

KAJIAN PERBANDINGAN BIAYA SIKLUS HIDUP PERKERASAN KAKU DAN PERKERASAN LENTUR (LIFE CYCLE COST COMPARISON STUDY FOR RIGID AND FLEXIBLE PAVEMENT)

Dina Rachmayati

Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VI Makassar
Jalan Batara Bira No. 14 KM. 16, Baddoka, Makassar
e-mail: dina_rachmayati@yahoo.com
Diterima: 04 Juni 2014; direvisi: 14 Juli 2014; disetujui: 07 Agustus 2014

ABSTRAK

Biaya siklus hidup menjadi pertimbangan penting dalam memutuskan pembangunan jalan di Indonesia. Biaya siklus hidup memperhatikan biaya keseluruhan selama siklus hidup perkerasan termasuk biaya pengguna jalan. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji biaya siklus hidup perkerasan jalan Pakkæ – Batas Kota Pangkep yang dibangun dengan menggunakan perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Hasil kajian ini dikembangkan untuk mendapatkan jenis perkerasan yang terbaik berdasarkan biaya siklus hidup analisis dan beban lalu lintas. Pada penelitian ini dibuat 3 jenis alternatif skenario perkerasan yaitu: perkerasan kaku dengan umur rencana 25 tahun, perkerasan lentur dengan umur rencana 25 tahun, dan perkerasan lentur dengan umur rencana 10 tahun. Pada setiap jenis perkerasan tersebut dibuat skenario penanganan sedemikian hingga perkerasan tersebut tetap mampu melayani kebutuhan lalu lintas selama 25 tahun masa analisis, dengan indikator nilai International Roughness Index (IRI) yang diprediksi melalui persamaan empiris. Dari hasil analisis user cost didapatkan biaya terendah dari pengguna jalan diperoleh pada perkerasan lentur dengan umur rencana 25 tahun, sedangkan dari analisis deterministik oleh software Real cost didapatkan biaya terendah agency cost terdapat pada perkerasan lentur dengan umur rencana 10 tahun. Karena terdapat perbedaan antara hasil agency cost dan user cost, maka untuk pengambilan keputusan dilakukan pendekatan total cost (penjumlahan user cost dan agency cost), sehingga diperoleh hasil bahwa perkerasan lentur dengan umur rencana 25 tahun mempunyai total cost terendah. Dari penelitian ini juga diketahui bahwa meskipun perkerasan kaku mempunyai jumlah penanganan yang lebih sedikit dibanding perkerasan lentur dengan umur rencana yang sama, namun perkerasan kaku tetap lebih mahal dari sisi biaya karena biaya pembangunan serta penanganan perkerasan kaku lebih mahal dibanding perkerasan lentur.

Kata kunci: perkerasan kaku, perkerasan lentur, prediksi IRI, biaya siklus hidup, real cost

ABSTRACT

Life cycle cost is an important consideration in deciding the construction of roads in Indonesia. Life cycle cost include the overall cost during the life cycle of pavement including road user charges. The purpose of this study is to assess the life cycle cost of pavement Pakkæ - Pangkep road which built using rigid pavement and flexible pavement. The results of this study were developed to obtain the best type of pavement based on life cycle cost analysis and traffic load. This study created three types of alternative scenarios, namely; rigid pavement with a design life of 25 years, flexible pavement with a design life of 25 years, and flexible pavement with a design life of 10 years. In each type of pavement is made of pavement handling scenarios such that they remain able to serve the needs of traffic during the 25 years of analysis, the indicator value of the International Roughness Index (IRI) is predicted by empirical equations. From the analysis of the user cost obtained the lowest user cost obtained on flexible pavement with a design life of 25 years, while the deterministic analysis by real cost software obtained the lowest agency cost in the flexible pavement design life of 10 years. Because there is a difference between the results of agency cost and user cost, the approach to decision-making is done the total cost (the sum of agency cost and user cost), so that the results obtained with the flexible pavement design life of 25 years have the lowest total cost. From this study also noted that although handling of rigid pavement is fewer than flexible pavement with the

same design life but rigid pavement still more expensive in terms of construction and handling cost compared to flexible pavement.

Keywords: rigid pavement, flexible pavement, IRI prediction, life cycle cost, real cost

PENDAHULUAN

Biaya siklus hidup seharusnya menjadi pertimbangan yang penting di dalam memutuskan suatu pembangunan jalan, karena tidak hanya memperhatikan biaya investasi awal tapi juga biaya keseluruhan selama siklus hidup perkerasan, termasuk biaya pengguna jalan. Salah satu jalan yang mendapat perhatian oleh Pemerintah Provinsi Sulawesi Selatan adalah Ruas Jalan Pakkae - Batas Kota Pangkep (bagian dari jalan Nasional Pangkajene - Barru) (SNVT PJN Wilayah 1 Sulawesi Selatan 2012). Ruas jalan ini merupakan salah satu jalan utama yang menghubungkan Ibukota Provinsi Sulawesi Selatan (Makassar) dengan kabupaten-kabupaten yang ada disekitarnya. Ruas jalan ini mempunyai panjang 2,81 KM dan lebar 14 m, jalan tersebut mempunyai keunikan yaitu pada beberapa segmen menggunakan perkerasan kaku dan di segmen lainnya menggunakan perkerasan lentur. Meskipun telah dilakukan pelebaran dengan 2 jenis perkerasan ruas jalan Pakkae - Batas Kota Pangkep sering mengalami kerusakan, berupa retak-retak baik pada perkerasan kaku maupun perkerasan lentur. Hal ini tentu saja mengganggu arus lalu lintas yang melewati jalan tersebut. Selain itu, dengan sering terjadinya kerusakan akan menyebabkan tidak efektifnya pendanaan untuk program pemeliharaan. Berdasarkan latar belakang tersebut maka diperlukan suatu kajian ekonomi, yaitu biaya siklus hidup terhadap perkerasan kaku dan perkerasan lentur pada ruas jalan Pakkae-Batas Kota Pangkep. 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. Sehingga pada akhirnya akan terlihat perbedaan efisiensi biaya antara penggunaan perkerasan kaku dan perkerasan lentur pada ruas jalan tersebut.

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan antara lain:

1. Skenario siklus hidup dari perkerasan kaku dan perkerasan lentur agar tetap dapat melayani lalu lintas pada akhir periode analisis.
2. Jumlah biaya keseluruhan (*total cost*) pemerintah dan pengguna jalan yang paling efisien pada perkerasan kaku dan perkerasan lentur selama periode analisis yang sama (25 tahun).
3. Biaya yang diperlukan jika pada ruas jalan tersebut diterapkan perkerasan lentur dengan umur rencana yang sama dengan perkerasan kaku.

Selain rumusan masalah di atas terdapat masalah lain yang perlu dilakukan kajian yaitu jenis perkerasan yang cocok diterapkan di ruas jalan Pakkae-Batas Kota Pangkep sesuai dengan pertimbangan biaya dan beban lalu lintas. Batas tujuan dari kajian ini adalah mengkaji biaya siklus hidup perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Hasil kajian ini dikembangkan untuk mendapatkan jenis perkerasan yang terbaik berdasarkan analisis biaya siklus hidup dan beban lalu lintas.

KAJIAN PUSTAKA

Perkerasan lentur, yaitu suatu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat terhadap material lainnya dan cenderung bersifat lentur karena aspal yang berfungsi sebagai pengikatnya bersifat elastis. Perkerasan tipe ini umumnya terdiri dari 4 lapisan yaitu lapisan permukaan, lapisan pondasi atas, lapisan pondasi bawah dan lapisan tanah dasar, dimana setiap lapisan berperan dalam mendistribusikan beban ke lapisan lain yang ada di bawahnya.

Perkerasan kaku, yaitu suatu perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikat terhadap material lainnya dan

cenderung bersifat kaku karena memiliki modulus elastisitas yang sangat tinggi. Perkerasan tipe ini umumnya juga terdiri dari 4 lapisan, yaitu lapisan permukaan beton, lapisan pondasi atas, lapisan pondasi bawah dan lapisan tanah dasar. Hanya saja untuk tipe perkerasan ini lapisan pondasinya berfungsi sebagai drainase untuk mengalirkan air.

Kondisi jalan terdiri dari dua macam, yaitu kondisi fungsional jalan dan kondisi struktural jalan. Kondisi fungsional adalah suatu ukuran kemampuan perkerasan jalan untuk melayani pengguna jalan pada suatu waktu tertentu. Sebagai contohnya adalah ukuran keamanan, kenyamanan, dan biaya operasi kendaraan jika menggunakan jalan tersebut. Kondisi struktural adalah suatu ukuran kemampuan perkerasan untuk menanggung beban lalu lintas dan melindungi pondasi dan tanah dasar. Indikator yang dipakai untuk mengukur kondisi fungsional jalan adalah *Present Serviceability Index* (PSI) dan *International Roughness Index* (IRI). Sedangkan indikator yang dipakai untuk mengukur kondisi struktural jalan adalah lendutan perkerasan dan alur atau retak. Kajian ini menggunakan parameter kondisi fungsional perkerasan jalan dengan jenis evaluasi fungsional. Evaluasi ini menghasilkan informasi tentang karakteristik perkerasan jalan yang secara langsung mempengaruhi keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan serta pelayanan jalan. Karakteristik utama yang disurvei pada evaluasi fungsional ini adalah dalam hal kekesatan permukaan jalan (*skid resistance*), tekstur permukaan jalan (*surface texture*), serta ketidakrataan jalan (*road roughness*) dalam hal pelayanan (*serviceability*).

IRI adalah parameter kekasaran yang dihitung dari jumlah kumulatif naik-turunnya permukaan arah profil memanjang dibagi dengan jarak/panjang permukaan yang diukur. Parameter IRI diperoleh dari suatu pengukuran menggunakan alat *Roughometer* NAASRA yaitu alat pengukur ketidakrataan permukaan jalan yang dibuat oleh NAASRA (BSN 1994). Prediksi IRI atau laju pertambahan kekasaran permukaan jalan pada perkerasan lentur dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Petterson, yang diambil dari IRMS berikut ini:

$$RI_t = (RI_0 + 725(1 + SNC)^{-5} \cdot NE_t) e^{0,0153t} \dots(1)$$

Keterangan:

- RI_t = kekasaran pada waktu t, IRI (m/km)
- RI₀ = kekasaran awal, IRI (m/km)
- NE_t = nilai ESAL pada saat t (per 1 juta ESAL/lajur)
- SNC = Nilai kekuatan perkerasan (*Structure Number Capacity*) yang tergantung pada setiap jenis perkerasan

Nilai SNC tergantung dari nilai ESAL oleh lalu lintas, seperti yang dijelaskan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Nilai SNC pada perkerasan lentur

IRI	Lalu lintas (LHRT/AADT) (kend/hari/2arah)			
	≤ 3.000	3.000-10.000	10.000-30.000	> 30.000
≤ 4	2,60	3,20	3,8	4,50
4-6	2,55	3,10	3,65	4,35
6-8	2,45	2,95	3,50	4,15
8-10	2,25	2,70	3,25	3,90
10-12	2,05	2,55	2,95	3,65

Sumber: IRMS Ver. II User Manual (2011)

Sedangkan dampak dari penanganan jalan terhadap penurunan nilai IRI dapat diprediksi dengan persamaan (2) pada Tabel 2.

Tabel 2. Rumus Prediksi Penurunan Nilai IRI

No.	Rumus	Penggunaan
1.	$IRI_a = 2 + 0,007(\text{Max}((IRI_b - 2); 0) \text{Max}(80 - 10T; 0)) \dots(2)$	Overlays
2.	$IRI_a = IRI_b - 0,5$	Tambalan dan Perawatan Rutin
3.	$IRI_a = 8,0$	penmac, burda, burtu
4.	$IRI_a = 2,5$	CBR desain

Sumber: IRMS Ver. II User Manual (Indonesia 2011)

Sementara untuk perkerasan kaku jenis *Joint Plain Concrete Pavement (JPCP) doweled tie bar*, prediksi IRI atau pertambahan kekasaran permukaan jalan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dari FHWA yang diambil dari pedoman desain dan evaluasi perkerasan kaku yang dikeluarkan oleh Departement of Transportation Minnesota, (2004) berikut ini:

$$IRI_t = IRI_i + C1.Crk + C2.Spall + C3.TFault + C4.SF \dots(3)$$

Keterangan:

- IRI = IRI prediksi (m/km)
- IRI_i = IRI awal saat jalan dibuka (m/km)
- CRK = persen *transverse crack* (pada semua tingkat kerusakan)
- C1 = 0,8203
- C2 = 0,4417
- C3 = 1,4929
- C4 = 25,24
- Spall = persen kerusakan (sedang dan berat) pada sambungan (*Joint Spalling*)
 $= (\text{Umur} / (\text{Umur} + 0,01)) * (100 / (1 + 0,005^{(-12 * \text{Umur} + \text{SCF})}))$

Keterangan:

- SCF = faktor skala untuk prediksi spalling
 $= 1400 + 350 * \% \text{udara} * (0,5 + \text{preform}) + (3,4 f^c * 0,4) - 0,2(\text{Ftyc} * \text{umur}) + 43 \text{ hpcc} - 536 \text{ wc ratio}$
- % air = persen udara di semen (%)
- Umur = umur sejak dibangun (tahun)
- Preform = 1 jika ada *sealant*, 0 jika tidak
- F^c = kuat tekan beton (Psi)
- Ftyc = jumlah siklus musim dingin rata-rata dalam setahun.
- Hpcc = ketebalan plat beton (*inch*)
- Wc ratio = rasio air dan semen dalam campuran

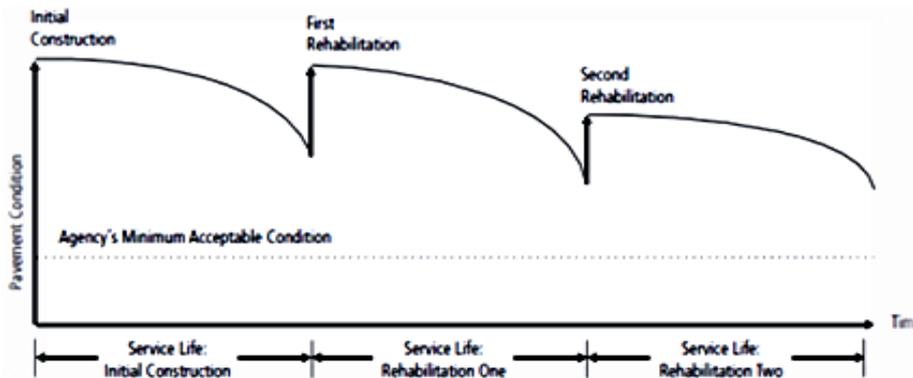
- T_{fault} = jumlah kerusakan pergeseran plat pada sambungan per meter (cm)
- SF = *Site Factor*
 $= \text{Umur} (1 + 0,5556 * \text{FI}) (1 + \text{P200}) * 10^{-5}$

Keterangan:

- Umur = umur perkerasan (tahun)
- FI = *freezing index, F-days* (diabaikan sesuai kondisi iklim di Indonesia)
- P200 = persen material subgrade yang lolos saringan no. 200

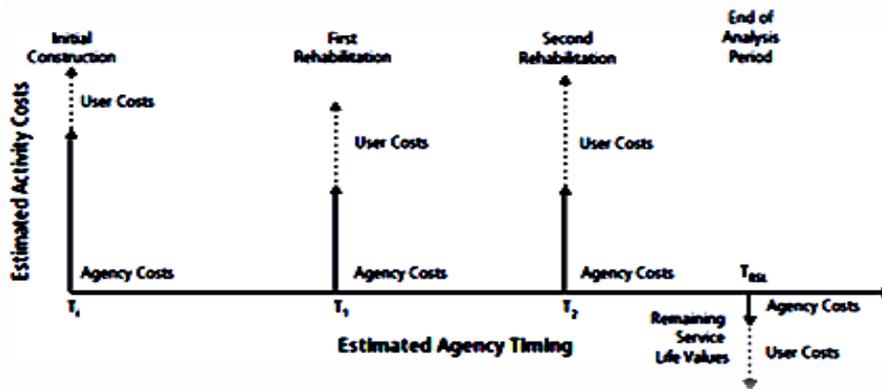
Analisis biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost Analysis*) merupakan teknik dalam melakukan evaluasi ekonomi terhadap pilihan alternatif investasi jangka panjang, yang digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan berinvestasi. Periode analisis biaya siklus hidup (LCC) biasanya selama 20-50 tahun (FHWA 2007). Biaya-biaya yang ada akan diproyeksikan untuk setiap alternatif desain menggunakan teknik ekonomi yang dikenal sebagai diskonto yang dapat menentukan alternatif biaya mana yang paling efektif.

Skema elemen-elemen biaya yang diperhitungkan di dalam biaya siklus hidup diperlihatkan dalam Gambar 1 dan Gambar 2 berikut:



Sumber :US Department of Transport (2004)

Gambar 1. *Life cycle design* pada umur rencana jalan



Sumber: US Department of Transport (2004)

Gambar 2. *Life cycle cost* pada umur rencana jalan

Gambar 1 merupakan gambar hubungan *pavement condition* (PSI, IP, Sn) terhadap waktu, namun pada penelitian ini menggunakan parameter *pavement condition* berupa IRI. Gambar 2 menunjukkan skema pembiayaan terhadap waktu.

Pada kajian ini menggunakan bantuan *software real cost*. *Real cost* mengadaptasi metodologi LCCA yang digunakan oleh FHWA yang berlaku untuk perkerasan jalan. Perangkat lunak ini menghitung biaya siklus hidup terkait dengan pembangunan dan rehabilitasi untuk instansi dan biaya pengguna. *Output* yang disediakan dalam format tabel dan grafik. Selain itu, *real cost* mendukung analisis sensitivitas deterministik dan analisis risiko probabilistik. Sementara *real cost* membandingkan dua alternatif pada satu waktu, untuk memberikan kemampuan bagi ahli perkerasan jalan untuk membandingkan alternatif dengan jumlah yang tidak terbatas.

Ada dua pendekatan yang berbeda dalam perhitungan siklus biaya hidup: deterministik dan probabilistik. Pendekatan deterministik adalah metodologi dimana pengguna memasukkan data/variabel yang bersifat deterministik (nilai tetap sepanjang masa evaluasi; jika terdapat perubahan nilai, besarnya ditentukan langsung). Pendekatan probabilistik adalah metodologi dimana pengguna memasukkan data/variabel yang bersifat stokastik. Data/variabel tersebut merupakan : nilai probabilistik, memiliki rentang batas atas dan batas bawah serta nilai tengah yang tergantung pada pola distribusi *Cummulative Distribution Function (CDF)*, dan pada data

stokastik yang berdistribusi normal, nilai variabel ditentukan berdasarkan nilai probabilitas, nilai tengah (rata-rata), dan sifat sebarannya (standar deviasi).

Kinerja perkerasan merupakan faktor penting dalam operasi, perencanaan, dan rekayasa jalan raya. Ini mempengaruhi keamanan dan kenyamanan pengguna jalan raya, dan juga merupakan faktor ekonomi yang harus dipertimbangkan jika ingin membuat umur perkerasan yang panjang namun ekonomis. Untuk memahami kinerja perkerasan bagaimana membangun dan memelihara sistem jalan raya hemat biaya pada tahun 1987 dibuat proyek LTPP, dengan mengambil studi selama 20 tahun pada perkerasan kaku dan perkerasan lentur di Amerika Serikat dan Kanada. Proyek LTPP diawali dengan desain *perpetual pavement*.

Perpetual pavement (perkerasan lentur yang berumur panjang) telah diteliti sejak 1960 di Amerika Serikat, perkerasan ini mempunyai umur rencana 20-40 tahun, tanpa memerlukan rekonstruksi, dan hanya penggantian lapisan beraspal (hanya lapisan permukaan atau keseluruhan lapisan beraspal) secara berkala untuk memperbaiki kerusakan dan ketidakrataan permukaan jalan. Kelebihan utama *perpetual pavement* adalah:

- a. performa yang baik melebihi umur layan
- b. perbaikan utama: penggantian lapis permukaan.

Struktur perkerasan beraspal pada dasarnya dapat memiliki umur yang tak terbatas jika didesain terhadap beban kendaraan terberat untuk menghindari pekerjaan lapisan tambahan sesudahnya karena keterbatasan anggaran.

Komponen utama biaya pengguna jalan antara lain terdiri dari biaya operasi kendaraan, nilai waktu perjalanan, dan biaya kecelakaan. *User cost* pada kajian ini hanya dilihat dari biaya operasional kendaraan, tanpa menghitung nilai waktu dan *user cost* hasil *real cost*. Perhitungan biaya operasional kendaraan dilakukan berdasarkan metode yang digunakan IRMS. Dalam metode ini biaya operasi kendaraan yang merupakan penyesuaian dari Metode HDM III (*Highway Design Manual*), model diatur berdasarkan nilai *International Roughness Index (IRI) ≤ 3*, berarti bahwa kondisi jalan sangat baik atau ideal, dengan kata lain bahwa nilai IRI yang lebih dari 3 untuk model biaya operasi kendaraan-nya harus dikalikan dengan *cost index* yang diperoleh dari analisa regresi.

Perhitungan BOK di Indonesia dilakukan sesuai pedoman dari Bina Teknik, Dirjen Bina Marga No.: 026/T/Bt/1995 (Indonesia 1995), dengan penjelasan sebagai berikut: “Untuk menghitung penghematan biaya operasi kendaraan, dalam model evaluasi ekonomi (*economic evaluation model*, EEM) dari IRMS digunakan 2 situasi, yaitu: *Without and With project*, pada kedua situasi tersebut besaran-besaran biaya operasi kendaraan dihitung dengan menggunakan formula dasar berikut ini:

$$VOC_{ACTUALt} = VOC_{BASE} \cdot VOC_{INDEXt} \cdot AADT_t \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

- $VOC_{ACTUALt}$ = nilai moneter aktual besaran biaya operasi kendaraan pada tahun t.
- VOC_{BASE} = nilai besaran biaya operasi kendaraan pada tahun dasar. (dalam studi ini, tahun dasar yang digunakan adalah 2010).
- VOC_{INDEXt} = nilai-nilai indeks biaya operasi kendaraan pada tahun t.
- $AADT_t$ = besaran volume lalu lintas harian pada tahun t

t = periode waktu pengamatan (t = 1, 2, 25)

Sedangkan indeks-indeks biaya operasi kendaraan per tahun dihitung dengan menggunakan formula berikut ini:

$$VOC_{INDEX} = k_1 + k_2/V + k_3 \cdot V^2 + K_4 \cdot V \cdot RE + k_5 \cdot RE^2 \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

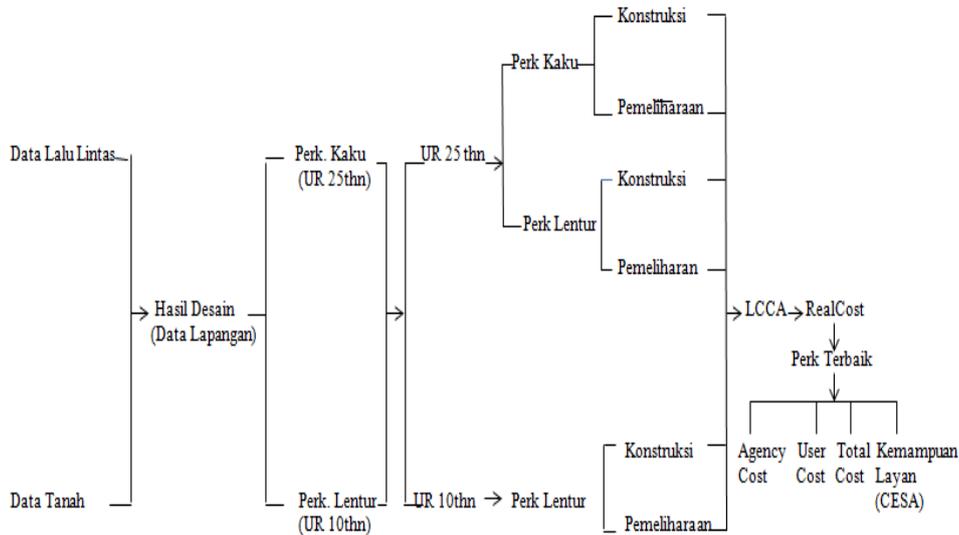
- VOC_{INDEX} = nilai indeks biaya operasi kendaraan.
- $k_1 \dots \dots k_5$ = nilai-nilai koefisien regresi.
- V = kecepatan rata-rata kendaraan, yang ditentukan - berdasarkan nilai minimum antara kecepatan yang dipengaruhi *roughness & terrain type* dan kecepatan yang dipengaruhi kapasitas efektif.
- RE = Nilai *roughness* efektif jalan.

HIPOTESIS

Perkerasan kaku tidak selalu lebih mahal dari perkerasan lentur dari segi biaya pemeliharaan dan rekonstruksi selama periode analisis (masa layan).

METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan dalam kajian ini adalah studi kasus di lapangan, yang akan menggunakan metodologi komparatif (perbandingan) beberapa skenario penanganan pemeliharaan jalan dengan perkerasan kaku dan perkerasan lentur, dengan bantuan *software real cost* sebagai alat bantu simulasi analisis kelayakan ekonomi. Pelaksanaan penelitian ini direncanakan terdiri atas 4 (empat) tahapan. Adapun alur kerja ataupun alur pikir untuk penetapan alternatif jenis-jenis perkerasan dan umur rencananya dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 3. Alur kerja

HASIL DAN ANALISIS

Hasil pengumpulan data

Data yang didapat meliputi data-data sebagai berikut:

Data lalu lintas

Data lalu lintas didapatkan dari *survey traffic counting* yang dilakukan 2 kali dalam setahun, data di bawah merupakan rata-rata dari *traffic counting* tersebut. Perhitungan pertumbuhan lalu lintas dari data Lintas Harga Rata-rata Tahunan (LHRT) menunjukkan bahwa pertumbuhan LHRT menunjukkan indikasi tidak normal, maka diperlukan kalibrasi data lain seperti data Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) dan data jumlah kendaraan bermotor.

Untuk jenis golongan kendaraan, golongan tersebut dibagi dalam 10 jenis golongan kendaraan sesuai dengan klasifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga, untuk perhitungan struktur perkerasan jalan golongan kendaraan hanya digunakan golongan 2–7C saja.

Tabel 3. LHRT tiap jenis kendaraan ruas Pakkae-Batas Kota Pangkep

Jenis Kendaraan	LHRT (kend/hari/2arah)
<i>Passanger Car</i> (Gol 2&3)	5.631
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 4)	467
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 5a)	105
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 5b)	253
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 6a)	176
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 6b)	1.795
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 7a)	179
<i>Combination of Truck</i> (Gol 7b)	40
<i>Combination of Truck</i> (Gol 7c)	20
<i>Combination of Truck</i> (Gol 8)	77
Total	8.743

Sumber: Subdit PSEK, Bina Program, Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum (Indonesia 2013)

Dari Tabel 3. terlihat bahwa kendaraan jenis *Passanger Car* mendominasi lalu lintas Pakkae-Batas Kota Pangkep yaitu 5.631 kend/hari/2 arah (64,41%), sedangkan kendaraan jenis *Single Unit Truck* berjumlah 2.975 kend/hari/2 arah (34,03%), sedangkan kendaraan yang paling sedikit melewati ruas jalan Pakkae-Batas Kota Pangkep adalah kendaraan jenis *Combination of Truck* dengan jumlah 137 kend/hari/2 arah (1,57%).

Data IRI

Data IRI didapatkan melalui survey yang dilakukan 2 kali dalam 1 tahun, yaitu pada semester awal dan semester akhir, yang kemudian di rata-ratakan untuk pelaporan kondisi jalan di akhir tahun anggaran. Pada penelitian ini data IRI diperlukan untuk mengetahui prediksi IRI sepanjang masa analisis. Sehingga dengan diketahui kenaikan IRI atau penurunan kondisi jalan tersebut dapat direncanakan penanganan perkerasan jalan dengan 3 jenis skenario, agar mempunyai kondisi IRI yang sama di akhir periode analisis (IRI rusak ringan kondisi 9-12). Perhitungan untuk prediksi IRI untuk perkerasan lentur dan perkerasan kaku dilakukan sesuai persamaan (1) sampai persamaan (3).

Koefisien Biaya Operasional Kendaraan

Perhitungan BOK di Indonesia dilakukan sesuai pedoman dari Bina Teknik, Dirjen Bina Marga No.: 026/T/Bt/1995 (Indonesia 1995), seperti yang dijelaskan pada rumus (4). Dari rumus tersebut terlihat hubungan masing-masing komponen pembentuk BOK terhadap kecepatan

kendaraan dan nilai *roughness* jalan. Tabel 4 menunjukkan koefisien-koefisien yang digunakan dalam perhitungan biaya operasional kendaraan.

Data pertumbuhan PDRB dan jumlah kendaraan bermotor

Berdasarkan data LHRT yang diperoleh menunjukkan bahwa dari tahun ke tahun terjadi peningkatan arus lalu lintas pada ruas jalan tersebut. Namun saat dilakukan penghitungan pertumbuhan lalu lintas (i %) menghasilkan nilai i yang tidak normal maka diperlukan kalibrasi atau kontrol lain selain data LHRT untuk menghitung nilai i . Pertumbuhan lalu lintas tahunan (LHRT) ini mungkin saja dipengaruhi oleh faktor-faktor, yaitu:

- Jumlah penduduk.
- Produk Domestik Regional Bruto (PDRB).
- Jumlah kepemilikan kendaraan.

Jumlah data yang dianalisis mempengaruhi ketepatan peramalan pertumbuhan lalu lintas. Semakin banyak data yang dianalisis semakin baik dan tepat hasil peramalannya.

Tabel 4. Koefisien BOK Indeks dan BOK Dasar

No	Vehicle	Light/ Heavy	K1	K2	K3	K4	K5	Base Voc At IRI = 3 (Rp/Km)
1	Motor cycle	L	0,667	2,223	0,000007	0,012937	0,001385	1.396
2	Car	L	0,179	2,341	-0,000002	0,00154	0,000089	2.215
3	Utility - passenger	L	0,075	2,618	0,000002	0,001717	0,000102	4.665
4	Utility - freight	L	0,072	2,541	0,000002	0,00176	0,000116	4.665
5	Small bus	L	0,012	0,869	0,000001	0,002733	-0,000003	2.49
6	Large bus	H	0,042	2,882	0,000007	0,001674	0,000089	8.324
7	2-axle truck - light	L	0,024	1,188	0,000002	0,002549	-0,000004	5.449
8	2-axle truck - medium	H	-0,007	1,222	0,000004	0,002615	0,000007	7.812
9	3-axle truck	H	0,007	1,354	0,000006	0,002819	0,000026	7.812
10	Truck + trailer	H	0,016	0,789	0,000004	0,003084	0,000016	7.812
11	Tractor + semitrailer	H	0,040	0,686	0,000002	0,003066	0,000006	7.812

Sumber: Satuan Kerja P2JN Sulawesi Selatan 2012

Tabel 5. Laju pertumbuhan produk domestik regional bruto atas dasar harga konstan 2000 Provinsi Sulawesi Selatan

Tahun	Pertumbuhan PDRB (%)
2006	6,72
2007	6,34
2008	7,78
2009	6,23
2010	8,19
2011	7,61
2012	8,37

Sumber: Badan Pusat Statistik (Indonesia 2012).

Tabel 6. Rekapitulasi Jumlah kendaraan bermotor di Kota Makassar Tahun 2008 hingga Tahun 2010 berdasarkan Jenis Kendaraan

No	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan		
		2008	2009	2010
1	Sepeda Motor	559.355	624.327	709.191
2	Mobil Penumpang	83.295	93.148	102.804
3	Mobil Barang	26.797	39.492	42.180
4	Mobil Bus			
	Besar	264	277	303
	Sedang	16.550	1.641	1.641
	Kecil	95.111	620	661
5	Kendaraan Khusus	71	953	955
6	Mobil Penumpang Utama	2.940	11.429	11.468
	Jumlah	784.383	771.887	869.203

Sumber: Dinas Perhubungan Kota Makassar (Indonesia 2011)

Dari Tabel 5 terlihat bahwa pertumbuhan lalu lintas (i) adalah sekitar 8,37%, sedangkan dari Tabel 6 dapat dihitung angka pertumbuhan jumlah kendaraan dengan rumus metode eksponensial, pada penelitian ini pertumbuhan kendaraan dari tahun 2009 ke tahun 2010, (tanpa menghitung jumlah sepeda motor), maka angka pertumbuhannya adalah 8,4%. Oleh karena itu pada penelitian ini dipakai angka pertumbuhan lalu lintas (i) adalah 8,4%.

Data biaya

Dalam perhitungan *life cycle cost* diperlukan beberapa data biaya proyek seperti: biaya investasi awal dan biaya penanganan jalan. Biaya tersebut akan menjadi faktor yang mempengaruhi besarnya *life cycle cost* suatu perkerasan. Untuk proyek Pakkae-Batas Kota Pangkep biaya-biaya tersebut tercermin di *Owner Estimate* saat lelang dan *Data Routine Maintenance Cost* yang terdapat dalam software IRMS.

Analisis data

Berdasarkan data historis volume lalu lintas, data PDRB, dan jumlah kendaraan bermotor diambil faktor pertumbuhan lalu lintas (i) adalah 8,4%. Dengan faktor pertumbuhan lalu lintas tersebut maka LHRT untuk tahun-tahun analisis dapat diproyeksikan seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Proyeksi LHRT pada ruas jalan Pakkae - Batas Kota Pangkep

Jenis Kendaraan	LHRT 2010 (kend/hari/2arah)	LHRT 2025 (kend/hari/2arah)	LHRT 2035 (kend/hari/2arah)
<i>Passanger Car</i> (Gol 2&3)	5.631	18.881	42.298
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 4)	467	1.566	3.508
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 5a)	105	352	789
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 5b)	253	848	1.900
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 6a)	176	590	1.322
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 6b)	1.795	6.019	13.483
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 7a)	179	600	1.345
<i>Combination of Truck</i> (Gol 7b)	40	134	300
<i>Combination of Truck</i> (Gol 7c)	20	67	150
<i>Combination of Truck</i> (Gol 8)	77	258	578
Total	8.743	29.316	65.674

Tabel 8. Hasil perhitungan lintas ekivalen akhir (CESAL)

Jenis Kendaraan	LHRT 2010 (kend/hari/ 2 arah)	LHRT 2025 (kend/hari/ 2 arah)	LHRT 2035 (kend/hari/ 2 arah)	Koef Distribusi Kendaraan (C)	Angka Ekivalen	Lintas Ekivalen Permulaan (CESAL) 2010	Lintas Ekivalen .Akhir (CESAL) 2025	Lintas Ekivalen Akhir (CESAL) 2035
<i>Passanger Car</i> (Gol 2&3)	5631	18881	42298	0,30	0,00235	1450,29	4862,88	10893,98
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 4)	467	1,566	3508	0,30	0,04617	2360,96	7916,39	17734,54
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 5a)	105	352	789	0,30	0,23967	2755,60	9239,66	20689,67
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 5b)	253	848	1900	0,30	2,37907	98862,72	331491,72	742616,55
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 6a)	176	590	1322	0,45	3,04201	58625,68	196574,47	440372,23
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 6b)	1795	6019	13483	0,45	3,83472	1130584,57	3790899,65	8492491,23
<i>Single Unit Truck</i> (Gol 7a)	179	600	1345	0,45	4,45246	130905,74	483932,70	938310,68
<i>Combination of Truck</i> (Gol 7b)	40	134	300	0,45	3,03020	19908,41	66753,78	149543,90
<i>Combination of Truck</i> (Gol 7c)	20	67	150	0,45	7,39795	24302,26	81486,55	182548,70
<i>Combination of Truck</i> (Gol 8)	77	258	578					
Total	8743	29316	65674			1469756,24	4928157,85	11040210,85

Pada saat dilakukan survey lalu lintas jalan tersebut masih 2 lajur 2 arah, namun pada kajian ini diasumsikan jalan Pakkae-Batas Kota Pangkep dibangun dengan 4 lajur 2 arah pada tahun 2011. LHRT pada tahun 2035 adalah 65674 kendaraan/hari/2arah, sedangkan derajat kejenuhan untuk jalan 4 lajur 2 arah dengan bahu untuk jalan perkotaan menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia adalah 0,65 (Tabel 4-2:1 MKJI Tahun 1997). LHRT tahun dasar diambil LHRT tahun 2010, sedangkan LHRT tahun 2035 diperlukan untuk perancangan ketebalan perkerasan lentur untuk umur rencana 25 tahun (Skenario Jenis Perkerasan II). Proyeksi LHRT tahun 2035 diperlukan untuk perhitungan CESAL.

Dari Tabel 8. terlihat pada akhir masa analisis (2035) ruas jalan Pakkae-Batas Kota Pangkep terbebani kendaraan sebesar 11.040.210,85 ESAL. Hasil ini akan mempengaruhi skenario penanganan jalan agar ruas jalan tersebut tetap mampu melayani CESAL tersebut.

Perancangan ketebalan perkerasan lentur umur rencana 25 tahun

Alternatif 1 dan 3 adalah skenario yang sesuai dengan data teknis yang diaplikasikan pada proyek Pelebaran Jalan Pakkae-Batas Kota Pangkep yang direncanakan tahun 2011, dimulai awal tahun 2012 dan selesai akhir tahun 2012. Berikut ini merupakan perhitungan untuk alternatif 2:

a. Menghitung Lintas Ekivalen

b. Menghitung Daya Dukung Tanah (DDT)

Perhitungan nilai (DDT) dihitung dengan memasukan nilai CBR rencana yang sebelumnya (sesuai proyek Pelebaran Jalan Pakkae-Batas Kota Pangkep) yaitu:

1. Lapis Pondasi Atas dengan Batu Pecah Kelas A, CBR = 100%, $DDT = 4,3 \log (100) + 1,7 = 10,3$
2. Lapis Pondasi Bawah dengan Sirtu Kelas A, CBR = 70%
 $DDT = 4,3 \log (70) + 1,7 = 9,63$
3. Lapis Subgrade dengan CBR rencana = 3,7%
 $DDT = 4,3 \log (3,7) + 1,7 = 4,14$

c. Indeks Permukaan (IP)

1. Nilai IP diambil sesuai SNI 1732-1989-F, 1987. Indeks permukaan awal umur rencana (IP_0).
2. Nilai IP_0 ditentukan berdasarkan jenis lapis perkerasan yang digunakan. Karena jenis perkerasan yang digunakan ditetapkan dengan menggunakan aspal beton (Laston), besarnya $IP_0 \geq 4$. Indeks Permukaan Akhir Umur Rencana (IP_t) Nilai IP_t ditentukan berdasarkan nilai lintas ekivalen rencana (LER) dan klasifikasi kelas jalan. Berdasarkan perhitungan sebelumnya didapat LER sebesar 15.585.136,03 ESAL dan jalan termasuk kelas jalan arteri. Oleh karena itu, panduan dari SNI 1732-1989-F, 1987 didapatkan nilai $IP_t = 2,5.3$. Faktor Regional FR diambil 0,5.

d. Indeks Tebal Perkerasan (ITP)

ITP dihitung pada masing-masing lapisan dengan menggunakan metode coba-coba atau iterasi ke dalam rumus berikut:

$$\text{Log } W_{t18} = 9,36 \log \left(\frac{\text{ITP}}{2,54} + 1 \right) - 0,20 + \left[0,40 + \frac{\text{Log} \frac{\text{IP}_0 - \text{IP}_t}{4,2 - 2,5}}{\left(\frac{\text{ITP}}{2,54} + 1 \right)^{5,19}} \right] + \log \frac{1}{\text{FR}} + 0,372 (\text{DDT} - 3)$$

Dari data:

$W_{18} = \text{LER} = 15.585.136,03$ ESAL, $\text{IP}_0 = 4$

$\text{IP}_t = 2,5$, $\text{Fr} = 0,5$

Didapat:

pada lapis permukaan (DDT=10,3),

ITP = 13,63

pada lapis pondasi atas (DDT=9,63),

ITP = 13,46

pada lapis pondasi bawah (DDT = 4,14), ITP = 10,72

1. Tebal masing-masing perkerasan

Tebal lapis perkerasan ditentukan berdasarkan bahan yang dipakai dan nilai ITP hasil plotting pada nomogram. Untuk masing-masing lapisan, tebalnya memiliki standar minimum yang berbeda ditentukan sesuai dengan nilai ITP. 2. Lapis permukaan, tebal (D_1) minimum 7,75 cm untuk laston dan koefisien kekuatan relatif (a_1) untuk aspal *Marshall Stability* (MS) 800 kg adalah sebesar 0,421 dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$a_1 = 0,14281 * \ln(\text{MS} * 2,205882) - 0,647$$

$$a_1 = 0,14281 * \ln(800 * 2,205882) - 0,647 = 0,421$$

$$\text{ITP} = a_1 D_1$$

$$13,63 = 0,421 D_1$$

$$D_1 = 32,375 \text{ cm} \sim 33 \text{ cm}$$

2. Lapis pondasi atas, tebal (D_2) minimum 25 cm untuk batu pecah kelas A dan koefisien kekuatan relatif (a_2) untuk batu pecah kelas A adalah sebesar 0,14, tebal lapis ini dihitung dengan rumus :

$$\text{ITP} = a_1 D_1 + a_2 D_2$$

$$13,43 = 13,63 + 0,14 D_2$$

$$D_2 < 25 \text{ cm} \text{ maka dipilih } D_2 = 25 \text{ cm,}$$

maka ITP lapisan 2 menjadi 17,13.

3. Lapis pondasi bawah, tebal (D_3) minimum 10 cm untuk semua ITP dan koefisien kekuatan relatif (a_3) untuk sirtu kelas A adalah sebesar 0,13, tebal lapis ini dihitung dengan rumus:

$$\text{ITP} = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$10,6 = 13,63 + 17,13 + 0,13 D_3$$

$D_3 < 10 \text{ cm}$ maka dipilih $D_3 = 10 \text{ cm}$, maka ITP lapis subgrade menjadi 32,06.

Untuk alternatif 2 (perkerasan lentur umur rencana 25 tahun) diusahakan didesain berdasarkan pendekatan konsep *Long Life Flexible Pavement* didalam LTPP (*Long Term Pavement Performance*) dan *Perpetual Pavement*. Sehingga pengambilan asumsi ketebalan adalah sebagai berikut:

- Lapis perkerasan ditetapkan 15 cm, pada perpetual pavement dapat dibuat tebal AC WC yang tipis karena beban ditanggung oleh *base* dan *subgrade*. Oleh karena pada penelitian ini skenario penanganan yang dipakai adalah berdasarkan kondisi fungsional IRI. Pada penelitian ini, ingin meminimalkan IRI menjadi sangat baik untuk perkerasan lentur (IRI=1), berdasarkan persamaan 2 untuk mendapatkan IRI = 1, D_1 minimal adalah 15 cm. Dipilih D_1 minimal adalah agar perkerasan lentur dengan umur rencana 15 tahun ini mempunyai IRI yang sangat baik, sehingga dapat menahan alur dan retak, namun tetap memperhatikan kriteria biaya.
- Pondasi atas (D_2) ditetapkan 25 cm, sesuai kriteria LTTP pondasi atas harus didesain cukup tebal karena didesain untuk ketahanan dan stabilitas (ketebalan $\geq 250\text{mm}$).
- Pondasi bawah (D_3) harus tahan terhadap *fatigue*, lapisan ini harus tebal dan mempunyai ketahanan tinggi, diambil nilai $D_3 = 30 \text{ cm}$.

Jadi untuk alternatif perkerasan II ditetapkan perkerasan lentur dengan tebal masing - masing lapisan sebagai berikut:

- Lapis permukaan, menggunakan aspal MS 800 kg dengan tebal (D_1) 15 cm dan koefisien kekuatan relatif (a_1) 0,421
- Lapis pondasi atas, menggunakan batu pecah kelas A dengan tebal (D_2) 25 cm dan koefisien kekuatan relatif (a_2) 0,14

3. Lapis pondasi bawah, menggunakan sirtu/pitrun kelas A tebal (D_3) 30 cm dan koefisien kekuatan relatif (a_3) 0,13.

Tabel 9. Skenario penanganan pada 3 alternatif perkerasan

	Skenario Alternatif 1	Skenario Alternatif 2	Skenario Alternatif 3
Jenis Pekerjaan	Perkerasan Kaku	Perkerasan Lentur	Perkerasan Lentur
Keterangan	Sesuai perencanaan di proyek, jika pelaksanaannya baik	Direncanakan pada kajian ini, sebagai pembanding perkerasan kaku UR 25 tahun	Sesuai perencanaan di proyek dan kenyataan saat ini
Umur Rencana	25 tahun	25 tahun	10 tahun
Jenis dan Tebal Lapis Pondasi Rencana	Beton K350, tebal 27 cm	AC-WC, tebal 15 cm	AC-WC, tebal 4 cm
Jenis dan Tebal Lapis Pondasi Atas	Beton K125, tebal 27 cm	Agregat Kelas A, tebal 30 cm	AC-BC, tebal 10 cm
Jenis dan Tebal Lapis Pondasi Bawah	-	Sirtu kelas A, tebal 31 cm	Agregat Kelas C, tebal 15 cm
Kenaikan IRI tiap tahun	Persamaan 2, 3	Persamaan 2.1	Persamaan 2.1
Penurunan IRI setelah Pemeliharaan Rutin	0,1	0,1	0,1
Penurunan IRI setelah Pemeliharaan Berkala	0,5	0,5 (persamaan 2.2)	0,5 (persamaan 2.2)
Penurunan IRI setelah Pemeliharaan Struktur	Kembali ke IRI semula	Persamaan 2.2 (kembali ke IRI semula)	Persamaan 2.2 (kembali ke IRI semula)

Tabel 10. Ilustrasi nilai IRI sebelum dan setelah penanganan

Periode Analisis	SKENARIO CESAL (JUTA ESALS)	ALTERNATIF 1 RIGID UR 25th (Sesuai Proyek)		ALTERNATIF 2 FLEXIBLE UR 25 th		ALTERNATIF 3 FLEXIBLE UR 10 Th (Sesuai Proyek)	
		IRIt (tanpa penanganan)	IRIt (dengan penanganan)	IRIt (tanpa penanganan)	IRIt (dengan penanganan)	IRIt (tanpa penanganan)	IRIt (dengan penanganan)
1	1,47	2,50	2,50	1	1,00	2,59	2,59
2	1,59	2,55	2,56	1,24	1,24	2,85	2,85
3	1,73	2,66	2,65	1,40	1,30	3,07	2,97
4	1,87	2,83	2,76	1,61	1,51	3,35	3,25
5	2,03	3,04	2,89	1,87	1,65	3,72	3,50
6	2,20	3,32	2,55	2,18	1,95	4,18	3,45
7	2,38	3,64	2,74	2,58	1,83	4,77	3,87
8	2,58	4,03	2,95	3,07	2,24	5,51	4,51
9	2,80	4,46	3,18	3,70	2,66	6,49	5,22
10	3,04	4,95	3,44	4,49	3,30	7,74	6,24
11	3,29	5,50	3,23	5,51	4,01	9,34	7,05
12	3,57	6,10	3,54	6,67	5,05	11,47	2,59
13	3,87	6,75	3,88	8,18	5,90	14,24	3,40
14	4,19	7,46	4,24	10,20	7,62	18,04	4,57
15	4,55	8,22	4,63	12,87	1,00	23,09	5,44
16	4,93	9,04	4,55	16,50	1,51	30,21	7,07
17	5,34	9,91	4,99	21,51	2,08	39,16	2,59
18	5,79	10,84	5,46	28,38	2,97	51,72	3,63
19	6,28	11,82	5,96	38,07	4,11	69,26	4,62
20	6,80	12,85	6,49	51,80	5,82	94,24	6,55
21	7,38	13,94	6,54	71,45	7,77	130,26	2,59
22	8,00	15,09	7,12	99,88	1,00	182,50	3,97
23	8,67	16,29	7,73	141,54	1,84	259,17	5,49
24	9,40	17,54	8,37	203,60	3,06	373,09	8,26
25	10,18	18,85	9,04	297,29	4,87	544,50	2,59

Keterangan	Baik	Rutin
	Sedang	berkala
	Rusak	peningkatan
	RB	pembangunan

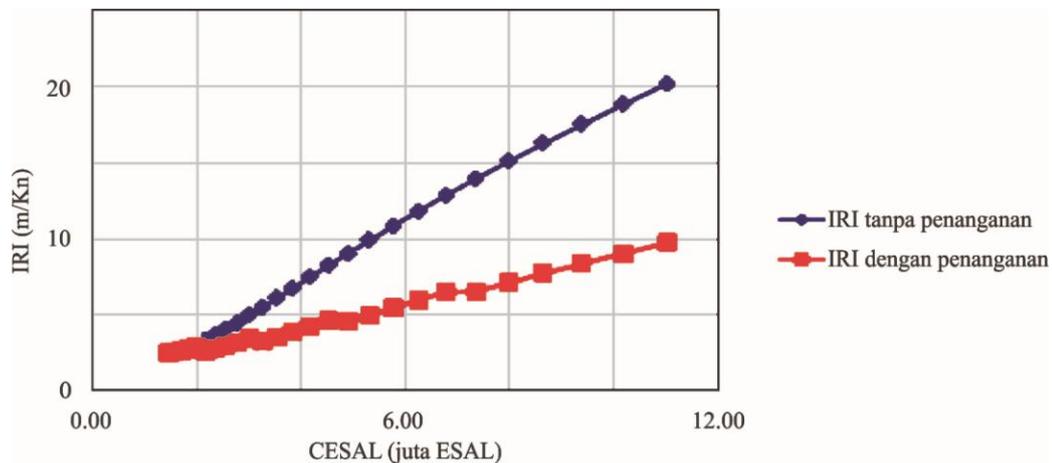
Skenario Penanganan Pada 3 Alternatif Perkerasan

Direncanakan ada 3 alternatif perkerasan jalan, yang akan dilakukan analisis biaya siklus hidup sehingga pada akhir masa analisis di tahun

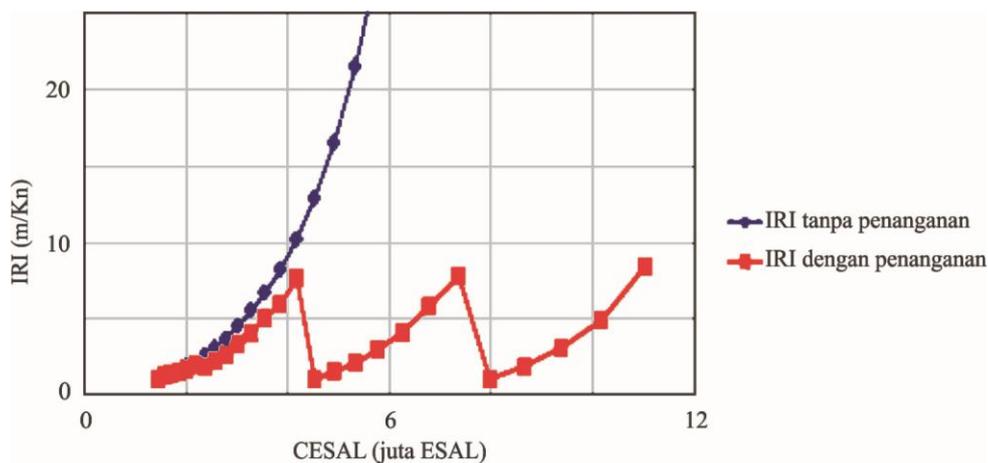
2035 (25 tahun), tetap dapat melayani kebutuhan lalu lintas dengan baik, dapat dilihat pada Tabel 9 di atas.

Asumsi-asumsi yang digunakan untuk perkerasan lentur (Alternatif 2 dan 3):

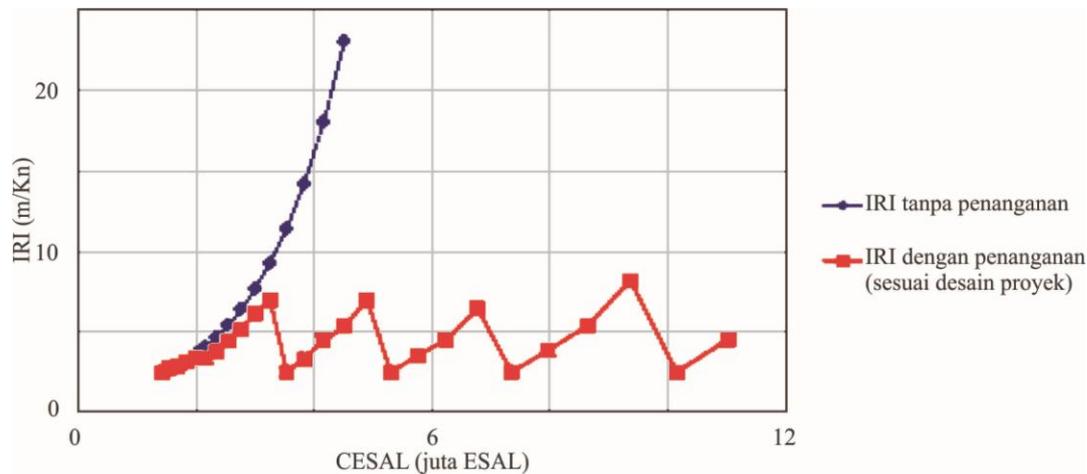
1. Untuk pemeliharaan berupa pemotongan rumput, pembersihan selokan, atau pekerjaan minor lainnya yang mempunyai biaya yang kecil, dilakukan setiap tahun.
 2. Pemeliharaan rutin yang di maksud pada Tabel 10 adalah penutupan lubang (*patching*), *local sealing*, dan perbaikan bahu dilakukan saat IRI = 1,00 – 5,25.
 3. Pemeliharaan berkala yang di maksud pada Tabel 10 adalah pelapisan ulang (*overlay tipis*) setebal 5 cm, dilakukan saat IRI = 5,25 – 7,75.
 4. Peningkatan struktural yang di maksud pada Tabel 10 adalah pelapisan ulang (*overlay struktural*) setebal 9 cm, dilakukan saat IRI > 7,75.
- Untuk perkerasan kaku pemeliharaan yang dimaksud pada Tabel 10 adalah injeksi *sealant*, *patching*, *surfacing*, dan *levelling*.
- Gambar 4 sampai dengan Gambar 6 mengilustrasikan nilai IRI tiap-tiap alternatif sebelum dilakukan penanganan dan setelah dilakukan penanganan sesuai skenario penanganan tertentu.



Gambar 4. Ilustrasi IRI sebelum dan sesudah penanganan alternatif 1



Gambar 5. Ilustrasi IRI sebelum dan sesudah penanganan alternatif 2



Gambar 6. Ilustrasi IRI sebelum dan sesudah penanganan alternatif 3

Analisis user cost

Perhitungan *user cost* dilakukan berdasarkan perhitungan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) sesuai pedoman dari Bina Teknik, Dirjen Bina Marga No.: 026/T/Bt/1995 (Indonesia 1995), seperti yang dijelaskan pada rumus (2.4). Dalam perhitungan BOK diantaranya dipengaruhi oleh IRI dan kecepatan, pada penelitian ini BOK hanya dipengaruhi oleh nilai IRI (sesuai Tabel 10), dan variabel kecepatan memakai kecepatan tempuh rata-rata atau kecepatan operasional yaitu 85 km/jam (85% dari kecepatan rencana (100 km/jam) untuk arteri primer lebar lajur per arah 2 x 3,5 meter sesuai Tata Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota (Indonesia 1997).

PEMBAHASAN

Dari hasil analisis dari sisi *user cost* melalui perhitungan BOK dan perhitungan *agency cost* melalui *software real cost* secara deterministik sesuai dengan *Life-Cycle Cost Analysis Real cost User Manual* (Federal Highway Administration 2004), menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Sehingga untuk pengambilan keputusan alternatif mana yang terbaik untuk diaplikasikan di ruas jalan Pakkae-Batas Kota Pangkep harus dilihat dari:

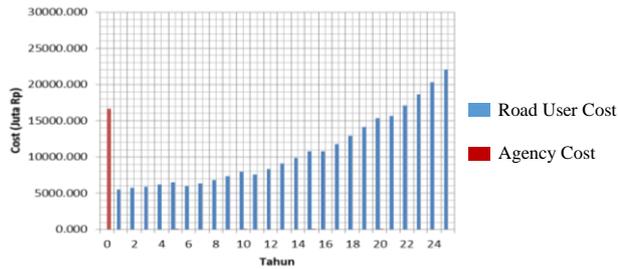
Pendekatan present value total cost

Dengan mengetahui total cost (jumlah *agency cost* dan *user cost*) terendah, diharapkan diketahui biaya yang paling ideal dari segi *user cost* dan *agency cost*. Tabel 11 berikut menunjukkan biaya total *agency cost* dan *user cost*, dan total cost tiap alternatif:

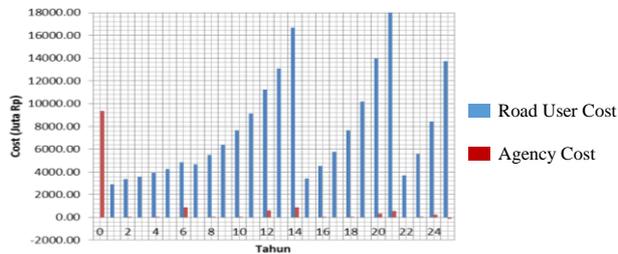
Tabel 11. Total Cost (*present value*) tiap alternatif

	User Cost (Juta Rp)	Agency Cost (Juta Rp)	Total Cost PV (Juta Rp)
Alternatif 1	268640.98	16908.24	285549.21
Alternatif 2	192532.65	13092.69	205625.33
Alternatif 3	257736.69	10381.89	268118.58

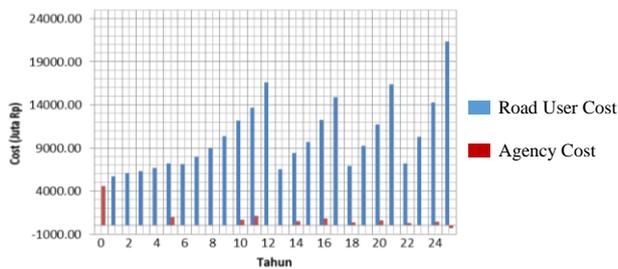
Dari pendekatan total *cost* diperoleh hasil bahwa alternatif 2 mempunyai total *cost* terendah dibandingkan alternatif-alternatif yang lainnya. Sedangkan untuk umur perencanaan yang sama (25 tahun) alternatif 2 mempunyai total *cost* yang lebih rendah dibanding alternatif 1. Total *cost* terendah belum tentu menunjukkan total *cost* yang paling optimum. Total *cost* yang paling optimum dapat diperoleh dengan menggunakan simulasi coba-coba dengan banyak skenario penanganan.



Gambar 7. Ilustrasi pembiayaan tiap tahun alternatif 1



Gambar 8. Ilustrasi pembiayaan tiap tahun alternatif 2



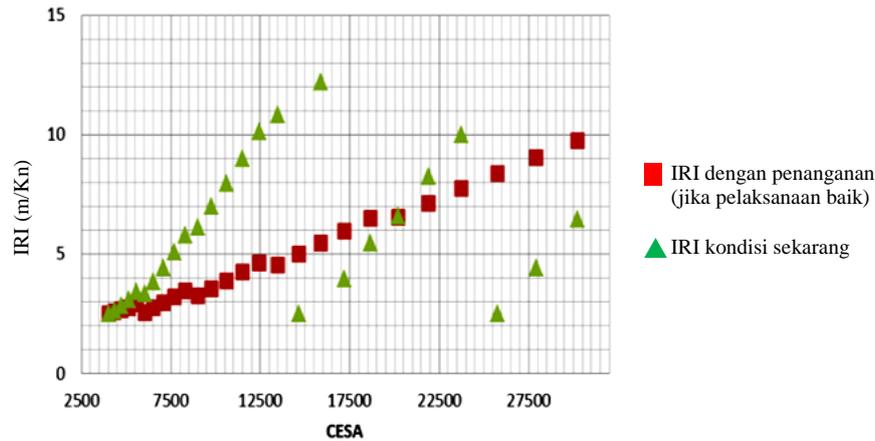
Gambar 9. Ilustrasi pembiayaan tiap tahun alternatif 3

Pendekatan teknis

1. Dari data CBR ruas jalan Pakkae-Batas Kota Pangkep mempunyai CBR lapangan rata-rata 4,6, namun di banyak titik ditemukan nilai CBR lapangan yang berkisar antara 5-7,8. Walaupun CBR lapangan yang ada tidak seragam/merata namun CBR lapangan rata-rata sebesar 4,6 maka dapat dikategorikan CBR tanah baik. Oleh karena itu untuk perencanaan jangka panjang dapat digunakan jenis perkerasan lentur.

2. Perkerasan lentur yang memiliki AC-WC yang tipis diprediksi tidak bisa menahan pertambahan beban lalu lintas (CESAL), hal ini terlihat dari prediksi kondisi jalan dengan skenario terbaik (lihat Tabel 9.). Walaupun telah dilakukan pemeliharaan rutin, berkala, bahkan peningkatan struktur tetapi kondisi perkerasan tetap menurun secara drastis disebabkan oleh peningkatan CESAL.
3. Namun, pada perkerasan lentur yang memiliki ketebalan yang tinggi (dirancang untuk umur rencana yang panjang), perkerasan lentur tersebut mampu menahan peningkatan CESAL.
4. Perkerasan kaku relatif tidak sensitif terhadap overloading ataupun peningkatan CESAL, namun perkerasan kaku sangat sensitif saat pelaksanaan dan operasional. Jika saat pelaksanaan tidak dilakukan secara hati-hati maka akan terjadi kerusakan dini. Perkerasan kaku sangat sensitif terhadap faulting di sambungan (*joint faulting*) dan retak (*cracking*). Seperti yang terjadi pada proyek Pakkae-Batas Kota Pangkep, proyek ini selesai pada akhir tahun 2012, namun saat ini sudah terjadi kerusakan joint faulting yang cukup parah.

Gambar 10 memperlihatkan di Proyek Pakkae-Batas Kota Pangkep perkerasan kaku dengan beton K-350 tebal 27cm didesain untuk umur 25 tahun, namun karena faktor pengerjaan di lapangan yang tidak tepat, lalu lintas sudah melewati jalan tersebut sebelum 28 hari, terjadi pertambahan *joint faulting* sebesar 5% dan *cracking* 1% (pada kondisi normal perkerasan kaku didesain mampu menahan pertambahan *cracking* sebesar 1%, dan pertambahan *joint faulting* sebesar 1.5%). Oleh karena itu jalan tersebut diprediksi hanya bisa bertahan sampai 16 tahun, hal ini tentu saja akan sangat merugikan pemerintah karena biaya konstruksi awal perkerasan kaku sangatlah besar.



Gambar 10. Ilustrasi alternatif 2 (perkerasan kaku UR 25 tahun) jika terjadi kurangnya *quality control* di lapangan

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil analisa perhitungan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil kajian untuk ruas Pakkae-Batas Kota Pangkep, hipotesis tidak terbukti. Hal ini disebabkan oleh nilai CBR untuk ruas Pakkae-Batas Kota Pangkep cukup baik, sehingga dapat dibangun menggunakan perkerasan lentur. Selain itu metode pengerjaan perkerasan kaku yang kurang baik dan pengawasan yang kurang menyebabkan kerusakan dini pada perkerasan yang menyebabkan mahalnya biaya rehabilitasi.
2. Berdasarkan pendekatan total *life cycle cost* (*agency cost* dan *user cost*) dan pendekatan pembebanan lalu lintas didapatkan bahwa perkerasan lentur dengan umur rencana 25 tahun merupakan alternatif terbaik untuk diterapkan pada daerah studi, karena mempunyai total biaya terendah dan mampu menahan beban lalu lintas sesuai rencana.
3. Berdasarkan pendekatan *agency cost* terlihat bahwa perkerasan lentur dengan umur rencana 10 tahun mempunyai total *agency cost* paling rendah selama 25 tahun analisis. Sedangkan, jika dilihat dari pendekatan *user cost* terlihat bahwa perkerasan lentur dengan umur rencana 25 tahun mempunyai total *user cost* paling rendah. Total *cost* terendah belum tentu menunjukkan total *cost* yang paling optimum.

4. Berdasarkan *life cycle cost analysis* yang telah dilakukan pada perkerasan kaku dan perkerasan lentur, terlihat bahwa meskipun perkerasan kaku mempunyai jumlah penanganan yang lebih sedikit dibanding perkerasan lentur dengan umur rencana yang sama, namun perkerasan kaku tetap lebih mahal dari sisi biaya. Hal ini disebabkan oleh biaya pembangunan serta penanganan perkerasan kaku lebih mahal dibanding perkerasan lentur.

Saran

Dari hasil kajian disarankan:

1. Alternatif perkerasan yang digunakan pada proyek ruas jalan Pakkae-Batas Kota Pangkep adalah menggunakan perkerasan lentur dengan umur rencana 25 tahun, dimana biaya perawatan yang relatif kecil, juga biaya penggunaan (*user cost*) yang dikeluarkan lebih kecil dibandingkan perkerasan kaku dengan umur rencana yang sama atau dengan perkerasan lentur dengan umur rencana 10 tahun.
2. Perkerasan lentur sebaiknya didesain dengan umur rencana yang panjang, sehingga beban lalu lintas desain sudah cukup besar untuk mencegah adanya kemungkinan *overloading*.
3. Perkerasan kaku hendaknya diawasi dengan teliti mengingat perkerasan tersebut sangat sensitif terhadap kerusakan *joint faulting* dan *cracking*.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 1994. *Tata cara survei kerataan permukaan perkerasan jalan dengan alat ukur kerataan Naasra*. SNI 03-3426-1994. Jakarta: BSN.
- Federal Highway Administration. 2004. *Life-Cycle Cost Analysis Real cost User Manual*. Washington D.C.: U.S. Department Transportation.
- Indonesia. Departemen Pekerjaan Umum. 1995. *Biaya operasi kendaraan (BOK) untuk jalan perkotaan di Indonesia*. J A L A N NO.: 026/T/Bt/1995. Jakarta: Direktorat Bina Teknik.
- _____. Departemen Pekerjaan Umum. 1997. *Tata cara Perencanaan Geometric Jalan antar kota*. Jalan No. 038/TBM/1997. Jakarta: Ditjen Bina Marga.
- _____. Kementerian Pekerjaan Umum. 2011. *IRMS Ver. II User Manual*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- _____. Dinas Perhubungan Kota Makassar, 2011. *Rekapitulasi Jumlah Kendaraan Bermotor di Kota Makassar Tahun 2008 hingga Tahun 2010 berdasarkan Jenis Kendaraan*. Jakarta : Direktorat Jenderal Perhubungan Darat.
- _____. Badan Pusat Statistik Indonesia. 2012. *Laju Pertumbuhan Domestik Regional Bruto*. Link : http://www.bps.go.id/tab_sub/view.php?kat=2&tabel=1&daftar=1&id_subyek=52¬ab=3. Accessed : September 2014.
- _____. Kementerian Pekerjaan Umum. 2013. *Data Survey 2013*. Jakarta: Subdit PSEK, Bina Program.
- SNVT P2JN Sulawesi Selatan. 2013. *Routine Maintenance Cost IRMS*. Data IRMS 2010, tidak dipublikasi.
- SNVT PJN Wilayah 1 Sulawesi Selatan. 2012. *Owner Estimate Proyek Pakkae-BatasKota Pangkep*. Data Lelang 2012, tidak dipublikasi.
- US Department of Transportation. 2004. *Design and Analysis of New and Reconstructed Rigid Pavement Part 3*. State of Minnessota. Link download :http://www.mrr.dot.state.mn.us/pavement/PvmtDesign/DesignGuide/documentation/Part3_Chapter4_RigidDesign.pdf- 3110.7KB - State of Minnesota. Accessed: September 2013.