

Perencanaan dan Estimasi Biaya Box Culvert di Ruas Jalan Tetewatu, Konawe Utara

Anafi Minmahddun^{1,*}

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo

Koresponden*, Email: anafi.minmahddun@uho.ac.id

Info Artikel	Abstract
Diajukan : 7 April 2024 Diperbaiki : 24 April 2024 Disetujui : 29 April 2024	<i>The development of road infrastructure in Indonesia, including bridges, is a top priority to drive sustainable economic growth. Roads and bridges play an important role in accelerating the transportation of goods, supporting agriculture, and reducing economic disparities between regions. This study focuses on the planning of box culvert construction on Jalan Tetewatu, North Konawe Regency, and Southeast Sulawesi. This location has an emergency wooden bridge that is inadequate for smooth transportation. The research method includes investigating existing conditions, collecting supporting data, and analyzing box culverts. The planned box culvert is a double type with a wet cross-section dimension of 3.00 m x 3.00 m, which will replace the existing emergency bridge. The budget plan (RAB) for this project reaches IDR 2,008,090,000. This study concludes that replacing the emergency bridge with a box culvert will improve the safety and smoothness of transportation, as well as support local economic growth.</i>
Keywords: Infrastructure, box culvert, budget plan	Abstrak Pembangunan infrastruktur jalan di Indonesia termasuk jembatan merupakan prioritas utama untuk mendorong pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan. Jalan dan jembatan memainkan peran penting dalam mempercepat transportasi barang, mendukung pertanian, dan mengurangi kesenjangan ekonomi antarwilayah. Penelitian ini fokus pada perencanaan pembangunan box culvert pada ruas Jalan Tetewatu, Kabupaten Konawe Utara, Sulawesi Tenggara. Lokasi ini memiliki jembatan kayu darurat yang tidak memadai untuk kelancaran transportasi. Metode penelitian mencakup penyelidikan kondisi eksisting, pengumpulan data pendukung, serta analisis box culvert. Box culvert yang direncanakan adalah tipe double dengan dimensi penampang basah 3,00 m x 3,00 m, yang akan menggantikan jembatan darurat yang ada. Rencana Anggaran Biaya (RAB) proyek ini mencapai Rp 2.008.090.000, -. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggantian jembatan darurat dengan box culvert akan meningkatkan keamanan dan kelancaran transportasi, serta menunjang pertumbuhan ekonomi lokal.
Kata kunci: Infrastruktur, Box culvert, rencana anggaran biaya	

1. PENDAHULUAN

Pengembangan infrastruktur jalan adalah program prioritas pemerintah yang bertujuan untuk mendorong pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan. Pemerintah Indonesia menyadari pentingnya pengembangan infrastruktur, terutama dalam pembangunan jalan dan jembatan, sebagai cara untuk mendorong kegiatan ekonomi dan mengurangi kemiskinan [1], [2]. Kolaborasi dengan berbagai pihak menjadi faktor penting dalam pertumbuhan infrastruktur jalan, menghubungkan wilayah-wilayah dan mendukung ekspansi ekonomi [3], [4].

Investasi dalam infrastruktur jalan dan jembatan telah terbukti memiliki dampak positif dan signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi, dengan semakin banyaknya jalan yang dibangun mengarah pada tingkat pertumbuhan ekonomi yang lebih tinggi [2]. Selain itu, infrastruktur jalan yang baik memainkan peran penting dalam mempercepat transportasi barang, mendukung pertanian, dan meningkatkan distribusi produk [5]. Pengembangan infrastruktur jalan tidak hanya penting untuk pertumbuhan ekonomi tetapi juga memengaruhi struktur spasial kegiatan sosial-ekonomi dan kesejahteraan penduduk [6]. Lebih lanjut, pengembangan

infrastruktur jalan sangat penting untuk mengurangi kesenjangan ekonomi antarwilayah dan mempromosikan akses yang setara terhadap peluang ekonomi [7].

Untuk memastikan bahwa jembatan berfungsi sebagai infrastruktur transportasi yang kokoh dan menghindari gangguan lalu lintas, sangat penting untuk fokus pada integritas struktural dan ketahanan mereka terhadap berbagai kondisi pembebanan. Jembatan memainkan peran penting dalam memfasilitasi pergerakan orang dan barang melintasi berbagai medan, sehingga desain dan pemeliharaannya menjadi krusial untuk kelancaran arus lalu lintas [8], [9].

Penelitian telah menyoroti pentingnya memperbaiki dan meningkatkan jembatan untuk meningkatkan kinerja seismik mereka dan mengurangi kerentanan struktural, sehingga meminimalkan risiko kerusakan dan gangguan lalu lintas [8]. Selain itu, dampak bahaya kebakaran pada jembatan, terutama struktur kritis seperti jembatan kabel-tetap dan suspensi dengan bentang panjang, dapat menyebabkan kerusakan struktural yang parah dan gangguan lalu lintas yang signifikan, menekankan pentingnya langkah-langkah keselamatan kebakaran yang kokoh dalam desain jembatan [10].

Beban lalu lintas, termasuk truk berat dan meningkatnya volume kendaraan, menimbulkan tantangan bagi keselamatan dan umur panjang jembatan, terutama struktur dengan bentang panjang [11]. Sistem pemantauan yang mengukur parameter lalu lintas, seperti Bridge-Weigh-In-Motion (BWIM), dapat memberikan data berharga untuk menilai dampak beban lalu lintas terhadap kinerja jembatan dan memastikan keselamatan struktural [12]. Selain itu, pertimbangan efek tekanan rata-rata dari berbagai beban lalu lintas sangat penting dalam desain dan pemeliharaan jembatan jalan baja untuk mencegah kegagalan terkait kelelahan [13].

Keberlanjutan dan dampak lingkungan dari konstruksi dan pemeliharaan jembatan juga merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan untuk memastikan kelangsungan jangka panjang infrastruktur transportasi. Praktik desain jembatan yang berkelanjutan bertujuan untuk meminimalkan dampak lingkungan, mengurangi gangguan selama konstruksi, dan meningkatkan umur keseluruhan jembatan [14].

Box culvert sangat cocok untuk badan air aliran rendah, persimpangan jalan dengan kepadatan lalu lintas rendah hingga sedang, dan area dengan daya dukung tanah rendah, menjadikannya alternatif ideal untuk melintasi sungai kecil [15]. Mereka juga cocok untuk melintasi rel kereta api, jalan raya, atau jembatan layang dengan area drainase, terutama di lokasi dengan daya dukung tanah rendah, yang semakin mendukung efektivitasnya untuk menyeberangi sungai kecil [16]. Box culvert beton pracetak diperkuat populer karena kekuatan, daya tahan, kekakuan, dan efisiensi biayanya, yang memperkuat kepraktisan penggunaan box culvert untuk menyeberangi sungai kecil [17]. Box culvert sering digunakan dalam konstruksi jalan di mana aliran air terletak jauh lebih rendah dari permukaan jalan, menunjukkan penerapannya untuk menyeberangi sungai kecil [18]. Metode konstruksi jacking box culvert adalah solusi untuk membangun box culvert di bawah jalur kereta api yang ada, menunjukkan fleksibilitas box culvert untuk menyeberangi lalu lintas tanpa gangguan, yang sangat penting untuk menyeberangi sungai kecil [19]. Box culvert beton pracetak diperkuat diutamakan karena kekuatan, daya tahan, dan efisiensi biayanya, semakin mendukung kesesuaiannya sebagai pilihan praktis untuk menyeberangi sungai kecil [20]. Keunggulan box culvert beton pracetak berbentuk U berfokus pada struktur utama, sesuai dengan ketahanan yang diperlukan untuk menyeberangi sungai kecil [21]. Box culvert beton banyak digunakan di jalan tol di daerah pegunungan, menunjukkan keandalannya dan penerapannya untuk berbagai medan, termasuk menyeberangi sungai kecil [22]. Referensi-referensi ini secara kolektif menekankan kesesuaian dan kepraktisan box culvert sebagai alternatif infrastruktur transportasi penting untuk menyeberangi sungai kecil, dengan menekankan kekuatan, daya tahan, dan efisiensi biaya mereka dalam berbagai skenario konstruksi.

Ruas Jalan Tetewatu Kab. Konawe Utara merupakan salah satu ruas jalan provinsi yang berada di Provinsi Sulawesi Tenggara (Gambar 1), ruas jalan ini dilalui oleh beberapa aliran sungai, namun prasaran jembatan pada ruas jalan ini masih berupa jembatan kayu ataupun jembatan darurat. sehingga kebutuhan akan prasarana jembatan tentu sangat dibutuhkan demi kelancaran dan keamanan aktivitas transportasi pada ruas jalan ini. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merencanakan pembangunan box culvert pada ruas jalan tersebut.



Gambar 1. Lokasi studi

2. METODE

Langkah awal dalam perencanaan jembatan adalah melakukan penyelidikan kondisi eksisting jembatan yang bertujuan untuk mendekati kesesuaian umum dari lokasi lapangan dan lingkungan untuk pekerjaan yang direncanakan, memungkinkan agar dipersiapkan rencana memadai dan ekonomis, merancang cara terbaik untuk pelaksanaan konstruksi dan mengantisipasi perubahan lingkungan yang dapat terjadi. Selain itu pengumpulan data pendukung seperti data jaringan jalan, data kondisi lalu lintas, data lokasi material, harga satuan bahan serta material dan upah.

Dimensi struktur box culvert pada perencanaan ini mengikuti standar yang dikeluarkan oleh Direktorat Bina Program Jalan Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum dengan judul Standar Gorong-Gorong Persegi Beton Bertulang (Box Culvert) Tipe Double [23], dengan acuan-acuan sebagai berikut:

A. Kriteria perencanaan

Kriteria Perencanaan yang digunakan adalah Pedoman Perencanaan Pembebanan Gorong-Gorong Persegi menggunakan Pembebanan Jembatan dan Jalan Raya dengan beban lalu lintas Beban T 100%.

B. Analisis pembebanan

Perhitungan struktur didasarkan pada asumsi tanah lunak yang umumnya disebut *highly compressible* dengan mengambil hasil pembebanan terbesar/maksimum dari kombinasi pembebanan sebagai berikut:

1. Berat sendiri Gorong-Gorong persegi beton bertulang
2. Beban roda ganda (dual wheel load) 10 ton atau muatan rencana sumbu 20 ton
3. Beban kendaraan di atas konstruksi gorong-gorong persegi ini diperhitungkan setara dengan muatan tanah setinggi 60 cm
4. Tekanan tanah aktif
5. Tekanan ari dari luat
6. Tekanan hydrostatic (q_a)

C. Penulangan

Penulangan gorong-gorong persegi beton bertulang ini dirancang sedemikian rupa sehingga:

1. Mudah dilaksanakan agar didapat hasil yang rapih dan sesuai dengan perhitungan serta gambar
2. Diameter tulangan yang digunakan adalah 19 mm, 16 mm, 12 mm dan 10 mm (menghindari penggunaan tulangan dengan ukuran/diameter yang beragam)
3. Bentuk/ukuran segmen penulangan sederhana, praktis, dan dapat dipakai pada beberapa segmen gorong-gorong serta beratnya pun diperhitungkan sedemikian rupa sehingga mudah dirakit/dipasang dan diikat.
4. Pembengkokan dan penempatan tulangan direncanakan sedemikian rupa sehingga tidak membahayakan pemakai jalan bila penutup beton pecah karena benturan keras atau aus (ujung tulangan tidak akan menonjol ke permukaan lantai kendaraan).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambar Umum Lokasi

Lokasi pekerjaan perencanaan box culvert ruas jalan tetewatu berada di Kecamatan Tetewatu Kab. Konawe Utara. Disekitar lokasi studi merupakan kawasan Perkebunan dengan kondisi jalan menuju lokasi studi berupa perkerasan tanah dan masih dapat dicapai dengan kendaraan roda empat maupun kendaraan berat lainnya tanpa mengalami hambatan yang berarti. Terdapat jembatan eksisting yang merupakan jembatan darurat berbahan kayu dengan panjang bentang 6 m, lebar 4,5 m dan ketinggian 3 m, berfungsi untuk mengatasi aliran air yang muncul melewati permukaan jalan (Gambar 2).

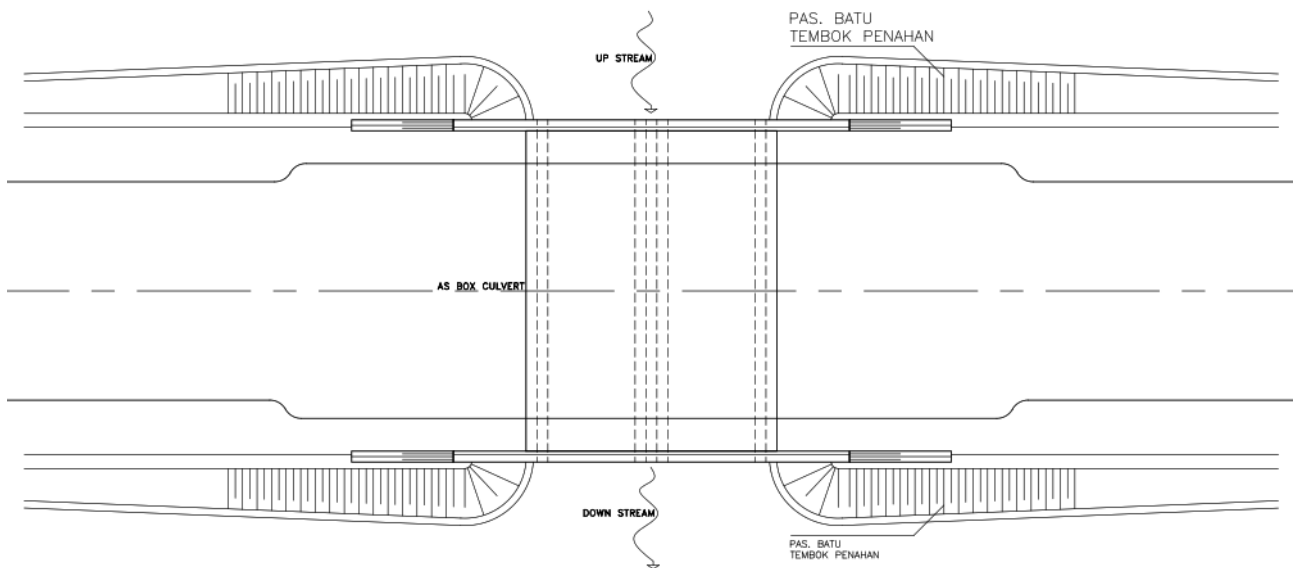


Gambar 2. Kondisi eksisting lokasi studi

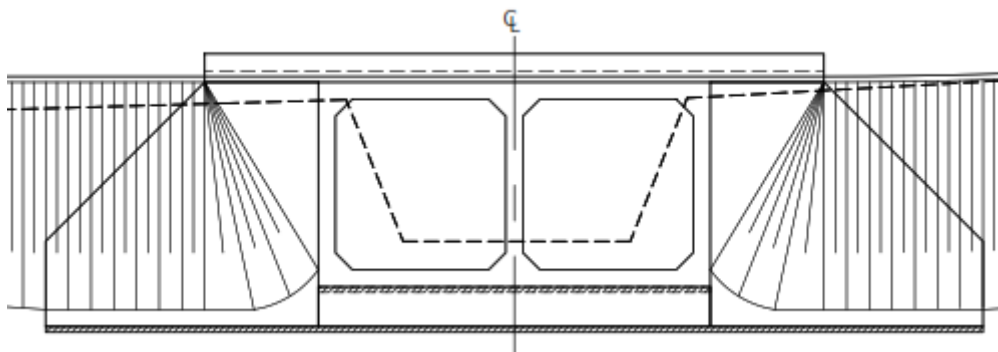
Berdasarkan himpunan batuan dan pencirinya, geologi Lembar Lasusua- Kendari dapat dibedakan dalam dua lajur, yaitu Lajur Tinodo dan Lajur Hialu. Lajur Tinodo dicirikan oleh batuan endapan paparan benua dan Lajur Hialu oleh endapan kerak samudra/ofiolit, secara garis besar kedua mendala ini dibatasi oleh Sesar Lasolo [24]. Struktur geologi yang dijumpai di wilayah Kabupaten Konawe Utara adalah sesar, lipatan, dan kekar. Sesar dan kelurusan umumnya berarah barat laut-tenggara searah dengan sesar geser lurus mengiri Lasolo. Sesar Lasolo bahkan masih aktif hingga saat ini. Sesar tersebut diduga ada kaitannya dengan Sesar Sorong yang aktif kembali pada Kala Oligosen [25]. Sesar naik ditemukan di daerah Wawo sebelah barat Tampakura dan di Tanjung Labuandala di selatan Lasolo, yaitu beranjaknya Batuan Ofiolit ke atas Batuan Malihan Mekonga, Formasi Meluhu, dan Formasi Matano.

B. Dimensi Box Culvert Rencana

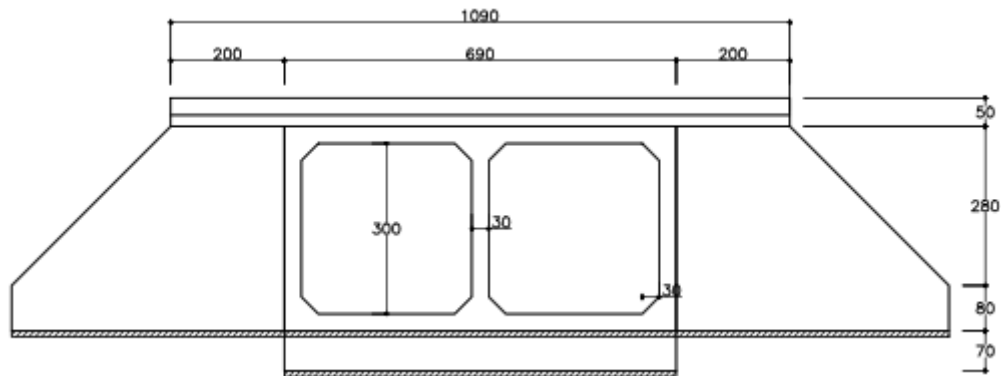
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya dimensi struktur box culvert pada perencanaan ini mengikuti standar yang dikeluarkan oleh Direktorat Bina Program Jalan, sehingga tidak dilakukan analisa struktur secara detail pada bangunan box culvert. Konstruksi Box Culvert pada perencanaan adalah Box Culvert tipe Double, direncanakan dengan dimensi Penampang Basah 3,00 m x 3,00 m. Panjang Box Culvert merupakan lebar jalan rencana ditambah dua kali lebar bahu jalan dan dua kali tebal dinding sayap. Detail perencanaan box culvert dapat dilihat pada Gambar 3-6.



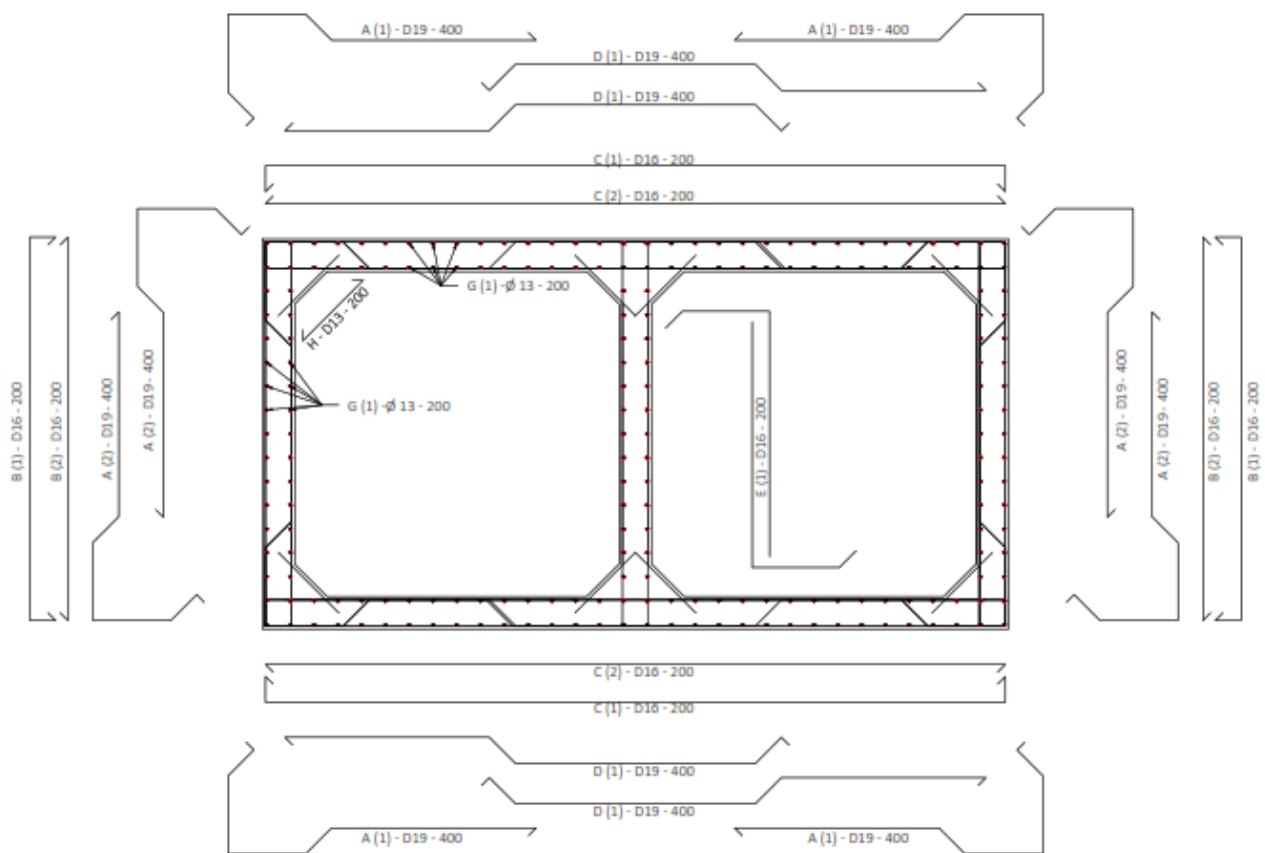
Gambar 3. Denah box culvert



Gambar 4. Tampak memanjang



Gambar 5. Dimensi box culvert



Gambar 6. Detail penulangan box culvert

C. Rencana Anggaran Biaya (RAB) Box Culvert

Perhitungan rencana anggaran biaya mengacu kepada harga satuan upah dan material yang ditetapkan oleh Pemerintah Provinsi Sulawesi Tenggara dengan melakukan sedikit penyesuaian harga dilokasi studi. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi perbedaan harga yang terlalu signifikan saat proses konstruksi berlangsung. Perhitungan biaya tidak hanya dilakukan pada struktur box culvert namun keseluruhan bangunan pendukung seperti dinding penahan tanah dan pekerjaan perkerasan. Bina Marga membagi pekerjaan jalan dalam beberapa divisi sesuai spesifikasi 2018 [26]. Item pekerjaan yang akan dikerjakan terdapat pada Tabel 1 dan berdasarkan item tersebut dilakukan perhitungan RAB berdasarkan Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang

Pekerjaan Umum yang terdapat pada Tabel 2. Hasil perhitungan RAB menunjukkan total biaya yang dibutuhkan dalam Pembangunan box culvert adalah Rp 2.008.090.000, - (dua milyar delapan juta sembilan puluh ribu rupiah). Nilai ini sudah mencakup biaya umum dan keuntungan sebesar 10 % dan PPN 11 %

Tabel 1. Item pekerjaan box culvert

Divisi 1 Umum	Divisi 5 Perkerasan Berbutir
Mobilisasi	Lapis Fondasi Agregat Kelas A
Manajemen dan Keselamatan Lalu Lintas	Divisi 6 Perkerasan Aspal
Jembatan Sementara	Lapis Resap Pengikat - Aspal Cair/Emulsi
Pengujian Parameter Kualitas Air Lainnya	Lapis Perekat - Aspal Cair/Emulsi
Pengujian Vibrasi Lingkungan untuk Kesehatan	Laston Lapis Aus Asbuton Butir (AC-WC Asb Butir)
Pengujian tingkat getaran kendaraan bermotor	Laston Lapis Antara Asbuton Butir (AC-BC Asb Butir)
Keselamatan dan Kesehatan Kerja	Divisi 7 Struktur
Pengujian Tanah	Beton struktur, fc'30 MPa
Manajemen Mutu	Beton, fc'15 Mpa
Divisi 2 Drainase	Beton, fc'10 Mpa
Galian untuk Selokan Drainase dan Saluran Air	Baja Tulangan Polos-BjTP 280
Pasangan Batu dengan Mortar	Baja Tulangan Sirip BjTS 420A
Divisi 3 Pekerjaan Tanah dan Geosintetik	Pasangan Batu
Galian Biasa	Pasangan Batu Kosong
Timbunan Biasa dari sumber galian	Papan Nama Jembatan
Timbunan Biasa dari hasil galian	Divisi 9 Pekerjaan Harian dan Pekerjaan Lain-lain
Timbunan Pilihan dari sumber galian	Patok Pengarah

Tabel 2. Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

No. Divisi	Uraian	Jumlah harga (Rp)
1	Umum	281,724,137.78
2	Drainase	18,004,477.25
3	Pekerjaan Tanah Dan Geosintetik	106,263,327.01
5	Perkerasan Berbutir Dan Perkerasan Beton Semen	148,402,543.81
6	Perkerasan Aspal	252,123,144.84
7	Struktur	991,739,277.72
9	Pekerjaan Harian Dan Pekerjaan Lain-Lain	10,837,873.00
(A)	Jumlah Harga Pekerjaan (<i>termasuk biaya umum dan keuntungan</i>)	1,809,094,781.41
(B)	Pajak Pertambahan Nilai (PPN) = 11% x (A)	199,000,425.96
(C)	JUMLAH TOTAL HARGA PEKERJAAN = (A) + (B)	2,008,095,207.37
(D)	DIBULATKAN	2,008,090,000.00

4. KESIMPULAN

Darir hasil pengamatan lapangan dan analisis data diketahui bahwa jembatan eksisting pada studi ini merupakan jembatan darurat berupa cincin sumuran yang diletakkan sedemikian rupa, sehingga dapat dilalui kendaraan. Karena sungai yang akan dilewati cukup kecil maka direncanakan jembatan jenis Gorong-Gorong (Box Culvert) dengan tipe double, bentang 6.90 m, lebar 9.40 m, dimensi basah 3,00 m x 3,00 m tebal dinding dan lantai 30 cm serta mutu beton fc' 30 MPa. Total perkiraan biaya pada pekerjaan ini adalah senilai Rp 2.008.090.000, - (dua milyar delapan juta sembilan puluh ribu rupiah).

Daftar Pustaka

- [1] S. Surjono, F. R. Sutikno, V. W. E. Pratiwi, and S. Adnan, "The Linkages between Hard Infrastructure, Poverty Reduction, and Rice Prices," *Int. J. Sustain. Futur. Hum. Secur.*, vol. 4, no. 1, pp. 23–26, Jul. 2016, doi: 10.24910/jsustain/4.1/2326.
- [2] S. Yuliana, A. Bashir, and S. Rohima, "The Effect of Investment Toward Economic Growth in The Local Economy," *J. Ekon. dan Stud. Pembang.*, vol. 11, no. 1, pp. 28–39, Mar. 2019, doi: 10.17977/um002v11i12019p028.
- [3] A. Tarassyta and I. Auwalin, "The Effect of Balikpapan-Samarinda Toll Road Construction with a PPP Scheme on The Formation of Economic Structure in East Kalimantan," *J. Ilmu Ekon. Terap.*, vol. 9, no. 1, pp. 51–63, Jun. 2024, doi: 10.20473/jiet.v9i1.57456.
- [4] M. A. Rohman, "Assessment of the government's role performance in public-private partnership (PPP) toll road projects in Indonesia," *J. Financ. Manag. Prop. Constr.*, vol. 27, no. 2, pp. 239–258, Jun. 2022, doi: 10.1108/JFMPC-07-2019-0065.
- [5] I. N. Sebayang, Lindawati, and Badaruddin, "Prioritizing Infrastructure Development to Boost Regional Gross Domestic Product (GDP) in Simalungun Regency, Indonesia," *Asian J. Adv. Res. Reports*, vol. 18, no. 7, pp. 90–102, Jun. 2024, doi: 10.9734/ajarr/2024/v18i7688.
- [6] B. Ercikdi, H. Baki, and M. Izki, "Effect of desliming of sulphide-rich mill tailings on the long-term strength of cemented paste backfill," *J. Environ. Manage.*, vol. 115, pp. 5–13, Jan. 2013, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2012.11.014.
- [7] T. Sukwika, "Peran Pembangunan Infrastruktur terhadap Ketimpangan Ekonomi Antarwilayah di Indonesia," *J. Wil. dan Lingkung.*, vol. 6, no. 2, p. 115, Aug. 2018, doi: 10.14710/jwl.6.2.115-130.
- [8] H. Ghazal and A. Mwafy, "Comparative Performance Evaluation of Retrofit Alternatives for Upgrading Simply Supported Bridges Using 3D Fiber-Based Analysis," *Buildings*, vol. 13, no. 5, p. 1161, Apr. 2023, doi: 10.3390/buildings13051161.
- [9] N. Lu, M. Beer, M. Noori, and Y. Liu, "Lifetime Deflections of Long-Span Bridges under Dynamic and Growing Traffic Loads," *J. Bridg. Eng.*, vol. 22, no. 11, Nov. 2017, doi: 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001125.
- [10] Q. Zou, K. Pool, and S. Chen, "Performance of suspension bridge hangers exposed to hazardous material fires considering wind effects," *Adv. Bridg. Eng.*, vol. 1, no. 1, p. 2, Dec. 2020, doi: 10.1186/s43251-020-00004-9.
- [11] H. SOUSA, B. J. A. COSTA, A. A. HENRIQUES, J. BENTO, and J. A. FIGUEIRAS, "ASSESSMENT OF TRAFFIC LOAD EVENTS AND STRUCTURAL EFFECTS ON ROAD BRIDGES BASED ON STRAIN MEASUREMENTS," *J. Civ. Eng. Manag.*, vol. 22, no. 4, pp. 457–469, Dec. 2015, doi: 10.3846/13923730.2014.897991.
- [12] H. Al-Karawi, P. Shams-Hakimi, and M. Al-Emrani, "Mean Stress Effect in High-Frequency Mechanical Impact (HFMI)-Treated Steel Road Bridges," *Buildings*, vol. 12, no. 5, p. 545, Apr. 2022, doi: 10.3390/buildings12050545.
- [13] X. Wang, X. Wang, Y. Dong, and C. Wang, "A Novel Construction Technology for Self-Anchored Suspension Bridge Considering Safety and Sustainability Performance," *Sustainability*, vol. 12, no. 7, p. 2973, Apr. 2020, doi: 10.3390/su12072973.

- [14] M. Kripka, V. Yepes, and C. J. Milani, "Selection of Sustainable Short-Span Bridge Design in Brazil," *Sustainability*, vol. 11, no. 5, p. 1307, Mar. 2019, doi: 10.3390/su11051307.
- [15] S. Saurav and I. Pandey, "ECONOMIC DESIGN OF RCC BOX CULVERT THROUGH COMPARATIVE STUDY OF CONVENTIONAL AND FINITE ELEMENT METHOD," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 1707–1713, Jun. 2017, doi: 10.21817/ijet/2017/v9i3/170903042.
- [16] M. V Afanador Arias, J. S. Pacheco-Posada, and N. Afanador García, "Numerical simulation of box culverts subjected to different physical actions and design regulations," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2153, no. 1, p. 012002, Jan. 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2153/1/012002.
- [17] H. A. Waqas, M. Waseem, A. Riaz, M. Ilyas, M. Naveed, and H. Seitz, "Influence of Haunch Geometry and Additional Steel Reinforcement on Load Carrying Capacity of Reinforced Concrete Box Culvert," *Materials (Basel)*, vol. 16, no. 4, p. 1409, Feb. 2023, doi: 10.3390/ma16041409.
- [18] N. Ngobeni, A. L. Marnewick, and D. J. Van Vuuren, "A parametric design process model for box culverts," *J. South African Inst. Civ. Eng.*, vol. 63, no. 3, pp. 1–14, Nov. 2021, doi: 10.17159/2309-8775/2021/v63n3a3.
- [19] S. Lu, Y. Sun, and Q. Hu, "Finite Element Analysis Study of Box Culvert Jacking-Out Construction under Existing Railway Line," *Engineering*, vol. 15, no. 03, pp. 196–206, 2023, doi: 10.4236/eng.2023.153015.
- [20] H. A. Waqas, A. Bahrami, F. Amin, M. Sahil, and M. Saud Khan, "Numerical Modeling and Performance Evaluation of Carbon Fiber-Reinforced Polymer-Strengthened Concrete Culverts against Water-Induced Corrosion," *Infrastructures*, vol. 9, no. 5, p. 82, May 2024, doi: 10.3390/infrastructures9050082.
- [21] Z. Gebremedhn, "Finite Element Modeling and Analysis of Precast Reinforced Concrete U-Shaped Box Culvert Using ABAQUS," *Am. J. Civ. Eng.*, vol. 6, no. 5, p. 162, 2018, doi: 10.11648/j.ajce.20180605.14.
- [22] B. Chen, J. Zheng, and J. Han, "Experimental study on concrete box culverts in trenches," *Front. Archit. Civ. Eng. China*, vol. 3, no. 1, pp. 73–80, Mar. 2009, doi: 10.1007/s11709-009-0008-3.
- [23] Direktorat Bina Program Jalan, *Standar Gorong-Gorong Persegi Beton Bertulang (Box Culvert) Tipe Double*. Jakarta: Dirjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, 1987.
- [24] E. Rusmana, D. Sukarna, and E. Haryono, *Peta Geologi Lembar Lasusua - Kendari, Sulawesi Tenggara Skala 1:250.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1993.
- [25] T. O. Simandjutak, Surono, and Sukido, *Peta Geologi Lembar Kolaka - Kendari, Sulawesi Tenggara Skala 1:250.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1993.
- [26] Direktorat Jenderal Bina Marga, *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018.

Halaman ini sengaja dikosongkan