

Optimasi Waktu Pelaksanaan Pembangunan Ruang Praktik Siswa SMK Negeri 1 Duduksampeyan dengan Metode PERT

Bowo Leksono¹, Dandy Nugroho², Eva Indah Yanti³

^{1 2 3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gresik

Email: ^{1 3}bowoleksono508@gmail.com, ²dandynugroho@gmail.com

Abstract

Implementation of work on a project requires not only reliable human resources, but also a good management. A construction project can be said to be successful if it is able to meet its objectives that is completed at the specified time, in accordance with the allocated costs and meet the required quality. Or failure of the implementation is often caused by lack of planned project is not effective and efficient, this will cause delays, lack of quality work, and too large funding is not in accordance with initial planning. In this paper the author uses planning techniques with network planning as one of the models that will be used in the implementation of the student practice room development project at SMK Negeri 1 Duduksampeyan. The planning technique used by the author is PERT. This technique is used to optimize the construction project construction where the author examines issues related to time. By comparing the actual situation and the plan, it can be seen whether the progress of the relevant project is on schedule or delayed. From the research that has been done, it is obtained using a time schedule. Based on the analysis using the PERT method the result is the opportunity to achieve the target time for completion of the project from 90 days to 72 days is 99.75% and the project cost increased to Rp 423,380,476.82 from the original planned cost of Rp 422,066,726.74. There was a reduction in project time for 18 days and an increase in costs of Rp 1,313,750.08.

Keywords: network, optimization, PERT, planning.

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara yang memiliki potensi ekonomi yang tinggi. Hal ini berpengaruh pada pembangunan sektor konstruksi terutama bidang pendidikan. Pendidikan dikatakan maju apabila penyediaan infrastruktur, berupa sarana dan prasarana, lengkap dan mengikuti kemajuan teknologi. Proyek pada umumnya memiliki batas waktu, artinya proyek harus diselesaikan sebelum atau tepat pada waktu yang telah ditentukan. Keberhasilan atau kegagalan dari pelaksanaan proyek sering kali disebabkan kurang baiknya perencanaan kegiatan serta pengendalian yang kurang efektif. Hal ini mengakibatkan proyek menjadi tidak efisien, dan berimbas pada keterlambatan, menurunnya kualitas pekerjaan, dan membengkaknya biaya pelaksanaan. Agar resiko pembengkakan biaya menjadi rendah, diperlukan optimasi waktu kerja yang lebih terencana dengan matang agar keterlambatan pekerjaan dapat dihindari.

Proyek konstruksi memiliki karakteristik unik yang tidak berulang. Dengan perencanaan dan pengendalian yang baik terhadap kegiatan-kegiatan yang ada, maka keterlambatan jadwal yang mengakibatkan pembengkakan biaya proyek dapat dihindari. Untuk mengantisipasi perubahan kondisi lapangan yang tidak pasti, maka diperlukan suatu pengendalian. Pengendalian berjalan sepanjang daur hidup proyek guna mewujudkan performa yang baik dalam setiap tahap.

Perencanaan suatu proyek mensyaratkan bahwa tujuan proyek harus dinyatakan dengan jelas sehingga manajer dan timnya mengetahui apa yang dibutuhkan. Perencanaan proyek dimaksudkan untuk menjembatani antara sasaran yang akan diraih dengan keadaan pada saat awal. Penjadwalan proyek meliputi pengurutan dan pembagian waktu bagi seluruh kegiatan proyek. Pengendalian adalah proses membandingkan kinerja aktual dengan kinerja yang direncanakan untuk kemudian mengidentifikasi penyimpangan, mengevaluasi tindakan alternatif yang mungkin, dan mengambil tindakan korektif yang tepat.

Beberapa metode telah dikembangkan untuk mengatasi hal ini, diantaranya adalah metode perencanaan jaringan kerja atau *network planning*. Tingkat ketepatan estimasi waktu penyelesaian

proyek ditentukan oleh tingkat ketepatan perkiraan durasi setiap kegiatan di dalam proyek. Selain ketepatan perkiraan waktu, penegasan hubungan antar kegiatan suatu proyek juga diperlukan dalam perencanaan suatu proyek [1]. Dalam mengestimasi waktu dan biaya di sebuah proyek diperlukan optimalisasi. Dalam penelitian ini ditemukan adanya perbedaan umur pelaksanaan proyek dengan umur rencana proyek yang telah ditetapkan.

PERT merupakan singkatan dari *Program Evaluation and Review Technique*. PERT adalah suatu metode yang bertujuan untuk sebanyak mungkin mengurangi adanya penundaan, maupun gangguan produksi, serta mengkoordinasikan berbagai bagian suatu pekerjaan secara menyeluruh dan mempercepat selesainya proyek. Teknik ini memungkinkan dihasilkannya suatu pekerjaan yang terkendali dan teratur, karena jadwal dan anggaran dari suatu pekerjaan telah ditentukan terlebih dahulu sebelum dilaksanakan. Kejadian yang tidak pasti merupakan ciri dari metode PERT. Oleh karena itu, tidaklah tepat dalam kasus ini untuk menetapkan waktu penyelesaian proyek secara konkrit. PERT juga merupakan suatu metode yang bertujuan untuk mengurangi adanya penundaan kegiatan maupun rintangan dan perbedaan-perbedaan, mengkoordinasikan dan menyelaraskan berbagai bagian sebagai suatu keseluruhan pekerjaan dan mempercepat selesainya proyek-proyek.

Tujuan akhir dalam tahap penjadwalan ialah membentuk *time chart* yang dapat menunjukkan waktu mulai dan selesainya setiap kegiatan serta hubungannya satu sama lain dalam proyek. Jadwal harus mampu menunjukkan kegiatan-kegiatan yang kritis, dilihat dari segi waktu, yang memerlukan perhatian khusus agar proyek selesai tepat pada waktunya [2]. Kegiatan-kegiatan yang tidak tergolong kegiatan kritis, jadwal harus menentukan banyaknya waktu yang mengambang yang dapat dipergunakan ketika kegiatan tersebut tertunda maupun jika sumber daya yang terbatas digunakan secara efektif.

2. Metode

Pengumpulan data

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kegiatan-kegiatan kritis dalam proyek konstruksi menggunakan metode PERT. Data utama dalam penelitian ini antara lain: (a) kurva S pelaksanaan proyek, (b) laporan harian dan mingguan, (c) daftar harga satuan bahan dan upah tenaga kerja, (d) analisis harga satuan pekerjaan, dan (e) rencana anggaran biaya proyek. Sedangkan data pendukung lainnya berasal dari hasil wawancara.

Lokasi dan waktu penelitian

Lokasi penelitian ini adalah SMK Negeri 1 Duduksampeyan, Kecamatan Duduksampeyan, Kabupaten Gresik.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Waktu pelaksanaan proyek dilakukan mulai bulan September 2019 hingga bulan Desember 2019 dengan durasi 90 hari. Waktu penelitian untuk pengumpulan data dilaksanakan selama dua bulan mulai dari persiapan, survei lapangan, analisis Rencana Anggaran Biaya (RAB) hingga penyusunan hasil penelitian.

Metode analisis

Keadaan yang terjadi di lapangan adalah terdapat perbedaan antara umur pelaksanaan proyek dengan umur rencana proyek yang telah ditetapkan. Sedangkan proyek harus selesai tepat waktu yaitu

bulan Desember 2019. Untuk mencapai target tersebut, peneliti memutuskan untuk mempercepat durasi proyek (*crashing*). Percepatan durasi dilakukan pada kegiatan-kegiatan yang dilalui oleh lintasan kritis agar efisien.

Ada beberapa cara dalam mempercepat suatu kegiatan, sehingga didapat alternatif terbaik sesuai dengan kondisi kontraktor pelaksana. Cara-cara tersebut antara lain:

- Perubahan hubungan logika ketergantungan antar kegiatan.
- Menambah sumber daya manusia.
- Melaksanakan kerja lembur.
- Menambah atau mengganti peralatan.
- Menambah ketersediaan material.

Cara-cara di atas tersebut tentunya akan menambah biaya proyek secara keseluruhan. Dalam penelitian ini optimalisasi waktu dibatasi oleh peningkatan biaya maksimal 1% dari total biaya proyek. Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode PERT. Digunakan asumsi bahwa waktu penyelesaian kegiatan bervariasi dan bergantung pada banyak faktor.

Dalam metode PERT, ada tiga buah estimasi durasi tiap kegiatan. Ketiga estimasi durasi tersebut adalah:

- kurun waktu optimis (*optimistic duration time*).
- kurun waktu paling mungkin (*most likely time*).
- kurun waktu pesimis (*pessimistic duration time*).

Diasumsikan pendekatan yang dipakai dalam penelitian ini adalah dari durasi rata-rata yang disebut *expected return* (t_e). Dengan menggunakan konsep t_e , maka jalur kritis dapat diidentifikasi. Pada jalur kritis berlaku *slack* = 0 [3].

$$t_e = \frac{(a+4m+b)}{6} \quad (1)$$

dimana:

t_e = *expected duration* (hari)

a = waktu optimis (hari)

m = waktu realistis (hari)

b = waktu pesimis (hari)

Rentang waktu pada tiga angka estimasi PERT menandai derajat ketidakpastian dalam estimasi kurun waktu, disebut deviasi standar kegiatan [4]. Besarnya ketidakpastian tergantung pada besarnya nilai a dan b, dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \frac{1}{6} (b-a) \quad (2)$$

dimana:

S = deviasi standar kegiatan (hari)

a = waktu optimis (hari)

b = waktu pesimis (hari)

Nilai varians kegiatan proyek dapat dirumuskan sebagai berikut [5]:

$$V(t_e) = S^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2 \quad (3)$$

dimana:

$V(t_e)$ = varians kegiatan (hari)

S = deviasi standar kegiatan (hari)

a = waktu optimis (hari)

b = waktu pesimis (hari)

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

$$z = \frac{T(d) - TE}{S} \quad (4)$$

dimana:

z = angka kemungkinan mencapai target

$T(d)$ = target jadwal (hari)

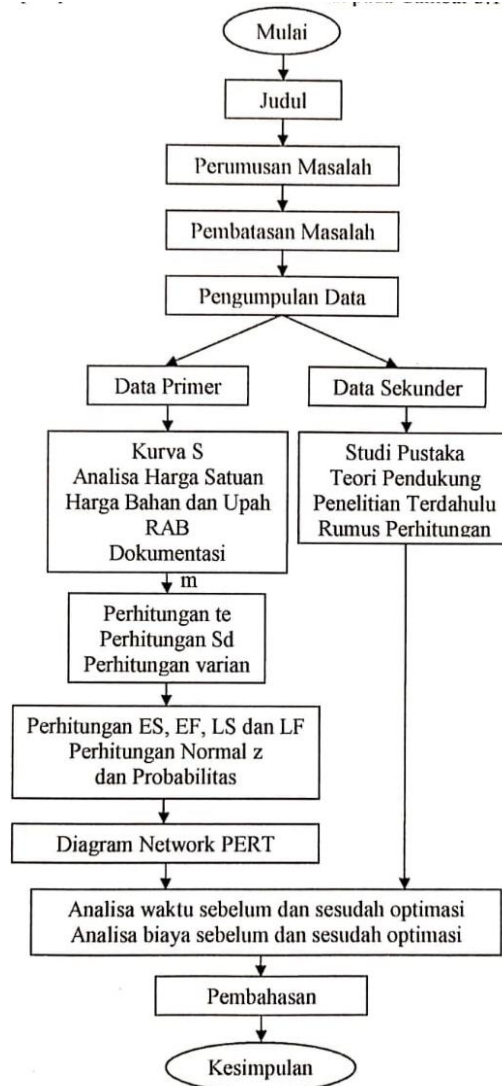
TE = jumlah waktu kegiatan kritis (hari)

S = deviasi standar kegiatan (hari)

Angka z merupakan angka probabilitas yang persentasenya dapat dicari dengan menggunakan tabel distribusi normal kumulatif z [6].

Diagram alir penelitian

Diagram alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Analisis data

Urutan-urutan pengerjaan dalam menganalisa data penelitian ini adalah:

1. Menyusun jaringan kerja dan hubungan saling ketergantungan (*network diagram*).
2. Menghitung durasi kegiatan berdasarkan produktivitas pekerja.
3. Menentukan tiga asumsi durasi aktivitas yaitu: *optimistic time*, *most likely time*, dan *pesimistic time*.
4. Menghitung rata-rata durasi, sesuai rumus (1).
5. Menghitung standar deviasi masing-masing kegiatan, sesuai rumus (2).
6. Menghitung varians, sesuai rumus (3).

7. Menghitung ES, EF, LS.
8. Menentukan lintasan kritis berdasar *network diagram*.
9. Perhitungan probabilitas z, sesuai rumus (4).
10. Membuat kurva S berdasar durasi probabilitas.
11. Menghitung total biaya berdasar durasi optimal.

3. Hasil dan Pembahasan

Observasi Lapangan

Tahap pertama yang dilakukan adalah observasi lapangan dengan mengamati objek penelitian secara langsung di lapangan sehingga diperoleh data yang faktual. Observasi lapangan dilakukan dengan identifikasi masalah yang terjadi dalam proyek pembangunan gedung tersebut dan kemudian merumuskan masalah yang terjadi.

Data umum proyek

Gambaran umum proyek Pembangunan Ruang Praktik Siswa (RPS) SMK Negeri 1 Duduksampeyan Kecamatan Duduksampeyan Kabupaten Gresik adalah:

Nama proyek : Pembangunan Ruang Praktik Siswa
 Jumlah dana : Rp 422.066.726,74
 Tahun anggaran : 2019
 Durasi pelaksanaan : 90 hari kalender
 Lokasi proyek : SMK Negeri 1 Duduksampeyan, Kec. Duduksampeyan, Kab. Gresik.

Dalam penelitian ini peneliti akan menyajikan bentuk penjadwalan proyek yang dibuat dengan metode PERT. Kemudian dari penjadwalan yang sudah dibuat, peneliti akan mencoba mempercepat waktu penyelesaian proyek dengan melakukan penambahan jam kerja sehingga proyek akan lebih cepat selesai dibanding penjadwalan rencana awal. Pembuatan penjadwalan proyek secara manual berdasar laporan harian dan mingguan proyek dengan metode PERT.

Analisis data

Penelitian ini menggunakan metode PERT dalam menganalisis data yang ada, sehingga diketahui persentase kemungkinan proyek dapat selesai tepat waktu sesuai kurva S rencana. *Microsoft Office Excel 2016* digunakan peneliti untuk membantu mengolah data sehingga memudahkan dalam penyelesaian penelitian ini.

Menyusun hubungan antar kegiatan

Berdasarkan data kurva S dari proyek dapat dibuat logika hubungan antar kegiatan seperti berikut:

Tabel 1. Daftar urutan kegiatan dan kegiatan pendahulunya

Kode	Item pekerjaan	Kegiatan pendahulu	Durasi (hari)
A	Pekerjaan persiapan		0,9
B	Pekerjaan tanah	A	4,3
C	Pekerjaan beton	A, B	25,0
D	Pekerjaan pasangan	C	7,5
E	Pekerjaan plesteran	D	13,3
F	Pekerjaan rangka atap	D	11,8
G	Pekerjaan penutup atap	F	7,5
H	Pekerjaan kusen	G, I	7,3
I	Pekerjaan plafond	E	6,5
J	Pekerjaan pengecatan	K	4,0
K	Pekerjaan listrik	E, J	2,0

Jaringan kerja PERT

Optimasi waktu proyek dengan metode PERT, dimulai dengan mengestimasi waktu penyelesaian tiap *item* kegiatan proyek ke dalam 3 jenis estimasi waktu yaitu waktu optimis, waktu yang

paling mungkin, dan waktu pesimis. Penentuan besar waktu penyelesaian tiap kegiatan berdasar hasil wawancara dengan pelaksana proyek.

Tabel 2. Estimasi waktu tiap kegiatan

Kode	Item pekerjaan	Waktu optimis (hari)	Waktu yang paling mungkin (hari)	Waktu pesimis (hari)
A	Pekerjaan persiapan	0,5	0,9	1,1
B	Pekerjaan tanah	2,6	4,3	5,2
C	Pekerjaan beton	15,0	25,0	30,0
D	Pekerjaan pemasangan	4,5	7,5	9,0
E	Pekerjaan plesteran	8,0	13,3	16,0
F	Pekerjaan rangka atap	7,1	11,8	14,2
G	Pekerjaan penutup atap	4,5	7,5	9,0
H	Pekerjaan kusen	4,4	7,3	8,8
I	Pekerjaan plafond	3,9	6,5	7,8
J	Pekerjaan pengecatan	2,4	4,0	4,8
K	Pekerjaan listrik	1,2	2,0	2,4

Setelah membuat estimasi waktu tiap kegiatan, kemudian mencari nilai t_e dengan menggunakan rumus (1). Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$t_{eA} = \frac{(0,5 + 4(0,9) + 1,1)}{6} = 0,9$$

$$t_{eB} = \frac{(2,6 + 4(4,3) + 5,2)}{6} = 4,2$$

$$t_{eC} = \frac{(15 + 4(25) + 30)}{6} = 24,2$$

$$t_{eD} = \frac{(4,5 + 4(7,5) + 9)}{6} = 7,3$$

$$t_{eE} = \frac{(8 + 4(13,3) + 16)}{6} = 12,9$$

$$t_{eF} = \frac{(7,1 + 4(11,8) + 14,2)}{6} = 11,4$$

$$t_{eG} = \frac{(4,5 + 4(7,5) + 9)}{6} = 7,3$$

$$t_{eH} = \frac{(4,4 + 4(7,3) + 8,8)}{6} = 7,1$$

$$t_{eI} = \frac{(3,9 + 4(6,5) + 7,8)}{6} = 6,3$$

$$t_{eJ} = \frac{(2,4 + 4(4) + 4,8)}{6} = 3,9$$

$$t_{eK} = \frac{(1,2 + 4(2) + 2,4)}{6} = 1,9$$

Hasil nilai t_e untuk masing-masing kegiatan dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4. Nilai durasi yang diharapkan (t_e)

Kode	Item pekerjaan	Durasi yang diharapkan (hari)
A	Pekerjaan persiapan	0,9
B	Pekerjaan tanah	4,2
C	Pekerjaan beton	24,2
D	Pekerjaan pemasangan	7,3
E	Pekerjaan plesteran	12,9
F	Pekerjaan rangka atap	11,4

Optimasi Waktu Pelaksanaan Pembangunan Ruang Praktik Siswa
SMK Negeri 1 Duduksampeyan dengan Metode PERT

G	Pekerjaan penutup atap	7,3
H	Pekerjaan kusen	7,1
I	Pekerjaan plafond	6,3
J	Pekerjaan pengecatan	3,9
K	Pekerjaan listrik	1,9

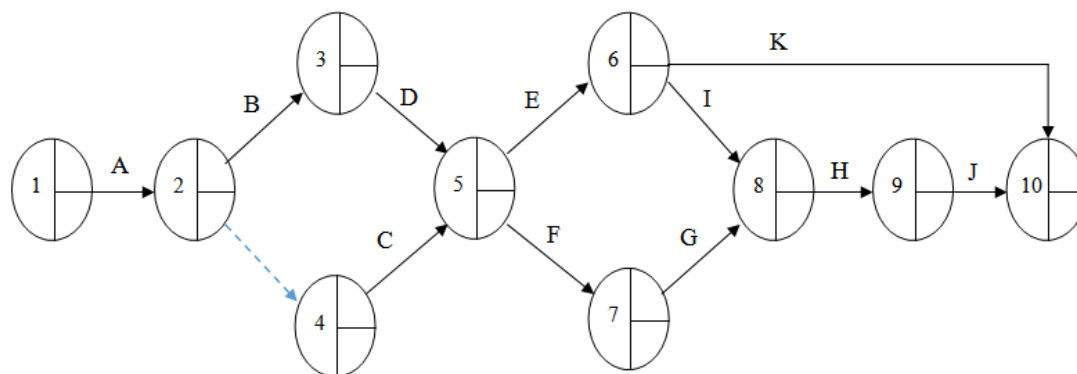
Selanjutnya menentukan nilai standar deviasi dengan rumus (2) dan varians dengan rumus (3). Hasil perhitungan nilai deviasi standar dan varians dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 5. Nilai standar deviasi dan varians tiap kegiatan

Kode	Item pekerjaan	a	b	S	V (t _e)
A	Pekerjaan persiapan	0,5	1,1	0,09	0,01
B	Pekerjaan tanah	2,6	5,2	0,43	0,18
C	Pekerjaan beton	15,0	30,0	2,50	6,25
D	Pekerjaan pemasangan	4,5	9,0	0,75	0,56
E	Pekerjaan plesteran	8,0	16,0	1,33	1,77
F	Pekerjaan rangka atap	7,1	14,2	1,18	1,39
G	Pekerjaan penutup atap	4,5	9,0	0,75	0,56
H	Pekerjaan kusen	4,4	8,8	0,73	0,53
I	Pekerjaan plafond	3,9	7,8	0,65	0,42
J	Pekerjaan pengecatan	2,4	4,8	0,40	0,16
K	Pekerjaan listrik	1,2	2,4	0,20	0,04

Berdasar tabel di atas dapat dihitung nilai $\Sigma V(t_e) = 11,88$, dan nilai standar deviasi $\Sigma(S) = 9,01$.

Langkah berikutnya ialah membuat gambar jaringan kerja dengan menggunakan diagram panah AOA (activity on arrow) dengan memperhatikan waktu optimis (a), waktu yang paling mungkin (m), dan waktu pesimis (b). Gambar jaringan kerja dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Diagram jaringan kerja AOA (activity on arrow)

Berdasarkan gambar jaringan kerja di atas, langkah selanjutnya ialah mengidentifikasi waktu mulai dan waktu selesai tiap kegiatan. Identifikasi menggunakan proses *two-pass*, terdiri atas *forward pass* dan *backward pass* untuk menentukan jadwal waktu tiap kegiatan. ES (*earliest start*) dan EF (*earliest finish*) ditentukan selama *forward pass*. Sedangkan LS (*latest start*) dan LF (*latest finish*) ditentukan selama *backward pass*.

Hasil jadwal aktivitas ES (*earliest start*), EF (*earliest finish*), LS (*latest start*) dan LF (*latest finish*) dapat dilihat pada tabel berikut.

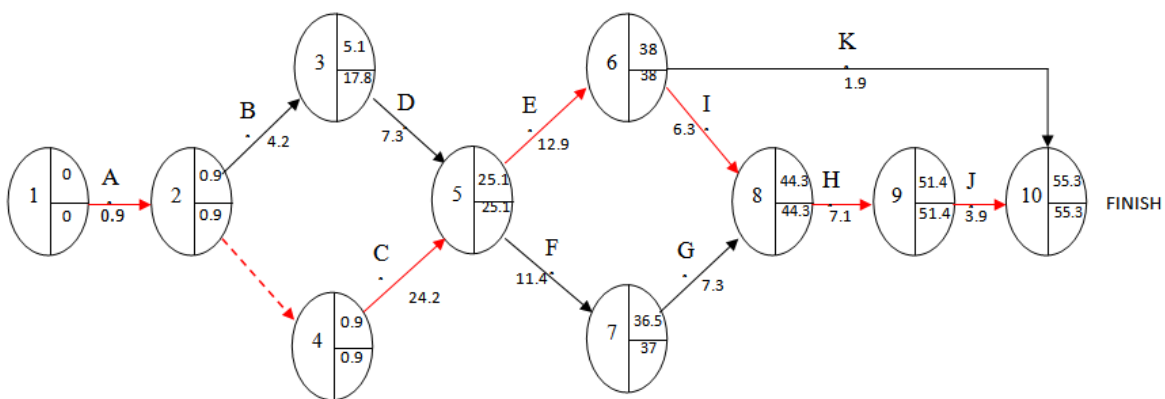
Tabel 6. Jadwal aktivitas

Kode	t _e	ES	EF	LS	LF	Jalur kritis
A	0,9	0	0,9	0	0,9	Ya
B	4,2	0,9	5,1	0,9	17,8	-
C	24,2	0,9	25,1	0,9	25,1	Ya
D	7,3	5,1	25,1	17,8	25,1	-
E	12,9	25,1	38,0	25,1	38,0	Ya
F	11,4	25,1	36,5	25,1	37,0	-

G	7,3	36,5	44,3	37,0	44,3	-
H	7,1	44,3	51,4	44,3	51,4	Ya
I	6,3	38,0	44,3	38,0	44,3	Ya
J	3,9	51,4	55,3	51,4	55,3	Ya
K	1,9	38	55,3	38,0	55,3	-

Berikut adalah hasil perhitungan ES, EF, LS, dan LF yang sudah dijabarkan dalam diagram PERT. Kegiatan kritis pada penelitian ini adalah:

1. Pekerjaan persiapan
2. Pekerjaan beton
3. Pekerjaan plesteran
4. Pekerjaan kusen
5. Pekerjaan plafond
6. Pekerjaan pengecatan



Gambar 4. Diagram PERT

Pada *network diagram* (gambar 4), garis merah menunjukkan lintasan kritis dalam proyek, yaitu kegiatan A, C, E, I, H, J. Gambar di atas juga menunjukkan bahwa penyelesaian proyek (TE) = 0,9 + 24,2 + 12,9 + 6,3 + 7,1 + 3,9 = 55,3 ~ 56 hari. Jika dalam hal ini target yang ingin dicapai adalah kurun waktu yang sudah ditentukan, maka nilai T(d) = 90 hari. Varians dan standar deviasi tiap kegiatan kritis dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 7. Varians dan standar deviasi tiap kegiatan kritis

Kode	Item pekerjaan	S	V (t _e)
A	Pekerjaan persiapan	0,09	0,01
C	Pekerjaan beton	2,50	6,25
E	Pekerjaan plesteran	1,33	1,77
H	Pekerjaan kusen	0,73	0,53
I	Pekerjaan plafond	0,65	0,42
J	Pekerjaan pengecatan	0,40	0,16
ΣV(t _e)		9,14	
Standard deviasi (S)		5,7	

Dari sifat kurva distribusi normal dimana area berada dalam interval (TE - 3S) dan (TE + 3S) maka besar rentang 3S adalah 3 x 5,7 = 17,1. Maka kurun waktu penyelesaian proyek adalah 56 ± 17,1 hari. Perkiraan penyelesaian proyek paling cepat adalah 56 - 17,1 = 48,9 hari ~ 49 hari. Dan perkiraan penyelesaian proyek paling lambat adalah 56 + 17,1 = 73,1 hari ~ 73 hari. Jika dalam hal ini target yang ingin dicapai adalah kurun waktu yang paling cepat, maka nilai T(d) = 49 hari. Selanjutnya dapat digunakan rumus (4) untuk menentukan durasi probabilitas.

$$Z = \frac{T(d) - TE}{S} = \frac{49 - 56}{5,7} = -1,23$$

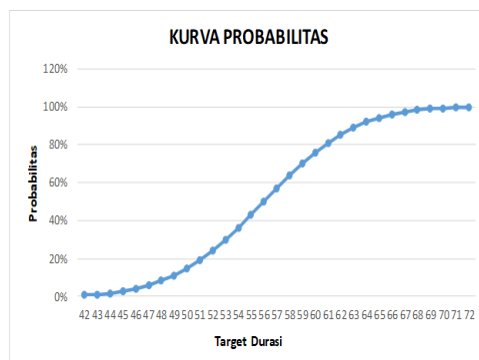
Optimasi Waktu Pelaksanaan Pembangunan Ruang Praktik Siswa
SMK Negeri 1 Duduksampeyan dengan Metode PERT

Dari tabel distribusi normal didapat : $P(Z = -1,23) = 0,1093 \times 100\% = 10,93\%$. Hal ini menunjukkan bahwa kemungkinan proyek untuk selesai dalam jangka waktu 49 hari hanya sekitar 10,93%. Hasil analisis selengkapnya dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 8. Target dan probabilitas penyelesaian proyek tepat waktu

Target penyelesaian	Deviasi z	Distribusi normal kumulatif	Probabilitas
42	-2,46	0,0069	0,69%
43	-2,28	0,0113	1,13%
44	-2,11	0,0174	1,74%
45	-1,93	0,0268	2,68%
46	-1,75	0,0401	4,01%
47	-1,58	0,0571	5,71%
48	-1,40	0,0808	8,08%
49	-1,23	0,1093	10,93%
50	-1,05	0,1469	14,69%
51	-0,88	0,1894	18,94%
52	-0,70	0,2420	24,20%
53	-0,53	0,2981	29,81%
54	-0,35	0,3632	36,32%
55	-0,18	0,4286	42,86%
56	0,00	0,5000	50,00%
57	0,18	0,5714	57,14%
58	0,35	0,6368	63,68%
59	0,53	0,7019	70,19%
60	0,70	0,7580	75,80%
61	0,88	0,8106	81,06%
62	1,05	0,8531	85,31%
63	1,23	0,8907	89,07%
64	1,40	0,9192	91,92%
65	1,58	0,9429	94,29%
66	1,75	0,9599	95,99%
67	1,93	0,9732	97,32%
68	2,11	0,9826	98,26%
69	2,28	0,9887	98,87%
70	2,46	0,9937	99,37%
71	2,63	0,9957	99,57%
72	2,81	0,9975	99,75%

Dari tabel 8 dapat dibuat kurva probabilitas sebagai berikut:



Gambar 5. Kurva probabilitas

Dari hasil analisis di atas dapat diketahui bahwa:

1. Nilai minimum dari total durasi proyek adalah 42 hari.
2. Nilai mean dari total durasi proyek adalah 56 hari.
3. Nilai maksimum dari total durasi proyek adalah 72 hari.

Perhitungan biaya-durasi optimal dengan cara penambahan jam kerja (lembur)

Pelaksanaan pembangunan ruang praktik siswa ini menggunakan jam kerja normal sebesar 9 (sembilan) jam kerja (08.00 s/d 17.00) dan 1 (satu) jam istirahat (12.00 s/d 13.00), sehingga jam kerja efektifnya sebesar 8 jam. Penambahan jam kerja dilakukan setelah berakhirnya jam kerja normal (17.00 s/d 20.00). Menurut keputusan Menteri Tenaga Kerja Nomor KEP.102/MEN/VI/2004 pasal 3, pasal 7, serta pasal 11, dijelaskan standar upah tenaga kerja untuk lembur adalah:

1. Waktu kerja lembur hanya dapat dilakukan maksimal 3 (tiga) jam dalam 1 (satu) hari dan 14 (empat belas) jam dalam 1 (satu) minggu.
2. Waktu kerja lembur tidak termasuk pada waktu istirahat mingguan atau hari libur resmi.
3. Memberikan makanan sekurang-kurangnya 1.400 kalori apabila kerja lembur dilakukan 3 (tiga) jam atau lebih.
4. Untuk kerja lembur pertama dibayar sebesar 1.5 kali upah sejam, sedangkan untuk setiap jam kerja lembur berikutnya harus dibayar sebesar 2 (dua) kali lipat upah sejam.

Contoh perhitungan upah tenaga kerja:

Upah kepala tukang :

Upah per hari = Rp. 120.000,00

Upah per jam = $\frac{120.000}{8} = \text{Rp. } 15.000,00$

Upah lembur (1 jam pertama) = Upah per jam x 1,5 = 15.000,00 x 1,5 = Rp. 22.500,00

Upah lembur (per jam berikutnya) = Upah per jam x 2 = 15.000 x 2 = Rp. 30.000,00

Berikut adalah hasil perhitungan upah tenaga kerja per jam.

Tabel 9. Upah tenaga kerja

No	Tenaga kerja	Upah per hari	Upah per jam
		(Rp)	(Rp)
1	Kepala tukang	120.000,00	15.000,00
2	Tukang	115.000,00	14.375,00
3	Pekerja	100.000,00	12.500,00

Selanjutnya menghitung upah normal dan upah lembur tenaga kerja tiap *item* pekerjaan kritis yang akan dipercepat durasinya. Perhitungan upah normal dan upah lembur menggunakan rumus:

Upah normal = (koefisien tenaga kerja / jumlah tenaga kerja) x upah per hari x volume kegiatan

Upah lembur jam pertama = upah per jam x 1,5

Upah lembur jam kedua = upah per jam x 2

Upah lembur jam ketiga = upah per jam x 2

Tabel 10. Upah normal dan upah lembur tenaga kerja

Kode	Item pekerjaan	Upah normal	Upah lembur	Total upah akibat lembur
		(Rp)	(Rp)	(Rp)
A	Pekerjaan persiapan	310.171,43	62.812,50	372.983,93
C	Pekerjaan beton	23.552.613,92	3.144.375,00	26.696.988,92
E	Pekerjaan plesteran	11.566.232,15	272.812,50	11.839.044,65
H	Pekerjaan kusen	258.661,90	210.000,00	468.661,90
I	Pekerjaan plafond	920.085,71	125.625,00	1.045.710,71
J	Pekerjaan pengecatan	2.616.078,20	125.625,00	2.741.703,20
		39.223.843,32	3.941.250,00	43.165.093,32

Analisis pekerjaan kritis dalam kondisi jam normal dilakukan dengan cara menentukan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan dengan menggunakan koefisien tenaga kerja yang berasal dari analisa harga satuan pekerjaan SNI 2002. Percepatan dilakukan dengan cara merubah koefisien tenaga kerja yang dipengaruhi oleh jam kerja pada saat jam lembur. Dengan demikian dapat diketahui jumlah tenaga kerja lembur yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan proyek sesuai dengan waktu percepatan.

Tabel 11. Alternatif percepatan proyek

Kode	Item yang dipercepat	Durasi setelah dipercepat (hari)	Biaya percepatan (Rp)	Durasi percepatan (hari)	Tambahan biaya (Rp)
A	Pekerjaan persiapan	0,97	269.849,14	0,03	9.305,14
E	Pekerjaan plesteran	12,9	148.703.191,37	0,4	5.127.696,25
H	Pekerjaan kusen	7,1	1.825.290,84	0,2	62.941,06
I	Pekerjaan plafond	6,3	5.781.205,24	0,2	199.351,90
J	Pekerjaan pengecatan	3,9	10.115.502,39	0,1	348.810,43

Dari pertambahan biaya dan percepatan waktu dapat dihitung *cost slope* dengan menggunakan rumus:

$$cost\ slope = (C_c - C_n) / (T_n - T_c)$$

dimana:

C_c = Biaya dipercepat (Rp)

C_n = Biaya normal (Rp)

T_n = Waktu normal (hari)

T_c = Waktu dipercepat (hari)

Contoh perhitungan *cost slope*:

Biaya normal = Rp. 422.066.726,74

Upah kerja lembur = Rp. 3.941.250,00

Total biaya percepatan = biaya normal + upah kerja lembur

$$= \text{Rp. } 422.066.726,74 + \text{Rp. } 3.941.250,00 = \text{Rp. } 426.007.977,00$$

$$Cost\ slope = \frac{426.007.977,00 - 422.066.726,74}{90 - 89} = \text{Rp. } 3.941.250,26 / \text{hari}$$

Maka biaya penyelesaian proyek, setelah mempercepat kegiatan kritis, bisa dihitung dengan rumus:

$$\text{Biaya normal} + cost\ slope = \text{Rp. } 422.066.726,74 + \text{Rp. } 3.941.250,00 = \text{Rp. } 426.007.977,00$$

Tabel 12. Biaya total proyek setelah percepatan kegiatan kritis

Alternatif	Durasi proyek (hari)	Biaya total proyek (Rp)
normal	90	422.066.726,74
1	89	422.263.789,25
2	88	422.274.160,96
3	87	422.285.685,08
4	86	422.298.564,99
5	85	422.313.054,88
6	84	422.329.476,75
7	83	422.348.244,61
8	82	422.369.899,83
9	81	422.395.164,26
10	80	422.425.022,21
11	79	422.460.851,76
12	78	422.504.643,43
13	77	422.559.383,02
14	76	422.629.762,49

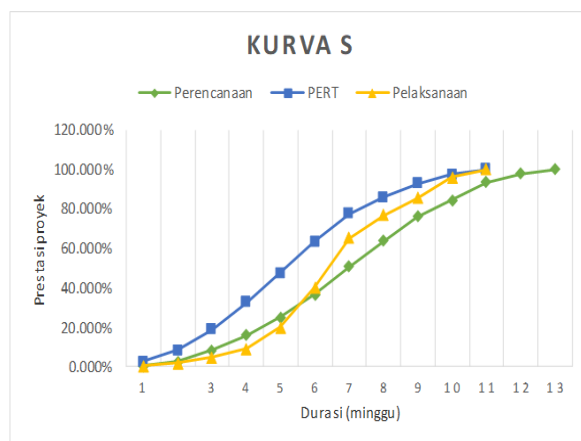
15	75	422.723.601,78
16	74	422.854.976,79
17	73	423.052.039,30
18	72	423.380.476,82
19	71	424.037.351,87
20	70	426.007.977,00

Rencana awal proyek pembangunan dipercepat dari semula 90 hari menjadi 72 hari, sehingga dari tabel di atas diketahui bahwa biaya total proyek menjadi Rp. 423.380.476,82. Biaya total mengalami kenaikan sebesar Rp. 423.380.476,82 - Rp. 422.066.726,74 = Rp. 1.313.750,08.

Tabel 13. Biaya optimal

	Durasi normal	Durasi normal	Selisih
Waktu penyelesaian	90 hari	72 hari	18 hari
Biaya total proyek	Rp. 422.066.726,74	Rp. 423.380.476,82	Rp. 1.313.750,08

Dari hasil percepatan penyelesaian pembangunan ruang praktik siswa SMK Negeri 1 Duduksampeyan diperlukan penambahan biaya sebesar Rp 1.313.750,08.



Gambar 6. Perbandingan kurva S antara pelaksanaan, rencana, dan dipercepat

Kurva S di atas menunjukkan bahwa umur proyek hasil analisis lebih cepat dibanding umur proyek rencana. Dari grafik diatas dapat dilihat pula bahwa kurva S hasil analisis dengan metode PERT (garis berwarna biru) *progressnya* mengalami percepatan dari jadwal rencana, dibuktikan dengan kurva S hasil analisis (berwarna biru) berada di atas kurva S rencana (berwarna hijau). Tetapi jika dibandingkan dengan kurva pelaksanaan (berwarna kuning) pada minggu ke-10 *progressnya* berhasil menyamai jadwal rencana, bahkan selesai pada waktu yang bersamaan.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini adalah:

1. Peluang pencapaian target waktu penyelesaian proyek yang semula 90 hari menjadi 72 hari ialah sebesar 99,75%.
2. Biaya proyek mengalami peningkatan sebesar Rp. 1.313.750,08 akibat percepatan 18 hari.

Referensi

- [1] D. Nugroho, A. A. Saputra, and E. S. J. W. T. Kurdi, "ANALISIS EFISIENSI WAKTU PELAKSANAAN PROYEK PEMBANGUNAN RUMAH DINAS KARYAWAN RS. IBNU SINA GRESIK MENGGUNAKAN METODE CPM," vol. 7, no. 2, 2018.

- [2] D. Nugroho and R. Marleno, "OPTIMASI WAKTU DAN BIAYA PROYEK REVITALISASI PASAR KRATON KOTA TEGAL DENGAN METODE TIME COST TRADE OFF," Untag Surabaya, 2020.
- [3] I. J. J. E. Soeharto, "Manajemen proyek dari konseptual sampai operasional," 1995.
- [4] W. I. J. Y. A. Ervianto, "Teori-aplikasi manajemen proyek konstruksi," 2004.
- [5] N. Sitanggang, J. Simarmata, and P. L. A. Luthan, *Pengantar Konsep Manajemen Proyek untuk Teknik*. Yayasan Kita Menulis, 2019.
- [6] M. Muchson and S. MM, *Statistik Deskriptif*. Spasi Media, 2017.