

Perbandingan Biaya dan Waktu Pembangunan Jembatan Menggunakan Box Culvert dengan Balok Girder di Karanganyar Kabupaten Gresik

Rio Rahma Dhana*, Rasio Hapiyanto, Nico Firmansyah

Universitas Islam Lamongan, Lamongan-62211

ARTICLE INFO

Kata Kunci:
perbandingan; box culvert; balok girder; PERT, Crashing Project.

***Correspondence email:**
riorahma@unisla.ac.id

Submitted: 05 Agustus 2025

Revised: 30 Agustus 2025

Accepted: 06 Januari 2026

Published: 01 Februari 2026

ABSTRAK

Jembatan merupakan struktur bangunan yang berfungsi untuk mengakses jalur atau lintasan transportasi yang terpisah oleh keberadaan Sungai. Penelitian ini menganalisis perbandingan efisiensi biaya dan waktu pembangunan jembatan di Karanganyar Kabupaten Gresik, dengan menggunakan dua alternatif struktur, yaitu box culvert dan balok girder. Metode yang diterapkan adalah *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) untuk estimasi durasi serta *Crashing Project* untuk percepatan waktu dengan mempertimbangkan tambahan biaya lembur. Data penelitian diperoleh melalui survei lapangan, wawancara kontraktor, serta dokumen proyek berupa RAB dan jadwal pelaksanaan. Hasil analisis menunjukkan bahwa durasi normal konstruksi dengan box culvert adalah 119 hari, sedangkan dengan balok girder 118 hari. Melalui penerapan metode *crashing*, box culvert dapat dipercepat menjadi 106 hari (lembur 1 jam), 95 hari (lembur 2 jam), dan 82 hari (lembur 3 jam) dengan tambahan biaya Rp709.091.569,18 hingga Rp755.596.130,01. Sementara itu, balok girder dapat dipercepat menjadi 104 hari, 94 hari, dan 89 hari dengan tambahan biaya Rp1.109.586.454,03 hingga Rp1.158.716.492,98. Perbedaan biaya antara kedua alternatif mencapai lebih dari Rp400 juta, sedangkan selisih waktu hanya 1 hari. Dengan demikian, box culvert dinilai lebih ekonomis untuk kondisi proyek ini, meskipun balok girder memberikan fleksibilitas percepatan waktu yang relatif sebanding.

ABSTRACT

Keywords:
comparison; box culvert; girder beam; PERT, Crashing Project.

Bridges are vital infrastructures that connect transportation routes separated by rivers or other physical barriers. This study analyzes the comparison of cost and time efficiency in the construction of the Karanganyar Bridge, Gresik Regency, using two structural alternatives: box culvert and girder beam. The research applied the Program Evaluation and Review Technique (PERT) to estimate project duration and the Crashing Project method to accelerate schedules by considering additional overtime costs. Data were collected through field surveys, contractor interviews, and project documents such as the bill of quantities and time schedule. The analysis shows that the normal duration of construction using a box culvert is 119 days, while using a girder beam is 118 days. With the crashing approach, the box culvert can be accelerated to 106 days (1-hour overtime), 95 days (2-hour overtime), and 82 days (3-hour overtime), with additional costs ranging from IDR 709,091,569.18 to IDR 755,596,130.01. Meanwhile, the girder beam option can be accelerated to 104 days, 94 days, and 89 days, with additional costs between IDR 1,109,586,454.03 and IDR 1,158,716,492.98. The cost difference between both alternatives exceeds IDR 400 million, while the time difference is only 1 day. Therefore, the box culvert is considered more economical for this project, even though the girder beam provides relatively comparable flexibility in schedule acceleration.

PENDAHULUAN

Hingga saat ini perkembangan ekonomi suatu daerah dapat dipengaruhi oleh sarana transportasinya, Pemerintah Kabupaten Gresik melalui Dinas Pekerjaan Umum melakukan pembangunan jembatan karanganyar di Desa kalipadang Kecamatan Benjeng. Untuk jembatan dengan bentang pendek dan elevasi yang rendah, struktur box culvert merupakan pilihan yang sesuai Penggunaan struktur box culvert (Nurdiana et al., 2021). Box culvert merupakan gorong-gorong berbentuk persegi yang dibuat dari beton bertulang, dengan penulangan menggunakan wiremesh untuk meningkatkan kekuatan terhadap beban, sehingga bagian atasnya dapat dilalu (Permadi & Huda, 2018).

Dalam proyek konstruksi, pengendalian proyek merupakan salah satu aspek manajerial yang sangat penting. Pengelolaan proyek yang kurang efektif dapat menyebabkan penyimpangan terhadap rencana awal, khususnya dalam hal biaya dan waktu pelaksanaan (Rini, 2017). Untuk menilai kinerja proyek secara objektif, diperlukan proses pengawasan, evaluasi, serta pengendalian terhadap waktu dan biaya. (Sari et al., 2025) Metode percepatan (*crashing*)

dapat dilakukan sebagai antisipasi terhadap keterlambatan proyek yang dapat terjadi. Biaya adalah faktor yang harus diperhatikan dalam melakukan percepatan (*crashing*) (Apriliani & Cahyono, 2023)

Jembatan merupakan sebuah bangunan struktural yang berfungsi untuk mengalirkan pergerakan orang maupun kendaraan di atas dua wilayah atau area yang dipisahkan sungai, jurang, lembah, atau rintangan fisik lainnya. (Manalip & Dwi Handono, 2018)

Struktur box culvert sendiri memiliki pengertian yakni merupakan material beton yang banyak digunakan untuk keperluan saluran air dengan bentuk seperti box atau segi empat. Penggunaan struktur box culvert dinilai mampu mengurangi terjadinya efek gerusan lokal (*local scouring*) yang dapat didefinisikan sebagai penurunan tiba-tiba elevasi dasar di dekat pilar karena erosi dari material yang terjadi akibat kecepatan aliran dan sedimen. (Fajri Romdani et al., 2022)

Box Culvert beton, yang juga dikenal sebagai Culvert Box, merupakan struktur beton yang dapat dibuat secara *precast* (dicetak di pabrik) atau *dicor* langsung di lokasi. Ukurannya disesuaikan dengan debit air yang akan dialirkan melalui saluran tersebut. Box Culvert *precast* bisa berbentuk utuh dengan profil lingkaran, persegi, atau trapesium, maupun terdiri dari bagian modular yang terpisah antara bagian atas dan bawah. Konstruksi beton pada Box Culvert memiliki keunggulan dari sisi ketahanan terhadap korosi dan daya dukung beban. (Ahmadi & Puluhulawa, 2020) Box Culvert sering disebut dengan goronggorong beton yang digunakan untuk konstruksi saluran air dan merupakan salah satu jenis beton *pracetak* yang sudah ditentukan ukurannya, berbentuk persegi atau kotak, bahkan ada yang berbentuk trapesium. (Rangan & Matana, 2021)

Balok girder merupakan elemen balok yang menghubungkan dua penyangga pada jembatan, yang bisa berupa pier maupun *abutment*. Secara umum, girder menggunakan balok baja berprofil tertentu, namun juga bisa berbentuk box (*box girder*) atau memiliki bentuk lainnya. Berdasarkan bahan pembuatnya, girder bisa dikategorikan sebagai girder beton dan girder baja. Sementara itu, jika ditinjau dari metode perancangannya, girder dibedakan menjadi girder *pracetak* (*precast*) dan girder yang *dicor* di tempat (*on site*) (Gandaria, 2016).

Manajemen proyek merupakan ilmu dan kemampuan dalam mengelola proses pemanfaatan sumber daya manusia serta sumber daya lainnya guna mencapai tujuan secara tepat waktu, yang mencakup rangkaian kegiatan yang memiliki awal dan akhir, serta dirancang secara sistematis sejak pekerjaan dimulai hingga proyek selesai, dengan waktu dan sumber daya manusia yang telah ditentukan sebelumnya. (Indriani et al., 2023). Manajemen proyek memiliki tiga tujuan utama ketika melaksanakan proyek konstruksi diantaranya biaya, kualitas, dan waktu. Jika suatu proyek dapat diselesaikan dengan tingkat kualitas atau kualitas yang telah ditentukan sebelumnya, maka proyek tersebut telah berhasil dalam pengelolannya. Teknik persiapan dan perencanaan sangat penting untuk mengawasi pelaksanaan proyek agar bisa dilaksanakan dengan sukses. (Jazuli & Dhana, 2024). Salah satu penyebab utama ketidaksesuaian biaya dan waktu adalah kurang efektifnya perencanaan dan pengendalian selama pelaksanaan proyek. Faktor-faktor seperti perubahan desain, kondisi lapangan yang tidak sesuai dengan perencanaan awal, keterlambatan pasokan material, dan masalah koordinasi antar tim dapat menyebabkan terjadinya deviasi biaya dan waktu yang signifikan. (Hapiyanto et al., 2025)

Crashing merupakan proses percepatan waktu penyelesaian proyek dengan sistematis dan analitis melalui pengujian dari semua kegiatan dalam proyek, tetapi difokuskan pada kegiatan yang berada di jalur kritis. Proses *crashing* dilakukan melalui perkiraan dari variabel biaya dalam menentukan pengurangan durasi yang paling maksimal dan ekonomis dari suatu kegiatan yang masih mungkin dipercepat untuk menganalisis lebih lanjut hubungan antara biaya dengan waktu suatu kegiatan. (Iluk et al., 2020)

Menurut Soetomo Kajatmo (1977) dalam (Oetomo et al., 2017), *Network Planning* merupakan salah satu alat manajemen yang memiliki jangkauan luas dan dapat dimanfaatkan secara lebih efisien. Dalam menganalisis suatu proyek, terdapat tahapan-tahapan penting yang meliputi perencanaan, penjadwalan, serta pengendalian terhadap pelaksanaan seluruh kegiatan. Pada tahap perencanaan, perlu dilakukan identifikasi yang jelas terhadap masing-masing jenis kegiatan yang terlibat dalam proyek. Selain itu, diperlukan juga estimasi durasi waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap aktivitas, serta penentuan keterkaitan antar kegiatan, apakah suatu kegiatan harus dilakukan terlebih dahulu, dilakukan bersamaan, atau setelah kegiatan lain. Jika ketiga elemen tersebut telah dipenuhi, maka model jaringan kerja (*network*) yang sesuai dapat digunakan untuk menganalisis jadwal pelaksanaan seluruh aktivitas proyek.

PERT adalah suatu metode analisis yang dirancang untuk membantu dalam penjadwalan dan pengendalian proyek-proyek yang kompleks, yang menuntut bahwa masalah utama yang dibahas yaitu masalah teknik untuk menentukan jadwal kegiatan beserta anggaran biayanya sehingga dapat diselesaikan secara tepat waktu dan biaya (Widowati et al., 2024). Penjadwalan proyek dengan metode PERT, dimulai dengan mengestimasi waktu penyelesaian setiap item kegiatan proyek kedalam 3 jenis estimasi waktu yaitu waktu optimis (a), waktu yang paling mungkin (m) dan waktu pesimis (b). (Gunasti et al., 2019)

METODE

Metode penelitian adalah sebuah pengumpulan data yang di gunakan untuk penelitian. Dalam penelitian ini data menggunakan metode *Pert* (*Program Evaluation Review Technique*) dan *Crashing Project* di lengkapi dengan metode

pelaksanaan proyek. Tujuan dari penelitian ini untuk membandingkan hasil perhitungan biaya dan awkatu dengan metode box culvert metode balok girder.

Proyek Pembangunan Jembatan karangan Kidul Desa Kalipadang Kecamatan Benjeng Kabupaten Gresik. Objek Penelitian Untuk mengetahui tingkat efisiensi estimasi biaya dan waktu menggunakan metode crashing project pelaksanaan pembangunan jembatan menggunakan box culvert dan jembatan girder. Mengetahui perbandingan metode pelaksanaan pembangunan jembatan menggunakan box culvert dan jembatan girder.



Gambar 1. Lokasi jembatan karangan kidul

Sumber : Google Earth

Dalam penelitian ini pengambilan data yang digunakan dengan cara survey lapangan dan wawancara kepada pihak kontraktor proyek. Data yang sudah di dapatkan kemudian di analisis dan di teliti secara detail.

Data primer dalam penelitian ini diperoleh secara langsung melalui studi lapangan, yaitu dengan melakukan pengamatan pada proyek Jembatan Karang Kidul dan wawancara dengan pihak kontraktor terkait proyek tersebut. Sedangkan data sekunder merupakan data atau informasi yang diperoleh dari studi literatur dan telah diproses sebelumnya. Data sekunder digunakan sebagai landasan teori penelitian dan diperoleh dari sumber yang dapat dipercaya, seperti jurnal, buku, e-book, majalah, atau sumber lain. Dalam penelitian ini data sekunder yang digunakan meliputi Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan *time schedule* proyek Jembatan Karang Kidul yang terletak di Desa Kalipadang, Kecamatan Benjeng, Kabupaten Gresik.

Analisa Data

Setelah informasi tambahan di peroleh, pemeriksaan data yang akan di lengkapi melalui estimasi manual sesuai rumus metode yang di gunakan dalam menerapkan hasil penelitian. Perhitungan di lakukan untuk menganalisa metode PERT, Crashing project dan menentukan pelaksanaan jembatan menggunakan box culvert dan jembatan girder. Kemudian hasil perhitungan tersebut di telaah apakah hasilnya sesuai dengan yang di harapkan.

1. tahapan untuk menganalisis metode PERT

- Menghitung rata rata durasi (t_e) dengan persamaan

$$\frac{(a+am+6)}{6}$$

Dimana, T_e merupakan waktu yang di harapkan dalam menyelesaikan pekerjaan (hari) yang diperoleh berdasarkan estimasi tiga titik, yaitu a sebagai waktu Pesimis (hari) dan b sebagai waktu Optimis (hari).

- Menghitung standart deviasi masing – masing kegiatan (s_e) dengan persamaan

$$s_e = \frac{1}{6}(b-a)$$

- Menghitung varians (v_e) menggunakan persamaan

$$V_e = s_e^2$$

- Menghitung target jadwal penyelesaian (T_d)

$$Z = \frac{T_d - T_e}{\sqrt{S}}$$

Dimana, Z merupakan hubungan antara waktu yang di harapkan (T_e) dengan target $T(d)$, $T(d)$ yaitu target waktu penyelesaian proyek (hari), Nilai T_e menunjukkan jumlah hari yang berada pada lintasan kritis (hari), sedangkan S menyatakan deviasi standart kegiatan.

2. Tahapan untuk menganalisis metode *Crasing Project*

- Menentukan lintasan kritis
- menghitung produktivitas harian tiap pekerjaan

$$\text{Produktivitas Harian} = \frac{\text{Volume}}{\text{Durasi Normal}}$$

- menghitung produktivitas per jam

$$\text{Produktivitas Tiap Jam}$$

$$= \frac{\text{Produktivitas Harian}}{\text{Jam Kerja Per Hari}}$$

d. menghitung produktivitas lembur

Produktivitas Lembur 1 Jam

$$= (a \times b \times c1)$$

Produktivitas Lembur 2 Jam

$$= (a \times b \times c1) + (a \times b \times c2)$$

Produktivitas Lembur 3 Jam

$$= (a \times b \times c1) + (a \times b \times c2) + (a \times b \times c3)$$

Dimana, a adalah lama penambahan jam kerja, b adalah koefisien penurunan produktifitas penambahan jam kerja, c1 adalah produktifitas lembur 1 jam, c2 adalah produktifitas lembur 2 jam, c3 adalah produktifitas lembur 3 jam.

e. Crash duration

Crash duration durasi pekerjaan yang telah mengalami percepatan. Menghitung durasi percepatan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Crash Duration} = \frac{\text{Volume}}{(\text{Produktifitas Harian}) + (\text{Produktifitas Lembur Per Jam})}$$

f. Menentukan biaya lembur kerja perjam (resources)

Menurut Undang-Undang No. 35 Tahun 2021 mengenai upah kerja lembur dan waktu istirahat Pasal 31 ayat 1 yang berbunyi, besaran upah untuk jam lembur pertama 39amper sebesar 1,5 (satu setengah) kali dari upah per jam; sedangkan untuk setiap jam lembur selanjutnya, diberikan sebesar 2 (dua) kali upah per jam. Perhitungan upah lembur pekerja dimana, lembur 1 jam = 1,5 x bn, lembur 2 jam = 2 x bn, lembur 3 jam = 2 x bn. Dengan keterangan bn = biaya normal per jam.

g. Menghitung biaya normal dan biaya percepatan

Perhitungan upah lembur pekerja dimana, lembur 1 jam (L1) = bn + 1,5 x (bp + bt +bm), lembur 2 jam (L2) = L1 + bn + 2 x (bp + bt +bm), lembur 3 jam (L3) = L2 + bn + 2 x (bp + bt +bm). Dengan keterangan bn adalah biaya normal per jam, bp adalah biaya pekerja, bt adalah biaya tukang dan bm adalah biaya mandor.

HASIL

Pada proyek pembangunan jembatan Karang Kidul, Kabupaten Gresik, di lakukan sebuah perbandingan antara penggunaan Box Culvert dengan Balok girder sebagai struktur utama jembatan. Analisa ini bertujuan untuk menentukan alternatif terkait efisiensi dari segi biaya dan waktu pelaksanaan, menggunakan metode Program Evaluation And Review Technique (PERT) dan Crashing Project untuk mengetahui perbandingan durasi proyek dengan pertimbangan biaya.

1. Analisis Penjadwalan Menggunakan PERT

Data primer yang di gunakan dalam penelitian ini merupakan yang di peroleh dari hasil wawancara terhadap responden pihak kontraktor. Jembatan Karang kidul yang di amana penjadwalan menggunakan metode PERT. Wawancara tersebut membahas data yang di perlukan dalam menganalisa dan 39amper39n penjadwalan pekerjaan berupa durasi waktu sebagai berikut:

- Durasi optimis (a) waktu paling singkat yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan apabila seluruh proses berjalan tanpa hambatan
- Durasi pesimis (b) waktu terlama yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan apabila dalam pelaksanaannya terjadi banyak kendala atau hambatan.
- Durasi yang paling mungkin terjadi (m) merupakan merupakan estimasi waktu yang paling realistis dalam menyelesaikan suatu pekerjaan, berdasarkan pengalaman dari pelaksanaan berulang dengan kondisi yang serupa.

Tabel 1. Analisa Durasi Yang Diharapkan (Te), Deviasi Standart dan Varians Kegiatan

Nama Pekerjaan	Kode	Waktu Optimis (hari)	Waktu Normal (hari)	Waktu Pesimis (hari)	Te (hari)	Se (hari)	Ve (hari)
UMUM							
Mobilisasi	A	5	7	9	7	0,67	0,44
Direksi Keet	B	2	4	6	4	0,67	0,44
Pemindahan Utilitas Pipa PDAM	C	5	7	8	7	0,50	0,25
JMF Beton K-350	D	4	7	10	7	1,00	1,00
SISTEM MANAJEMEN KESELAMATAN KONSTRUKSI (SMKK)							
Penyiapan dokumen penerapan SMKK	E	5	7	10	7	0,83	0,69
Sosialisasi, Promosi dan Pelatihan :	F	1	1	2	1	0,17	0,03
Alat Pelindung Kerja dan Alat Pelindung Diri	G	1	1	3	1	0,33	0,11
Asuransi dan Perizinan terkait Keselamatan Konstruksi	H	1	1	2	1	0,17	0,03
Personil Keselamatan Konstruksi	I	1	1	3	1	0,33	0,11
Fasilitas Sarana, Prasaran dan Alat Kesehatan	J	1	1	2	1	0,17	0,03

Rio Rahma Dhana*, Rasio Hapiyanto, Nico Firmansyah: Perbandingan Biaya dan Waktu Pembangunan Jembatan Menggunakan Box Culvert dengan Balok Girder di Karangn Kidul Kabupaten Gresik

Nama Pekerjaan	Kode	Waktu Optimis (hari)	Waktu Normal (hari)	Waktu Pesimis (hari)	Te (hari)	Se (hari)	Ve (hari)
Rambu rambu dan Perlengkapan Lalu Lintas yang diperlukan	K	1	1	2	1	0,17	0,03
atau menejemen lalu lintas :	L	1	1	2	1	0,17	0,03
Konsultasi dengan Ahli terkait Keselamatan Konstruksi	M	1	1	3	1	0,33	0,11
Kegiatan dan peralatan terkait pengendalian resiko keselamatan konstruksi :	N	1	2	4	2	0,50	0,25
DRAINASE							
Galian untuk Selokan Drainase dan Saluran Air	O	14	20	25	20	1,83	3,36
Saluran berbentuk U Tipe DS 4 (80x80x120)	P	10	15	18	15	1,33	1,78
PEKERJAAN TANAH DAN GEOSINTETIS							
Galian Biasa dengan Alat Berat & Pembuangan	Q	5	7	14	8	1,50	2,25
Galian Perkerasan berbutir	R	7	10	12	10	0,83	0,69
Timbunan Pilihan dari sumber galian (sirtu)	S	5	7	10	7	0,83	0,69
Timbunan pasir Urug	T	2	4	6	4	0,67	0,44
PERKERASAN BERBUTIR DAN PERKERASAN BETON SEMEN							
lapis pondasi agregat kelas A	U	5	7	10	7	0,83	0,69
- Beton struktur, K-350 tanpa begisting (Ready Mix)	V	10	14	16	14	1,00	1,00
- Baja Tulangan Polos BjTP-280	X	3	7	7	6	0,67	0,44
- Baja Tulangan Sirip BjTS 420A	Y	3	7	7	6	0,67	0,44
- Anyaman Kawat Baja Dilas (Wire Mash) M10-150 SNI	Z	1	2	5	2	0,67	0,44
- Joint Sealent	AA	1	2	3	2	0,33	0,11
- 'Pekerjaan Finsihing (Groving)	AB	1	2	3	2	0,33	0,11
- Cat Anti Karat	AC	1	1	4	2	0,50	0,25
- Expansion Cap Dowel	AD	1	3	4	3	0,50	0,25
- Polytene 125 mikron (Plastik)	AE	1	1	3	1	0,33	0,11
- 'Pekerjaan Cutting	AF	1	2	3	2	0,33	0,11
- Formwork Plate (Begisting)	AG	1	3	5	3	0,67	0,44
Lapis Pondasi bawah Beton Kurus (K-125) Ready Mix	AH	4	7	9	7	0,83	0,69
STRUKTUR							
Beton struktur K-350 tanpa Begisting (Ready Mix)	AI	14	16	25	17	1,83	3,36
Beton mutu sedang K-250 tanpa begisting (Ready Mix)	AJ	10	14	18	14	1,33	1,78
Beton mutu rendah K-125 tanpa begisting (Ready Mix)	AK	10	14	15	14	0,83	0,69
Baja Tulangan Polos BjTP-280	AL	14	15	34	18	3,33	11,11
Baja Tulangan Sirip BjTS 420A	AM	18	20	25	21	1,17	1,36
Begisting Acuan Beton Struktur 2x pakai	AN	10	7	16	9	1,00	1,00
Fondasi Cerucuk Penyedian dan Pemancangan Cerucuk	AO	5	8	10	8	0,83	0,69
Penyediaan Tiang Pancang Beton Pratekan Pracetak ukuran 200 mm x 200 mm (L = 5 m)	AP	10	14	21	15	1,83	3,36
Pemancangan Tiang Pancang Beton Pratekan Pracetak ukuran 200 mm x 200 mm	AQ	7	10	12	10	0,83	0,69
Pasangan Batu	AR	5	8	10	8	0,83	0,69
Plesteran Camp 1:4 tebal 1,5 cm	AS	2	3	5	3	0,50	0,25
Sandaran (Railing)	AT	5	7	10	7	0,83	0,69
Papan Nama Jembatan	AU	3	5	7	5	0,67	0,44
Pembongkaran Pasangan Batu	AV	2	3	5	3	0,50	0,25
Pembongkaran Beton	AW	1	2	5	2	0,67	0,44
REHABILITASI JEMBATAN							
Perbaikan Dengan Cara Graut	AX	2	3	5	3	0,50	0,25
Pengecetan dekoratif pada elemen struktur beton, tebal : 100 µm	AY	3	4	6	4	0,50	0,25
PEKERJAAN HARIAN DAN PEKERJAAN LAIN-LAIN							
Rambu Jalan Tunggal dengan Pemandul High Intensity Grade	AZ	1	2	3	2	0,33	0,11
Patok Pengarah	BA	2	3	4	3	0,33	0,11
Rel Pengaman	BB	2	4	6	4	0,67	0,44
Kerb Pracetak Jenis 1 (Peninggi/Mountable)	BC	4	6	8	6	0,67	0,44
Perkerasan Blok Beton K - 400 tbl 8 Cm	BD	4	6	8	6	0,67	0,44
Jumlah		240	337	488	346	41,33	46,78

Sumber : Analisis Penelitian 2025

2. Analisis Target Jadwal Penyelesaian (Td)

Setelah membuat jaringan pekerjaan total varians item pekerjaan yang berada pada jalur kritis yaitu : A, AP, AQ, AK, AL, AN, AI, AT, BC, AX, AY, BA, BB, AZ. Perhitungan total Varians (Vte) pada pekerjaan yang berada pada jalur kritis adalah sebagai berikut : $0,44 + 3,36 + 0,69 + 0,69 + 11,11 + 1,00 + 3,36 + 0,69 + 0,44 + 0,25 + 0,25 + 0,11 + 0,44 + 0,11 = 22,97$

Nilai deviasi dapat di hitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Deviasi } Z &= \frac{T(d)-T_e}{\sqrt{22,94}} \\ &= \frac{154 - 119}{4,78} \\ &= 7,30 \end{aligned}$$

Di lihat pada tabel distribusi komulatif Z dari nilai 7,30 pada table distribusi Normal Komulatif Z menunjukkan nilai 1.000 atau menjadi 100 %. Sehingga kemungkinan proyek pembangunan jembatan Karangen Kidul dapat selesai pada target 119 hari dengan angka probabilitas adalah 100% bisa dilaksanakan.

3. Analisis Perhitungan Crashing Project

a. Durasi Pekerjaan

Setelah mnegetauhi hasil dari produktivitas jam lembur, kemudian di lanjutkan dengan menghitung durasi percepatan. Berikut adalah Hasil perhitungan durasi pekerjaan dari masing – masing item pekerjaan adalah hasil pengolahan dari microsoft excell 2010 seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Tabel Hasil Perhitungan Durasi pekerjaan Tiap Pekerjaan Kritis

No.	Item Pekerjaan	Durasi	Durasi Crashing (Hari)		
			1 Jam	2 Jam	3 Jam
UMUM					
1	Mobilisasi	7	6,00	6,00	5,00
STRUKTUR					
2	Beton struktur K-350 tanpa Begisting (Ready Mix)	17	15,00	14,00	13,00
3	Beton mutu rendah K-125 tanpa begisting (Ready Mix)	14	12,00	11,00	10,00
4	Baja Tulangan Polos BjTP-280	18	16,00	14,00	13,00
5	Begisting Acuan Beton Struktur 2x pakai	9	8,00	7,00	7,00
6	Penyediaan Tiang Pancang Beton Pratekan Pracetak ukuran 200 mm x 200 mm (L = 5 m)	15	13,00	12,00	7,00
7	Pemancangan Tiang Pancang Beton Pratekan Pracetak ukuran 200 mm x 200 mm	10	9,00	8,00	7,00
8	Sandaran (Railing)	7	6,00	6,00	5,00
REHABILITASI JEMBATAN					
9	Pengecatan struktur baja pada daerah kering tebal 360 mikron	3	3,00	2,00	2,00
10	Pengecatan dekoratif pada elemen struktur beton, tebal : 100 µm	4	4,00	3,00	3,00
PEKERJAAN HARIAN DAN PEKERJAAN LAIN-LAIN					
11	Rambu Jalan Tunggal dengan Pemantul High Intensity Grade	2	2,00	2,00	1,00
12	Patok Pengarah	3	3,00	2,00	2,00
13	Rel Pengaman	4	4,00	3,00	3,00
14	Kerb Pracetak Jenis 1 (Peninggi/Mountable)	6	5,00	5,00	4,00
Hasil		119	106	95	82

Sumber : Analisis Penelitian 2025

b. Hasil Perhitungan Biaya Percepatan

Tabel 3. Tabel Hasil Perhitungan Biaya Percepatan

NO.	Item Pekerjaan	Biaya Normal (Rp)	Biaya Percepatan (Rp)		
			Lembur 1 jam	Lembur 2 Jam	Lembur 3 Jam
UMUM					
1	Mobilisasi	15.300.000,00	16.585.722,00	17.785.722,00	17.871.480,00
STRUKTUR					
2	Beton struktur K-350 tanpa Begisting (Ready Mix)	120.701.778,00	123.166.074,00	126.881.787,75	129.654.639,50
3	Beton mutu rendah K-125 tanpa begisting (Ready Mix)	28.903.243,25	31.671.805,25	33.547.537,25	35.578.009,17
4	Baja Tulangan Polos BjTP-280	88.694.712,60	92.089.017,60	94.917.591,60	97.180.443,60

NO.	Item Pekerjaan	Biaya Normal (Rp)	Biaya Percepatan (Rp)		
			Lembur 1 jam	Lembur 2 Jam	Lembur 3 Jam
5	Begisting Acuan Beton Struktur 2x pakai	181.230.700,08	182.927.852,58	184.342.139,58	185.473.565,58
6	Penyediaan Tiang Pancang Beton Pratekan Pracetak ukuran 200 mm x 200 mm (L = 5 m)	76.174.895,00	80.043.469,00	83.799.172,25	87.783.461,75
7	Pemancangan Tiang Pancang Beton Pratekan Pracetak ukuran 200 mm x 200 mm	36.865.810,00	39.421.524,50	42.890.092,25	46.234.372,75
8	Sandaran (Railing)	14.463.096,00	15.783.103,50	16.883.104,50	17.763.102,50
REHABILITASI JEMBATAN					
9	Pengecatan struktur baja pada daerah kering tebal 360 mikron	7.958.995,20	15.827.567,70	17.194.710,20	18.532.089,78
10	Pengecatan dekoratif pada elemen struktur beton, tebal : 100 µm	3.181.346,55	3.815.636,55	4.404.208,55	4.907.064,55
Lain - lain					
11	Rambu Jalan Tunggal dengan Pemantul High Intensity Grade	5.101.242,00	5.716.956,50	6.429.813,75	6.963.627,58
12	Patok Pengarah	8.791.880,00	10.156.168,50	10.280.450,50	11.630.933,42
13	Rel Pengaman	70.385.000,00	74.272.861,00	75.337.147,00	76.310.478,92
14	Kerb Pracetak Jenis 1 (Peninggi/Mountable)	16.239.517,50	17.613.810,50	19.030.955,00	19.712.860,92
Hasil		673.992.216,18	709.091.569,18	733.724.432,18	755.596.130,01

Sumber : Analisis Penelitian 2025

Berdasarkan pada tabel 3 menunjukkan bahwa hasil dari perhitungan biaya percepatan pekerjaan yang berada pada jalur kritis, seperti pada pekerjaan Beton struktur K-350 tanpa Begisting (Ready Mix) mempunyai biaya normal 120.701.778,00 , pada lembur 1 jam 123.166.074, 00, pada lembur 2 jam menjadi 126.881.787,75 dan pada lembur 3 jam menjadi 129.654.639,00.

c. Perhitungan Biaya dan Waktu Percepatan

Berikut adalah perhitungan biaya dan waktu percepatan setelah di lakukan lembur pada pekerjaan yang berada pada jalur kritis

Tabel 4. Tabel Perhitungan biaya dan waktu percepatan

Variasi	Durasi(Hari)	Biaya Langsung	Selisih Biaya
Normal	119	673.992.216,18	-
1 Jam	106	709.091.569,18	35.099.353,00
2 Jam	95	733.724.432,18	59.732.216,00
3 Jam	82	755.596.130,01	81.603.913,83

Sumber : Analisis Penelitian 2025

Berdasarkan tabel 4. menunjukkan bahwa kenaikan dan percepatan waktu setelah di lakuakn lembur. Seperti pada durasi normal yaitu 119 dengan biaya 673.992.216,18, pada lembur 1 jam dengan durasi 95 hari dengan biaya 709.091.569,18 terdapat selisih biaya sebesar 35.099.353,00, pada lembur 2 jam dengan durasi 95 dengan biaya 733.724.432,18 terdapat selisih biaya sebesar 59.732.216,00 dan pada lembur 3 jam dengan durasi 82 dengan biaya 755.596.130,01 terdapat selisih biaya sebesar 81.603.913,83. Dari hasil perhitungan yang sudah di analisa maka penambahan jam lembur yang di gunakan adalah 2 jam karena lebih efektif untuk di terapkan.

Jembatan Balok Girder

1. Analisa penjadwalan Menggunakan PERT

Data primer yang digunakan dalam penelitian ini merupakan yang di peroleh dari hasil wawancara terhadap responden pihak kontraktor pembangunan Jembatan Karanganyar yang dimana penjadwalan menggunakan metode PERT.

Tabel 5. Analisa Durasi Yang Diharapkan (te), Deviasi Standart dan Varians Kegiatan

URAIAN	KODE	Waktu Optimis (hari)	Waktu Normal (hari)	Waktu Pesimis (hari)	Te (hari)	Se (hari)	Ve (hari)
UMUM							
Direksi Keet	A	4	8	10	8	1,00	1,00
Pengukuran dan Pemasangan Bouwplank	B	3	7	9	7	1,00	1,00

Rio Rahma Dhana*, Rasio Hapiyanto, Nico Firmansyah: Perbandingan Biaya dan Waktu Pembangunan Jembatan Menggunakan Box Culvert dengan Balok Girder di Karanganyar Kabupaten Gresik

URAIAN	KODE	Waktu Optimis (hari)	Waktu Normal (hari)	Waktu Pesimis (hari)	Te (hari)	Se (hari)	Ve (hari)
Pas. Papan Nama Proyek	C	5	7	8	7	0,50	0,25
Pengamanan Lalu Lintas	D	4	8	10	8	1,00	1,00
Mobilisasi Demobilisasi Alat	E	10	14	16	14	1,00	1,00
Quality Control	F	5	7	9	7	0,67	0,44
Pembersihan	G	7	10	14	10	1,17	1,36
Jembatan darurat untuk sepeda motor	H	5	8	14	9	1,50	2,25
Kesehatan dan Keselamatan Kerja	I	3	5	10	6	1,17	1,36
DRAINASE							
Galian untuk Selokan Drainase dan Saluran Air	J	10	14	16	14	1,00	1,00
Saluran berbentuk U Tipe DS 4 (80x70) cm	K	5	10	14	10	1,50	2,25
PEKERJAAN TANAH DAN GEOSINTETIK							
Galian Biasa	L	10	15	17	15	1,17	1,36
Timbunan Pilihan dari sumber galian (Sirtu)	M	7	10	14	10	1,17	1,36
PERKERASAN BERBUTIR							
Lapis Pondasi Agregat Kelas A	N	7	8	10	8	0,50	0,25
Lapis Pondasi Agregat Kelas B	O	4	8	14	8	1,67	2,78
Perkerasan Beton Semen dengan Anyaman Tulangan Tunggal	P	5	7	10	7	0,83	0,69
STRUKTUR							
Beton struktur, fc'30 MPa	Q	7	10	14	10	1,17	1,36
Beton strukur, fc'20 MPa	R	12	15	17	15	0,83	0,69
Beton, fc'10 Mpa	S	5	10	10	9	0,83	0,69
Penyediaan Unit Pracetak Gelagar Tipe I Bentang 9,00 meter	T	5	7	14	8	1,50	2,25
Pemasangan Unit Pracetak Gelagar Tipe I Bentang 9,00 meter	U	3	7	10	7	1,17	1,36
Penyediaan Bondex tebal 1 mm	V	4	5	7	5	0,50	0,25
Pemasangan Bondex tebal 1 mm	W	2	5	7	5	0,83	0,69
Baja Tulangan Polos-BjTP 280	X	15	20	23	20	1,33	1,78
Baja Tulangan Sirip BjTS 420 A	Y	16	21	22	20	1,00	1,00
Penyediaan Tiang Pancang Beton Pratekan Pracetak ukuran 200 mm x 200 mm	Z	10	13	18	13	1,33	1,78
Pemancangan Tiang Pancang Beton Pratekan Pracetak ukuran 200 mm x 200 mm	AA	5	8	10	8	0,83	0,69
Pasangan Batu	AB	5	8	10	8	0,83	0,69
Sambungan Siar Muai Tipe Finger Plate, 70x70x7	AC	4	6	8	6	0,67	0,44
Sandaran (Railing)	AD	5	7	10	7	0,83	0,69
Papan Nama Jembatan	AE	4	8	12	8	1,33	1,78
Pembongkaran Pasangan Batu	AF	2	3	5	3	0,50	0,25
Pembongkaran Beton	AG	2	3	4	3	0,33	0,11
Pembongkaran Pipa Railling jembatan	AH	1	3	4	3	0,50	0,25
Dreck drain Pipa Baja 4 Inch	AI	2	4	6	4	0,67	0,44
REHABILITASI JEMBATAN							
Pengecatan protektif pada elemen struktur beton, tebal 200µm	AJ	3	5	7	5	0,67	0,44
Pengecatan struktur baja pada daerah kering tebal 80 mikron	AK	1	3	5	3	0,67	0,44
PEKERJAAN HARIAN & PEKERJAAN LAIN-LAIN							
Rambu Jalan Tunggal dengan Pemantul High Intensity Grade	AL	1	1	3	1	0,33	0,11
Patok Pengarah	AM	1	3	4	3	0,50	0,25
Kerb Pracetak Jenis 1 (Peninggi/Mountable)	AN	3	5	7	5	0,67	0,44
Perkerasan blok beton k-400 t=8 cm	AO	2	6	8	6	1,00	1,00
JUMLAH		214	332	440	330	37,67	39,28

Sumber : Analisis Penelitian 2025

2. Analisis Target Jadwal Penyelesaian (Td)

Setelah membuat jaringan pekerjaan total varians pekerjaan yang berada pada jalur kritis yaitu : A, E, Q, R, R, S, Y, Z, AA, AD, AJ, AL, AM, AN. Perhitungan total Varians (Vte) pada pekerjaan yang berada pada jalur kritis adalah sebagai berikut : 0,69 + 1,00 + 1,36 + 1,78 + 0,69 + 1,36 + 1,78 + 0,69 + 0,69 + 0,44 + 0,11 + 0,25 + 0,44 = 11,31

Nilai deviasi dapat di hitung sebagai berikut:

$$\text{Deviasi } Z = \frac{T(d) - T_e}{\sqrt{11,31}}$$

$$= \frac{126 - 118}{3,36} = 2,38$$

Distribusi kumulatif Z dari nilai 2,4 pada table distribusi Normal Komulatif Z menunjukkan nilai 0,99,65 atau menjadi 99,65 %. Sehingga kemungkinan proyek pembangunan jembatan Karang Kidul dapat selesai pada target 118 hari dengan angka probabilitas adalah 99,65 % bisa dilaksanakan.

3. Analisis Perhitungan Crashing Project

a. Durasi Pekerjaan

Setelah mengetahui hasil dari produktivitas jam lembur, kemudian di lanjutkan dengan menghitung durasi percepatan. Berikut adalah Hasil perhitungan durasi pekerjaan dari masing – masing item pekerjaan adalah hasil pengolahan dari microsoft excell 2010 seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 6. Tabel Hasil Perhitungan Durasi pekerjaan Tiap Pekerjaan Kritis

No	Uraian	Durasi	Durasi Crashing (Hari)		
			1 Jam	2 Jam	3 Jam
DIVISI 1	U M U M				
1	Direksi Keet	8	7,00	6,00	6,00
2	Mobilisasi Demobilisasi Alat	14	12,00	11,00	10,00
DIVISI 7	S T R U K T U R				
3	Beton struktur, fc'30 MPa	10	9,00	8,00	8,00
4	Beton strukur, fc'20 MPa	15	13,00	12,00	11,00
5	Beton, fc'10 Mpa	9	8,00	7,00	7,00
6	Baja Tulangan Sirip BjTS 420 A	20	18,00	16,00	15,00
7	Penyediaan Tiang Pancang Beton Pratekan Pracetak ukuran 200 mm x 200 mm	13	12,00	11,00	10,00
8	Pemancangan Tiang Pancang Beton Pratekan Pracetak ukuran 200 mm x 200 mm	8	7,00	6,00	6,00
9	Sandaran (Railing)	7	6,00	6,00	5,00
DIVISI 8	REHABILITASI JEMBATAN				
10	Pengecetan protektif pada elemen struktur beton, tebal 200µm	5	4,00	4,00	4,00
DIVISI 9	PEKERJAAN HARIAN & PEKERJAAN LAIN-LAIN				
11	Rambu Jalan Tunggal dengan Pemantul High Intensity Grade	1	1,00	1,00	1,00
12	Patok Pengarah	3	3,00	2,00	2,00
13	Kerb Pracetak Jenis 1 (Peninggi/Mountable)	5	4,00	4,00	4,00
Jumlah		118	104	94	83

Sumber : Analisis Penelitian 2025

b. Hasil Perhitungan Biaya Percepatan

Tabel 7. Tabel Hasil Perhitungan Biaya Percepatan

NO.	U R A I A N	Biaya Normal (RP)	Biaya Percepatan (RP)		
			1 Jam	2 Jam	3 Jam
1	Direksi Keet	5.315.000,00	6.412.142,86	7.532.142,86	8.537.857,14
2	Mobilisasi Demobilisasi Alat	16.860.000,00	18.480.000,00	20.340.000,00	22.100.000,00
3	Beton struktur, fc'30 MPa	52.860.990,00	59.320.990,00	62.756.704,29	65.780.513,81
4	Beton strukur, fc'20 MPa	89.089.021,00	93.802.592,43	97.127.592,43	99.854.973,38
5	Beton, fc'10 Mpa	18.461.177,50	21.773.320,36	24.065.463,21	26.138.558,45
6	Baja Tulangan Sirip BjTS 420 A	562.773.537,54	566.733.537,54	571.233.537,54	572.973.537,54
7	Penyediaan Tiang Pancang Beton Pratekan Pracetak ukuran 200 mm x 200 mm	188.919.680,00	193.701.108,57	197.129.680,00	200.454.918,10
8	Pemancangan Tiang Pancang Beton Pratekan Pracetak ukuran 200 mm x 200 mm	96.851.040,00	103.755.325,71	106.061.040,00	108.098.182,86
9	Sandaran (Railing)	10.229.180,00	11.339.180,00	12.369.180,00	13.249.180,00
10	Pengecetan protektif pada elemen struktur beton, tebal 200µm	14.838.408,70	15.992.752,84	17.105.153,27	18.150.410,84
11	Rambu Jalan Tunggal dengan Pemantul High Intensity Grade	3.161.242,00	3.721.242,00	4.314.099,14	4.905.051,52
12	Patok Pengarah	4.341.880,00	5.133.308,57	5.991.880,00	6.834.260,95
13	Kerb Pracetak Jenis 1 (Peninggi/Mountable)	8.398.096,00	9.420.953,14	10.545.238,86	11.639.048,38
JUMLAH		1.072.099.252,74	1.109.586.454,03	1.136.571.711,60	1.158.716.492,98

Sumber : Analisis Penelitian 2025

Berdasarkan pada tabel 7. menunjukkan bahwa hasil dari perhitungan biaya percepatan pekerjaan yang berada pada jalur kritis, seperti pada pekerjaan Beton fc'30 Mpa mempunyai biaya normal 52.860.990,00 , pada lembur 1 jam 59.320.990,00, pada lembur 2 jam menjadi 62.756.704,00 dan pada lembur 3 jam menjadi 65.780.513,00.

c. Perhitungan Biaya Dan Waktu Percepatan

Berikut adalah perhitungan biaya dan waktu percepatan setelah di lakukan lembur :

Tabel 8. Tabel Perhitungan biaya dan waktu percepatan

Variasi	Durasi(Hari)	Biaya Langsung (Rp.)	Selisih Biaya
Normal	118	1.072.099.252,74	
1 Jam	104	1.109.586.454,03	37.487.201,29
2 Jam	94	1.136.571.711,60	64.472.458,86
3 Jam	89	1.158.716.492,98	86.617.240,24

Sumber : Analisis Penelitian 2025

Berdasarkan tabel 8 menunjukkan bahwa kenaikan dan percepatan waktu setelah dilakukan lembur. Seperti pada durasi normal yaitu 118 dengan biaya Rp.1.072.099.252,74 pada lembur 1 jam dengan durasi 104 hari dengan biaya Rp.1.109.586.454,03 selisih biaya Rp.37.487.201,29, pada lembur 2 jam dengan durasi 94 dengan biaya Rp.1.136.571.711,60 selisih biaya Rp.64.472.458,86 dan pada lembur 3 jam dengan durasi 89 dengan biaya Rp.1.158.716.492,98 selisih biaya Rp.86.617.240,24. Dari hasil perhitungan yang sudah di analisa maka penambahan jam lembur yang di gunakan adalah 2 jam karena lebih efektif untuk di terapkan

SIMPULAN

Penerapan metode *Crashing Project* menunjukkan bahwa Box Culvert lebih ekonomis dibanding Balok Girder, dengan selisih biaya percepatan lebih dari Rp400 juta meskipun perbedaan durasi percepatan hanya sekitar 1 hari. Hal ini menunjukkan bahwa percepatan pada Box Culvert lebih efisien dari sisi biaya. Analisis menggunakan metode PERT juga memperlihatkan bahwa Box Culvert dapat diselesaikan lebih cepat 35 hari dari rencana awal dengan probabilitas keberhasilan 100%, sedangkan Balok Girder lebih cepat 6 hari dengan probabilitas 99,65%. Dengan demikian, Box Culvert dinilai lebih unggul dalam efisiensi biaya dan waktu pada proyek pembangunan jembatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, F., & Puluholawa, I. (2020). Desain Jembatan Jalan Datuk Laksamana Degan-Girder menggunakan sni 1725-2016. *Jurnal TeKLA*, 2(2), 54. <https://doi.org/10.35314/tekla.v2i2.1818>
- Apriliansi, R., & Cahyono, B. (2023). Analisis Percepatan Proyek Dengan Menggunakan Metode Crashing. *Narotama Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), 621–629. <https://ejournal.unsrat.ac.id/>
- Fajri Romdani, R., Alihudien, A., & Muhtar. (2022). *Jurnal Smart Teknologi Alternatif Struktur Box Culvert Sebagai Pengganti Girder Jembatan Kali Jompo , Jember Alternative Box Culvert Structure As A Replacement For The Jompo Bridge Girder , Jember Jurnal Smart Teknologi*. 4(1), 24–34.
- Gandaria, R. V. (2016). *Metode Pelaksanaan Pekerjaan Girder Pada Pembangunan Jembatan Babo*. Politeknik Negeri Manado.
- Gunasti, A., Rofiqi, A., & Priyono, P. (2019). Penerapan Metode Barchart, CPM, PERT dan Crashing Project dalam Penjadwalan Proyek Pembangunan Gedung G Universitas Muhammadiyah Jember. *Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil*, 4(1), 7. <https://doi.org/10.53712/rjrs.v4i1.612>
- Hapiyanto, R., Dhana, R. R., & Febrianto, D. A. (2025). Manajemen Biaya dan Waktu Pelaksanaan Proyek Pembangunan Co-Working Space Kabupaten Lamongan. *Jurnal Talenta Sipil*, 8(1), 430–439. <https://doi.org/10.33087/talentsipil.v8i2.951>
- Iluk, T., Ridwan, A., & Winarto, S. (2020). Penerapan Metode CPM Dan PERT Pada Gedung Parkir 3 Lantai Grand Panglima Polim Kediri. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 3(2), 162. <https://doi.org/10.30737/jurmateks.v3i2.1054>
- Indriani, L. A., Gunawan, S. R., & Fauziah, S. (2023). Penerapan Manajemen Proyek Dengan Metode CPM (Critical Path Metode) Dan PERT (Project Evaluation And Review Techinque) Pada Proyek Pembangunan Perumahan Puri Tanjung Permai Di Jampang kulon. *Jurnal Teslink: Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 1(1), 1–8. <https://teslink.nusaputra.ac.id/index>
- Jazuli, M., & Dhana, R. R. (2024). Analisis Biaya dan Waktu pada Proyek Jembatan (Studi Kasus Proyek Pembangunan Jembatan Candisari Sambeng Kabupaten Lamongan) dengan Menggunakan Metode Earned Value. *Jurnal Talenta Sipil*, 7(1), 73. <https://doi.org/10.33087/talentsipil.v7i1.376>
- Manalip, A. H., & Dwi Handono, B. (2018). Perencanaan Balok Girder Profil I Pada Jembatan Prestressed Dengan Variasi Bentang. *Jurnal Sipil Statik*, 6(2), 67–74.

- Nurdiana, A., Susanti, R., & Rifqi Naufaldy, M. (2021). Jurnal Proyek Teknik Sipil Perencanaan Jembatan Mlulon Dengan Box Culvert. *Journal of Civil Engineering Project*, 4(1), 2021. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/potensi>
- Oetomo, W., Priyoto, P., & Uhad, U. (2017). Analisis Waktu dan Biaya dengan Metode Crash Duration pada Keterlambatan Proyek Pembangunan Jembatan Sei Hanyu Kabupaten Kapuas. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 6(1), 8–22. <https://doi.org/10.33084/mits.v6i1.262>
- Permadi, D., & Huda, M. (2018). Analisa Risiko Aspek Biaya Pekerjaan Saluran Box Culvert (Studi Kasus Jalan Kenjeran Dan Tenggumung Kota Surabaya). *Axial: Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 6(2), 53. <https://doi.org/10.30742/axial.v6i2.507>
- Rangan, P. R., & Matana, H. (2021). Perbandingan Perencanaan Jembatan To’Kanna Nanggala Menggunakan Box Culvert Dan Gelagar Profil Baja. *Journal Dynamic Saint*, 6(1), 53–59. <https://doi.org/10.47178/dynamicsaint.v6i1.1283>
- Sari, D. M., Agustapraja, H. R., Arif, S., & Hapiyanto, R. (2025). Biaya dan Waktu Proyek Gedung Satnarkoba dengan Metode CPM dan Metode PERT. *Jurnal Talenta Sipil*, 8(1), 430–439. <https://doi.org/10.33087/talentsipil.v8i2.969>
- Widowati, I., Kurniawan, A., Ade, D., Diem, R., & Hermawan, A. (2024). *Optimasi Penjadwalan Proyek Pembangunan Jembatan Pada Tol Jakarta - Cikampek II Selatan Paket III Dengan Metode PERT (Program Evaluation And Review Technique) (Studi Kasus PT . XYZ) Optimization of bridge construction project scheduling on the Jakarta*. 14(1), 37–48. <https://doi.org/10.51132/teknologika.v14i1>