	Rp 199,763
M	SWITCH PANEL 2	2	1	Rp 33,880	Rp 399,538
N	SWITCH PANEL 3	3	1	Rp 33,880	Rp 599,325
O	SWITCH PANEL 4	3	2	Rp 33,880	Rp 1,198,688
P	SWITCH PANEL 5	3	1	Rp 33,880	Rp 599,363
Q	SWITCH PANEL 6	5	1	Rp 33,880	Rp 998,969
R	SWITCH PANEL 7	3	1	Rp 33,880	Rp 599,400
S	METER AND INDICATOR PANEL	2	1	Rp 33,880	Rp 399,613
T	CONTROL PANEL 1	2	1	Rp 33,880	Rp 399,625
U	CONTROL PANEL 2	4	2	Rp 33,880	Rp 1,598,550
V	SIDE LIGHT	1	1	Rp 33,880	Rp 199,825
W	MOTOR WIPER	1	1	Rp 33,880	Rp 199,831
X	PIDS	1	1	Rp 51,465	Rp 199,838
Y	BATTERY BOX	4	3	Rp 33,880	Rp 2,398,125

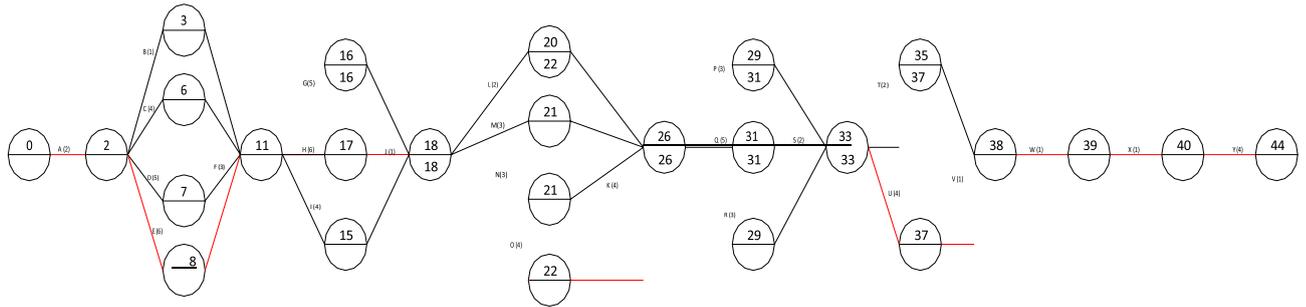
Pada perhitungan Opsi pertama menunjukkan bahwa proyek akan menghabiskan waktu 40 hari, jumlah pekerjayang digunakan sebesar 8 orang pekerja, lebih banyak 3 orang daripada jumlah yang telah di tentukan diawal, adapun biaya yang dikeluarkan sebanyak Rp21,574,544. Langkah selanjutnya yaitu melakukan perhitungan pada opsi kedua yaitu analisis sumber daya dengan tidak menambahkan jumlah pekerja pada proyek, adapun perhitungannya adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Tabel Analisis Sumber Daya Dengan Penambahan Durasi

Kode	Pekerjaan	Durasi	Pekerja	Harga Satuan	Harga Total
A	DRIVER DESK	2	2	Rp 33,880	Rp 798,775
B	HARNESS PNEUMATIC MODULE	1	1	Rp 51,465	Rp 199,694
C	HARNESS UNDERFRAME	4	1	Rp 51,465	Rp 798,775
D	HARNESS CABIN	5	1	Rp 51,465	Rp 998,469
E	HARNESS CEILING & SIDE CEILING	6	2	Rp 51,465	Rp 2,396,325
F	BRAKE MODUL UNIT	3	2	Rp 33,880	Rp 1,198,163
G	PANEL OBCU	5	1	Rp 33,880	Rp 998,469
H	PANEL TGMS	6	2	Rp 33,880	Rp 2,396,325
I	PANEL TCMS	4	1	Rp 33,880	Rp 798,775
J	FIBOX SPEED SENSOR	4	1	Rp 33,880	Rp 199,694
K	SWITCH PANEL 1	1	1	Rp 33,880	Rp 798,775
L	SWITCH PANEL 2	2	1	Rp 33,880	Rp 199,694
M	SWITCH PANEL 3	3	1	Rp 33,880	Rp 399,388
N	SWITCH PANEL 4	3	2	Rp 33,880	Rp 1,198,163
O	JB POWER PANEL	1	1	Rp 33,880	Rp 599,081
P	SWITCH PANEL 5	3	1	Rp 33,880	Rp 599,081
Q	SWITCH PANEL 6	5	2	Rp 33,880	Rp 1,996,938
R	SWITCH PANEL 7	3	1	Rp 33,880	Rp 599,081
S	METER AND INDICATOR PANEL	2	1	Rp 33,880	Rp 399,388
T	CONTROL PANEL 1	2	1	Rp 33,880	Rp 399,388

Kode	Pekerjaan	Durasi	Pekerja	Harga Satuan	Harga Total
U	CONTROL PANEL 2	4	2	Rp 33,880	Rp 1,597,550
V	SIDE LIGHT	1	1	Rp 33,880	Rp 199,694
W	MOTOR WIPER	1	1	Rp 33,880	Rp 199,694
X	PIDS	1	1	Rp 51,465	Rp 199,694

Setelah melakukan perhitungan pada analisis sumber daya langkah selanjutnya adalah melakukan penyesuaian pada network diagram dikarenakan adanya kekurangan jumlah pekerja pada suatu kegiatan yaitu kegiatan K-L-M-N-O-P-Q-R, adapun *Network Diagram* dapat dilihat pada gambar 4. :



Gambar 4. *Network Diagram* Opsi Kedua

Setelah dilakukan analisis sumber daya pada proyek maka ditemukan waktu durasi proyek sebesar 44 hari, lebih lama 4 hari dari opsi sebelumnya, jumlah pekerja yang digunakan sebanyak 5 orang pekerja dan biaya yang digunakan sebesar Rp21,574,544.

Program Evaluation Review Technique

Analisis dan perhitungan pada *Program Evaluation and Review Technique*, secara garis besar hampir sama dengan perhitungan pada *Critical Path Method*. Perhitungan secara *triple duration estimate* dilakukan dengan cara mencari nilai waktu estimasi (T_e) serta nilai variannya yang berasal dari data hasil identifikasi waktu optimis, waktu normal dan waktu pesimis. Berikut pada Tabel 3.5 ditampilkan hasil perhitungan dengan metode PERT untuk opsi pertama:

Tabel 5. Perhitungan Program Evaluation Review Technique Opsi Pertama

Pekerjaan	Durasi			D	ES	EF	LS	LF	S	Var
	Optimis	Most Like	Pesimis							
DRIVER DESK	1	2	2	1.8	0.0	1.8	2.0	0.2	0.2	0.0
HARNESS PNEUMATIC MODULE	1	1	3	1.3	1.8	3.1	7.3	6.0	0.3	0.1
HARNESS UNDERFRAME	2	4	7	4.2	1.8	6.0	7.3	3.1	0.8	0.7
HARNESS CABIN	2	5	7	4.8	1.8	6.6	7.3	2.5	0.8	0.7
HARNESS CEILING & SIDE CEILING	2	6	6	5.3	1.8	7.1	7.1	1.8	0.7	0.4
BRAKE MODUL UNIT	1	3	3	2.7	7.1	9.8	9.8	7.1	0.3	0.1
PANEL OBCU	2	5	7	4.8	9.8	14.6	15.0	10.2	0.8	0.7
PANEL TGMS	2	6	5	5.2	9.8	15.0	15.0	9.8	0.5	0.3
PANEL TCMS	2	4	8	4.3	9.8	14.1	15.0	10.7	1.0	1.0
FIBOX SPEED SENSOR	1	1	2	1.2	15.0	16.2	16.2	15.0	0.2	0.0
JB POWER PANEL	1	4	5	3.7	16.2	19.9	19.9	16.2	0.7	0.4
SWITCH PANEL 1	1	1	5	1.7	19.9	21.6	24.4	22.7	0.7	0.4
SWITCH PANEL 2	1	2	5	2.3	19.9	22.2	24.4	22.1	0.7	0.4
SWITCH PANEL 3	1	3	5	3.0	19.9	22.9	24.4	21.4	0.7	0.4
SWITCH PANEL 4	1	3	3	2.7	19.9	22.6	24.4	21.7	0.3	0.1
SWITCH PANEL 5	1	3	4	2.8	19.9	22.7	24.4	21.6	0.5	0.3
SWITCH PANEL 6	1	5	6	4.5	19.9	24.4	24.4	19.9	0.8	0.7
SWITCH PANEL 7	1	3	5	3.0	19.9	22.9	24.4	21.4	0.7	0.4

Pekerjaan	Durasi			D	ES	EF	LS	LF	S	Var
	Optimis	Most Like	Pesimis							
METER AND INDICATOR PANEL	1	2	2	1.8	24.4	26.2	26.2	24.4	0.2	0.0
CONTROL PANEL 1	2	2	5	2.5	26.2	28.7	29.7	27.2	0.5	0.3
CONTROL PANEL 2	1	4	4	3.5	26.2	29.7	29.7	26.2	0.5	0.3
SIDE LIGHT	1	1	2	1.2	29.7	30.9	30.9	29.7	0.2	0.0
MOTOR WIPER	1	1	1	1.0	30.9	31.9	31.9	30.9	0.0	0.0
PIDS	1	1	3	1.3	31.9	33.2	33.2	31.9	0.3	0.1
BATTERY BOX	1	4	4	3.5	33.2	36.7	36.7	33.2	0.5	0.3

Berdasarkan Tabel 3.2 didapat informasi bahwa pelaksanaan proyek pemasangan komponen kelistrikan keretalistik Makassar Pare-pare terdapat jalur kritis yaitu kegiatan pekerjaan A-E-F-H-J-K-Q-S-U-V-W-X- dengan waktu penyelesaian proyek yaitu 36,7 hari, lebih cepat 3,3 hari dari metode CPM. Lalu selanjutnya adalah melakukan perhitungan probabilitas waktu penyelesaian proyek dengan metode PERT. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut

$$[z = \frac{T_d - T_e}{\sqrt{V}}] \tag{10}$$

$$[z = \frac{40 - 36,7}{2,27}]$$

$$z = 1,46$$

Nilai Z telah diperoleh yaitu 1,46 ini membuktikan bahwa probabilitas yang didapat dari nilai 1,46 adalah 0,927 atau dapat dikatakan 92,7%, dengan ini dapat dikatakan proses penjadwalan pengerjaan proyek ini berhasil. Selanjutnya adalah melakukan perhitungan probabilitas dengan metode PERT untuk opsi kedua. Berikut pada Tabel 6. ditampilkan hasil perhitungan dengan metode PERT untuk opsi pertama.

Tabel 6. Perhitungan Program Evaluation Review Technique Opsi Pertama

Kode	Pekerjaan	Durasi			D	ES	EF	LS	LF	S	Var
		Optimis	Most Like	Pesimis							
A	DRIVER DESK	1	2	2	1.8	0.0	1.8	1.8	0.0	0.2	0.0
B	HARNESS PNEUMATIC MODULE	1	1	3	1.3	1.8	3.1	7.1	5.8	0.3	0.1
C	HARNESS UNDERFRAME	2	4	7	4.2	1.8	6.0	7.1	2.9	0.8	0.7
D	HARNESS CABIN	2	5	7	4.8	1.8	6.6	7.1	2.3	0.8	0.7
E	HARNESS CEILING & SIDE CEILING	2	6	6	5.3	1.8	7.1	7.1	1.8	0.7	0.4
F	BRAKE MODUL UNIT	1	3	3	2.7	7.1	9.8	9.8	7.1	0.3	0.1
G	PANEL OBCU	2	5	7	4.8	9.8	14.6	15.0	10.2	0.8	0.7
H	PANEL TGMS	2	6	5	5.2	9.8	15.0	15.0	9.8	0.5	0.3
I	PANEL TCMS	2	4	8	4.3	9.8	14.1	15.0	10.7	1.0	1.0
J	FIBOX SPEED SENSOR	1	1	2	1.2	15.0	16.2	16.2	15.0	0.2	0.0
L	SWITCH PANEL 1	1	1	5	1.7	16.2	17.9	19.7	18.0	0.7	0.4
M	SWITCH PANEL 2	1	3	5	3.0	16.2	19.2	19.7	16.7	0.7	0.4
N	SWITCH PANEL 3	1	3	5	3.0	16.2	19.2	19.7	16.7	0.7	0.4
O	SWITCH PANEL 4	1	4	4	3.5	16.2	19.7	19.7	16.2	0.5	0.3
x	JB POWER PANEL	1	4	5	3.7	19.7	23.4	23.4	19.7	0.7	0.4
P	SWITCH PANEL 5	1	3	4	2.8	23.4	26.2	27.9	25.1	0.5	0.3
Q	SWITCH PANEL 6	1	5	6	4.5	23.4	27.9	27.9	23.4	0.8	0.7
R	SWITCH PANEL 7	1	3	5	3.0	23.4	26.4	27.9	24.9	0.7	0.4
S	METER AND INDICATOR PANEL	1	2	2	1.8	27.9	29.7	29.7	27.9	0.2	0.0
T	CONTROL PANEL 1	2	2	5	2.5	29.7	32.2	33.2	30.7	0.5	0.3
U	CONTROL PANEL 2	1	4	4	3.5	29.7	33.2	33.2	29.7	0.5	0.3
V	SIDE LIGHT	1	1	2	1.2	33.2	34.4	34.4	33.2	0.2	0.0
W	MOTOR WIPER	1	1	1	1.0	34.4	35.4	35.4	34.4	0.0	0.0
X	PIDS	1	1	3	1.3	35.4	36.7	36.7	35.4	0.3	0.1

Kode	Pekerjaan	Durasi			D	ES	EF	LS	LF	S	Var
		Optimis	Most Like	Pesimis							
Y	BATTERY BOX	1	4	4	3.5	36.7	40.2	40.2	36.7	0.5	0.3

Berdasarkan Tabel 3.3 didapat informasi bahwa pelaksanaan proyek pemasangan komponen kelistrikan keretalistik Makassar Pare-pare terdapat jalur kritis yaitu kegiatan pekerjaan A-E-F-H-J-N-O-Q-S-U-V-W-X-Y dengan waktu penyelesaian proyek yaitu 40,2 hari, lebih cepat 3,8 hari dari metode CPM. Lalu selanjutnya adalah melakukan perhitungan probabilitas waktu penyelesaian proyek dengan metode PERT. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut

$$[z = \frac{Td - Te}{\sqrt{V}}] \quad (11)$$

$$[z = \frac{44 - 40,2}{2,27}]$$

$$z = 1,68$$

Nilai Z telah diperoleh yaitu 1,68 ini membuktikan bahwa probabilitas yang didapat dari nilai 1,68 adalah 0,953 atau dapat dikatakan 95,3%, dengan ini dapat dikatakan proses penjadwalan pengerjaan proyek ini berhasil.

Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian, analisis, dan evaluasi yang telah dilakukan oleh peneliti, makadapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini terdapat 2 opsi untuk menentukan durasi serta biaya yang digunakan untuk proyek, opsi pertama yaitu menambahkan jumlah pekerja pada kegiatan, opsi kedua menambahkan durasi waktu pada proyek. Pada Opsi pertama diperoleh jalur kritis di aktivitas A-E-F-H-J-K-Q-S-U-V-W-X-Y dengan membutuhkan waktu penyelesaian proyek selama 40 hari Proyek dengan jumlah pekerja sebanyak 8 orang, proyek tersebut akan menghabiskan biaya sebesar Rp21,574,544.lalu pada opsi kedua diperoleh jalur kritis diaktivitas A-E-F-H-J-N-O-Q-S-U-V-W-X-Y dengan membutuhkan waktu penyelesaian proyek selama 44 hariProyek dengan jumlah pekerja sebanyak 5 orang, proyek tersebut akan menghabiskan biaya sebesar Rp22,964,781
2. Sementara pada hasil *analisis Program Evaluation and Review Technique* (PERT), waktu penyelesaian proyekuntuk jalur kritis aktivitas proyek A-E-F-H-J-K-Q-S-U-V-W-X-Y (Opsi pertama) dibutuhkan waktu selama 36,7 hari. Hasil tersebut memiliki probabilitas dapat diselesaikan sebesar 92,7%. Adapun pada jalur kritis A- E-F-H-J-N-O-Q-S-U-V-W-X-Y durasi yang dibutukan untuk menyelesaikan proyek yaitu 40,2 hari dengan nilai probabilitas sebesar 95,3%.

Daftar Pustaka

- Adhiarsya Perdana, M. and Puspa Sari, R. (2022), "Optimalisasi Waktu Pelaksanaan Proyek Konstruksi Rumah Tinggal Menggunakan Metode CPM (Critical Path Method) dan PERT (Program Evaluation and ReviewTechnique) Optimizing the Implementation Time of Residential Construction Projects Using the CPM (Critical)" *Jurnal Media Teknik & Sistem Industri*, Vol. 6 (2) pp. 116–123.
- Ahmadi, A. *et al.* (2018), "Time Scheduling and Cost of the Indonesian Navy Ship Development Project Using Network Diagram and Earned Value Method (Evm) (Case Study of Fast Missile Boat Development)" *Journal Asro*, Vol. 9 (2) pp. 87.
- Amir R H *et al.* (2021), "Analisis Jaringan Kerja Rute Kegiatan Pembangunan Kost-Kostan Eksklusif 2 Lantai Dengan Metode Critical Path Di CV. Skyland Building" *Bulletin of Applied Industrial Engineering Theor*, Vol. 2 (2) pp. 73–80.
- Andardi, F.R. *et al.* (2021), "Analisis Penerapan Sistem Penjadwalan Dengan Metode Pert Pada Proyek Konstruksi (Studi Kasus: Rehabilitasi Dan Peningkatan Infrastruksi Pasar Tradisional Kota Malang)", pp. 19–24.
- Asri, D.F.L., Setiawan, T.H. and Rusdiana, Y. (2019), "Analisis Jaringan Kerja Pada Evaluasi Penjadwalan Waktu Dan Biaya Penyelesaian Proyek Dengan Menggunakan Metode Pert & Cpm" *Jurnal Sainika Unpam : Jurnal Sains dan Matematika Unpam*, Vol. 2 (2) pp. 136.
- Astari, N.M., Subagyo, A.M. and Kusnadi, K. (2022), "Perencanaan Manajemen Proyek Dengan Metode Cpm (Critical Path Method) Dan Pert (Program Evaluation and Review Technique)" *Konstruksia*, Vol. 13 (1) pp. 164.
- Atin, S. and Lubis, R. (2019), "Implementation of Critical Path Method in Project Planning and Scheduling" *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 662(2).
- Baits, H.A., Puspita, I.A. and Bay, A.F. (2020), "Combination of program evaluation and review technique (PERT)and critical path method (CPM) for project schedule development" *International Journal of Integrated Engineering*, Vol. 12 (3) pp. 68–75.
- Fahrezi, M.A. (2023), "Analisis Jalur Kritis Pada Penjadwalan Proyek Pembangunan Atap Utility Hub E-Commerce Bogor Dengan Metode CPM dan PERT" Vol. 8 (2) pp. 95–102.
- Pollack, J. (2007) , "The changing paradigms of project management" *International Journal of Project Management*,

Vol. 25 (3) pp. 266–274.

Pramudya, A. and Listyanto, R.E. (2023), “Implementasi Metode CPM , Crashing dan PERT Pada Penjadwalan Proyek Pembangunan Masjid dan Asrama Yatim Piatu Barokah Amanah Mustaqbal” Vol. VIII (2) pp. 5390–5400.

Pratama, Anthon Yoga, I.A.N.K. (2020), “Analisis Perencanaan dan Penjadwalan Proyek Pembangunan Rumah Kos Menggunakan Network Planning PERT dan CPM dikota Surabaya” Vol, 2507(February) pp. 1–9.

Puspitasari, D.P., Purwono, N.A.S. and Poerwodihardjo, F.E. (2022), “ANALISIS PERBANDINGAN PENJADWALAN PROYEK DENGAN METODE CPM, PERT, KURVA-S (Studi Kasus Peningkatan Jalan Menganti Kesugihan)” *Teodolita: Media Komunkasi Ilmiah di Bidang Teknik*, Vol. 23 (1) pp. 77–89.

Saputra, N., Handayani, E. and Dwiretnani, A. (2021), “Analisa Penjadwalan Proyek dengan Metode Critical Path Method (CPM) Studi Kasus Pembangunan Gedung Rawat Inap RSUD Abdul Manap Kota Jambi” *Jurnal Talenta Sipil*, Vol. 4 (1) pp. 44.

Zareei, S. (2018), “”Project scheduling for constructing biogas plant using critical path method” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 81(May 2017) pp. 756–759.