

ANALISIS PERBANDINGAN BIAYA SIKLUS HIDUP JEMBATAN INTEGRAL TERHADAP JEMBATAN KONVENSIONAL GELAGAR BETON BERTULANG BENTANG TUNGGAL

N. Retno Setiati¹

¹Puslitbang Jalan dan Jembatan, Balitbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
E-mail: retno.setiati@pusjatan.pu.go.id

Abstrak. Jembatan integral adalah suatu sistem struktur jembatan yang dibangun secara menerus antara bangunan atas dengan bangunan bawah dengan meniadakan siar muai dan sistem perletakan. Keuntungan dari jembatan integral adalah mengurangi biaya pemeliharaan dan perawatan selama umur layan jembatan. Komponen elemen struktur jembatan integral berbeda dengan jembatan konvensional dimana pada jembatan integral tidak terdapat siar muai dan sistem perletakan. Dalam analisis LCC, keuntungan dari suatu teknologi jembatan yang diterapkan tidak hanya dilihat dari awal pelaksanaan konstruksi. Akan tetapi juga harus memperhitungkan faktor biaya yang terjadi selama umur layan jembatan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan biaya siklus hidup antara jembatan integral dengan jembatan konvensional tipe gelagar beton bertulang dengan bentang tunggal yang panjangnya 20 meter. Metode yang digunakan dalam analisis tersebut didasarkan pada pendekatan ekuivalen nilai sekarang (*present worth method*) dan perbaikan yang akan datang (*future rehabilitation cost*). Perhitungan analisis LCC didasarkan pada biaya awal (*initial cost*), biaya pemeliharaan rutin, biaya pemeriksaan, biaya pengguna jembatan, dan biaya perbaikan masa yang akan datang. Jembatan integral direncanakan untuk masa layan 75 tahun. Hasil analisis LCC membuktikan bahwa meskipun biaya awal konstruksi jembatan integral lebih mahal dari jembatan konvensional, selama umur layan 75 tahun biaya siklus hidup (LCC) jembatan integral tersebut lebih ekonomis 40% dibandingkan dengan jembatan konvensional. Nilai ekonomis dari jembatan integral disebabkan oleh tidak diperlukannya biaya perbaikan untuk siar muai dan sistem perletakan.

Kata kunci: biaya siklus hidup, jembatan integral, jembatan konvensional, perletakan jembatan, siar muai

I. PENDAHULUAN

Teknologi jembatan integral yang sudah diaplikasikan di Kabupaten Sumedang merupakan salah satu bentuk inovasi teknologi yang bertujuan untuk mengurangi biaya pemeliharaan dan perawatan jembatan. Suatu struktur jembatan, disamping harus memenuhi syarat kekuatan, kekakuan, dan keawetan juga diharapkan jembatan tersebut harus memenuhi syarat ekonomis. Pada jembatan integral, dengan ditiadakannya siar muai dan sistem perletakan otomatis akan mengurangi biaya konstruksi. Selain dapat mengurangi biaya konstruksi, pertimbangan lain penggunaan jembatan integral adalah kerusakan jembatan di Indonesia khususnya jembatan konvensional yang sering terjadi di sekitar siar muai dan sistem perletakan, sehingga menyebabkan tingginya biaya pemeliharaan dan perbaikan untuk mengganti kerusakan pada komponen jembatan tersebut. Teknologi jembatan integral diharapkan

mampu menjawab semua permasalahan tersebut. Syarat ekonomis dari struktur jembatan tidak hanya dilihat dari biaya awal konstruksi saja, tetapi juga harus memperhitungkan biaya pemakaian sepanjang usia jembatan tersebut atau dikenal dengan istilah biaya siklus hidup (*life cycle cost* (LCC)).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis biaya siklus hidup (LCC) dari jembatan integral Sinapeul yang sudah dibangun di Kabupaten Sumedang pada tahun 2012 dan membandingkannya dengan jembatan konvensional (Setiati 2012). Penelitian ini dibatasi hanya untuk jembatan bentang tunggal dengan panjang 20 meter. Jembatan bentang tunggal adalah jembatan yang dibuat tanpa menggunakan pilar, dimana gelagar jembatan langsung menumpu pada kedua sisi kepala jembatan. Sedangkan jembatan bentang banyak adalah jembatan yang dibuat dengan menggunakan pilar untuk menghubungkan bentang satu dengan bentang lainnya. Tipe gelagar yang digunakan adalah beton bertulang. Jembatan ini dibangun pada perbatasan desa

Mulyasari-Sukamaju (tepatnya di KM BDG 46+800). Secara geografis lokasi jembatan terletak pada $6^{\circ} 49' 57.9''$ LS, $107^{\circ} 53' 33.1''$ BT di awal jembatan dan $6^{\circ} 49' 55.7''$ LS, $107^{\circ} 53' 32.9''$ BT diakhir jembatan. Jangka umur rencana jembatan yang dipergunakan dalam analisis adalah 75 tahun.

Menurut Asworth (2007), ada beberapa faktor yang dianggap penting dan berhubungan dengan LCC, yaitu: usia jembatan, usia komponen, suku bunga, perpajakan, metode desain, dan kualitas dalam konstruksi. Analisis LCC menggambarkan nilai biaya sekarang (*present value*) dan nilai biaya yang akan datang (*future value*) dari suatu proyek konstruksi selama umur manfaat dari konstruksi itu sendiri. Jenis biaya yang termasuk dalam LCC diantaranya biaya investasi, biaya kepemilikan, biaya desain, biaya pelaksanaan, dan pengawasan termasuk biaya inisial. Biaya perubahan desain, biaya administrasi, biaya pemeliharaan, biaya penggantian, dan biaya suku bunga dibebankan selama konstruksi berlangsung (Okano 2001).

Menurut Iqbal (2007), dalam perencanaan struktur jembatan, faktor-faktor relevan yang harus dipertimbangkan adalah biaya awal (*initial cost*), biaya penggantian (*replacements cost*), dan biaya operasional (*operation cost*). Biaya-biaya tersebut dipengaruhi oleh waktu. Biaya pengeluaran yang dipengaruhi waktu seperti penyusutan konstruksi harus diperhitungkan dalam perencanaan biaya siklus hidup (Saptono 2007). Analisis LCC menggambarkan nilai biaya sekarang dan biaya yang akan datang (*present and future cost*).

Beberapa definisi dari *life cycle cost* adalah sebagai berikut:

1. Analisis *life cycle cost* suatu jembatan adalah serangkaian kegiatan sejak jembatan tersebut dibangun sampai dengan masa dimana jembatan tidak dapat dipergunakan kembali dengan umur layan antara 50 tahun s.d. 100 tahun (Hawk 2003).
2. Analisis *life cycle cost* hanya didasarkan pada biaya langsung seperti biaya pemeriksaan dan perbaikan. Biaya pengguna biasanya tidak merupakan bagian dari *life cycle cost* (Thoft Christensen 2009).

Gervasio et al. (2008) melakukan studi perbandingan *life cycle cost* jembatan integral tipe komposit dengan jembatan beton konvensional yang menggunakan siar muai dan perletakan. Jembatan integral didesain dengan panjang bentang 40 meter. Untuk jembatan beton konvensional, panjang jembatan 40 meter dengan dua bentang masing-masing berukuran 20 meter. Umur layan dari kedua jembatan tersebut 120 tahun. Metode perhitungan menggunakan nilai sekarang dengan nilai inflasi 1,7%. Analisis *life cycle cost* mencakup biaya awal, biaya agen, biaya pengguna, dan biaya pemeliharaan. Hasil studi menunjukkan bahwa ketiadaan siar muai dan perletakan pada jembatan integral tipe komposit dapat menghemat biaya awal dan mengurangi upaya pemeliharaan jembatan.

II. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan pendekatan ekuivalen "metode nilai sekarang" (*Present Worth Method*). Perhitungan besarnya *Present Worth* dilakukan dengan menggunakan biaya awal (*initial cost*), biaya agen (*agency cost*), biaya pengguna (*user cost*), dan biaya perbaikan yang akan datang (*future rehabilitation cost*), dengan rincian:

1. Tingkat suku bunga (i) : 7,5%
2. Periode analisis (n) : 75 tahun
3. *Present time*/tahun ke-0 : 2012
4. Inflasi diabaikan

Dikarenakan empat komponen biaya yang disebutkan sebelumnya merupakan biaya awal yang terjadi di awal, maka digunakan perhitungan nilai masa datang dengan pembayaran tunggal (*single payment*). Perhitungan ini berupa pembayaran masa datang berbunga jamak (*compound amount*, F) yang dihubungkan dengan nilai sekarang (P). Rumus (1) adalah pembayaran nilai masa datang.

$$F = P(1+i)^n \quad (1)$$

Dimana :

F = nilai masa akan datang,

P = nilai sekarang,

i = tingkat suku bunga,

n = jumlah periode pembayaran (tahun),

F atau *Future rehabilitation cost* = biaya perbaikan yang harus dilakukan pada jembatan.

Biaya ini tidak setiap tahun ada, tetapi hanya terdapat pada waktu tertentu saja. Biaya perbaikan dari beberapa elemen jembatan harus diperbaiki dalam interval waktu tertentu. Elemen-elemen tersebut diantaranya perbaikan lapis perkerasan, perbaikan marka jalan, perbaikan siar muai (*expansion joint*), dan perbaikan perletakan elastomer. Pada jembatan integraltidak terdapat komponen *expansion joint* (siar muai) dan perletakan elastomer (*bearing pad*) dikarenakan antara struktur atas jembatan dengan kepala jembatan sudah terintegrasi dengan baik. Jadi, perhitungan jumlah kebutuhan biaya perbaikan antara jembatan konvensional dan jembatan integralkan berbeda, dikarenakan komponen pendukungnya pun berbeda.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Biaya Awal (*Initial Cost*)

Biaya awal (*initial cost*) pada analisis LCC jembatan integral terdiri atas biaya konstruksi yang memiliki beberapa divisi pekerjaan, yaitu pekerjaan umum, pekerjaan tanah, pekerjaan lapis perkerasan, pekerjaan minor, dan pengembalian kondisi yang sama dengan jembatan konvensional, terlihat seperti pada Tabel 1 sampai Tabel 4.

Tabel 1. Perhitungan biaya pekerjaan umum (AHSP bidang Pekerjaan Umum, 2012)

Uraian pekerjaan	Vol.	Harga satuan (Rp)	Jumlah harga (Rp)
Sewa tanah	Ls	1.500.000,-	1.500.000,-
Peralatan berat	Ls	16.350.000,-	16.350.000,-
Fasilitas kontraktor	Ls	32.000.000,-	32.000.000,-
Fasilitas laboratorium	Ls	238.950.000,-	238.950.000,-
Mobilisasi	Ls	6.600.000,-	6.600.000,-
Demobilisasi	Ls	16.350.000,-	16.350.000,-
Total Biaya			311.750.000,-

Tabel 2. Perhitungan biaya pekerjaan tanah (AHSP bidang Pekerjaan Umum, 2012)

Uraian pekerjaan	Vol. (m ³)	Harga satuan (Rp)	Jumlah harga (Rp)
Galian biasa	3.46	36.060,78,-	124.822.877,65,-
Galian untuk struktur	243	443.312,87,-	107.525.537,17,-
Timbunan biasa	884	198.895,55,-	175.888.320,22,-
Total Biaya			408.236.735,04,-

Tabel 3. Perhitungan biaya pekerjaan lapis perkerasan (AHSP bidang Pekerjaan Umum, 2012)

Uraian pekerjaan	Vol.	Harga satuan (Rp)	Jumlah harga (Rp)
Lapis perekat	290 L	12.283,34,-	3.561.184,95,-
Latason	724 m ²	77.848,36,-	56.424.492,77,-
Total Biaya			59.985.677,72,-

Tabel 4. Biaya minor dan pengembalian kondisi (AHSP bidang Pekerjaan Umum, 2012)

Uraian pekerjaan	Vol.	Harga satuan (Rp)	Jumlah harga (Rp)
Marka jalan	45 m ²	144.994,58,-	6.524.756,-
Rambu jalan	2 buah	663.063,65,-	1.326.127,-
Rel pengaman	200 m ³	652.443,53,-	130.488.705,-
Total Biaya			138.339.588,57,-

Biaya pekerjaan konstruksi jembatan integral berbeda dengan biaya konvensional. Berdasarkan AHSP (2012), besarnya total biaya konstruksi untuk jembatan integral dan jembatan konvensional berturut-turut adalah Rp 2.738.618.695,00 dan Rp 2.689.320.281,00. Tabel 5 menunjukkan rekapitulasi nilai biaya awal (*initial cost*) antara jembatan integral dengan jembatan konvensional. Besarnya total rekapitulasi biaya pekerjaan jembatan integral dan jembatan konvensional adalah Rp 4.022.920.000,00 dan Rp 3.968.395.000,00. Analisis biaya perawatan

rutin jembatan menurut Christensen (2009) dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.

$$MC = 0,05\% \times IC \quad (2)$$

dimana:

MC = biaya perawatan (*maintenance cost*)

IC = biaya awal (*initial cost*).

Besarnya biaya rutin untuk jembatan konvensional (MC) sebesar Rp 1.984.197,50 dan jembatan integral Rp 2.011.460,00. Biaya pemeriksaan jembatan dengan struktur beton bertulang, yaitu bernilai 0,15 dari biaya awal (*initial cost*) dan dilakukan dalam periode lima tahun. Biaya pemeriksaan dihitung dengan menggunakan Persamaan 3 (Christensen, 2009).

$$IpC = 0,15\% \times IC \quad (3)$$

Dimana :

IpC = biaya pemeriksaan (*inspection cost*),

IC = biaya awal (*initial cost*).

Besarnya biaya pemeriksaan yang dibutuhkan untuk jembatan konvensional sebesar Rp 5.952.592,50 dan jembatan integral sebesar Rp 6.034.380,00. Untuk menentukan jumlah biaya pemakai jembatan (*user cost*) dilakukan dengan menggunakan Persamaan 4 dan Persamaan 5 (Christensen 2009).

$$DDC = \left(\frac{L}{S_a} - \frac{L}{S_n} \right) \times ADT \times N \times w \quad (4)$$

$$VOC = \left(\frac{L}{S_a} - \frac{L}{S_n} \right) \times ADT \times N \times r \quad (5)$$

dimana:

L = panjang jalan yang terkena dampak (0,5 km),

S_a = kecepatan lalu lintas saat kegiatan perbaikan (5km/jam),

S_n = kecepatan lalu lintas normal (60 km/jam)

ADT = rata-rata lalu lintas harian (3425,7kend/hari);

N = jumlah hari selama perbaikan (empat hari),

w = nilai waktu pengemudi per jam (Rp 10.000,00)

r = biaya rata-rata berat kendaraan (Rp 5.500,00)

DDC = biaya keterlambatan pengemudi (*driver delay cost*).

Dengan menggunakan Persamaan 4 diperoleh:

$$DDC = \left\{ \frac{0,5km}{5 \frac{km}{jam}} - \frac{0,5km}{60 \frac{km}{jam}} \right\} \times \left\{ 3425,7 \frac{kend}{hari} \right\} \times \{ 4hari \} \times \{ Rp.10.000 \}$$

$$DDC = Rp 12.560.900,00.$$

Biaya yang dikeluarkan oleh pengguna jalan selama pekerjaan perbaikan (DDC) pada jembatan konvensional adalah sama dengan pada jembatan

integral, yaitu sebesar Rp 12.560.900,00. Sedangkan VOC adalah biaya operasional kendaraan atau *vehicle operating cost*.

Berdasarkan Persamaan 5 diperoleh:

$$DDC = \left\{ \frac{0,5km}{5 \frac{km}{jam}} - \frac{0,5km}{60 \frac{km}{jam}} \right\} \times \left\{ 3425,7 \frac{kend}{hari} \right\} \times \{4hari\} \times \{Rp.5.500\}$$

VOC= Rp 6.908.495,00.

Biaya operasional kendaraan (VOC) pada jembatan konvensional adalah sama dengan pada jembatan integral, yaitu sebesar Rp 6.908.495,00.

B. Biaya perbaikan untuk jangka panjang (*Future Rehabilitation Cost*)

Future rehabilitation cost adalah biaya perbaikan yang harus dilakukan pada jembatan. Biaya ini tidak setiap tahun ada, tetapi hanya terdapat pada waktu tertentu saja. Biaya perbaikan dari beberapa elemen jembatan harus diperbaiki dalam interval waktu tertentu. Elemen-elemen tersebut diantaranya perbaikan lapis perkerasan, perbaikan marka jalan, perbaikan siar muai (*expansion joint*), dan perbaikan perletakan elastomer. Pada jembatan integral tidak terdapat komponen *expansion joint* (siar muai) dan perletakan elastomer (*bearing pad*) dikarenakan antara struktur atas jembatan dengan kepala jembatan sudah terintegrasi dengan baik. Jadi, perhitungan jumlah kebutuhan biaya perbaikan antara jembatan konvensional dan jembatan integral akan berbeda, dikarenakan komponen pendukungnya pun berbeda.

Tabel 5. Biaya konstruksi jembatan konvensional dan jembatan integral (AHS bidang pekerjaan umum, 2012)

Uraian pekerjaan	Jembatan konvensional			Jembatan integral		
	Volume	Harga satuan (Rp)	Jumlah harga (Rp)	Volume	Harga satuan (Rp)	Jumlah harga (Rp)
Beton K350	90,69 m ³	1.988.176,51	180.306.911,00	79,66 m ³	1.988.176,51	158.373.447,69
Beton K250	402,19 m ³	1.496.187,38	601.745.692,34	399,17 m ³	1.496.187,38	597.236.183,58
Beton siklop K175	25,86 m ³	867.423,87	22.429.716,22	25,86 m ³	867.423,87	22.429.716,22
Beton K125	12,30 m ³	1.048.269,49	12.893.714,73	11,39 m ³	1.048.269,49	11.939.789,50
Baja tulangan U39 ulir	65.138,73 kg	20.908,25	1.361.936.875,00	70.832,22 kg	20.908,25	1.480.977.726,89
Baja struktur (penyediaan dan pemasangan)	1.054,77 kg	19.691,33	20.769.784,18	1.054,77 kg	19.691,33	20.769.784,18
Penyediaan dinding sumuran (D = 220 cm)	18,00 m ¹	5.552.662,93	99.947.932,71	18,00 m ¹	5.552.662,93	99.947.932,71
Penurunan dinding sumuran silinder (D = 220 cm)	18,00 m ¹	246.219,43	4.431.949,80	18,00 m ¹	246.219,43	4.431.949,80
Pasangan batu	307,44 m ³	683.169,47	210.031.088,07	307,44 m ³	683.169,47	210.031.088,07
Bronjong	154,50 m ³	578.625,72	89.397.673,43	154,50 m ³	578.625,72	89.397.673,43
Expansion joint	12,00 m ¹	1.611.021,02	19.332.252,23	-	-	-
Perletakan elastomerik	12,00 bh	1.917.773,99	23.013.287,88	-	-	-
Papan nama jembatan	2,00 bh	578.193,00	1.156.386,00	2,00 bh	578.193,00	1.156.386,00
Pembongkaran beton	37,40 m ³	333.003,14	12.454.317,26	37,40 m ³	333.003,14	12.454.317,26
Pembongkaran balok baja	102,40 m ¹	202.386,29	20.724.356,40	102,40 m ¹	202.386,29	20.724.356,40
Pembongkaran jembatan kayu	56,32 m ²	155.332,80	8.748.343,11	56,32 m ²	155.332,80	8.748.343,11
Total			2.689.320.281,31	Total		2.738.618.694,83

Berikut perhitungan biaya perbaikan beberapa komponen jembatan :

C. Biaya perbaikan lapis perkerasan

Lapisan tipis atas beton (lataston) lapis aus (HRS-WC) digunakan sebagai lapis perkerasan pada struktur jembatan yang ditinjau. Lataston lapis aus (HRS-WC) memiliki umur rencana selama lima tahun, sehingga setiap periode lima tahun harus diganti dengan komponen yang baru agar tetap menunjang keamanan serta kenyamanan bagi pengguna jalan dan jembatan. Perhitungan biaya yang digunakan berasal dari jumlah biaya satuan pekerjaan lataston lapis aus (HRS-WC) yang sebelumnya telah dihitung dalam anggaran biaya pembangunan jembatan. Pada pekerjaan ini, dikarenakan volume yang dibutuhkan sama, maka

biaya perbaikan lapisan perkerasan antara jembatan konvensional dan jembatan integral akan sama, yaitu sebesar (volume pekerjaan × harga satuan pekerjaan = 724,80 m³ × Rp 77.848,00 = Rp 56.424.493,00). Biaya perbaikan tersebut berasal dari biaya pembangunan awal, jadi merupakan biaya awal (tahun ke-0) dan belum dikalikan dengan suku bunga pertahun sebesar 7,5% untuk mendapatkan nilai *present worth*.

D. Biaya perbaikan marka jalan

Apabila lapis perkerasan diperbaiki, maka pekerjaan marka jalanpun harus dilakukan ulang. Pada pekerjaan ini, dikarenakan volume yang dibutuhkan sama, maka biaya perbaikan marka jalan antara jembatan konvensional dan jembatan integral sebesar

Rp 6.524.756,00.

E. Biaya perbaikan siar muai

Perhitungan biaya perbaikan siar muai (*expansion joint*) adalah volume pekerjaan \times harga satuan pekerjaan, yaitu sebesar Rp 19.332.252,00.

F. Biaya perbaikan sistem perletakan

Tumpuan jembatan sangat berperan penting bagi struktur jembatan, karena memikul beban yang ada pada struktur atas jembatan. Pada jembatan konvensional sistem perletakan menggunakan karet elastomer (*bearing pad*) sebagai tumpuan struktur atas jembatan, tetapi pada jembatan integral tidak menggunakan *bearing pad* karena antara struktur atas dan struktur bawah jembatan sudah terintegrasi. Perhitungan biaya perbaikan sistem perletakan (*bearing pad*) berdasarkan analisis harga satuan pekerjaan (AHSP) bidang Pekerjaan Umum tahun 2012 adalah volume pekerjaan \times harga satuan pekerjaan, yaitu sebesar Rp 23.013.288,00. Perbaikan perletakan elastomer bukanlah pekerjaan yang dapat dilakukan dengan mudah, tetapi membutuhkan jasa pengangkatan jembatan. Besarnya jasa pengangkatan jembatan berdasarkan AHSP bidang Pekerjaan Umum tahun 2012 adalah Rp 100.000.000,00. Jadi total biaya perbaikan perletakan elastomer adalah Rp 123.013.288,00.

G. Analisis Biaya Siklus Hidup (Life Cycle Cost)

Analisis *life cycle cost* dalam karya tulis ini menggunakan pendekatan ekuivalen “metode nilai sekarang” (*Present Worth Method*). Perhitungan besarnya *Present Worth* dilakukan dengan menggunakan biaya awal (*initial cost*), biaya agen (*agency cost*), biaya pengguna (*user cost*), dan biaya perbaikan yang akan datang (*future rehabilitation cost*), dengan rincian:

Tingkat suku bunga (i)	: 7,5%
Periode analisis (n)	: 75 tahun
<i>Present time</i> /tahun ke-0	: 2012
Inflasi diabaikan	

Dikarenakan empat komponen biaya yang disebutkan sebelumnya merupakan biaya awal yang terjadi di awal, maka digunakan perhitungan nilai masa datang dengan pembayaran tunggal (*single payment*). Perhitungan ini berupa pembayaran masa datang berbunga jamak (*compound amount*, F) yang dihubungkan dengan nilai sekarang (P). Rumus (6) adalah pembayaran nilai masa datang.

$$F = P(1 + i)^n \quad (6)$$

Dimana :

F = nilai masa akandatang,

P = nilai sekarang,

i = tingkat suku bunga,

n = jumlah periode pembayaran (tahun).

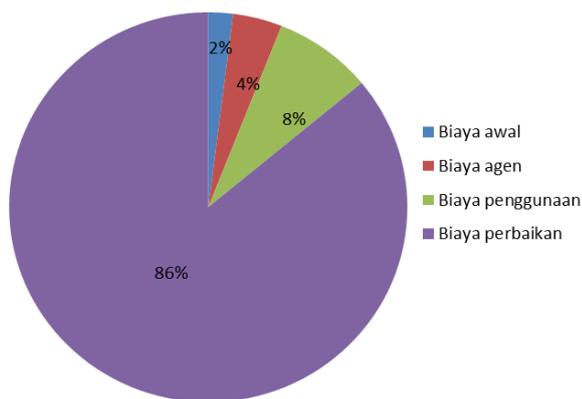
Berdasarkan perhitungan Rumus (6), besarnya

biaya perawatan rutin jembatan konvensional dan jembatan integral yang dikeluarkan pada tahun 2012 berturut-turut adalah Rp 1.984.197,50 dan Rp 2.011.460,00. Untuk 75 tahun yang akan datang besarnya biaya perawatan rutin jembatan konvensional dan jembatan integral berturut-turut sebesar Rp 450.007.463,76 dan Rp 456.190.481,57. Besarnya biaya pemeriksaan jembatan konvensional dan jembatan integral untuk tahun 2012 adalah Rp 5.952.592,00 dan Rp 6.034.380,00. Untuk 75 tahun yang akan datang biaya pemeriksaan menjadi Rp 1.350.022.277,87 dan Rp 1.368.571.444,70. Biaya pengguna (*user cost*) terdiri atas biaya keterlambatan pengguna jembatan (*drive delay cost*) dan biaya operasional pengguna jembatan (*vehicle operating cost*). Biaya pengguna (*user cost*) jembatan konvensional dan jembatan integral untuk tahun 2012 adalah Rp 12.560.900,00. *Drive delay cost* akan muncul saat terjadi pekerjaan perbaikan pada jembatan, karena menyebabkan pengguna jembatan melewati jalur lain yang lebih panjang dari biasanya.

Biaya yang dikeluarkan oleh pengguna jalan selama pekerjaan perbaikan jembatan ini merupakan *drive delay cost*. Biaya ini dikeluarkan setiap lima tahun. Biaya keterlambatan pengguna jembatan konvensional dan jembatan integral untuk 75 tahun yang akan datang menjadi Rp 2.848.758.125,89. Besarnya biaya operasional pengguna jembatan konvensional dan jembatan integral untuk kondisi tahun 2012 sebesar Rp 6.908.495,00 dan untuk 75 tahun yang akan datang menjadi Rp 1.566.816.969,24. *Vehicle operating cost* muncul saat terjadi pekerjaan perbaikan pada jembatan, karena menyebabkan pengguna jembatan melewati jalur lain yang lebih panjang dari biasanya maka kebutuhan bahan bakar dari sebuah kendaraan pun akan lebih besar. Jadi, inilah yang disebut dengan *vehicle operating cost*. Biaya perbaikan masa yang akan datang (*future rehabilitation cost*) terdiri atas biaya perbaikan perkerasan, biaya perbaikan marka jalan, biaya perbaikan siar muai, dan biaya perbaikan sistem perletakan.

Jumlah biaya perkerasan jalan tahun 2012 untuk jembatan konvensional dan jembatan integral sebesar Rp 56.424.493,00. Pada 75 tahun yang akan datang biaya perbaikan perkerasan jalan menjadi Rp 12.796.832.466,85. Biaya perbaikan marka jalan untuk kondisi tahun 2012 dari jembatan konvensional dan jembatan integral sebesar Rp 6.524.756,00 dan untuk 75 tahun yang akan datang menjadi Rp 1.479.786.613,57. Pada jembatan integral tidak terdapat biaya perbaikan siar muai dan perletakan, sedangkan pada jembatan konvensional besarnya biaya perbaikan siar muai dan perletakan untuk kondisi tahun 2012 berturut-turut sebesar Rp 19.332.252,00 dan Rp 123.013.288,00. Pada 75 tahun yang akan datang, biaya perbaikan siar muai dan perletakan berturut-turut menjadi Rp 4.384.471.652,25 dan Rp 27.898.884.935,18. *Life cycle cost modelling* dibuat untuk memperlihatkan persentase dari setiap kategori biaya di dalam *life cycle cost*. Total biaya siklus hidup jembatan konvensional selama umur 75 tahun sebesar

Rp 177.125.008.213,38 sedangkan untuk jembatan integral Rp 71.339.027.147,83 (lebih hemat 40% dibandingkan jembatan konvensional). Walaupun biaya awal dan biaya agen untuk jembatan integral lebih tinggi, tetapi dikarenakan tidak adanya biaya perbaikan siar muai dan sistem perletakan, menyebabkan biaya siklus hidup untuk jembatan tersebut lebih kecil dibandingkan jembatan konvensional. *LCC modelling* dari jembatan konvensional dan jembatan integral ini dapat dilihat pada *pie-chart* dalam Gambar 1 dan Gambar 2. Perhitungan persentase dari setiap kategori biaya ini berdasarkan total biaya dari setiap kategori biaya dibandingkan total keseluruhan biaya yang dibutuhkan dalam *Life Cycle Cost* masing-masing jembatan selama umur jembatan 75 tahun.

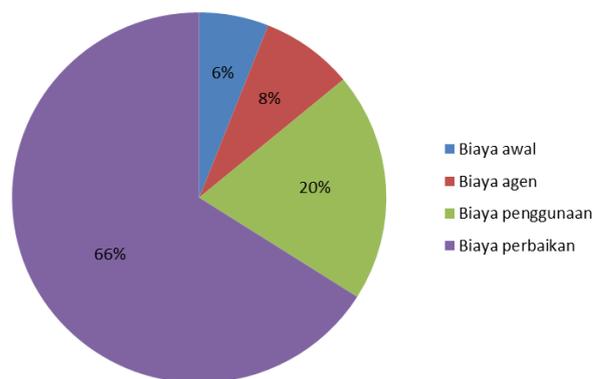


Gambar 1. *LCC modelling* jembatan konvensional

Berdasarkan Gambar 1, persentase biaya awal untuk pembangunan jembatan konvensional sebesar 2% dari nilai *life cycle cost*, biaya pengguna selama umur jembatan 75 tahun sebesar 8%, biaya agen 4%, dan biaya perbaikan untuk masa yang akan datang (Tahun 2087) sebesar 86%. Dengan adanya siar muai dan sistem perletakan pada jembatan konvensional menyebabkan biaya untuk perbaikan komponen jembatan tersebut sangat besar, yaitu 86% dari nilai *life cycle cost*. Kondisi ini sangat berbeda dengan jembatan integral. *LCC modeling* untuk jembatan integral ditunjukkan dalam Gambar 2.

Dari Gambar 2, persentase biaya awal untuk pembangunan jembatan integral sebesar 6% dari nilai *life cycle cost* (lebih besar dari jembatan konvensional), biaya pengguna selama umur jembatan 75 tahun

sebesar 20% (lebih besar dari jembatan konvensional), biaya agen 8% (lebih besar dari jembatan konvensional), dan biaya perbaikan untuk masa yang akan datang sebesar 66% (lebih kecil dari jembatan konvensional).

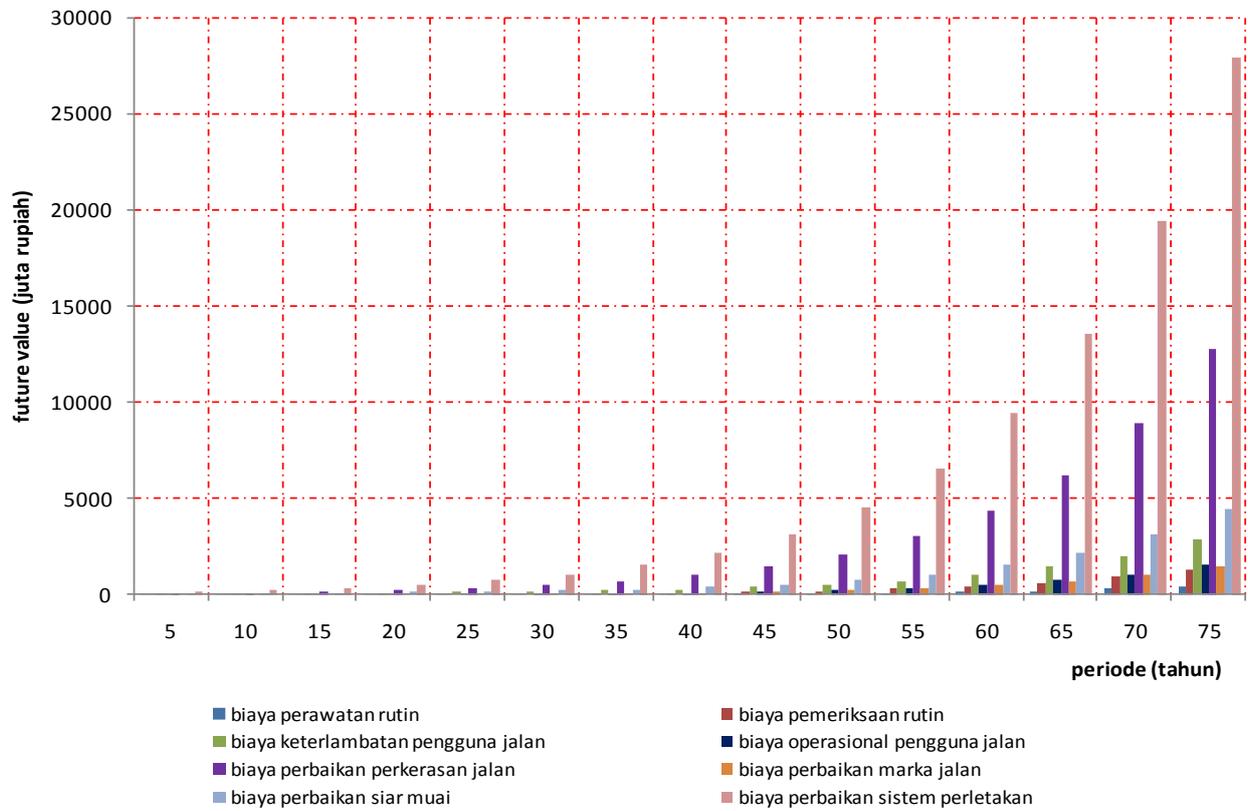


Gambar 2. *LCC modelling* jembatan integral

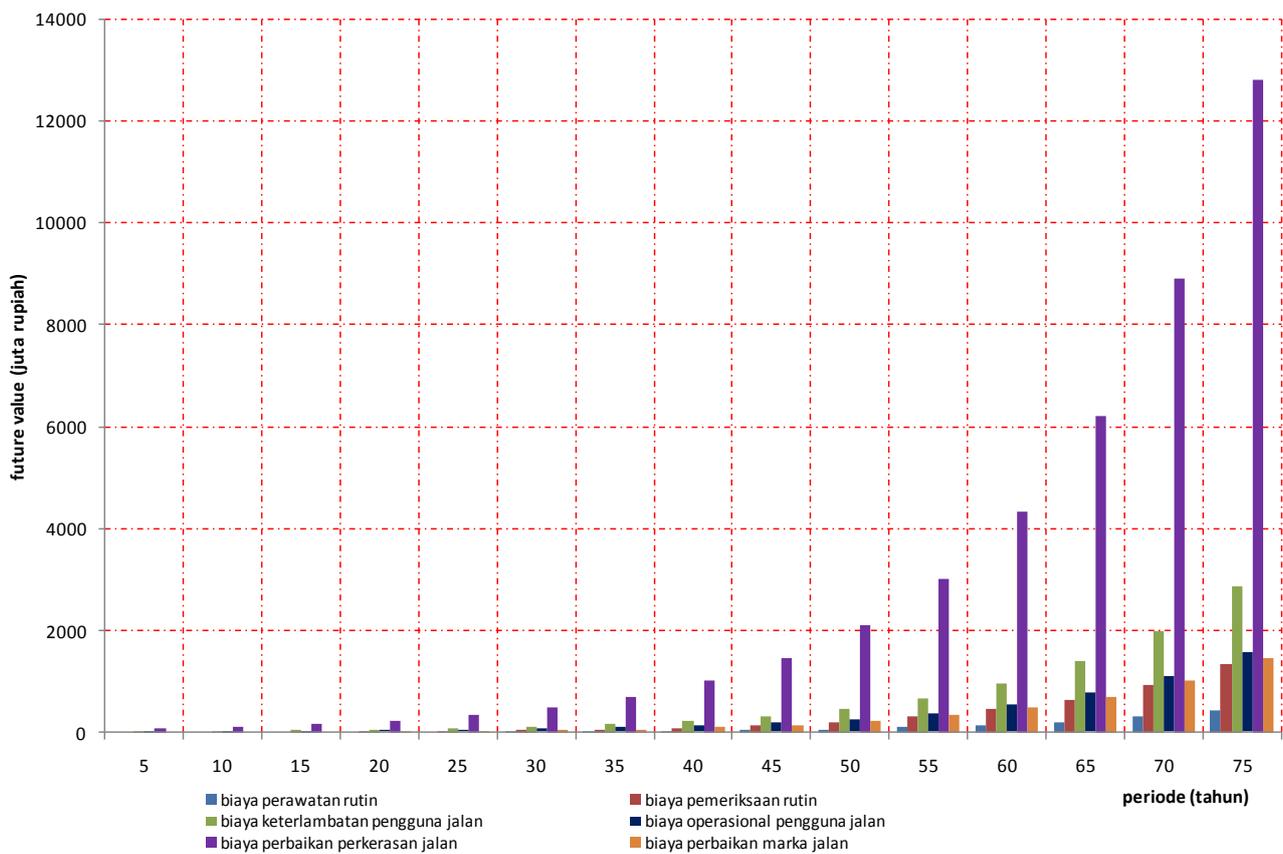
Dengan tidak adanya siar muai dan sistem perletakan pada jembatan integral menyebabkan biaya untuk perbaikan komponen jembatan tersebut hanya sebesar 66% dari nilai *life cycle cost*. Biaya perbaikan yang dilakukan hanya untuk perbaikan perkerasan jalan dan marka jalan. Uraian kebutuhan seluruh kategori biaya pada *life cycle cost* untuk jembatan konvensional dan jembatan integral ditunjukkan dalam Gambar 3 dan Gambar 4.

Gambar 3 menunjukkan seluruh biaya siklus hidup (*life cycle cost*) jembatan konvensional selama periode 75 tahun. Nilai terbesar dari seluruh kategori biaya tersebut adalah untuk perbaikan perletakan jembatan (elastomer) yang berkisar 52% dari total biaya siklus hidup selama umur 75 tahun (Rp 91.536.206.359,39). Kondisi ini berbeda dengan jembatan integral yang tidak memiliki siar muai dan sistem perletakan.

Diagram biaya siklus hidup untuk jembatan integral ditunjukkan dalam Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4, seluruh biaya siklus hidup (*life cycle cost*) jembatan integral adalah selama periode 75 tahun. Nilai terbesar dari seluruh kategori biaya tersebut adalah untuk perbaikan perkerasan jalan yang berkisar 59% dari total biaya siklus hidup selama umur 75 tahun (Rp 41.986.391.217,93).



Gambar 3. Diagram biaya siklus hidup pada jembatan konvensional



Gambar 4. Diagram biaya siklus hidup pada jembatan integral

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, nilai biaya siklus hidup (*life cycle cost*) jembatan integral selama umur 75 tahun lebih hemat 40% dibandingkan jembatan konvensional. Walaupun secara *initial cost*, biaya pembangunan jembatan ini lebih besar dari jembatan konvensional. Penghematan biaya siklus hidup dari jembatan integral ini diperoleh dari tidak adanya biaya perbaikan sipi muai dan sistem perletakan. Nilai terbesar dari biaya siklus hidup dari jembatan integral adalah biaya untuk perbaikan perkerasan jalan. Pada jembatan konvensional, biaya perbaikan untuk sistem perletakan (*elastomer*) menempati urutan terbesar dari nilai *life cycle cost*.

Perlu sosialisasi dalam penerapan sistem jembatan integral di Indonesia karena selain mudah dan cepat dalam pelaksanaan konstruksinya, keuntungan lain berdasarkan hasil penelitian adalah nilai *life cycle cost* dari jembatan tersebut lebih kecil dari jembatan konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Pekerjaan Umum, Kementerian Pekerjaan Umum, Indonesia” (2012).

Al, Gervasio H. et. 2008. “Comparative Life Cycle Analysis of an Integral Abutment Composite Bridge and a Concrete Bridge with Expansion Joints.” In *Proceedings of SB07 International Conference on Sustainable Building*, 1–17.

Al, Iqbal et. 2007. “Inflation Adjusted LCCA of Comparative Study of an Integral Abutment Bridge and Concrete Bridge with Expansion Joints.” Lulea University of Technology, Lulea, Sweden.

Ashworth, A., Hogg, K. n.d. *Practice and Procedure for the Quantity Surveyor*. 12th ed. Willis’s Oxford Blackwell

Publishing Ltd.

Christensen, Thoft. 2009. “Life-Cycle Cost-Benefit (LCCB) Analysis of Bridges from a User and Social Point of View.” *Structure and Infrastructure Engineering ISSN 1573-2479 print/ISSN 1744-8980 Online* “2009 Taylor & Francis, 1573–2479. doi:10.1080/15732470701322818.

Hawk, Hug. 2003. “Bridge Life-Cycle Cost Analysis.” In , 11–20. Washington DC: Transportation Research Board, National Research Council Library of Congress Control Number 2002117232.

Nilsson, A., Kristoffer Torén. 2001. “Foundation Methods for Small Span Bridges.” Luleå University of Technology in Swedish.

Okano, K. 2001. “Life Cycle Costing - An Approach to Life Cycle Cost Management: A Consideration from Historical Development.” In *Presented at Asia Pacific Management Review*, 317–41.

Salokangas, Lauri. 2009. “Bridge Life Cycle Optimisation.” In , edited by Lauri Salokangas, ETSI Proje, 4–38. Helsinki University of Technology Finland.

Saptono, A. 2007. “Analisis Penentuan Bangunan Atas Jembatan Dengan Metode Rekayasa Nilai.” Tesis Program Magister Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. [https://id.wikipedia.org/wiki/Universitas Islam Indonesia](https://id.wikipedia.org/wiki/Universitas_Islam_Indonesia).

Setiati, N. R. 2011. “Penyusunan Detail Engineering Desain Jembatan Integral Tipe Beton Bertulang Untuk Bentang Tunggal.” Bandung, West Java, Indonesia.

Setiati, N. R. 2012. “Skala Penuh Jembatan Integral Gelagar Beton Bertulang Dengan Bentang Tunggal.” Bandung, West Java, Indonesia.

Setiati, N. R. 2010. “Kajian Perencanaan Jembatan Integral.” *Jurnal Jalan Dan Jembatan* 27, No. 2: 114–24.