

Analisa *Life Cycle Cost* Perkerasan Komposit dan Lentur Jalan Tol Jagorawi

Sri Oktaviani^(*)

Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gunadarma
Jalan Margonda Raya No. 345c, E-mail : oktavianioкта17@gmail.com

Ida Ayu Angreni

Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gunadarma
Jalan Margonda Raya No. 345c, E-mail : idaayu@staff.gunadarma.ac.id

Abstrak

Life Cycle Cost Analysis (LCCA) digunakan untuk mendukung keputusan secara objektif terkait metode dan material yang mempengaruhi masa layan asset. Adanya keterbatasan dana membuat LCCA menjadi relevan untuk diterapkan karena para pengelola infrastruktur harus lebih cermat dalam mengambil keputusan. Penelitian ini meninjau 2 jenis perkerasan yang ada pada Jalan Tol Jagorawi yakni perkerasan lentur dan perkerasan komposit. Kondisi perkerasan pada Jalan Tol Jagorawi saat ini terdiri dari perkerasan komposit sebesar 55,1% dan perkerasan lentur sebesar 44,9%. Penelitian ini memiliki tujuan untuk untuk menentukan jenis perkerasan terbaik berdasarkan hasil analisis life cycle cost dengan bantuan software real cost 2.5. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data volume lalu lintas dan data lapisan perkerasan eksisting yang diperoleh dari PT. Jasamarga Persero. Analisa perkerasan dilakukan berdasarkan nilai International Roughness Index (IRI) dengan umur rencana 20 tahun. Skenario pemeliharaan didapat melalui analisa nilai IRI dengan menggunakan metode HDM-4. Berdasarkan pendekatan total life cycle cost dan pendekatan prediksi nilai IRI didapatkan bahwa perkerasan komposit merupakan alternatif terbaik untuk diterapkan pada daerah studi, karena mempunyai total biaya terendah.

Kata-kata Kunci: LCCA, IRI, HDM-4, total life cycle cost.

Abstract

Life Cycle Cost Analysis (LCCA) is used to support decisions objectively about the methods and materials that affect the useful lives of assets. The existence of limited funds makes LCCA relevant to be implemented because decision maker must be more careful in making decisions. This study examines 2 types of pavement on the Jagorawi Toll Road, namely flexible pavement and composite pavement. The pavement condition on Jagorawi Toll Road currently consists of 55.1% composite pavement and 44.9% flexible pavement. The purpose of this study is to determine the best type of pavement based on life cycle cost analysis with the help of real cost 2.5 software. The data used in this study are traffic volume data and existing pavement layer data obtained from PT. Jasamarga Persero. Pavement analysis is carried out based on the International Roughness Index (IRI) value with a design life of 20 years. The maintenance scenario is obtained by analyzing the IRI value using the HDM-4 method. Based on the total life cycle cost approach and the IRI value approach, it is found that composite pavement is the best alternative to be applied in the study area, because it has the lowest total cost.

Keywords: LCCA, IRI, HDM-4, total life cycle cost.

1. Pendahuluan

Daya saing suatu bangsa dapat ditingkatkan dengan memprioritaskan pembangunan infrastruktur. Peningkatan kualitas dan kuantitas infrastruktur adalah salah satu cara untuk meningkatkan perkembangan ekonomi khususnya negara berkembang.

Dalam konteks infrastruktur publik, karena usia layan yang relatif sangat panjang maka pengelolaan aset ini selayaknya dilakukan dengan pertimbangan-pertimbangan jangka panjang pula atau dikenal dengan istilah *life cycle analysis*. Dengan demikian, pengambilan keputusan sejak tahap inisiasi, disain,

konstruksi, O&M dan rekonstruksi, haruslah berdasarkan pada pertimbangan biaya total kepemilikan asset selama usia layan, atau disebut dengan (LCCA) (Wirahadikusumah, 2019).

Pertimbangan LCCA menjadi lebih relevan lagi untuk diterapkan di negara berkembang seperti di Indonesia. Dengan segala keterbatasan dalam kapasitas pendanaan, maka para pengelola infrastruktur public harus lebih cermat dalam mengambil keputusan, yaitu fokus pada proyek-proyek yang diprediksi akan memberi manfaat ekonomi tertinggi namun kebutuhan total biaya selama usia layan yang terendah (Wirahadikusumah, 2019).

^{*}Penulis Korespondensi

LCCA adalah sebuah penilaian ekonomi pada sebuah item, system atau fasilitas untuk membandingkan alternatif desain dalam mempertimbangkan semua biaya signifikan selama masa desain, dinyatakan dalam satuan mata uang setara (Zoeteman, 2001). LCCA digunakan untuk mendukung keputusan secara objektif terkait metode dan material yang mempengaruhi masa layan aset. Metode pengerjaan perkerasan yang kurang baik dan pengawasan yang kurang dapat menyebabkan kerusakan dini pada perkerasan yang menyebabkan mahalnya biaya rehabilitasi (Rachmayati, 2014).

Jasa Marga pertama kali mengoperasikan Jagorawi sebagai jalan tol pertama pada tahun 1978. Jagorawi memiliki panjang total 59 km telah menjadi *masterpiece* dengan struktur jalan yang masih baik. Berdasarkan Data dari PT. Jasamarga Persero pada tahun 2020 struktur perkerasan pada Jagorawi terdiri dari komposit 55,1% dan *flexible* 44,9%. Hasil tersebut sudah merupakan jumlah keseluruhan ruas yang ada pada Jagorawi.

Berdasarkan pada uraian diatas maka ada 2 jenis perkerasan yang akan ditinjau pada penelitian ini, yaitu perkerasan lentur dan perkerasan komposit. Perkerasan Lentur merupakan perkerasan yang terdiri dari lapisan batuan yang dipadatkan yang berada dibawah permukaan aspal (Hardiyatmo, 2007). Perkerasan lentur pada Jalan Tol Jagorawi terdiri dari *surface course*, *Base course* (ATB) dan *Sub base course*. *Surface course* (lapis aus) pada Jagorawi adalah laston dengan tebal 10 cm. *Base course* pada Jalan Tol Jagorawi menggunakan ATB dengan tebal 20 cm. Pondasi perkerasan ATB terdiri dari berbagai perbandingan campuran aspal dan agregat. ATB berfungsi untuk meneruskan beban ke bagian pondasi jalan. *Sub Base course* pada Jagorawi menggunakan batu pecah kelas B (CBR 50%) dengan tebal 15 cm.

Perkerasan yang memiliki dua lapisan atau lebih yang menggabungkan karakteristik yang berbeda dan bertindak sebagai satu material komposit disebut perkerasan komposit (Smith, 1963). Flintsch dkk (2008) berdasarkan penelitiannya menunjukkan bahwa system perkerasan jalan komposit dapat menjadi alternatif hemat biaya karena fungsional, struktural, dan manfaat ekonomi yang dapat diberikan selama masa layannya. Perkerasan komposit pada Jalan Tol Jagorawi terdiri dari lapis permukaan aspal, lapis perkerasan beton dan lapis pondasi. Lapisan permukaan aspal pada perkerasan komposit yang digunakan pada Jalan Tol Jagorawi adalah laston dengan tebal 10 cm. Lapis perkerasan beton pada Jalan Tol Jagorawi menggunakan beton dengan f_c' 250 Mpa dan tebal 30 cm. Lapis pondasi pada perkerasan komposit pada Jalan Tol Jagorawi menggunakan batu pecah kelas B (CBR 50%) dengan tebal 25 cm.

Siklus hidup digunakan untuk mengetahui kapan perkerasan itu dipelihara agar dapat mendukung umur rencana, sedangkan biaya siklus hidup diperlukan untuk mengetahui besarnya biaya – biaya yang akan dikeluarkan selama umur rencana jalan. Setelah semua biaya terkait telah ditetapkan dan didiskontokan menjadi nilai saat ini, biaya tersebut dapat dijumlahkan untuk menghasilkan total biaya siklus hidup alternative proyek (Demos,

2006). Sehingga pada akhirnya akan terlihat perbedaan efisiensi biaya antara penggunaan perkerasan komposit dan perkerasan lentur pada ruas jalan tersebut.

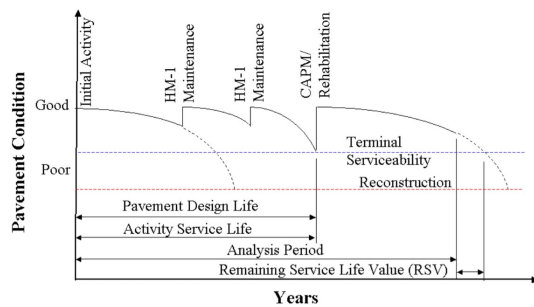
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis jumlah biaya keseluruhan (*total cost*) agensi dan pengguna jalan yang paling efisien pada perkerasan komposit dan perkerasan lentur selama periode analisis yang sama serta menentukan jenis perkerasan terbaik berdasarkan hasil analisis Life Cycle Cost dengan bantuan software *RealCost 2.5*. Sehingga pada akhirnya akan terlihat perbedaan efisiensi biaya antara penggunaan perkerasan komposit dan perkerasan lentur pada ruas jalan tersebut.

2. Pendekatan Life Cycle Cost Analysis

Studi tentang LCCA memberikan wawasan yang berguna tentang alternative perkerasan mana yang paling hemat biaya. Hasil dari LCCA adalah perbandingan alternatif perkerasan jalan. Total biaya siklus hidup yang terkait dengan proyek dibagi menjadi dua jenis biaya yaitu biaya agensi adalah biaya yang dibayar pengelola jalan untuk konstruksi awal dan masa depan pemeliharaan dan rehabilitasi. Sedangkan biaya pengguna adalah biaya yang terkait dengan pengendara umum untuk perjalanan tambahan waktu dan biaya operasi kendaraan yang disebabkan oleh penundaan lalu lintas terkait konstruksi. Menurut Armada (2014), jika jalan diperbaiki atau diperlebar maka nilai kerugian akibat penundaan lalu lintas akan berubah menjadi keuntungan ekonomi yang akan didapat oleh setiap individu, selain itu juga nilai selisih biaya operasional akan menjadi keuntungan juga karena biaya yang harus dikeluarkan untuk operasional kendaraan menjadi lebih hemat.

LCCA dimulai dengan pemilihan alternatif perkerasan yang akan mencapai hal yang sama tujuan kinerja untuk suatu proyek. Misalnya, perbandingan dapat dibuat antara perkerasan lentur vs. perkerasan kaku, aspal campuran panas berkaret (RHMA) vs. campuran panas konvensional perkerasan aspal (HMA), HMA *mill-and-overlay* vs. HMA *overlay*, dan umur rencana 20 tahun vs. 40 tahun. Ketidakpastian yang paling signifikan berasal dari pengaruh struktur jalan, untuk periode analisis 40 tahun variasi tersebut dapat menyebabkan ketidakpastian yang sangat besar (Yu Bin dkk, 2013). Dengan demikian, setiap alternatif perkerasan yang dipilih harus merupakan perkerasan dengan struktur yang layak yang dapat dibangun dan hemat biaya.

Tingkat diskonto adalah tingkat bunga dimana biaya masa depan akan dikonversi pada nilai saat ini. Dengan kata lain, ini adalah persentase biaya manfaat masa depan direduksi menjadi nilai sekarang (seolah-olah manfaat masa depan terjadi di hari ini). Tingkat diskonto nyata (sebagai lawan dari tingkat diskonto nominal) hanya mencerminkan nilai waktu sebenarnya dari uang tanpa memasukkan tingkat inflasi umum. Tarif diskon nyata biasanya berkisar dari 3% sampai 5%. Mirzadeh (2014) menunjukkan dalam penelitiannya, bahwa tingkat diskonto yang disarankan untuk periode 20 tahun adalah $\pm 4\%$, yang berarti biaya masa depan pada periode ini akan lebih mahal karena adanya



Gambar 1. Kondisi perkerasan vs. tahun (Caltrans, 2013)

diskon, maka meningkatkan kualitas material agar jalan memiliki kinerja lebih baik akan sangat bermanfaat untuk meminimalkan biaya di masa mendatang.

Periode analisis adalah periode waktu di mana biaya awal dan biaya yang akan datang alternatif perkerasan jalan akan dievaluasi. LCCA mengasumsikan bahwa perkerasan jalan akan dipelihara dengan baik dan direhabilitasi untuk lalu lintas yang diproyeksikan selama periode analisis tertentu. Seiring bertambahnya usia jalan, kondisinya secara bertahap akan memburuk ke titik di mana beberapa jenis pemeliharaan atau rehabilitasi perawatan diperlukan. Jadi, setelah konstruksi awal, perawatan yang wajar dan strategi rehabilitasi (M&R) harus ditetapkan untuk periode analisis. **Gambar 1** menunjukkan hubungan tipikal antara kondisi perkerasan dan umur perkerasan saat strategi pemeliharaan dan rehabilitasi yang tepat diterapkan tepat waktu.

Setelah alternative diidentifikasi dan informasi dikumpulkan, langkah selanjutnya adalah menentukan jadwal M&R perkerasan jalan untuk setiap alternatif perkerasan. Penentuan strategi pemeliharaan sangat berpengaruh pada biaya siklus hidup jalan (Rayendra, 2019). Jadwal M&R Perkerasan mengidentifikasi urutan dan waktu kegiatan masa depan yang diperlukan untuk memelihara dan merehabilitasi perkerasan jalan selama periode analisis. Ferreira dan Joao (2012) menunjukkan dalam penelitiannya, bahwa biaya M&R dan nilai sisa perkerasan selalu menurun seiring dengan kenaikan tingkat diskonto.

Sejumlah teknik yang didasarkan pada konsep diskon sudah tersedia. FHWA merekomendasikan pendekatan Present Value (PV), yang membawa biaya awal dan masa depan untuk satu titik waktu atau waktu pengeluaran biaya pertama. Persamaan untuk PV adalah:

$$PV = F \frac{1}{(1 + i)^n} \quad (1)$$

3. Data dan Metode Penelitian

Ruas jalan yang menjadi daerah penelitian, merupakan jalan tol Jagorawi. Mayoritas kendaraan – kendaraan yang lewat merupakan kendaraan – kendaraan dengan muatan/tonase yang ringan sampai berat, yang terdiri dari angkutan barang dan angkutan manusia dengan kondisi lalu lintas yang cukup ramai. Dengan volume lalu lintas yang terus meningkat, maka perlu diperhitungkan

dampaknya dimasa yang akan datang terutama tentang kinerja jalan tersebut untuk melayani lalu lintas.

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa volume lalu lintas pada tahun 2019 dan 2020 yang diperoleh dari PT. Jasamarga Persero. Data ini meliputi volume lalu lintas di tiap gerbang tol dengan lalu lintas tertinggi yaitu pada bulan Oktober – Desember 2019 dan bulan Januari – Februari 2020. Bulan-bulan tersebut merupakan bulan yang bertepatan dengan libur sekolah dan akhir tahun sehingga lalu lintas tertinggi terjadi pada bulan tersebut. Perhitungan nilai proyeksi LHR ditahun-tahun berikutnya dilakukan dengan memproyeksikan nilai LHR tersebut kedalam Analisa LHR Rencana.

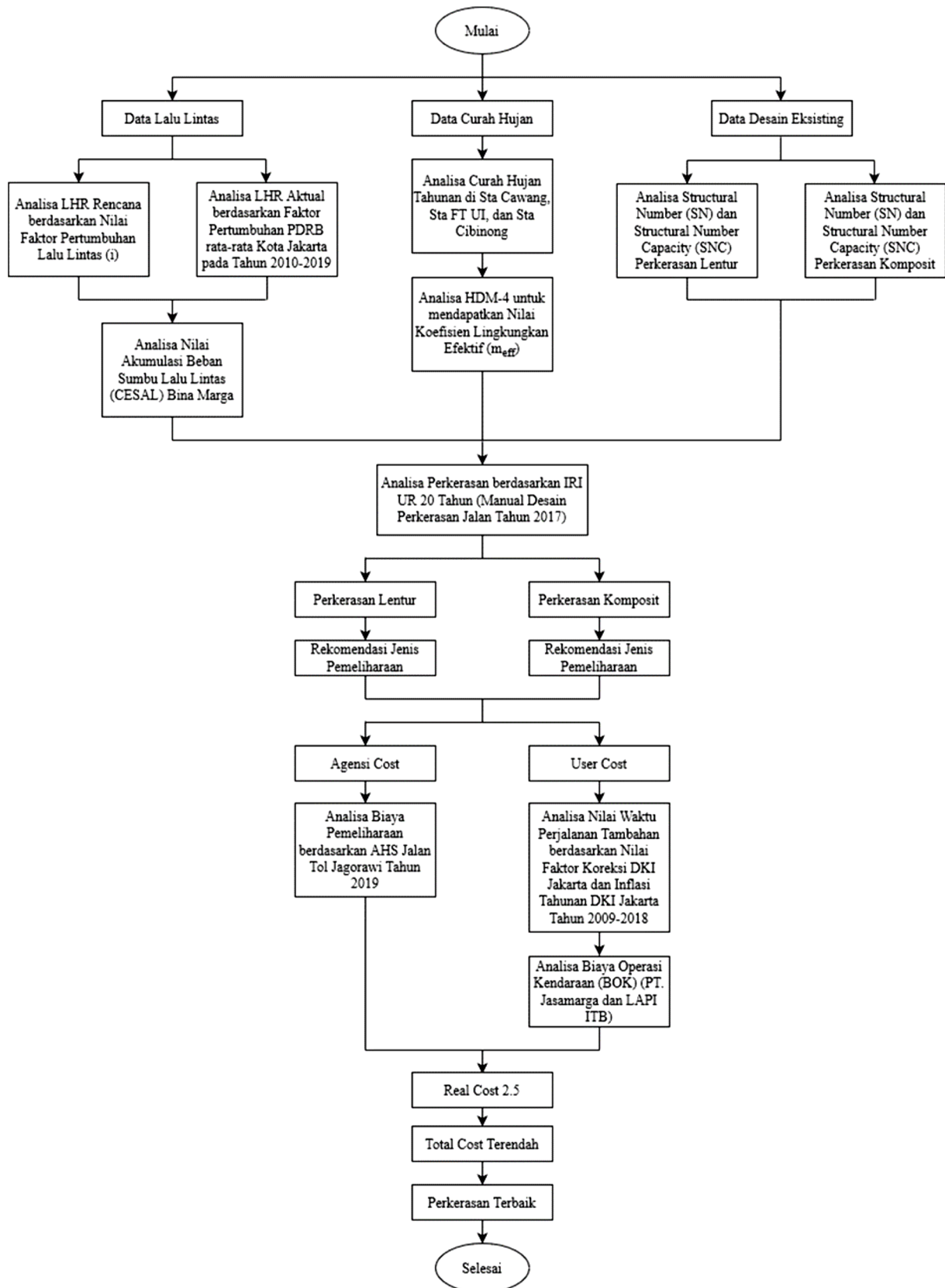
Analisis prediksi IRI pada perkerasan lentur dan komposit dilakukan dengan menggunakan metode HDM-4. Hasil dan kualitas prediksi tergantung pada kualitas data yang di *input* (*garbage in-garbage out*), maka bisa dianggap bahwa para *decision maker* dapat menggunakan metode yang berbeda pada fase siklus hidup yang berbeda (Wübbenhorst, 1986). Pendekatan HDM-4 dapat memprediksi kondisi perkerasan jalan ditahun-tahun berikutnya dengan rata-rata prosentase penyimpangan (*error*) kurang dari 5% (Hutauruk, 2015). Analisa dimulai dengan melakukan analisa distribusi curah hujan yang terjadi di sekitar daerah Jagorawi berdasarkan laporan pengukuran curah hujan pada pos penakar hujan. Data tingkat curah hujan yang digunakan untuk analisa diperoleh dari stasiun penakar hujan Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Cibinong dan Cawang. Selanjutnya, analisa dilanjutkan dengan analisa data *Structural Number* (SN) dan *Structural Number Capacity* (SNC). Analisa SN dan SNC dilakukan dengan menggunakan data lapisan perkerasan eksisting Jalan Tol Jagorawi yang bersumber dari PT. Jasamarga Persero.

Tahap terakhir adalah analisa *life cycle cost* dengan bantuan software *RealCost 2.5*. Analisa dimulai dengan melakukan input detail informasi jalan hingga skenario pemeliharaan yang akan dilakukan pada 20 tahun yang akan datang. Hasil akhir yang didapatkan adalah biaya agensi dan biaya pengguna pada masing-masing alternatif perkerasan yang akan menentukan perkerasan terbaik pada lokasi penelitian. Diagram alir metode penelitian ditunjukkan pada **Gambar 2**.

4. Hasil dan Pembahasan

Perhitungan nilai proyeksi LHR ditahun yang akan datang dilakukan berdasarkan data perencanaan lalu lintas dengan menggunakan faktor nilai pertumbuhan lalu lintas (*i*). Dalam perencanaan pertumbuhan lalu lintas, nilai *i* yang digunakan didapat dari Buku Manual Perkerasan Jalan Tahun 2017 pasal 4.1 terkait analisis volume lalu lintas. Hasil perhitungan proyeksi LHR rencana diatas selanjutnya akan digunakan untuk menentukan nilai akumulasi beban sumbu lalu lintas (CESAL). Hasil analisa proyeksi LHR rencana dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Nilai CESAL dihitung berdasarkan hasil analisis dari data LHR. Nilai CESAL tersebut nantinya akan



Gambar 2. Diagram alir penelitian

digunakan sebagai data input pada metode HDM 4 selain itu dapat juga digunakan sebagai salah satu masukan untuk menentukan tebal lapis tambah

perkerasan (*overlay*) sebagai salah satu upaya dalam preservasi jalan tol. Dalam penelitian ini, perhitungan nilai CESAL yaitu perhitungan CESAL Bina Marga.

Tabel 1. Hasil analisis proyeksi LHR rencana

No	Tahun	Lalu Lintas	Jenis Kendaraan					Jumlah	
			Sedan, jip, Pick Up/ Truck Kecil, dan Bus	Truk dengan 2 Gandar	Truk dengan 3 Gandar	Truk dengan 4 Gandar	Truk dengan 5 Gandar		
			Gol	I	II	III	IV		V
			i	0,048	0,048	0,048	0,048		0,048
1	2019		133,319.000	60,055.000	15,284.000	5,920.000	4,434.000	219,012.000	
2	2020		139,718.312	62,937.640	16,017.632	6,204.160	4,646.832	229,524.576	
3	2021		146,424.791	65,958.647	16,786.478	6,501.960	4,869.880	240,541.756	
4	2022		153,453.181	69,124.662	17,592.229	6,814.054	5,103.634	252,087.760	
5	2023		160,818.934	72,442.646	18,436.656	7,141.128	5,348.609	264,187.972	
6	2024		168,538.242	75,919.893	19,321.616	7,483.902	5,605.342	276,868.995	
7	2025		176,628.078	79,564.047	20,249.053	7,843.130	5,874.398	290,158.707	
8	2026		185,106.226	83,383.122	21,221.008	8,219.600	6,156.369	304,086.325	
9	2027		193,991.325	87,385.511	22,239.616	8,614.141	6,451.875	318,682.468	
10	2028		203,302.908	91,580.016	23,307.118	9,027.620	6,761.565	333,979.227	
11	2029		213,061.448	95,975.857	24,425.860	9,460.945	7,086.120	350,010.230	
12	2030		223,288.397	100,582.698	25,598.301	9,915.071	7,426.254	366,810.721	
13	2031		234,006.240	105,410.667	26,827.019	10,390.994	7,782.714	384,417.635	
14	2032		245,238.540	110,470.379	28,114.716	10,889.762	8,156.284	402,869.682	
15	2033		257,009.990	115,772.958	29,464.223	11,412.470	8,547.786	422,207.427	
16	2034		269,346.469	121,330.060	30,878.505	11,960.269	8,958.080	442,473.383	
17	2035		282,275.100	127,153.902	32,360.673	12,534.362	9,388.068	463,712.105	
18	2036		295,824.305	133,257.290	33,913.986	13,136.011	9,838.695	485,970.286	
19	2037		310,023.871	139,653.640	35,541.857	13,766.540	10,310.952	509,296.860	
20	2038		324,905.017	146,357.014	37,247.866	14,427.334	10,805.878	533,743.110	

Tabel 2. Perhitungan CESAL Bina Marga 2019

No	Gol	Kendaraan	i	VDF	N	DD	LL	Hari	LHR	ESA
									2019	2019
1	I	Sedan, Jip, Pick Up/ Truk Kecil, dan Bus	0.048	0.0011	1.03	0.5	0.8	365	133,319.000	22,053.362
2	II	Bus Besar, Truk dengan 2 Gandar	0.048	0.8234	1.03	0.5	0.8	365	60,055.000	7,436,183.779
3	III	Truk dengan 3 Gandar	0.048	3.6923	1.03	0.5	0.8	365	15,284.000	8,486,411.563
4	IV	Truk dengan 4 Gandar	0.048	4.9961	1.03	0.5	0.8	365	5,920.000	4,447,776.027
5	V	Truk dengan 5 Gandar	0.048	6.3781	1.03	0.5	0.8	365	4,434.000	4,252,820.898
									CESAL	24,645,245.63

$$ESA = \left(\sum LHR \times VDF \right) \times 365 \times DD \times DL \times N \quad (2)$$

Hasil perhitungan nilai CESAL tersebut kemudian akan diproyeksikan pada tahun-tahun berikutnya untuk melihat peningkatan beban lalu lintas setiap tahunnya. Iskandar (2009) memberikan nilai VDF berdasarkan rata-rata aritmatik terhadap volume kendaraan. Hasil perhitungan CESAL Bina Marga pada tahun 2019 dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Kendaraan digolongkan berdasarkan nilai VDF dan EMP. Pilihan pertama dalam membagi golongan kendaraan ditetapkan berdasarkan nilai EMP. Iskandar (2009) menggolongkan Bus Kecil dan Bus Besar menjadi satu golongan karena secara operasional dalam aliran lalu-lintas di jalan bebas hambatan, bus tersebut memiliki karakter *manouvreability* yang relatif sama yang ditunjukkan dengan nilai EMP yang berdekatan.

Klasifikasi kendaraan berdasarkan nilai VDF mengacu pada klasifikasi sesuai alat timbangan *Weight In Motion* (WIM) *Golden River* seri 660 dan USA *Federal Highway Administration* (FHWA) sehingga didapatkan nilai VDF rata-rata dengan arah menuju Jakarta dan arah dari Jakarta. Iskandar (2009) menyederhanakan penggolongan menjadi 5 golongan dengan mengelompokkan truk berat sesuai jumlah as nya, tanpa memandang jenis kendaraannya, apakah truk gandengan, atau truk tempelan dan menggabungkan truk dengan jumlah as ≥ 6 ke dalam golongan Truk 5 As. Dengan cara yang sama dengan perhitungan diatas, berikut ditampilkan rekapitulasi perhitungan nilai CESAL rencana dari tahun 2019 sampai dengan tahun 2058.

Dengan menggunakan Metode Polygon Theissen maka daerah penelitian masuk kedalam area polygon. Rata-rata curah hujan tahunan disekitar lokasi penelitian antara 1.112,6 mm/tahun – 3932 mm/tahun. Data curah

hujan tersebut akan digunakan untuk menentukan koefisien lingkungan lokasi penelitian.

Data lapisan perkerasan eksisting digunakan untuk melakukan analisa data *Structural Number* (SN) dan *Structural Number Capacity* (SNC). Perkerasan lentur pada Jalan Tol Jagorawi terdiri dari *surface course*, *Base course* (ATB) dan *Sub base course*. *Surface course* merupakan lapisan permukaan (lapis aus) yang digunakan pada Jalan Tol Jagorawi adalah laston dengan tebal 10 cm. *Base course* merupakan lapis pondasi atas pada Jalan Tol Jagorawi menggunakan *Asphalt Treated Base* (ATB) dengan tebal 20 cm. Pondasi perkerasan ATB terdiri dari berbagai perbandingan campuran aspal dan agregat. ATB berfungsi untuk meneruskan beban ke bagian pondasi jalan. *Sub Base course* merupakan lapis pondasi bawah pada Jalan Tol Jagorawi menggunakan batu pecah kelas B (CBR 50%) dengan tebal 15 cm. Lajur yang digunakan pada perhitungan nilai SNC perkerasan lentur adalah lajur (L2 A) arah Jakarta - Bogor. Hasil perhitungan untuk nilai masing-masing segmen jalan dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Perhitungan nilai *Structural number Capacity* (SNC) pada perkerasan lentur dilakukan dengan metode HDM-4 (2001) dimana nilai *Structural Number* dimodifikasi dengan adanya penambahan *Structural Number* dari *sub-grade*, yang merupakan fungsi dari CBR *sub-grade*. Berikut adalah persamaan *Structural Number modified* (SNC):

$$SNC = SN + SNSG \quad (3)$$

Dimana

$$SNSG = 3,51(\log_{10} CBR) - 0,85(\log_{10} CBR)^2 - 1,43 \quad (4)$$

Sedangkan perkerasan komposit pada Jalan Tol Jagorawi terdiri dari lapis permukaan aspal, lapis perkerasan beton dan lapis pondasi. Lapisan permukaan aspal pada perkerasan komposit yang digunakan pada Jalan Tol Jagorawi adalah laston dengan tebal 10 cm. Lapis perkerasan beton pada Jalan Tol Jagorawi menggunakan beton dengan $f_c' = 250$ Mpa dan tebal 30 cm. Lapis pondasi pada perkerasan komposit pada Jalan Tol Jagorawi menggunakan batu pecah kelas B (CBR 50%) dengan tebal 25 cm. Lajur yang digunakan pada perhitungan nilai SNC perkerasan komposit adalah lajur (L4 A) arah Jakarta - Bogor. Hasil perhitungan untuk nilai masing-masing segmen jalan dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Perhitungan nilai *Structural number Capacity* (SNC) pada perkerasan komposit mengacu pada sebuah studi yang dilakukan oleh Richardson (1996) yang memberikan persamaan umum yang dapat digunakan untuk menentukan modulus (E_c) dari berbagai bahan yang disemen, sehingga didapatkanlah koefisien lapisan (a_2) untuk struktur komposit. Berikut adalah persamaan koefisien lapisan (a_2) untuk struktur komposit :

$$a_2 = -2,7170 + 0,49711 \times \log(E_c) \quad (5)$$

dimana

$$E_c = -34,367 + 2006,8(q_u)^{0,7784} \quad (6)$$

Kondisi laju perkembangan IRI digambarkan melalui analisa prediksi kondisi perkerasan jalan. Proyeksi kondisi perkerasan jalan diprediksi dengan menggunakan nilai ESAL, CBR dan SN sebagai parameter yang telah dianalisa sebelumnya. Beberapa parameter yang digunakan untuk memprediksi laju IRI

Tabel 3. Hasil perhitungan *structural number capacity* perkerasan lentur

No	Segmen (Km)	STA		d1 (in)	d2 (in)	d3 (in)	a1	a2	a3	m	SNC
		Awal	Akhir								
1	Cililitan - Taman Mini	3.900	4.200	3,937	7,874	5,906	0,4	0,28	0,13	1,4	6,622
2	Taman Mini - JORR	4.200	6.000	3,937	7,874	5,906	0,4	0,28	0,13	1,4	6,622
3	JORR - Cibubur	6.000	13.200	3,937	7,874	5,906	0,4	0,28	0,13	1,4	6,622
4	Cibubur - Cisalak	13.200	15.600	3,937	7,874	5,906	0,4	0,28	0,13	1,4	6,622
5	Cisalak - Cimanggis	15.600	19.000	3,937	7,874	5,906	0,4	0,28	0,13	1,4	6,622
6	Cimanggis - Gunung Putri	19.000	23.800	3,937	7,874	5,906	0,4	0,28	0,13	1,4	6,622

Tabel 4. Hasil perhitungan *structural number capacity* perkerasan komposit

No	Segmen (Km)	STA		d1 (in)	d2 (in)	d3 (in)	a1	a2	a3	m	SNC
		Awal	Akhir								
1	Cililitan - Taman Mini	3.900	4.200	3,858	11,811	9,843	0,4	0,24	0,13	1,25	7,619
2	Taman Mini - JORR	4.200	6.000	3,858	11,811	9,843	0,4	0,24	0,13	1,25	7,619
3	JORR - Cibubur	6.000	13.200	3,858	11,811	9,843	0,4	0,24	0,13	1,25	7,619
4	Cibubur - Cisalak	13.200	15.600	3,858	11,811	9,843	0,4	0,24	0,13	1,25	7,619
5	Cisalak - Cimanggis	15.600	19.000	3,858	11,811	9,843	0,4	0,24	0,13	1,25	7,619
6	Cimanggis - Gunung Putri	19.000	23.800	3,858	11,811	9,843	0,4	0,24	0,13	1,25	7,619

yaitu : komponen lingkungan, lubang, alur, retak dan kerusakan structural. Kekasaran pada umumnya dihitung setiap akhir tahun dengan mempertimbangkan perubahan dari ke 5 komponen tersebut. Sebagai contoh hasil rekapitulasi perhitungan IRI pada STA 3+900 – 4+000 dengan dan tanpa penanganan pada **Tabel 5**.

Berdasarkan hasil analisa warna hijau menunjukkan bahwa jalan dalam keadaan sangat baik sehingga penanganan yang dilakukan adalah pemeliharaan rutin. Warna biru menunjukkan bahwa jalan dalam kondisi baik sehingga penanganan yang diperlukan adalah pemeliharaan rutin kondisi. Warna *orange* menunjukkan bahwa jalan dalam kondisi sedang sehingga penanganan yang dibutuhkan adalah pemeliharaan berkala. Sedangkan warna merah menunjukkan bahwa jalan dalam kondisi sedang tidak mantap sehingga diperlukan rekonstruksi.

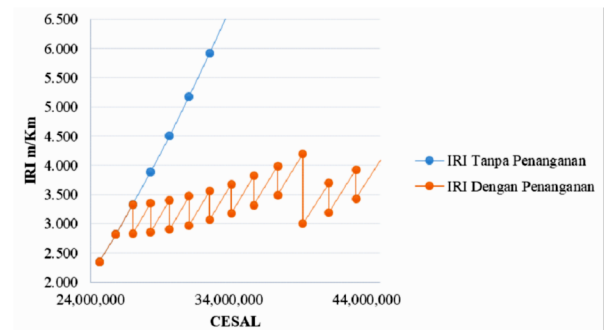
Pembagian segmen dan komposisi perkerasan dalam perhitungan IRI untuk perkerasan lentur mengacu pada **Tabel 3** sedangkan pada perkerasan komposit mengacu pada **Tabel 4**. Daerah yang dianalisa nilai IRI – nya dimulai dari STA 3+900 – 23+800 yakni sekitar 19,9 km dari total panjang 59 km.

Perhitungan biaya pemeliharaan dilakukan untuk mengetahui jumlah biaya yang harus dikeluarkan oleh agensi untuk melakukan penanganan jalan sesuai dengan skema yang telah dibuat berdasarkan analisa prediksi kondisi perkerasan. Biaya-biaya tersebut dihitung berdasarkan Analisa Harga Satuan Jalan Tol Jagorawi 2019. Hasil perhitungan untuk masing-masing biaya pemeliharaan dapat dilihat pada **Tabel 6**.

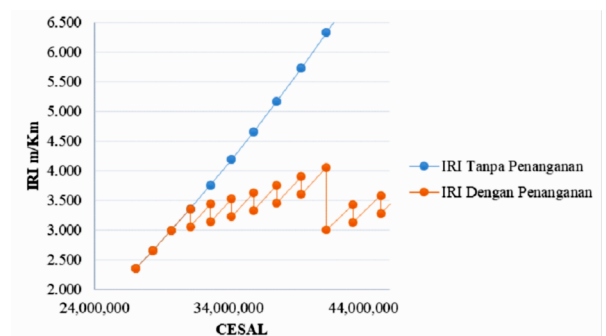
Biaya pengguna adalah biaya yang tidak langsung ditanggung oleh pengelola jalan. Biaya ini adalah yang terkait dengan waktu perjalanan tambahan dan biaya

operasi kendaraan terkait yang dikeluarkan oleh pengguna jalan karena penundaan lalu lintas konstruksi dari awal konstruksi dan kegiatan rehabilitasi di masa depan.

Biaya yang dikeluarkan ketika melakukan perjalanan dan waktu yang digunakan ketika mengalami tundaan lalu



Gambar 3. Ilustrasi IRI sebelum dan sesudah penanganan perkerasan lentur



Gambar 4. Ilustrasi IRI sebelum dan sesudah penanganan perkerasan komposit

Tabel 5. Ilustrasi perhitungan IRI dengan dan tanpa penanganan

No	Tahun	CESAL	IRI Perkerasan Lentur		IRI Perkerasan Komposit	
			tanpa Penanganan	dengan Penanganan	tanpa Penanganan	dengan Penanganan
1	2019	24,645,245.629	2.350	2.350	2.350	2.350
2	2020	25,828,217.419	2.817	2.817	2.658	2.658
3	2021	27,067,971.856	3.329	2.829	2.994	2.994
4	2022	28,367,234.505	3.891	2.858	3.360	3.060
5	2023	29,728,861.761	4.507	2.905	3.758	3.138
6	2024	31,155,847.125	5.180	2.973	4.191	3.230
7	2025	32,651,327.787	5.917	3.062	4.661	3.337
8	2026	34,218,591.521	6.721	3.177	5.172	3.460
9	2027	35,861,083.914	7.598	3.319	5.727	3.601
10	2028	37,582,415.942	8.554	3.492	6.328	3.000
11	2029	39,386,371.907	9.595	3.000	6.980	3.131
12	2030	41,276,917.759	10.728	3.196	7.687	3.282
13	2031	43,258,209.811	11.960	3.428	8.451	3.455
14	2032	45,334,603.882	13.299	1.000	9.279	3.651
15	2033	47,510,664.869	14.752	1.638	10.175	3.000
16	2034	49,791,176.782	16.330	2.345	11.143	3.193
17	2035	52,181,153.268	18.041	2.629	12.190	3.412
18	2036	54,685,848.625	19.895	2.961	13.321	3.661
19	2037	57,310,769.359	21.904	3.347	14.543	3.000
20	2038	60,061,686.288	24.079	3.000	15.861	3.253

lintas serta menunggu angkutan disebut nilai waktu perjalanan. Nilai k merupakan faktor koreksi yang mana DKI-Jakarta dan sekitarnya dianggap mempunyai faktor koreksi 1,0 (Ilham dkk, 2019). Adapun untuk hasil perhitungan nilai waktu perjalanan disajikan dalam **Tabel 7**, dengan tingkat suku bunga yang digunakan sebesar 4,638% berdasarkan rata-rata inflasi umum tahunan Kota Jakarta antara tahun 2009 - 2018.

Hasil perhitungan nilai konsumsi komponen BOK, harga BOK serta besarnya total biaya yang diperlukan untuk melintasi Rute atau sebaliknya disajikan dalam **Tabel 8** dan **Tabel 9**.

Tahap terakhir pada penelitian ini adalah menginput semua nilai yang sudah dianalisa kedalam software *RealCost 2.5* untuk mendapatkan nilai *total cost* diantara dua alternative perkerasan. Dengan mengetahui *total cost* (jumlah *agency cost* dan *user*

cost) terendah, diharapkan diketahui biaya yang paling ideal dari segi *user cost* dan *agency cost*. Hasil analisa *total cost* menunjukkan bahwa perkerasan komposit mempunyai *total cost* terendah dibandingkan perkerasan lentur. **Tabel 10** menunjukkan hasil *output* dari hasil biaya siklus hidup deterministik *RealCost 2.5*.

LCCA deterministik dari biaya agensi mengikuti pedoman Caltrans (2013) dan analisis sensitivitas. Pedoman ini mencakup jadwal kerja yang telah ditetapkan untuk perkerasan lentur dan komposit yang dianalisis. Desain didasarkan pada Jalan Tol Jagorawi dengan lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHR) 219.012 kendaraan pada tahun 2019 dan 39% truk menghasilkan sekitar 60.061.686 ESAL selama periode desain perkerasan 20 tahun. Tebal untuk perkerasan lentur dan komposit diperoleh dengan menggunakan data desain eksisting Jalan Tol Jagorawi.

Tabel 6. Biaya pemeliharaan jalan Tol Jagorawi

No	Jenis Pemeliharaan	Flexible Pavement		Composite Pavement	
		Detail Penanganan	Biaya (Rp/Km)	Detail Penanganan	Biaya (Rp/Km)
1	Pemeliharaan Rutin	Termasuk dalam Lingkup Opex	0	Termasuk dalam Lingkup Opex	0
2	Pemeliharaan Rutin Kondisi	Patching Crack Sealing	7,920,906.00	Patching Crack Sealing	6,056,499.00
3	Pemeliharaan Berkala	Scrapping, Filling, Overlay	691,091,239.00	Scrapping, Filling, Overlay	609,057,331.00
4	Rekonstruksi	Rekonstruksi	1,069,973,372.00	Rekonstruksi	1,184,063,669.00

Tabel 7. Perhitungan nilai waktu (Rp/Km)

Referensi	Gol I	Gol IIA	Gol IIB
Nilai representatif (max) DKI. Jakarta	8200	12369	9188
Nilai representatif (max) PT. Jasamarga (1990-1996)	12287	18534	13768
Terpilih	12287	18534	13768
Nilai $k = 1,00$ (DKI-Jakarta)	12287	18534	13768
Nilai Waktu 2019 ($I = 4,638\%$)	34858,02	52580,66	39059,6

Tabel 8. Nilai konsumsi komponen BOK

Jenis Kendaraan	Konsumsi Komponen BOK Tidak Tetap (Rp/Km)						
	BBM	Oli	Ban	Suku Cadang	Upah	Depresiasi	Biaya Asuransi
Gol I	0.118851971	0.0032	-2.58E-06	6.082E-07	0.000388913	6.890E-06	9.440E-06
Gol IIA	0.269238935	0.006	-3.47E-06	2.356E-06	0.002163366	1.914E-06	2.898E-06
Gol IIB	0.345627474	0.0049	6.586E-06	1.693E-06	0.001333636	2.871E-06	4.420E-06

Tabel 9. Rekapitulasi BOK

Jenis Kendaraan	Konsumsi Komponen BOK Tidak Tetap (Rp/Km)							Total	Jarak (Km)	Total Biaya (Rp)
	BBM	Oli	Ban	Suku Cadang	Upah	Depresiasi	Biaya Asuransi			
Gol I	1786	350	-2.651	109.479	8.44	1240.310	1699.378	5192	0.1	519
Gol IIA	4181	657	-3.121	605.820	46.95	492.104	745.217	6725	0.1	672
Gol IIB	5367	536	11.744	1245.474	28.94	2111.206	3250.386	12552	0.1	1255

Tabel 10. Hasil *deterministik real cost* 2.5

Total Cost				
	Alternative 1 Perkerasan Lentur		Alternative 2 Perkerasan Komposit	
	Agency cost	User cost	Agency cost	User cost
Present Value	Rp 1.511.072.384	Rp 4.913.321	Rp 1.137.659.008	Rp 5.642.355
Total Cost	Rp 1.515.985.705,00		Rp 1.143.301.363,00	
Lowest Total Cost			Alternative 2	

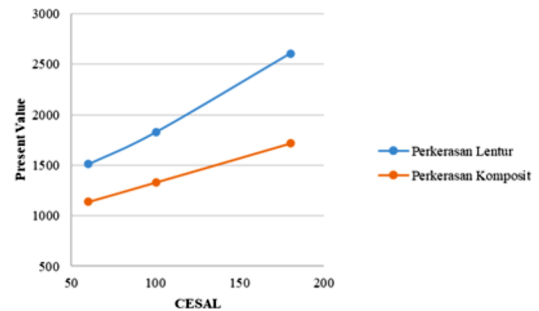
Periode analisis 20 tahun digunakan seperti yang direkomendasikan oleh Manual Desain Perkerasan Jalan tahun 2017. Harga satuan berbagai item diperoleh dari Analisa Harga Satuan Jalan Tol Jagorawi tahun 2019. Nilai berat satuan untuk AC, agregat, dan lapisan drainase tetap tidak berubah untuk perhitungan volumetrik. Semua biaya yang dihitung didasarkan pada ruas jalan sepanjang 1 km. Metode *present value* (PV) dipilih untuk membandingkan kedua alternatif perkerasan yang berbeda. Tingkat diskonto 4%, seperti yang direkomendasikan oleh Caltrans (2013).

Menurut LCCA, alternatif perkerasan yang paling murah adalah perkerasan komposit. Faktor yang berkontribusi untuk membuat perkerasan komposit menjadi alternatif yang paling murah. Biaya pemeliharaan rutin kondisi (*patching & crack sealing*) pada perkerasan komposit adalah Rp 6.056.499,00 per km, sedangkan pada perkerasan lentur biayanya mencapai Rp 7.920.906,00 per km. Penghematan ini disebabkan oleh harga satuan perbaikan *expansion joint* aspal (*asphaltic plug joint*) lebih murah yakni sebesar Rp 2.244.049,00 per meter, sedangkan pada perkerasan lentur perbaikan *asphaltic joint filler* (*sealant*) mencapai Rp 4.108.456,00 per meter.

Terlepas dari perbedaan mencolok dalam biaya PV yang diperoleh, ada pertimbangan penting mengenai perkerasan komposit. Hasil ilustrasi perhitungan IRI dengan dan tanpa penanganan perkerasan komposit dapat bertahan 20 tahun tanpa rekonstruksi selama operasi pemeliharaan dan rehabilitasi ringan dilakukan. Hal ini menyimpulkan bahwa material pada perkerasan komposit berperilaku seperti material granular yang sangat baik.

Ini menunjukkan bahwa rekonstruksi mungkin tidak diperlukan, pemeliharaan rutin kondisi dan preventif akan cukup. Namun, retak refleksi mungkin terjadi. Menurut Flintsch dkk (2008) dalam kasus perkerasan komposit dengan basis CRCP, asumsi retak refleksi dapat dibuat karena hanya operasi pemeliharaan fungsional yang dilakukan pada lapisan aspal sepanjang umur layanannya. Selain itu, perkerasan tersebut memiliki umur yang panjang karena lapisan permukaan aspal yang menjaga integritas struktur dasar, menunjukkan bahwa rekonstruksi tidak diperlukan.

Analisis sensitivitas yang menguji pengaruh lalu lintas pada PV biaya agensi dilakukan untuk menyelidiki apakah struktur perkerasan lentur dan komposit menjadi hemat biaya untuk volume lalu lintas yang sangat tinggi. Evaluasi ini melibatkan perhitungan biaya agensi total pada volume lalu lintas yang berbeda. Rentang CESAL 60, 100 dan 180 juta selama umur desain.



Gambar 5. Perhitungan PV alternatif perkerasan pada CESAL desain berbeda

Kurva pertumbuhan lalu lintas dibuat untuk periode analisis LCCA 20 tahun untuk setiap kasus LHR. Peningkatan CESAL dapat disebabkan oleh peningkatan volume lalu lintas atau peningkatan persentase truk. Perhitungan *present value* untuk semua alternatif dengan menggunakan tingkat diskonto 4% ditampilkan dalam bentuk grafik pada **Gambar 5**.

Dapat diamati bahwa ketika CESAL meningkat, PV dari perkerasan lentur dan komposit juga meningkat. Perkerasan komposit memiliki peningkatan biaya PV lebih rendah. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa perkerasan komposit memiliki potensi untuk menghemat biaya agensi yang signifikan ketika dipertimbangkan untuk jalan tol bervolume sangat tinggi.

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pembahasan dan analisa perhitungan yang telah dilakukan sebagai berikut :

1. Berdasarkan pendekatan total *life cycle cost* (*agency cost* dan *user cost*) dan pendekatan nilai IRI didapatkan bahwa perkerasan komposit dengan umur rencana 20 tahun merupakan alternatif terbaik untuk diterapkan pada Jalan Tol Jagorawi, karena mampu menahan beban lalu lintas rencana dengan total biaya terendah.
2. Sistem perkerasan komposit dapat menjadi alternatif perkerasan hemat biaya untuk Jalan Tol Jagorawi karena harga satuan perbaikan *expansion joint* aspal (*asphaltic plug joint*) pada perkerasan komposit lebih murah dibandingkan perbaikan *asphaltic joint filler* (*sealant*) pada perkerasan lentur. Selain itu, hasil ilustrasi perhitungan IRI dengan dan tanpa penanganan perkerasan komposit dapat bertahan 20

tahun tanpa rekonstruksi selama operasi pemeliharaan dan rehabilitasi ringan dilakukan. Hal ini menyimpulkan bahwa material pada perkerasan komposit berperilaku seperti material granular yang sangat baik.

3. Peningkatan *Present Value* perkerasan komposit lebih rendah dibandingkan perkerasan lentur pada analisis sensitivitas menunjukkan bahwa perkerasan komposit memiliki potensi untuk menghemat biaya agensi yang signifikan ketika dipertimbangkan untuk jalan tol bervolume sangat tinggi.
4. Jadwal pemeliharaan tiap tahun yang dihitung berdasarkan Metode HDM4 perkerasan lentur dan komposit yang dianalisis ditentukan berdasarkan tinjauan literatur, dan penerapannya pada Jalan Tol Jagorawi harus diverifikasi.

Daftar Pustaka

- Armada, T. P., 2014, Analisa Ekonomi Perbaikan Jalan Palembang – Betung Kab. Banyuasin Terhadap Nilai Kerugian Akibat Kemacetan, *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, Vol.2. No.3, 445-456.
- Caltrans., 2013, *Life cycle cost Analysis Procedures Manual*, State of California Departement of Transportation Division of Maintenance Pavement Program.
- Demos, G. P., 2006, *Life cycle cost Analysis And Discount Rate On Pavement For The Colorado Departement of Transportation*, Colorado Departement of Transportation.
- Ferreira, A dan Joao S., 2012, LCCA System For Pavement Management : Sensitivity Analysis to the Discount Rate, *5th International Congress, Sustainability of Road Infrastructure*, Roma, Italia, Oktober 29-31, paper No. 53.
- Flintsch, G. W., dkk, 2008. *Composite Pavement System : Synthesis of Design and Construction Practices*, Virginia Transportation Research Council.
- Hardiyatmo, H. C., 2007, *Pemeliharaan Jalan Raya*, Gadjah Mada University Press.
- Hutauruk, A. G., 2015, *Analisis Prediksi Kondisi Perkerasan Jalan Menggunakan Pendekatan HDM-4 untuk Penanganan Jalan*, MS Thesis, Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember at Surabaya.
- Ilham., dkk, 2019, Analisis Kelayakan Ekonomi pada Pembangunan Jalan Praja 2 – Kali Kadia Kota Kendari, *Seminar Nasional Teknologi Terapan Inovasi dan Rekayasa, Program Pendidikan Vokasi Universitas Halu Oleo*, Kendari, Sulawesi Tenggara, Indonesia., Desember 1, paper No. 1.
- Iskandar, H., 2009, Kajian Penyesuaian Golongan dan Tarif Tol dengan Mempertimbangkan Pengrusakan Perkerasan Jalan oleh Kendaraan Berat, *Puslitbang Jalan dan Jembatan*, Volume 26 No. 1, 1-12.
- MDP 2017, Manual Desain Perkerasan.
- Mirzadeh, I., dkk, 2014, *Life cycle cost Analysis based on the fundamental cost contributors for asphalt pavements*, *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 10, No. 12, 1638-1647.
- Rachmayati, D., 2014, Kajian Perbandingan Biaya Siklus Hidup Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur, *Jurnal Jalan-Jembatan*, Volume 31 No. 2, 94-110.
- Rayendra., 2019, Analisis Alternatif Pemilihan Biaya Siklus Hidup pada Masa Pemeliharaan Ruas Jalan Janti – Prambanan KM 7+759-8+750, *Teknisia*, Volume XXIV, No. 1, 25-36.
- Richardson, D. N., 1996, AASHTO Layer Coefficients for Cement-Stabilized Soil Bases, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol 8, No.2, 83-87.
- Smith, R. J., 1963, Definition of Composite Pavement Structures, *Highway Research Record*, Issue 37, 1-4.
- Wirahadikusumah, R. D., 2019, *Tantangan Manajemen Aset Infrastruktur Publik yang Berkelanjutan*, Institut Teknologi Bandung.
- Wübbenhorst, K. L., 1986, Life Cycle Costing for construction projects, *Long range planning*, Volume 19, Issue 4, 87-97.
- Yu, Bin., dkk, 2013, An Improved Pavement Maintenance Optimaziont Methodology : Integrating LCA and LCCA, *Transportation Reasearch Part A: Policy and Practice*, Volume 55, 1-11.
- Zoeteman, A., 2001, *Life cycle cost Analysis for managing rail infrastructure*, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, Vol 1, No. 4, 391-413.