

Analisis Probabilitas Waktu Penyelesaian Proyek Rehabilitasi Jaringan Irigasi Dusun Tondon dengan Program Evaluation and Review Technique

Julatif Pali¹, Henrianto Masiku², Harni Eirene Tarru³

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jalan Nusantara No. 120, Makale Tana Toraja, 91811, Indonesia

^{2,3} Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jalan Nusantara No. 120, Makale Tana Toraja, 91811, Indonesia

corresponding author : julatifpali@gmail.com

ABSTRAK

Kata Kunci:

PERT
Jalur Kritis
Probabilitas Penyelesaian
Jaringan Irigasi
Penjadwalan Proyek

Keterlambatan merupakan masalah yang sering terjadi pada proyek infrastruktur, termasuk proyek irigasi skala kecil di daerah. Penelitian ini bertujuan menyusun jaringan kerja, menentukan jalur kritis, dan menghitung probabilitas waktu penyelesaian proyek Rehabilitasi Jaringan Irigasi D.I. Dusun Tondon, Kabupaten Toraja Utara, dengan metode Program Evaluation and Review Technique (PERT). Data sekunder berupa rencana anggaran biaya, analisis harga satuan, dan jadwal pelaksanaan kontraktor dengan waktu kontrak 150 hari kalender digunakan untuk menghitung durasi 16 kegiatan berdasarkan volume, koefisien tenaga kerja, dan jumlah pekerja. Durasi paling mungkin (m) dikoreksi pada tiga kegiatan, terutama plesteran $1.061,5 \text{ m}^2$ yang memerlukan 28 hari, bukan 1 hari. Analisis jalur kritis menghasilkan durasi 96 hari dengan jalur kritis A-C-F-G-H-I-J-M-N-P, yang didominasi pasangan batu (52 hari) dan plesteran (28 hari). Dengan rentang waktu optimis dan pesimis ± 1 hari (Skenario 1), waktu harapan proyek adalah 96,8 hari dengan simpangan baku 0,83 hari. Dengan ketidakpastian yang lebih realistis, yaitu $a = 0,8\text{m}$ dan $b = 1,5\text{m}$ (Skenario 2), waktu harapan menjadi 100,8 hari dengan simpangan baku 6,94 hari, sehingga durasi dengan tingkat keyakinan 95% adalah 112 hari. Kedua skenario menunjukkan probabilitas penyelesaian dalam waktu kontrak 150 hari mendekati 100%. Selisih antara 96 hari dan 150 hari terutama disebabkan oleh perbedaan asumsi jumlah pekerja dan keterkaitan antarkegiatan, bukan oleh percepatan dari metode PERT.

Keywords:

PERT
Critical Path
Completion Probability
Irrigation Network
Project Scheduling

ABSTRACT

Delays are a common problem in infrastructure projects, including small-scale irrigation projects in the regions. This study aims to develop the activity network, determine the critical path, and calculate the completion time probability of the Rehabilitation of the Dusun Tondon Irrigation Network project, North Toraja Regency, using the Program Evaluation and Review Technique (PERT). Secondary data consisting of the bill of quantities, unit price analysis, and the contractor's schedule with a contract period of 150 calendar days were used to calculate the duration of 16 activities based on work volume, labor coefficient, and crew size. The most likely duration (m) was corrected for three activities, notably the $1,061.5 \text{ m}^2$ plastering, which requires 28 days instead of 1 day. The critical path analysis yielded a duration of 96 days with the critical path A-C-F-G-H-I-J-M-N-P, dominated by stone masonry (52 days) and plastering (28 days). With optimistic and pessimistic ranges of ± 1 day (Scenario 1), the expected project duration was 96.8 days with a standard deviation of 0.83 days. With a more realistic uncertainty of $a = 0.8\text{m}$ and $b = 1.5\text{m}$ (Scenario 2), the expected duration became 100.8 days with a standard deviation of 6.94 days, so the duration at a 95% confidence level is 112 days. Both scenarios show a probability of completion within the 150-day contract period close to 100%. The difference between 96 days and 150 days is mainly caused by different assumptions of crew size and activity relationships, not by an acceleration resulting from the PERT method.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](#) license.



I. Pendahuluan

Proyek konstruksi bersifat unik dan sementara, dengan waktu mulai dan selesai yang telah ditetapkan, sehingga memerlukan perencanaan dan pengendalian waktu, biaya, dan sumber daya yang cermat [1]. Suatu proyek dinilai berhasil apabila tepat biaya, tepat mutu, dan tepat waktu, dan keterlambatan umumnya terjadi apabila perencanaan dan pengendalian jadwal tidak dilakukan dengan baik [1].

Program Evaluation and Review Technique (PERT) dikembangkan untuk menjadwalkan proyek yang durasi kegiatannya tidak pasti, dengan menggunakan tiga perkiraan waktu, yaitu waktu optimis (a), waktu paling mungkin (m), dan waktu pesimis (b) [2]. Dari ketiga perkiraan tersebut dihitung waktu harapan dan varians setiap kegiatan, lalu probabilitas penyelesaian proyek pada target waktu tertentu dengan pendekatan distribusi normal [1], [3]. PERT digunakan secara luas untuk analisis risiko waktu pada proyek konstruksi [4], [5], meskipun pendekatan analitisnya cenderung meremehkan durasi proyek apabila terdapat beberapa jalur yang hampir kritis [3].

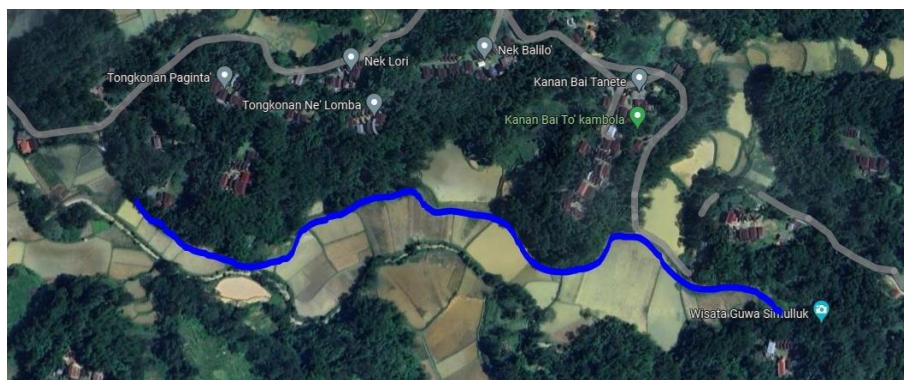
Di Indonesia, PERT telah diterapkan pada berbagai proyek, antara lain pembangunan gedung [6], [7] dan saluran drainase [8]. Namun, banyak penerapan menggunakan rentang waktu optimis dan pesimis yang ditetapkan secara sempit tanpa dasar data, sehingga probabilitas yang dihasilkan tampak sangat tinggi. Selain itu, durasi kegiatan yang dihitung dari koefisien tenaga kerja sering dibandingkan langsung dengan jadwal kontrak yang disusun dengan asumsi sumber daya yang berbeda.

Proyek Rehabilitasi Jaringan Irigasi D.I. Dusun Tondon di Kabupaten Toraja Utara merupakan proyek tahun anggaran 2024 dengan waktu pelaksanaan 150 hari kalender. Penelitian ini bertujuan: (1) menghitung durasi kegiatan dari volume pekerjaan dan koefisien tenaga kerja; (2) menyusun jaringan kerja dan menentukan jalur kritis; (3) menghitung waktu harapan dan probabilitas penyelesaian proyek dengan PERT pada dua skenario ketidakpastian; dan (4) membandingkan hasilnya dengan jadwal kontrak.

II. Metode Penelitian

A. Lokasi dan Data Proyek

Lokasi penelitian adalah jaringan irigasi di Dusun Tondon, Kelurahan Tondon Matallo, Kabupaten Toraja Utara (Gambar 1 dan Gambar 2). Proyek dilaksanakan oleh CV Aengdarah 153 dengan nilai kontrak Rp736.011.800 termasuk PPN, yang terdiri atas pekerjaan persiapan (Rp19,94 juta), rehabilitasi bendung (Rp0,48 juta), dan pekerjaan saluran (Rp642,65 juta) sebelum PPN. Data yang digunakan adalah data sekunder dari kontraktor, yaitu rencana anggaran biaya, analisis harga satuan, gambar rencana, dan jadwal pelaksanaan (time schedule) 150 hari kalender.



Gambar 1. Lokasi Jaringan Irigasi D.I. Dusun Tondon, Kabupaten Toraja Utara



Gambar 2. Kondisi Lapangan: (a) Bangunan Bendung; (b) Pengukuran Saluran; (c) Saluran Tanah yang Direhabilitasi

B. Durasi Kegiatan dan Jaringan Kerja

Pekerjaan diuraikan menjadi 16 kegiatan (A–P) melalui work breakdown structure, yang terdiri atas pekerjaan persiapan, rehabilitasi bendung, dan pekerjaan saluran. Durasi kegiatan dihitung dari volume pekerjaan (V), koefisien tenaga kerja pekerja (k, OH per satuan) berdasarkan analisis harga satuan [9], dan jumlah pekerja yang ditetapkan (n):

$$D = (V \times k) / n \quad (1)$$

dengan hasil dibulatkan ke atas menjadi hari kerja penuh. Hubungan ketergantungan antarkegiatan disusun berdasarkan urutan pelaksanaan pada jadwal kontraktor dengan hubungan selesai–mulai, lalu dianalisis dengan metode jalur kritis (critical path method) melalui hitungan maju dan hitungan mundur untuk memperoleh waktu mulai dan selesai paling awal (ES, EF), paling lambat (LS, LF), dan kelonggaran waktu (float) setiap kegiatan [1].

C. Analisis PERT

Waktu harapan (t_e), simpangan baku (σ), dan varians (σ^2) setiap kegiatan dihitung dengan [1], [2]:

$$t_e = (a + 4m + b) / 6 \quad \sigma = (b - a) / 6 \quad (2)$$

Waktu harapan proyek (T_E) adalah jumlah t_e pada jalur kritis, dan varians proyek adalah jumlah varians kegiatan kritis, sehingga simpangan baku proyek adalah akar dari jumlah varians, bukan jumlah simpangan baku. Probabilitas proyek selesai dalam target waktu T_d dihitung dengan:

$$Z = (T_d - T_E) / \sqrt{(\sum \sigma^2_{\text{kritis}})} \quad P(T \leq T_d) = \Phi(Z) \quad (3)$$

Waktu paling mungkin (m) adalah durasi hasil Persamaan (1). Waktu optimis dan pesimis dianalisis dalam dua skenario. Skenario 1 menggunakan $a = m - 1$ dan $b = m + 1$ hari (untuk $m = 1$, $a = 1$ dan $b = 2$), sesuai asumsi awal penelitian. Skenario 2 menggunakan $a = 0,8m$ dan $b = 1,5m$ untuk menggambarkan ketidakpastian yang lebih realistis dan condong ke arah keterlambatan. Hasil analisis analitis Skenario 2 diperiksa dengan simulasi Monte Carlo 100.000 iterasi menggunakan distribusi beta-PERT pada seluruh jaringan [3].

III. Hasil dan Pembahasan

A. Durasi Kegiatan

Hasil perhitungan durasi kegiatan disajikan pada Tabel 1. Sebagian besar kegiatan persiapan bersifat lumpsum dengan durasi 1 hari, kecuali penerapan SMKK selama 3 hari. Durasi tiga kegiatan dikoreksi dari perhitungan awal. Plesteran seluas 1.061,5 m² dengan koefisien 0,130 OH/m² dan 5 pekerja memerlukan 1.061,5 $\times$ 0,130 / 5 = 27,6 hari atau 28 hari, bukan 1 hari. Galian tanah sedimen saluran memerlukan 78,73 $\times$ 0,75 / 10 = 5,9 hari atau 6 hari, dan beton f'c 15 MPa memerlukan 51,05 $\times$ 1,65 / 5 = 16,8 hari atau 17 hari.

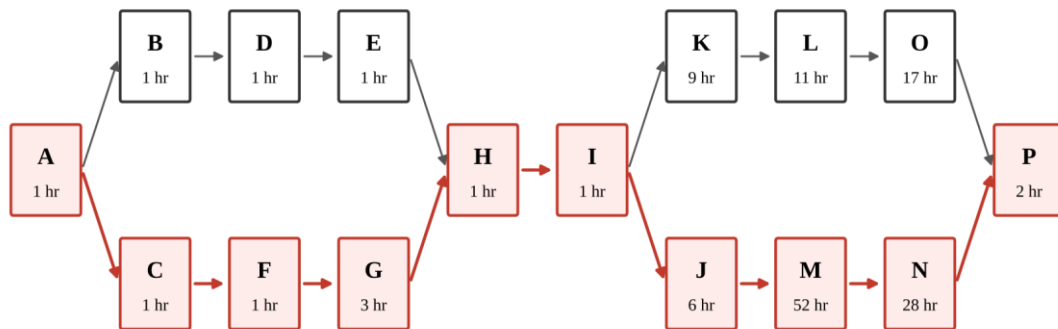
Tabel 1. Volume, Koefisien Tenaga Kerja, Jumlah Pekerja, dan Durasi Kegiatan

Kode	Kegiatan	Volume	k pekerja (OH)	n (orang)	Durasi awal → koreksi (hari)
A	Mobilisasi dan demobilisasi	1 ls	0,50	2	1
B	Sewa direksi keet	1 ls	0,50	5	1
C	Papan nama proyek	1 ls	0,75	2	1
D	Pengukuran kembali (uitzet, MC-0%–MC-100%)	1 ls	–	3	1
E	As built drawing	1 ls	–	3	1
F	Dokumentasi	1 ls	–	1	1
G	Penerapan SMKK	1 ls	0,30	1	3
H	Galian sedimen bendung	2,16 m ³	0,75	5	1
I	Pelumasan pintu air	2 bh	0,10	4	1
J	Galian tanah sedimen saluran	78,73 m ³	0,75	10	7 → 6
K	Galian tanah biasa saluran	115,74 m ³	0,75	10	9
L	Pembongkaran pasangan batu	77,42 m ³	1,40	10	11
M	Pasangan batu mortar 1PC:4PP	258,28 m ³	1,00	5	52
N	Plesteran 15 mm, 1PC:3PP	1.061,50 m ²	0,13	5	1 → 28
O	Beton f'c 15 MPa	51,05 m ³	1,65	5	18 → 17
P	Pintu air No. 13	3 unit	0,84	2	2

Pasangan batu dengan volume 258,28 m³ merupakan kegiatan terpanjang (52 hari) dan juga kegiatan dengan bobot biaya terbesar (61,1%), diikuti beton (14,1%) dan plesteran (14,0%). Ketiga kegiatan tersebut mencakup lebih dari 89% nilai pekerjaan, sehingga ketepatan durasinya menentukan ketepatan jadwal proyek.

B. Jaringan Kerja dan Jalur Kritis

Jaringan kerja dan hasil hitungan maju dan mundur ditunjukkan pada Gambar 3 dan Tabel 2. Jalur kritis adalah A–C–F–G–H–I–J–M–N–P dengan durasi 96 hari. Rangkaian galian tanah biasa, pembongkaran pasangan batu, dan beton (K–L–O) memiliki kelonggaran 49 hari, sedangkan rangkaian sewa direksi keet, pengukuran, dan as built drawing (B–D–E) memiliki kelonggaran 2 hari. Dengan durasi plesteran yang belum dikoreksi (1 hari), jalur kritis yang sama hanya menghasilkan 70 hari, sehingga koreksi durasi plesteran menambah 26 hari pada durasi proyek.



Gambar 3. Jaringan Kerja Activity on Node dengan Durasi Paling Mungkin; Jalur Kritis Ditandai Warna Merah

Tabel 2. Hasil Hitungan Maju dan Mundur Jaringan Kerja (Durasi Terkoreksi, Hari; * Kegiatan Kritis)

Kode	Pendahulu	Durasi	ES	EF	LS	LF	Float
A	–	1	0	1	0	1	0*
B	A	1	1	2	3	4	2
C	A	1	1	2	1	2	0*
D	B	1	2	3	4	5	2
E	D	1	3	4	5	6	2
F	C	1	2	3	2	3	0*
G	F	3	3	6	3	6	0*
H	E, G	1	6	7	6	7	0*
I	H	1	7	8	7	8	0*
J	I	6	8	14	8	14	0*
K	I	9	8	17	57	66	49
L	K	11	17	28	66	77	49
M	J	52	14	66	14	66	0*
N	M	28	66	94	66	94	0*
O	L	17	28	45	77	94	49
P	N, O	2	94	96	94	96	0*

C. Waktu Harapan dan Probabilitas Penyelesaian

Hasil perhitungan PERT pada kedua skenario disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Pada Skenario 1, rentang a–b yang hanya ± 1 hari menghasilkan simpangan baku 0,333 hari untuk kegiatan berdurasi lebih dari 1 hari dan 0,167 hari untuk kegiatan berdurasi 1 hari. Waktu harapan proyek adalah 96,83 hari dengan varians 0,694 hari² dan simpangan baku 0,83 hari. Probabilitas selesai dalam 96 hari hanya 15,9%, tetapi meningkat menjadi 91,9% dalam 98 hari, dan durasi dengan tingkat keyakinan 95% adalah 98,2 hari.

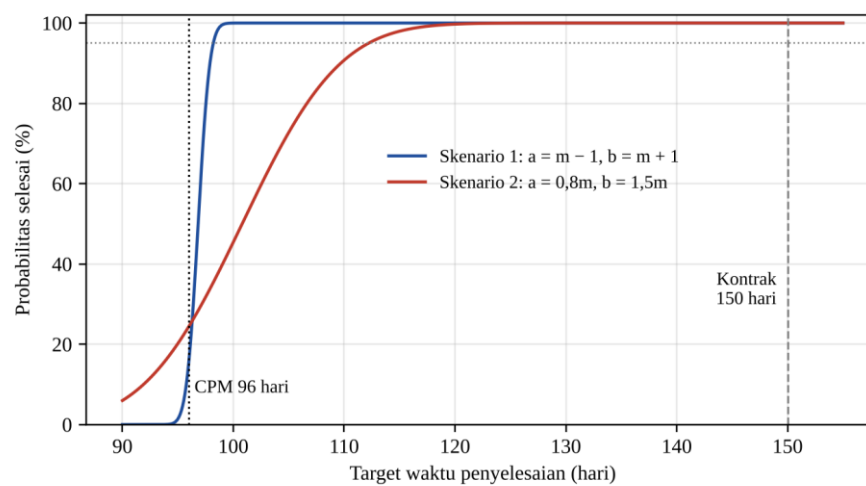
Tabel 3. Perhitungan PERT Kegiatan pada Jalur Kritis

Kode	a_i	m	b_i	t_e Skenario 1	σ Skenario 1	t_e Skenario 2	σ Skenario 2
A, C, F, H, I	1	1	2	1,167	0,167	1,05	0,117
G	2	3	4	3,000	0,333	3,15	0,350
J	5	6	7	6,000	0,333	6,30	0,700
M	51	52	53	52,000	0,333	54,60	6,067
N	27	28	29	28,000	0,333	29,40	3,267
P	1	2	3	2,000	0,333	2,10	0,233
Jumlah jalur kritis				96,83	$\sqrt{0,694} = 0,833$	100,80	$\sqrt{48,21} = 6,943$

Rentang ± 1 hari tersebut sangat sempit untuk kegiatan seperti pasangan batu selama 52 hari, karena berarti keterlambatan paling buruk hanya 2%. Pada Skenario 2, simpangan baku pasangan batu menjadi 6,07 hari dan plesteran 3,27 hari, sehingga simpangan baku proyek menjadi 6,94 hari dan waktu harapan 100,8 hari. Probabilitas selesai dalam 100 hari adalah 45,4%, dalam 110 hari 90,7%, dan durasi dengan tingkat keyakinan 95% adalah 112,2 hari (Gambar 4). Simulasi Monte Carlo menghasilkan rata-rata 100,8 hari dan persentil ke-95 sebesar 114,1 hari, sedikit lebih panjang daripada hasil analitis karena distribusi beta yang condong ke kanan, tetapi tetap konsisten.

Tabel 4. Waktu Harapan dan Probabilitas Penyelesaian Proyek pada Dua Skenario

Parameter	Skenario 1 (± 1 hari)	Skenario 2 (0,8m–1,5m)	Monte Carlo Skenario 2
Waktu harapan T_e (hari)	96,83	100,80	100,79
Simpangan baku (hari)	0,83	6,94	7,56
$P(T \leq 96 \text{ hari})$	15,9%	24,5%	–
$P(T \leq 100 \text{ hari})$	100,0%	45,4%	–
$P(T \leq 110 \text{ hari})$	100,0%	90,7%	–
Durasi keyakinan 95% (hari)	98,2	112,2	114,1
Z untuk 150 hari; $P(T \leq 150)$	63,8; $\approx 100\%$	7,1; $\approx 100\%$	$\approx 100\%$



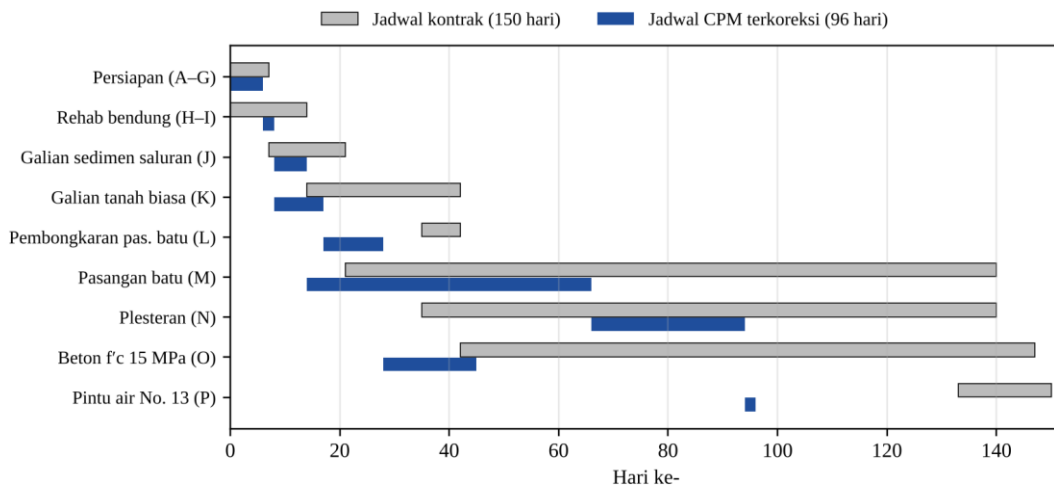
Gambar 4. Kurva Probabilitas Kumulatif Waktu Penyelesaian Proyek pada Dua Skenario Ketidakpastian

Pada kedua skenario, nilai Z untuk waktu kontrak 150 hari sangat besar (63,8 dan 7,1), sehingga probabilitas proyek selesai dalam waktu kontrak mendekati 100%. Hasil ini perlu dibaca dengan hati-hati karena probabilitas tersebut hanya mencerminkan ketidakpastian durasi kegiatan pada jaringan yang diasumsikan, dan tidak memperhitungkan gangguan eksternal seperti cuaca, banjir saluran, ketersediaan material, dan kesiapan lahan.

D. Perbandingan dengan Jadwal Kontrak

Perbandingan jadwal CPM terkoreksi dengan jadwal kontrak ditunjukkan pada Gambar 5. Pada jadwal kontrak, pasangan batu dilaksanakan selama 17 minggu (minggu ke-4 sampai ke-20), plesteran 15 minggu, dan beton 15 minggu secara tumpang tindih. Dengan koefisien $1,0 \text{ OH/m}^3$, pelaksanaan pasangan batu selama ± 119

hari setara dengan sekitar 2–3 pekerja per hari, sedangkan perhitungan Persamaan (1) mengasumsikan 5 pekerja. Dengan demikian, selisih antara 96 hari dan 150 hari terutama berasal dari perbedaan asumsi jumlah pekerja, bukan dari penerapan metode PERT itu sendiri.



Gambar 5. Perbandingan Jadwal Kontrak 150 Hari dan Jadwal CPM Terkoreksi 96 Hari untuk Kelompok Pekerjaan Utama

Durasi proyek juga dapat dipersingkat dengan mengatur keterkaitan antarkegiatan. Apabila plesteran dimulai bertahap pada ruas saluran yang pemasangan batunya telah selesai, misalnya dengan selang mulai 7 hari dan selang selesai 7 hari terhadap pemasangan batu, durasi proyek menjadi sekitar 75 hari dengan jumlah pekerja yang sama. Di sisi lain, urutan kegiatan persiapan seperti as built drawing dan dokumentasi yang ditempatkan sebelum galian pada jaringan kerja tidak mencerminkan pelaksanaan sebenarnya, karena kedua kegiatan tersebut berlangsung sepanjang dan pada akhir proyek. Karena durasinya hanya 1 hari dan berada pada jalur dengan kelonggaran, penyesuaian urutan tersebut tidak mengubah durasi proyek.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Waktu optimis dan pesimis tidak diperoleh dari data historis atau penilaian ahli, durasi kegiatan bergantung pada asumsi jumlah pekerja, dan seluruh hubungan antarkegiatan diasumsikan selesai-mulai. Penelitian lanjutan disarankan menetapkan a, m, dan b berdasarkan data realisasi proyek sejenis atau wawancara dengan pelaksana, menggunakan hubungan tumpang tindih yang sesuai dengan metode kerja, serta membandingkan jadwal rencana dengan realisasi pelaksanaan proyek.

IV. Kesimpulan

Durasi kegiatan proyek Rehabilitasi Jaringan Irigasi D.I. Dusun Tondon yang dihitung dari volume, koefisien tenaga kerja, dan jumlah pekerja menghasilkan jalur kritis A–C–F–G–H–I–J–M–N–P dengan durasi 96 hari. Pemasangan batu (52 hari) dan plesteran (28 hari) merupakan kegiatan kritis yang paling menentukan, sedangkan rangkaian K–L–O memiliki kelonggaran 49 hari.

Dengan rentang waktu optimis dan pesimis ± 1 hari, waktu harapan proyek adalah 96,8 hari dengan simpangan baku 0,83 hari. Dengan ketidakpastian yang lebih realistis ($a = 0,8m$; $b = 1,5m$), waktu harapan menjadi 100,8 hari dengan simpangan baku 6,94 hari, dan durasi dengan tingkat keyakinan 95% adalah 112 hari. Probabilitas proyek selesai dalam waktu kontrak 150 hari mendekati 100% pada kedua skenario.

Selisih antara durasi analisis dan waktu kontrak terutama disebabkan oleh perbedaan asumsi jumlah pekerja dan keterkaitan antarkegiatan. Waktu 96–112 hari dapat menjadi acuan percepatan apabila jumlah pekerja pada pemasangan batu dan plesteran disediakan sesuai asumsi, dan durasi dapat dipersingkat lebih lanjut dengan pelaksanaan plesteran yang tumpang tindih dengan pemasangan batu.

Daftar Pustaka

- [1] I. Soeharto, *Manajemen Proyek: Dari Konseptual sampai Operasional*, ed. ke-2. Jakarta, Indonesia: Erlangga, 1995.
- [2] D. G. Malcolm, J. H. Roseboom, C. E. Clark, dan W. Fazar, "Application of a technique for research and development program evaluation," *Operations Research*, vol. 7, no. 5, pp. 646–669, 1959.
- [3] M. Lu dan S. M. AbouRizk, "Simplified CPM/PERT simulation model," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 126, no. 3, pp. 219–226, 2000.

-
- [4] M. Liu, "Program evaluation and review technique (PERT) in construction risk analysis," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 357–360, pp. 2334–2337, 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.357-360.2334.
 - [5] R. F. Aziz, "RPert: Repetitive-projects evaluation and review technique," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 53, no. 1, pp. 81–93, 2014, doi: 10.1016/j.aej.2013.08.003.
 - [6] A. F. Rozy dan O. R. G. Waibo, "Manajemen waktu, biaya, dan SDM proyek konstruksi pada pembangunan gedung ruang kuliah FIA Universitas Brawijaya Malang dengan menggunakan metode PERT dan PDM," *Media Teknik Sipil*, vol. 12, no. 1, pp. 10–19, 2014.
 - [7] L. Lestari, A. Suseno, dan G. C. Sunakalis, "Penerapan metode project evaluation and review technique (PERT) dan critical path method (CPM) terhadap pembangunan gedung," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 6, no. 1, pp. 880–888, 2022.
 - [8] D. M. Julian, S. Sutrisno, dan A. A. Basri, "Penerapan metode CPM dan PERT pada proyek pembangunan drainase di Perum Cengkong guna mempercepat waktu penyelesaian (studi kasus: CV XYZ)," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 8, no. 1, 2023.
 - [9] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Peraturan Menteri PUPR Nomor 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*. Jakarta, Indonesia: Kementerian PUPR, 2022.