

Analisis Penerapan *Value Engineering* pada Konstruksi Lantai Jembatan *Cable Stayed*

Sawaluddin¹, Abdul Kadir², Romy Suryaningrat Edwin^{*3}

^{1,2}Program Studi Manajemen Rekayasa, Pasca Sarjana, Universitas Halu Oleo
Kampus Abdullah Silondae (Kampus Lama UHO), Jl. Mayjend S. Parman, Sulawesi Tenggara

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo
Kampus Hijau Bumi Tridharma Anduonohu, Jl. HEA Mokodompit, Sulawesi Tenggara

Submitted : 03, Februari, 2024;

Accepted: 29, April, 2024

Abstrak

Penelitian bertujuan untuk menemukan solusi konstruksi yang paling ekonomis untuk lantai jembatan *cable stayed* yang akan digunakan dalam pembangunan jembatan penghubung Pulau Muna dan Buton dengan penerapan rekayasa nilai atau *value engineering* (VE). Analisa kekuatan struktur jembatan dilakukan dengan menggunakan *software* analisa struktur CSI Bridge v.24. Tahap informasi, tahap kreatif, tahap analisis, dan tahap rekomendasi merupakan 4 (empat) tahapan dalam langkah kerja metodologi penelitian rekayasa nilai. Untuk memilih jenis jembatan yang akan dirancang, informasi awal tentang lokasi jembatan diidentifikasi pada tahap informasi. Tahap kreatif dilakukan dengan menentukan jenis lantai jembatan yang akan dianalisis. Tahap analisis menentukan model lantai jembatan dengan cara analisis siklus hidup jembatan. Tahap rekomendasi dilakukan dengan merekomendasikan model lantai jembatan yang paling ekonomis untuk digunakan sebagai lantai jembatan kabel. Hasil analisis menggunakan rekayasa nilai dengan pendekatan analisis biaya siklus hidup (*life cycle cost/LCC*) menunjukkan bahwa dari beberapa model lantai jembatan yang dievaluasi, model 2 menunjukkan sebagai yang paling efisien dari segi biaya yakni sebesar Rp.648.346.291.191,68 dengan nilai pembangunan sebesar Rp.750.178.311.773,30 dan nilai penghematan sebesar 43,58% dan 14,42% terhadap lantai jembatan model 1 dengan nilai sisa Rp.866.921.706.028,59, nilai pembangunan Rp.1.100.038.825.447,22 dan nilai sisa model 3 sebesar Rp.1.649.977.529.597,29, nilai pembangunan Rp.1.751.809.550.178,90. Sehingga dapat disimpulkan bahwa lantai jembatan model 2 lebih menghemat penggunaan biaya dibanding lantai jembatan model 1 dan 3.

Kata Kunci : jembatan *cable stayed*; LCC; penghematan biaya; rekayasa nilai

Abstract

This research aims to find the most economical construction solution for the cable stayed bridge floor which will be used in the construction of the bridge connecting Muna and Buton islands by applying value engineering (VE). Bridge structural strength analysis

was carried out using CSI Bridge v.24 structural analysis software. The research method used is value engineering work steps which consist of 4 (four) stages, namely: information stage, creative stage, analysis stage and recommendation stage. In the information stage, initial data on the location of the bridge is identified to determine the type of bridge to be designed. The creative stage is carried out by determining the type of bridge floor that will be analyzed. The analysis stage determines the bridge floor model by analyzing the bridge life cycle. The recommendation stage is carried out by recommending the most economical bridge floor model for cable bridge floor use. The results of the analysis using value engineering with a life cycle cost (LCC) analysis approach show that of the several bridge deck models evaluated, model 2 stands out as the most efficient in terms of cost, namely Rp. 648.346.291.191,68 with a development value of Rp.750.178.311.773,30 and a savings value of 43,58% and 14,42% for the model 1 bridge floor with a residual value of Rp.866.921.706.028,59, construction value Rp.1.100.038.825.447,22 and the residual value of model 3 is Rp.1.649.977.529.597,29, construction value Rp.1.751.809.550.178,90. So it can be concluded that the model 2 bridge floor saves more costs than the model 1 and 3 bridge floors.

Keywords : *cable stayed bridge; LCC; cost savings; value engineering*

A. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan infrastruktur yang berfungsi menghubungkan dua tempat yang dipisahkan oleh sungai, laut, jurang, jalan raya, ataupun rel kereta api sehingga memudahkan untuk menyebrangnya. Sejarah jembatan dimulai sejak zaman manusia purba yang menggunakan akar, batang pohon, bebatuan untuk menyebrangi sungai atau tebing curam. Penggunaan akar pohon inilah yang menjadi awal mula munculnya ide untuk membuat jembatan kabel dan jembatan gantung.

Jembatan yang menghubungkan Pulau Muna dan Buton rencananya terletak di Baruta Kabupaten Buton tengah dan Palabusa Kota Baubau dengan panjang total jembatan yang direncanakan yakni 1.620 meter. Jembatan ini akan menjadi obyek penelitian penerapan rekayasa nilai dalam menentukan tipe konstruksi lantai jembatan yang paling efisien dalam penggunaan anggaran namun tidak mengabaikan kekuatan tipe struktur jembatan tersebut. Lokasi jembatan yang berada di Teluk Buton dan merupakan

daerah pelayaran kapal besar dengan kekuatan arus dan kecepatan angin yang tinggi maka dalam pekerjaan konstruksi jembatan ini diperlukan metode khusus.

Perkembangan suatu wilayah sangat ditentukan oleh pembangunan infrastruktur yang ada di wilayah tersebut. Infrastruktur yang menunjang perkembangan wilayah diantaranya gedung, pelabuhan, jalan, dan jembatan sehingga mempermudah jalur perekonomian wilayah tersebut. Pembangunan infrastruktur membutuhkan biaya yang sangat besar sehingga memaksa para *engineer* berpikir untuk mencari solusi dari kondisi tersebut. Salah satu solusi dari masalah tersebut adalah dengan melakukan rekayasa nilai.

Pembangunan jembatan yang menghubungkan pulau Muna dan pulau Buton dengan tipe jembatan gantung membutuhkan biaya pembangunan yang sangat besar. Untuk mengoptimalkan penggunaan anggaran dan kebutuhan bahan yang sesuai maka perlu dilakukan metode rekayasa nilai.

Rekayasa nilai ini sangat penting dalam melakukan penghematan untuk pembangunan infrastruktur. Hal ini terbukti banyaknya hasil penelitian yang menyatakan bahwa penerapan rekayasa nilai mampu memberikan penghematan terhadap berbagai pembangunan infrastruktur (Arumsari, P., & Tanachi, R., 2018; Ngantung, R. K., dkk., 2021; Mahadik, U. A., 2015; Nigjeh, M. J., & Amani, N., 2022).

Fokus penelitian ini adalah dengan membandingkan beberapa model lantai jembatan kabel (*cable stayed*) sehingga diperoleh biaya pembangunan yang lebih murah, aman, dan efisien.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Jembatan *Cable Stayed*

Jembatan *cable stayed* adalah struktur yang memanfaatkan kabel-kabel lurus yang membentang dari menara ke gelagar (*deck*) jembatan. Kabel-kabel ini membawa beban jembatan dan menghasilkan bentuk struktur yang elegan. Jembatan ini biasanya digunakan untuk bentang yang sedang hingga panjang, dan sering kali dipilih karena keindahan desainnya serta keunggulannya dalam menanggulangi beban angin dan gempa dengan menara sebagai penahannya (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015).

2. Lantai Jembatan

Biasanya, dek ortotropik yang terbuat dari beton dengan bobot yang relatif ringan atau baja berongga yang sebagian diisi beton (komposit baja-beton) digunakan sebagai lantai jembatan. Dampak penyusutan dan pemuaian material baja atau beton harus diperhitungkan dengan baik dalam sistem lantai atau dek ini. Selain merugikan konstruksi geladak, pemuaian dan penyusutan yang tidak terkendali dapat

memberikan tekanan tambahan pada struktur geladak itu sendiri. Untuk mencegah kerusakan pada dek dan struktur utama, sambungan ekspansi harus dipasang setiap 30 hingga 40 meter (Bardin, D. G., & Suárez, M. A. S., 2021).

3. Rekayasa Nilai (*Value Engineering*)

Menurut Chandra (1986) yang dikutip dalam Thongesal, J., (2018), rekayasa nilai adalah suatu metode analisis untuk optimalisasi efektivitas biaya, yang pada awalnya dapat menimbulkan biaya tambahan dalam anggaran operasional karena biaya-biaya yang tidak perlu, dan setelah berakhirnya proses rekayasa nilai, memberikan nilai efektivitas biaya dan biaya kembali ke nilai normal dengan mempertahankan prinsip tidak menghilangkan kinerja, daya tahan, keandalan, mutu, fungsi, manfaat, estetika dan aspek-aspek lain dari unsur pekerjaan yang dianggap penting dari suatu elemen pekerjaan.

Konsep VE memerlukan estimasi biaya yang akurat dan sistematis karena tidak hanya biaya utama pelaksanaan proyek, tetapi juga biaya operasi dan pemeliharaan, nilai sisa, biaya penggantian dan biaya terkait lainnya untuk menentukan total biaya minimum. Unsur waktu memegang peranan penting dalam implementasi teori VE.

Menurut Dell'Isola (1975) yang dikutip dalam Santoso, E. N., (2015) prinsip utama metode VE meliputi nilai, biaya dan manfaat VE berfokus pada analisis masalah nilai suatu aktivitas, bukan sekedar analisis biaya, untuk menemukan biaya serendah mungkin untuk aktivitas tersebut.

Menurut Mendonca, E. M. D. J., (2015), sulit untuk memisahkan nilai dari biaya dan harga. Khususnya ketika menyangkut moralitas, estetika, masyarakat, ekonomi, dan sebagainya,

nilai-nilai bersifat subjektif. Perdebatan nilai dalam teknologi nilai hanya berkaitan dengan ekonomi.

4. Tahapan Rekayasa Nilai

Rekayasa nilai diimplementasikan dengan menggunakan strategi yang terdiri dari bagian-bagian yang dikelompokkan secara metodis (Mendonca, E. M. D. J., 2015). Istilah “Rencana Kerja Rekayasa Nilai (RK-RN) atau Rencana Aksi Rekayasa Nilai”, lebih umum digunakan untuk merujuk pada fase-fase yang disusun secara metodis tetapi pada dasarnya proses yang dilakukan sama.

Fase informasi menurut literatur Zimmerman, L. W., & Hart, (1982) yang dikutip dalam Santoso, E. N., (2015) berupaya mengumpulkan sebanyak mungkin data ideal dari tahap perencanaan proyek. Materi ini antara lain mencakup asumsi-asumsi yang digunakan dalam desain proyek, kepemilikan gedung dan biaya pengoperasian, serta informasi latar belakang. Perkiraan biaya untuk melaksanakan tugas-tugas mendasar adalah hasil dari tahap data ini. Selanjutnya, jumlah perkiraan yang terlalu rendah dan perkiraan biaya aset utama ini dikontraskan. Dimungkinkan untuk meningkatkan nilai suatu suku cadang jika total biaya suku cadang tersebut jauh lebih besar daripada biaya yang dihasilkannya.

Tahap penilaian ini dikenal dengan tahap analisis (Bidiawati, dkk., 2019), yaitu empat tahapan analisis: menetapkan kriteria penilaian pada tahap pertama, melakukan analisis positif dan negatif pada tahap kedua, melakukan analisis praktis pada tahap ketiga, dan melakukan analisis matriks pada langkah keempat.

Menurut Zimmerman, L. W. and Hart, (1982), yang dikutip dalam Santoso, E. N., (2015) dalam tahap

analisis ini hanya ada satu proses: analisis positif dan negatif. Saat ini, jika memungkinkan, analisis matriks tidak dilaporkan dan tidak dimungkinkan, tetapi analisis matriks dapat dilakukan jika direkomendasikan dan lembar kerja disertakan dalam *file* terlampir.

Menurut Dell’Isola, (1975) serta Kumar, S. L., (2018), dalam tahap analisis ini terdapat tiga proses: positif dan negatif, analisis fungsional, dan analisis matriks.

Proses rekayasa nilai diakhiri dengan tahap rekomendasi. Makalah ini memberikan data dan bukti untuk mendukung pernyataan tersebut. Menurut literatur Ramani, B., & Pitroda, J., (2021), walaupun bervariasi dari aspek teknis hingga aspek non teknis, namun dapat lebih jelas ditunjukkan bahwa nilai tabungan lebih baik pada sektor yang dipilih dibandingkan pada aspek lainnya.

C. METODE PENELITIAN

1. Objek dan Kerangka Penelitian

Objek penelitian ini adalah rencana pembangunan jembatan yang menghubungkan Pulau Muna dan Buton di Sulawesi Tenggara dengan panjang badan jembatan tetap 1200 m seperti terlihat pada gambar 1.

Kerangka penelitian ini mencakup mencari bentuk lantai jembatan yang paling ekonomis, menganalisa jenis, mutu, dan dimensi struktur, analisa pembebanan dan analisa struktur dengan CSI Bridge Versi 24, menghitung RAB, dan penerapan 4 tahapan *value engineering*. Secara detail kerangka penelitian dapat dilihat pada gambar 2.

2. Objek dan Subyek Penelitian

Subjek penelitian adalah memilih konstruksi jembatan yang paling ekonomis dengan membandingkan tiga jenis geladak jembatan yaitu *multiple box*

girder, twin square box girder dan single square girder dengan mengaplikasikan analisis *value engineering*.

Data utama yang dibutuhkan pada penelitian adalah :

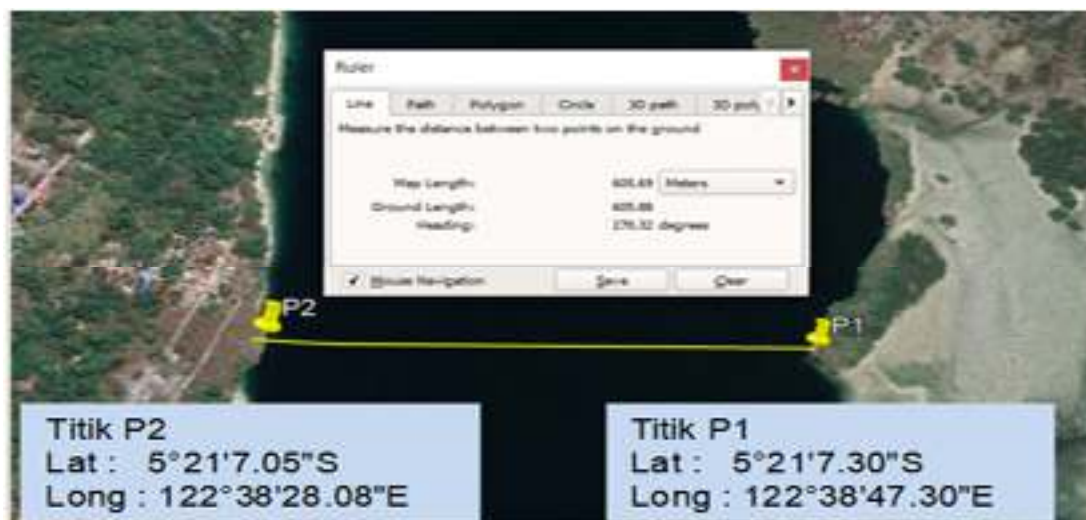
a. Data dimensi jembatan

b. Daftar biaya bahan

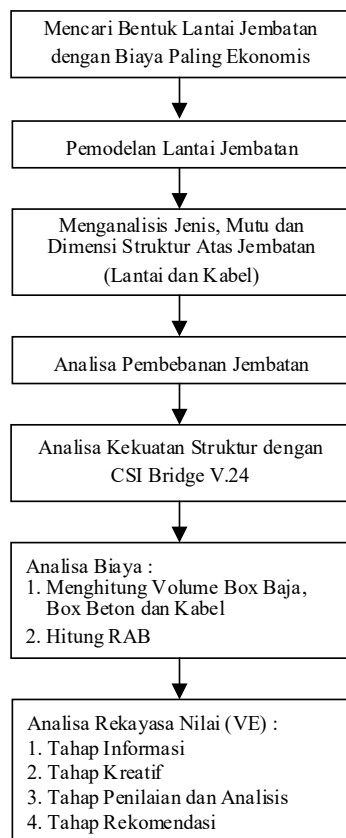
c. Daftar biaya upah

d. Daftar biaya alat berat

Data pelengkap berupa data gambar desain (standar Bina Marga) digunakan untuk melengkapi data utama.



Gambar 1. Lokasi rencana pembangunan jembatan
(Sumber: Google Earth, 2021)

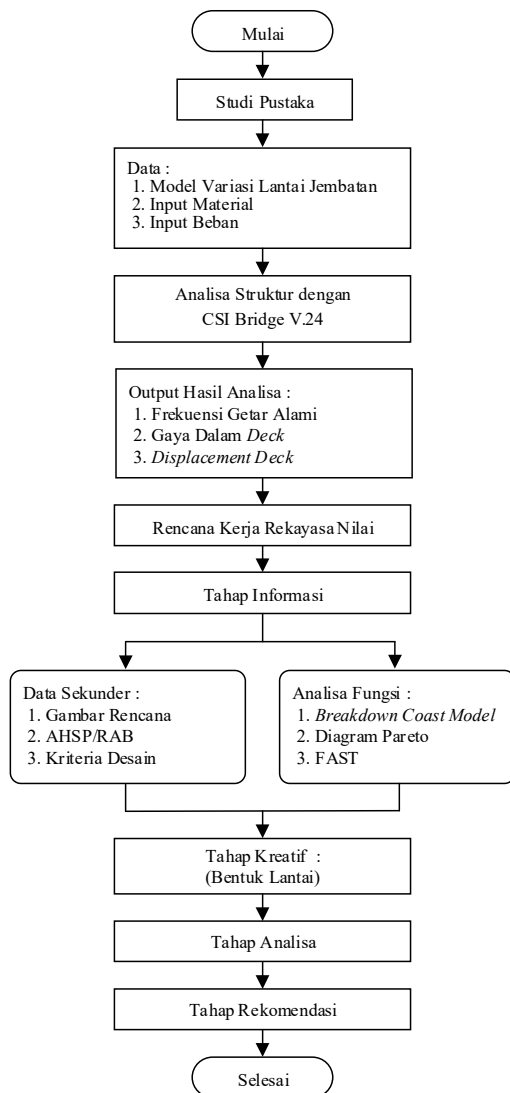


Gambar 2. Kerangka penelitian

Teknik pengumpulan data dengan penelitian kepustakaan digunakan untuk mencari data dan informasi yang berkaitan dengan topik penelitian dan dari teori-teori sebelumnya yang berupa buku, artikel, jurnal dan karya ilmiah.

Observasi dilakukan untuk mendapatkan data pendukung secara langsung dengan mengamati dan mencari informasi ke BPJN Sulawesi Tenggara tentang hal-hal yang berhubungan dengan subyek penelitian.

Diagram alir penelitian secara keseluruhan harus dirancang sebaik-baiknya, karena diagram alir penelitian adalah sebagai pedoman dalam mengadakan penelitian dan mengetahui prestasi yang telah dicapai dalam penelitian ini. Adapun diagram alir penelitian secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Tahap Informasi

Sistem kabel arah lateral pada jembatan direncanakan menggunakan *Two inclined Plans System*, pada arah longitudinal menggunakan *semi harp* dengan ketentuan sebagai berikut:

- Panjang bentang jembatan (bentang utama) $L = 600$ m, dengan panjang total $300 \text{ m} + 600 \text{ m} + 300 \text{ m} = 1200$ m dan lebar jembatan 25 m, lebar jalan di atas dari dek jembatan 22 m (2/2UD);
- Balok memanjang menggunakan *box* beton dan baja, serta lantai kendaraan dibuat bagian komposit

antara panel besi bergelombang komposit dan beton bertulang;

- Balok baja dan beton, kabel baja 7 kawat dan kolom beton bertulang, jarak kabel antar balok menurut Whalter, dkk., (1999) sebagai berikut:

- Balok baja (15 m – 25 m), jarak 16 m.
- Balok beton (5 m – 10 m), jarak 9 m.

Sehingga jumlah kabel yang digunakan pada jembatan sebanyak 23 buah.

- Ketinggian menara (h) berdasarkan pada Troitsky, (1977), ditentukan berdasarkan rumus berikut:

$$\begin{aligned} L/6 &\leq h \leq L/8 \\ (600)/6 &\leq h \leq 600/8 \\ 100 \text{ m} &\leq h \leq 75 \text{ m} \end{aligned}$$

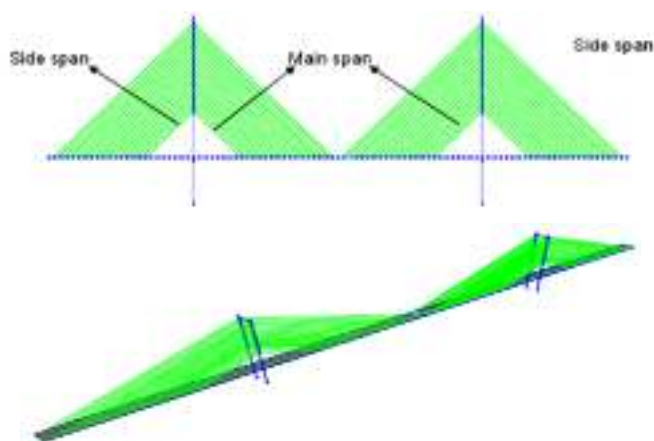
Direncanakan tinggi *pylon* (h) adalah 120 meter

- Spesifikasi material yang digunakan:
 $F_c' \text{ slab} + \text{pylon} = 35 \text{ MPa}$
 $F_y \text{ deck baja} = 400 \text{ MPa}$
 Tegangan ultimit kabel (F_u)
 $= 1860 \text{ MPa}$

Model jembatan, jumlah kabel dan panjang kabel dapat di lihat pada gambar 4 dan tabel 1.

Untuk mengetahui harga satuan setiap item pekerjaan pada superstruktur jembatan khususnya lantai jembatan dan kabel maka dilakukan analisa harga satuan pekerjaan untuk setiap item pekerjaan. Analisa harga satuan pekerjaan untuk setiap item pekerjaan dapat dilihat pada tabel 2.

Pada tabel 3 diperoleh analisis model biaya, fungsi utama dan fungsi pendukung selanjutnya diperiksa untuk melakukan analisis fungsional. Hal ini memungkinkan untuk dilakukan perbandingan biaya dan manfaat, dengan manfaat yang diperlukan untuk analisis fungsional.



Gambar 4. Model jembatan yang dianalisa

Tabel 1. Jumlah dan panjang kabel

Nomor Kabel	Panjang Kabel (meter)	Lokasi	Jumlah Kabel (bh)		Nomor kabel	Panjang Kabel (meter)	Lokasi	Jumlah kabel (bh)	
			Kiri	Kanan				Kiri	Kanan
1	72	Main span	4	4	1	72	Side span	2	2
2	82	Main span	4	4	2	82	Side span	2	2
3	92	Main span	4	4	3	92	Side span	2	2
4	102	Main span	4	4	4	102	Side span	2	2
5	112	Main span	4	4	5	112	Side span	2	2
6	122	Main span	4	4	6	122	Side span	2	2
7	132	Main span	4	4	7	132	Side span	2	2
8	152	Main span	4	4	8	152	Side span	2	2
9	162	Main span	4	4	9	162	Side span	2	2
10	172	Main span	4	4	10	172	Side span	2	2
11	182	Main span	4	4	11	182	Side span	2	2
12	192	Main span	4	4	12	192	Side span	2	2
13	202	Main span	4	4	13	202	Side span	2	2
14	212	Main span	4	4	14	212	Side span	2	2
15	222	Main span	4	4	15	222	Side span	2	2
16	232	Main span	4	4	16	232	Side span	2	2
17	252	Main span	4	4	17	252	Side span	2	2
18	262	Main span	4	4	18	262	Side span	2	2
19	272	Main span	4	4	19	272	Side span	2	2
20	282	Main span	4	4	20	282	Side span	2	2
21	292	Main span	4	4	21	292	Side span	2	2
22	302	Main span	4	4	22	302	Side span	2	2
23	312	Main span	4	4	23	312	Side span	2	2

Tabel 2. Analisa harga satuan baja prategang

No.	Komponen		Satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
A.	<u>Tenaga</u>					
1.	Pekerja	(L01)	jam	9,0361	15.839,29	143.126,08
2.	Tukang	(L02)	jam	0,9036	17.982,14	16.248,92
3.	Mandor	(L03)	jam	0,9036	17.267,86	15.603,49
Jumlah harga tenaga						174.978,49

Tabel 2. Analisa harga satuan baja prategang (Lanjutan)

No.	Komponen	Satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
B.	Bahan				
1.	Kabel prategang	Kg	1,0000	29.000,00	29.000,00
				Jumlah harga bahan	29.000,00
C.	Peralatan				
1.	<i>Dump truck</i>	E08 jam	0,2683	364.360,06	97.766,29
2.	<i>Crane</i>	E07 jam	0,9036	743.986,59	672.277,04
3.	Alat bantu	jam	1,0000	0,00	0,00
D.	Jumlah harga tenaga, bahan dan peralatan (A + B + C)				974.021,81
E.	<i>Overhead</i> dan profit 15,0 % × D				146.103,27
F.	Harga satuan pekerjaan (D + E)				1.120.125,09

Tabel 3. *Cost model*

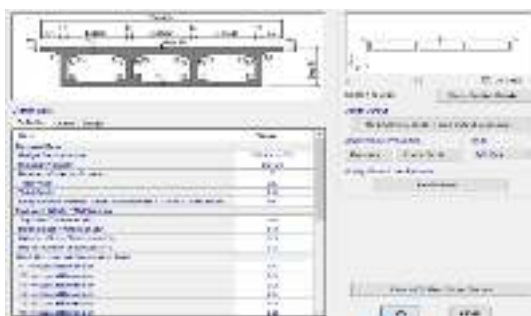
No	Uraian	Satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)	%
Alternatif 1						
1	Pengadaan <i>box girder</i>	Ton	45.028,80	16.016.591	721.207.850.306	65,56%
2	Baja prategang	Kg	334.599,87	1.120.125	374.793.707.602	34,07%
3	Laston lapis antara (AC-BC)	Ton	2.208,00	1.480.085	3.268.026.838	0,30%
4	<i>Erection concrete box girder</i>	Bh	150,00	2.681.574	402.236.040	0,04%
5	Lapis resap pengikat - aspal cair	Ltr	24.000,00	15.292	367.004.661	0,03%
Total Alternatif 1					1.100.038.825.447	100%
Alternatif 2						
1	Pengadaan <i>box girder</i>	Ton	24.271,95	18.975.000	460.560.228.480	61,39%
2	Baja prategang	Kg	218.975,66	1.120.125	245.280.132.307	32,70%
3	Beton mutu sedang fc'30 MPa lantai jembatan	M ³	12.000,00	3.376.483	40.517.795.971	5,40%
4	Laston lapis antara (AC-BC)	Ton	2.208,00	1.480.085	3.268.026.838	0,44%
5	Lapis resap pengikat - aspal cair	Ltr	24.000,00	15.292	367.004.661	0,05%
6	<i>Erection steel box girder</i>	Bh	100,00	1.851.235	185.123.517	0,02%
Total Alternatif 2					750.178.311.773	100%
Alternatif 3						
1	Baja prategang	Kg	1.313.853,97	1.120.125	1.471.680.793.839	84,01%
2	Pengadaan <i>box girder</i>	Ton	11.892,56	18.975.000	225.661.356.360	12,88%
3	Beton mutu sedang fc'30 MPa lantai jembatan	M ³	15.000,00	3.376.483	50.647.244.964	2,89%
4	Laston lapis antara (AC-BC)	Ton	2.208,00	1.480.085	3.268.026.838	0,19%
5	Lapis resap pengikat - aspal cair	Ltr	24.000,00	15.292	367.004.661	0,02%
6	<i>Erection steel box girder</i>	Bh	100,00	1.851.235	185.123.517	0,01%
Total Alternatif 3					1.751.809.550.179	100%

2. Tahap Kreatif

Setelah mengetahui seluruh informasi mengenai jembatan yang akan dianalisis, selanjutnya dilakukan tahapan kreatif terhadap model lantai jembatan

(*deck*). Pemodelan lantai jembatan ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan pikul beban jembatan terhadap lentur (*displacement*) dan jumlah kabel yang dibutuhkan pada setiap model lantai jembatan. Untuk menganalisa kekuatan

struktur dari berbagai alternatif model lantai jembatan dilakukan dengan menggunakan *software* analisa struktur CSI Bridge V.24. Adapun model lantai jembatan yang direncanakan terdapat pada gambar 5, gambar 6, dan gambar 7.



Gambar 5. Model 1 lantai (*deck*) jembatan yang dianalisa



Gambar 6. Model 2 lantai (*deck*) jembatan yang dianalisa



Gambar 7. Model 3 lantai (*deck*) jembatan yang dianalisa

Hasil dari analisa struktur yang dilakukan menghasilkan lendutan dan

jumlah *strand* kabel yang dibutuhkan sehingga memenuhi syarat lendutan yang ditentukan.

3. Tahap Penilaian dan Analisis

Pada tahap ini dilakukan analisa terhadap alternatif-alternatif rencana lantai jembatan yang diperoleh dari tahapan kreatif sebelumnya. Tujuannya adalah melakukan seleksi pekerjaan yang memiliki potensi nilai harga tinggi dan potensi kekuatan struktur rendah. Pada tahapan ini juga memiliki tujuan untuk menganalisa keuntungan dan kerugian dari alternatif-alternatif yang direncanakan. Tahapan yang dilakukan untuk menentukan model lantai jembatan terbaik yaitu tahap analisa biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost* atau LCC).

Dengan mempertimbangkan variabel biaya seperti biaya konstruksi (biaya awal), biaya operasi, biaya pemeliharaan, biaya penggantian material, dan nilai sisa pada akhir umur investasi (*salvage cost*) dengan provisi, analisis biaya siklus hidup digunakan untuk menganalisis alternatif berdasarkan pada kriteria biaya dengan ketentuan:

- Umur rencana jembatan = 50 tahun.
- Periode ulang pemeliharaan jembatan adalah 4 tahun untuk jembatan beton dan 1 tahun untuk jembatan baja.
- Tingkat suku bunga (i) = rata-rata suku Bunga deposito (*safe rate*) + $\frac{1}{2}$ *safe rate*.

Tingkat suku bunga deposito masing-masing bank yang ada di Indonesia dapat di lihat pada tabel 4.

Dari tabel 4 dan dengan mengabaikan tingkat inflasi yang terjadi, maka diperoleh tingkat suku bunga (i) = $2,84\% + (\frac{1}{2} \times 2,84) = 4,26\%$ dibulatkan = 5%.

Selanjutnya dilakukan analisa biaya konstruksi masing-masing alternatif

model lantai jembatan yang dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 4. Suku bunga deposito berbagai bank

No	Nama Bank	Suku Bunga
1	Bank Mandiri	2,50%
2	Bank Mega	2,00%
3	Bank Panin	4,25%
4	Bank Sinar Mas	2,00%
5	BCA	2,00%
6	BNI	3,00%
7	BRI	3,00%
8	BTN	2,75%
9	CIMB Niaga	4,00%
10	Maybank	2,50%
11	OCBC NISP	3,25%
	Jumlah	31,25%
	Nilai rata-rata	2,84%

Analisa biaya operasional jembatan dianggap nol karena biaya operasional jembatan tidak diperlukan. Selanjutnya dilakukan analisa terhadap biaya perawatan terhadap setiap alternatif selama umur rencana jembatan yang direncanakan. Untuk menghitung total biaya yang akan dikeluarkan untuk pemeliharaan selama masa umur rencana menggunakan perkiraan nilai uang terhadap waktu dengan menghitung nilai total biaya pemeliharaan yang dibayarkan sekarang (*present value*). Kebutuhan biaya perawatan tiap-tiap model ada pada tabel 6 dan tabel 7.

Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai sisa terhadap seluruh komponen item kegiatan pembangunan jembatan.

Tabel 5. Biaya konstruksi masing-masing alternatif

No	Uraian	Satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
Alternatif 1					
1	Pengadaan <i>box girder</i>	Ton	45.028,80	16.016.591	721.207.850.306
2	Baja prategang	Kg	334.599,87	1.120.125	374.793.707.602
3	Laston lapis antara (AC-BC)	Ton	2.208,00	1.480.085	3.268.026.838
4	<i>Erection concrete box girder</i>	Bh	150,00	2.681.574	402.236.040
5	Lapis resap pengikat - aspal cair	Ltr	24.000,00	15.292	367.004.661
Total Alternatif 1					1.100.038.825.447
Alternatif 2					
1	Pengadaan <i>box girder</i>	Ton	24.271,95	18.975.000	460.560.228.480
2	Baja prategang	Kg	218.975,66	1.120.125	245.280.132.307
3	Beton mutu sedang fc'30 MPa lantai jembatan	M ³	12.000,00	3.376.483	40.517.795.971
4	Laston lapis antara (AC-BC)	Ton	2.208,00	1.480.085	3.268.026.838
5	Lapis resap pengikat - aspal cair	Ltr	24.000,00	15.292	367.004.661
6	<i>Erection steel box girder</i>	Bh	100,00	1.851.235	185.123.517
Total Alternatif 2					750.178.311.773
Alternatif 3					
1	Baja prategang	Kg	1.313.853,97	1.120.125	1.471.680.793.839
2	Pengadaan <i>box girder</i>	Ton	11.892,56	18.975.000	225.661.356.360
3	Beton mutu sedang fc'30 MPa lantai jembatan	M ³	15.000,00	3.376.483	50.647.244.964
4	Laston lapis antara (AC-BC)	Ton	2.208,00	1.480.085	3.268.026.838
5	Lapis resap pengikat - aspal cair	Ltr	24.000,00	15.292	367.004.661
6	<i>Erection steel box girder</i>	Bh	100,00	1.851.235	185.123.517
Total Alternatif 3					1.751.809.550.179

Tabel 6. Total pemeliharaan model 1

No	Harga (Rp.)	Periode Ulang (n)	i	P/F,i%,n	Biaya (Rp.)
1	602.071.695,58	4	5%	0,9980	600.869.055,87
2	602.071.695,58	8	5%	0,9960	599.668.818,43
3	602.071.695,58	12	5%	0,9940	598.470.978,46
4	602.071.695,58	16	5%	0,9920	597.275.531,19
5	602.071.695,58	20	5%	0,9901	596.082.471,82
6	602.071.695,58	24	5%	0,9881	594.891.795,60
7	602.071.695,58	28	5%	0,9861	593.703.497,75
8	602.071.695,58	32	5%	0,9841	592.517.573,53
9	602.071.695,58	36	5%	0,9822	591.334.018,20
10	602.071.695,58	40	5%	0,9802	590.152.827,02
11	602.071.695,58	44	5%	0,9782	588.973.995,27
12	602.071.695,58	48	5%	0,9763	587.797.518,24
Total Biaya					7.131.738.081,37

Tabel 7. Biaya pemeliharaan model 2 dan 3

No	Harga (Rp.)	Periode ulang (n)	i	P/A,i%,n	Biaya (Rp.)
1	658.305.679,67	50	5%	18,2559	12.017.979.418,39
2	658.305.679,67	50	5%	18,2559	12.017.979.418,39

Nilai sisa dapat dihitung dengan persamaan : Nilai sisa = (umur rencana - umur pemakaian)/(umur rencana) \times harga bahan \times luas area.

Nilai sisa pada setiap model lantai jembatan yang direncanakan dapat disajikan pada tabel 8.

Nilai total siklus hidup adalah selisih dari total biaya pengeluaran (biaya

pembangunan, biaya operasional, biaya perawatan) dengan nilai sisa selama umur rencana pembangunan jembatan. Total biaya siklus hidup dapat dilihat pada tabel 9.

Peninjauan aspek kekuatan struktur (lendutan) pada ke-3 alternatif menunjukkan bahwa lendutan struktur masih memenuhi karena lebih rendah dari lendutan ijin seperti pada tabel 10.

Tabel 8. Nilai sisa masing-masing model

No	Harga Bahan (Rp.)	Umur Ekonomis	Umur Pemakaian	Luas Area (M ²)	Nilai Sisa (Rp.)
1	16.016.590,50	50	25	30.000,00	240.248.857.500,00
2	8.975.000,00	50	40	30.000,00	113.850.000.000,00
3	18.975.000,00	50	40	30.000,00	113.850.000.000,00

Tabel 9. Total biaya siklus hidup (LCC)

No	Jenis Biaya	Model 1 (Rp.)	Model 2 (Rp.)	Model 3 (Rp.)
1	Biaya pengadaan	1.100.038.825.447,22	750.178.311.773,30	1.751.809.550.178,90
2	Biaya pemeliharaan	7.131.738.081,37	12.017.979.418,39	12.017.979.418,39
3	Nilai sisa	240.248.857.500,00	113.850.000.000,00	113.850.000.000,00
Total Biaya		866.921.706.028,59	648.346.291.191,68	1.649.977.529.597,29

Tabel 10. Analisa lendutan struktur 3 alternatif

Alternatif	Material	Luas (m ²)	Luas Slab Beton	Jumlah Kabel	Lendutan (mm)	Lendutan Ijin (mm)	Ket
1	Beton	15,64	-	184	1464	L/800 = 1500	OK
2	Baja	6,44	10	184	1358	L/800 = 1500	OK
3	Baja	3,16	12,5	184	1260	L/800 = 1500	OK

4. Tahap Rekomendasi

Tahap rekomendasi adalah tahap pengambilan keputusan dengan menampilkan pertimbangan mengapa model tersebut diambil sebagai model terbaik dari berbagai model yang ditawarkan. Namun yang menjadi hal utama pengambilan keputusan adalah efisiensi biaya tetapi tidak mengabaikan kekuatan struktur dalam memikul beban diatasnya. Sama halnya dengan penelitian yang dilakukan, pengambilan keputusan berfokus pada efisiensi biaya tanpa mengabaikan kekuatan struktur dalam

memikul beban. Pertimbangan dalam pengambilan keputusan mengacu pada aspek-aspek berikut :

- a. Aspek kinerja (*performance*), dari segi kinerja lantai jembatan model 3 memiliki kinerja lebih baik dengan lendutan 1260 mm, dibanding dengan lantai jembatan model 1 dan 2 masing-masing memiliki lendutan 1464 mm dan 1358 mm. akan tetapi jembatan model 3 ini membutuhkan jumlah strand yang lebih banyak dibanding dengan model jembatan 1 dan 2 seperti dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Kebutuhan jumlah *strand*

Alternatif	Material	Luas <i>Strand</i> Perlu (mm ²)		Diameter <i>Strand</i> 7 Wire (mm)	Luas 1 <i>Strand</i> (mm ²)	Jumlah <i>Strand</i> per Kabel	
		Main Span	Side Span			Main Span	Side Span
1.	Beton	381	661	12,7	98,7	4	7
2.	Baja	315	573	12,7	98,7	4	6
3.	Baja	1735	3849	12,7	98,7	18	39

- b. Aspek biaya (*life cycle cost* - LCC), dari segi biaya lantai jembatan model 2 lebih murah yakni Rp. 648.346.291.191,68 dibanding dengan jembatan model 1 dan model 3. Terjadi penghematan sebesar 43,58% terhadap model 3 dan 14,42% terhadap model 1. Hasil ini juga sejalan dengan temuan dari Pratiwi (2014) yang mendapatkan penghematan biaya setelah menerapkan alternatif sistem lantai pada konstruksi gedung Riset, Museum Energi dan Mineral ITB.
- c. Aspek waktu pelaksanaan (*schedule*), durasi pekerjaan yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan lantai jembatan model 1

- lebih lama dibanding dengan model 2 dan 3. Durasi pekerjaan yang lama ini disebabkan oleh pada pelaksanaan pekerjaan *erection* lantai jembatan diperlukan pemasangan kabel prategang untuk menyambungkan antara *box girder* yang satu dengan *box girder* lainnya.
- d. Aspek estetika (*esthetic*), secara estetika penggunaan material beton sangat estetik karena mudah dibentuk sesuai dengan yang diharapkan namun karena *box girder* beton yang digunakan adalah beton pracetak maka nilai estetikanya menjadi sedang. Untuk *box girder* baja nilai estetikanya juga sedang

- karena pengadaannya langsung dari pabrik dalam bentuk *box girder*.
- e. Aspek lingkungan (*enviroment*), dari segi penggunaan material penggunaan material baja lebih ramah lingkungan dibanding menggunakan material beton. Beton kurang ramah lingkungan karena menggunakan bahan dasar batu pecah, pasir, semen dan air yang seluruhnya dari alam.

Dari kelima aspek tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa berdasarkan analisa penggunaan rekasa nilai maka penggunaan lantai jembatan model 2 paling efisien digunakan pada pembangunan jembatan kabel.

E. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa terhadap model lantai jembatan dengan menggunakan rekayasa nilai melalui analisa biaya siklus hidup (*life cicle cost/LCC*) diperoleh lantai jembatan model 2 lebih efisien yakni sebesar Rp.648.346.291.191,68 dengan nilai pembangunan Rp.750.178.311.773,30 dan nilai penghematan sebesar 43,58% dan 14,42% dibandingkan terhadap lantai jembatan model 1 dengan nilai sisa Rp.866.921.706.028,59, nilai pembangunan Rp.1.100.038.825.447,22 dan terhadap lantai jembatan model 3 dengan nilai sisa sebesar Rp.1.649.977.529.597,29 dan memiliki nilai pembangunan Rp.1.751.809.550.178,90. Hal utama yang mempengaruhi rendahnya biaya pembangunan untuk model lantai jembatan ini adalah jumlah *strand* yang digunakan pada setiap kabel jembatan yakni 4 *strand* untuk area *side span* dan 6 *strand* untuk area *main span*.

DAFTAR PUSTAKA

Arumsari, P., & Tanachi, R. (2018). Value Engineering Application in a

High Rise Building (a Case Study in Bali). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 195(1), 1-9.

Bardin, D. G., & Suárez, M. A. S. (2021). Design Method for Curved Stayed Cable Bridges Deck Directrices for Different Cable Systems. *Curve and Layered Structure*, 8(1), 327-336.

Bidiawati, A., Kholidasari, I., & Elani, B. M. (2019). Value Engineering Towards The Design of Bread Production Process Tools. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 528(1), 1-9.

Dell'Isola, A. J. (1975). *Value Engineering in The Construction Industry*. Van Nostrand Reinhold Company.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Surat Edaran Menteri PUPR No. 08/SE/M/2015*.

Kumar, S. L., Nallusamy, S., & Modak, R. (2018). Execution of Value Engineering Approach for Design Development and Cost Reduction of Monoblock Pump. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(5), 1734 – 1741.

Ngantung, R. K., Manoppo, F. J., & Kandou, C. D. E. (2021). Penerapan Value Engineering Dalam Upaya Meningkatkan Efisiensi Biaya Proyek Pada Pembangunan Gedung DPRD Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 11(1), 2087–9334.

Mahadik, U. A. (2015). Value Engineering For Cost Reduction and Sustainability in Construction Projects. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 95–97.

Mendonca, E. M. D. J. (2015). *Penerapan Value Engineering Pada Pembangunan Gedung MIPA*

- Center Universitas Brawijaya Malang, Thesis, Institut Teknologi Nasional.
- Nigjeh, M. J., & Amani, N. (2022). Evaluation of Influential Value Engineering Factors on The Function of Interchanges: Case Studies in Iran. *Journal of Engineering and Applied Science*, 69(1), 1–15.
- Pratiwi, N. A. (2014). Analisa Value Engineering Pada Proyek Gedung Riset dan Museum Energi Dan Mineral Institut Teknologi Bandung. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(1), 2355–374.
- Ramani, B., & Pitroda, J. (2017). A Critical Literature Review on Application of Value Engineering in Building Construction Project. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, 5(4), 1461-1464.
- Santoso, E. N. (2015). *Penerapan Rekayasa Nilai (Value Engineering) pada Bangunan Hotel AMMI Medan*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.



© 2024 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY Licens (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)