

STRATEGI PEMELIHARAAN PERKERASAN DIDASARKAN PADA PENDEKATAN PCI DAN IRI SERTA MENENTUKAN BIAYA SIKLUS HIDUP

(STUDI KASUS: JALAN PANGERAN TIRTAYASA, BANDAR LAMPUNG)

Hermon Frederik Tambunan^{1,*}, Wardiman Yosef Gultom², Bernaditha Catur Marina³

^{1,2,3}Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu Way Hui, Kode Pos 35365

*hermon.tambunan@si.itera.ac.id

ABSTRAK

Jalan merupakan moda trasnportasi yang paling banyak digunakan di Indonesia. Pentingnya peran jalan tersebut berarti layanan infrastruktur jalan harus selalu dalam kondisi yang mantap. Tetapi penyediaan layanan infrastruktur jalan dengan kondisi yang baik memiliki beberapa kendala, salah satunya karena adanya keterbatasan keuangan untuk melakukan kegiatan pemeliharaan dan peningkatan jalan. Oleh karena diperlukan strategi agar alokasi dana untuk tindakan pemeliharaan dan perbaikan jalan lebih baik.

Penelitian ini menggunakan Pavement Condition Index dan Analisis Biaya Siklus Hidup untuk memberikan usulan strategi pemeliharaan jalan. PCI untuk menilai kondisi jalan dan Analisis Biaya Siklus Hidup untuk mendapatkan nilai ekonomis yang diinginkan. Studi Kasus terletak di Jalan Pangeran Tirtayasa Bandar Lampung, yang setelah dilakukan perhitungan PCI didapatkan nilai 47,04 atau kondisi sedang untuk keseluruhan ruas jalan. Setelah dilakukan homogenesitas segmen atau menyatukan beberapa segmen dengan kondisi yang sama, sehingga ada 13 segmen dengan kondisi rusak berat sehingga perlu dilakukan rekonstruksi pada segmen-segmen tersebut. Oleh karena itu diusulkan 2 alternatif skenario penanganan pada segmen jalan yang membutuhkan rekonstruksi, yaitu alternatif 1, alternatif 2

Kata kunci: Kondisi Jalan, Pemeliharaan Jalan, Biaya Siklus Hidup

1. PENDAHULUAN

Harlan P. Sinaga pada naskah “Manajemen Preservasi Jalan untuk Pengelolaan Jaringan Jalan Wilayah” menyatakan bahwa jalan masih mendominasi moda transportasi di Indonesia. Bukti empiris menunjukkan bahwa 90% angkutan barang di Indonesia beroperasi melalui jalan darat, 7% melalui laut, dan dengan menggunakan angkutan lain sebesar 3%. Pentingnya peran jalan tersebut berarti penyediaan layanan infrastruktur jalan harus selalu dalam kondisi sempurna.

Menurut data Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung, dari keseluruhan 20.759 km panjang jalan di Provinsi Lampung, sekitar 43,03% panjang jalan pada kondisi yang baik; 17,52% panjang jalan dalam kondisi sedang; 16,34% jalan mengalami kerusakan ringan; dan 23,11% jalan mengalami kerusakan berat.

Angka ini menunjukkan bahwa pemerintah khususnya Provinsi Lampung masih memiliki

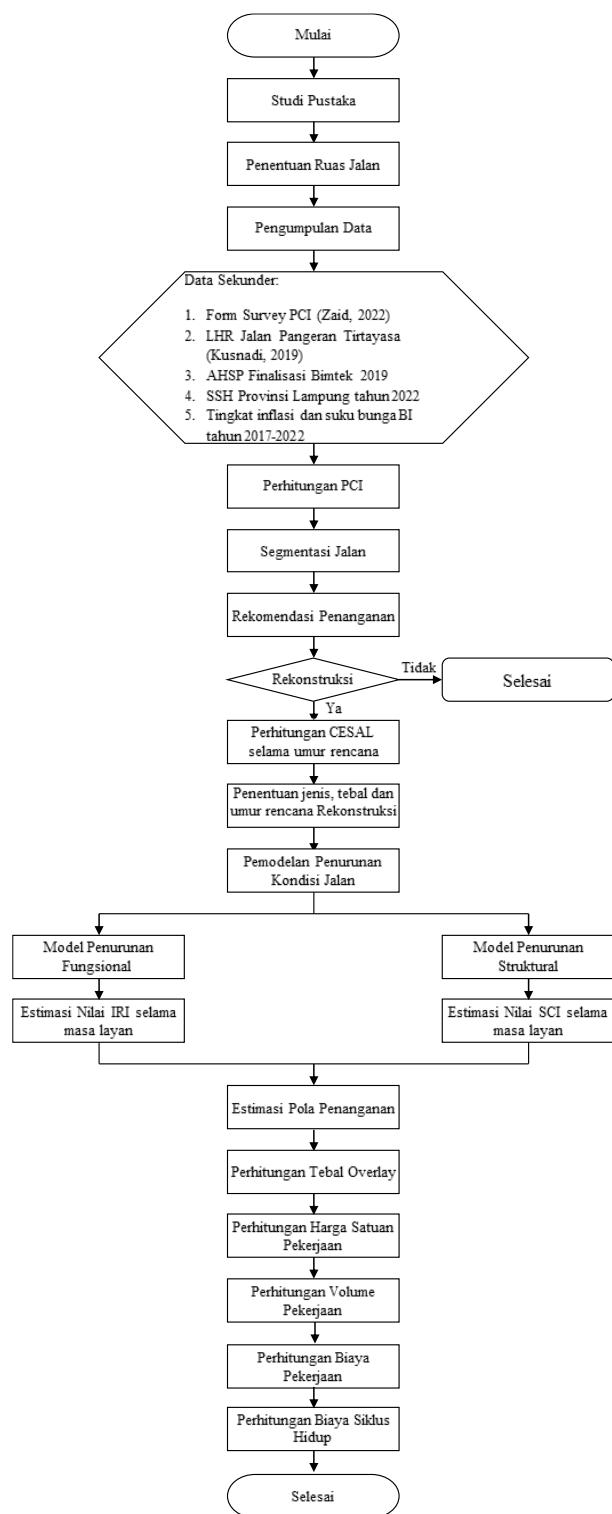
keterbatasan dalam penyediaan layanan infrastruktur jalan dengan kondisi baik, hal ini terutama karena adanya kendala keuangan untuk melakukan kegiatan pemeliharaan dan peningkatan kondisi jalan. Oleh karena itu diperlukan strategi agar pengalokasian dana untuk tindakan penanganan dan perbaikan jalan lebih baik.

Berdasarkan pada penjelasan diatas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kondisi jalan berdasarkan pendekatan PCI dan IRI serta memberikan usulan penanganan pada perkerasan jalan berdasarkan pada nilai PCI dan IRI yang didapat untuk kemudian menghitung biaya siklus hidup dari usulan pemeliharaan tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian

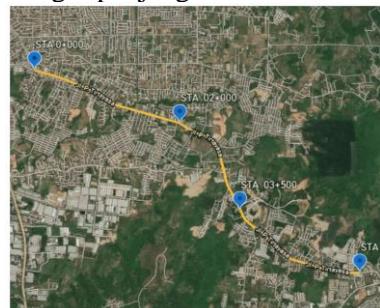
Tahapan pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir yang tertera di Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Jalan Pangeran Tirtayasa, Sukabumi, Bandar Lampung yang merupakan tipe dua arah dua lajur tak terbagi (2/2 TT) dengan lebar efektif 6 m dan membentang sepanjang 4,5 km.



Gambar 2. Peta Ruas Jalan

Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder untuk memberikan usulan strategi pemeliharaan pada ruas jalan Pangeran Tirtayasa, Bandar Lampung, antara lain:

1. Data Survei *Pavement Condition Index* Jalan Tirtayasa oleh Muhammad Zaid (2021)
2. Lalu lintas harian rata-rata Jalan Tirtayasa oleh Kusnadi dalam JRSDD, Edisi Juni 2019, Vol.7, No.2, Hal:269 – 280
3. Analisis Harga Satuan Finalisasi Bimtek 2019
4. Standar Satuan Harga Wilayah Provinsi Lampung tahun 2022
5. Inflasi dan tingkat suku bunga Bank Indonesia

Analisis Data

Data-data yang telah tekumpul akan dianalisis untuk mendapatkan jawaban atas pokok permasalahan pada penelitian.

Tingkat Kerusakan dan Kondisi Perkerasan

Pada penelitian ini, evaluasi kondisi perkerasan dilakukan setiap 100 m, setelah mengetahui jumlah kerusakan pada tiap jenis dan tingkat kerusakan, selanjutnya dilakukan analisis data untuk mengetahui kondisi perkerasan. Kondisi perkerasan dianalisis sebagai berikut:

1. Menghitung kadar kerusakan pada tiap jenis dan tingkat kerusakan
2. Menghitung nilai DV pada setiap unit segmen
3. Menghitung nilai izin pengurangan

4. Menghitung nilai TDV pada setiap unit segmen
5. Menghitung nilai CDV pada setiap unit segmen
6. Menghitung nilai PCI untuk masing-masing unit segmen
7. Menghitung nilai PCI untuk keseluruhan segmen jalan
8. Menentukan kondisi perkerasan berdasarkan nilai PCI

Strategi Pemeliharaan dan Simulasi Biaya

1. Setelah kondisi perkerasan diketahui, data kondisi perkerasan tersebut akan dipakai bersama dengan data pelengkap untuk menentukan strategi pemeliharaan yang akan dilakukan. Berikut langkah-langkah menentukan strategi pemeliharaan:
2. Menentukan pembagian segmen jalan berdasarkan nilai PCI dengan menggunakan metode *cumulative difference approach*
3. Menentukan jenis penanganan yang harus dilakukan pada tiap segmen jalan yang homogen berdasarkan kondisi perkerasan.
4. Menghitung estimasi beban lalu lintas yang akan melewati segmen jalan tersebut
5. Menentukan jenis perkerasan dan tebal perkerasan pada penanganan rekonstruksi
6. Melakukan estimasi penurunan kondisi perkerasan
7. Menghitung tebal *overlay* berdasarkan estimasi penurunan kondisi perkerasan
8. Menentukan strategi pemeliharaan berdasarkan estimasi penurunan kondisi perkerasan
9. Menghitung harga satuan pekerjaan pada tiap pekerjaan pemeliharaan
10. Menghitung volume pekerjaan tiap penanganan pada setiap segmen
11. Menghitung biaya pekerjaan tiap penanganan pada setiap segmen
12. Menghitung biaya siklus hidup setiap strategi pemeliharaan menggunakan pendekatan *Present Value* yaitu dengan pengaruh tingkat suku bunga dan Inflasi

3. TINJAUAN PUSTAKA

Kajian pustaka penelitian berisi tentang evaluasi kondisi perkerasan, metode PCI, homogenesis segmen jalan, nilai IRI dari nilai PCI, preservasi jalan, model penurunan kondisi jalan, serta analisis biaya siklus hidup

Evaluasi Kondisi Perkerasan

Merupakan kemampuan relatif perkerasan untuk melayani lalu lintas dalam periode tertentu. Kinerja perkerasan tergantung pada kondisi struktural dan fungsional jalan tersebut. Untuk mengukur kinerja perkerasan, maka perlu dilakukan penilaian kondisi perkerasan yang juga dapat digunakan untuk menentukan strategi perbaikan prioritas penanganan dan memprediksi kinerja perkerasan.

Metode Pavement Condition Index

Merupakan salah satu metode yang digunakan untuk melakukan evaluasi kondisi fungsional perkerasan jalan. Metode ini menilai kondisi perkerasan berdasarkan jenis kerusakan, tingkat kerusakan dan luas kerusakan yang terjadi pada perkerasan. Metode ini memberikan keterangan mengenai kondisi perkerasan dengan rentang nilai 0 hingga 100. Nilai nol menandakan kegagalan pada perkerasan dan nilai seratus menandakan kondisi yang sempurna pada perkerasan.

Homogenesis Segmen Jalan

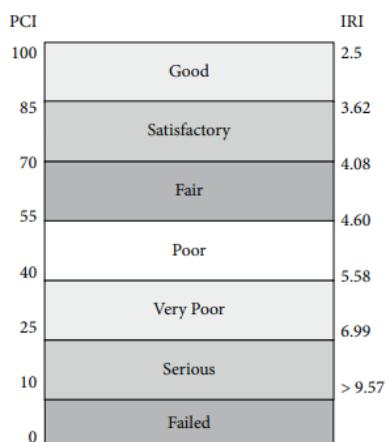
Homogenesis segmen berarti menggabungkan beberapa segmen yang memiliki karakteristik sama, dalam hal ini nilai Pavement Condition Index. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan jenis penanganan yang sama pada jalan tersebut tersebut. Penelitian ini menggunakan metode AASHTO CDA yang terdapat pada AASHTO *Guide for Design of Pavement Structures* (1993)

Tabel 1. Perhitungan *Cummulative Difference Approach*

Col. (1) Station (Distance)	Col. (2) Instantaneous Response (r_1)	Col. (3) Interval Number (n)	Col. (4) Interval Distance (Δx_i)	Col. (5) Cumulative Interval Distance ($\Sigma \Delta x_i$)	Col. (6) Average Interval Response (r_2)	Col. (7) Actual Interval Area (a_1)	Col. (8) Cumulative Area Σa_i	Col. (9) Z _i $Z_i = r^* \text{ Col. (5)}$
1	r_1	1	Δx_1	Δx_1	$\bar{r}_1 = r_1$	$a_1 = \bar{r}_1 \Delta x_1$	a_1	$Z_{a_1} = a_1 - r^* \Delta x_1$
		2	Δx_2	$(\Delta x_1 + \Delta x_2)$	$\bar{r}_2 = \frac{(r_1 + r_2)}{2}$	$a_2 = \bar{r}_2 \Delta x_2$	a	$Z_{a_2} = (a_1 + a_2) - r^* (\Delta x_1 + \Delta x_2)$
2	r_2	3	Δx_3	$(\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3)$	$\bar{r}_3 = \frac{(r_1 + r_2)}{2}$	$a_3 = \bar{r}_3 \Delta x_3$	$a_1 + a_2 + a_3$	
		N_i	Δx_n	$(\Delta x_1 + \dots + \Delta x_n)$	$\bar{r}_n = \frac{(r_{i-1} + r_i)}{2}$	$a_n = \bar{r}_n \Delta x_n$	$a_1 + \dots + a_n$	$Z_{a_n} = (a_1 + \dots + a_n) - r^* (\Delta x_1 + \dots + \Delta x_n)$
L_p	r_n							$A_i = \sum_{j=1}^{N_i} a_j$
								$r^* = \frac{\Delta}{L_p}$

Menentukan Nilai IRI dari Nilai PCI

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sasan Adeli dkk dalam jurnal Advances in Civil Engineering, vol. 2021 bahwa nilai IRI bisa didapatkan melalui konversi dari nilai PCI. Hal itu berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan berdasarkan penelitian dalam jurnal tersebut.

**Gambar 3.** Konversi Nilai PCI ke Nilai IRI

Preservasi Jalan

Menurut Manual Pelaksanaan Preservasi Jalan (2019), kegiatan preservasi jalan merupakan pekerjaan jangka panjang yang setiap bagiannya memiliki peran masing-masing dan saling memperkuat satu sama lain.

Untuk melakukan penanganan terhadap kerusakan pada perkerasan, diperlukan acuan yang digunakan dalam pengambilan keputusan. Nilai PCI yang digunakan sebagai acuan dalam pengambilan keputusan penanganan ruas jalan.

Tabel 2. Penentuan Program Penanganan

Condition Category	Pavement Condition Index		General Treatment Strategy
	Upper Limit	Lower Limit	
Excellent	100	86	Do Nothing
Good	85	75	Preventive Maintenance
Fair	74	58	Resurface
Poor	57	40	Rehabilitation
Failed	39	0	Reconstruction

Model Penurunan Kondisi Jalan

Perhitungan model penurunan jalan merupakan suatu hal yang penting dalam manajemen preservasi jalan, yaitu untuk memberikan gambaran mengenai kinerja perkerasan pada suatu waktu tertentu. Perkiraan kinerja perkerasan ini di pakai untuk menentukan pola penanganan pada ruas jalan tersebut.

Model penurunan kondisi pada penelitian ini ditinjau dari International Roughness Index dan juga Pavement Condition Index.

Untuk prediksi nilai IRI untuk suatu waktu tertentu memakai persamaan Patterson berikut

$$IRI_n = e^{mn}[IRI_0 + 725(1 + SNC)^{-5} \times CSA_n]$$

Dimana:

IRI_0 = Indeks kekasaran jalan pada tahun awal rencana

IRI_n = Indeks kekasaran jalan pada tahun ke-n

SNC = Structural Number perkerasan

CSAn = Lalu lintas, juta ESA

Tabel 3. Nilai IRI untuk Trigger Level Pemeliharaan

No	Ketidakrataan (m/km)	Kondisi
1	<4	Rutin
2	4 s/d 8	Rehabilitasi minor
3	8 s/d 12	Rehabilitasi mayor

Sumber: *Manual Pelaksanaan Preservasi Jalan*

Model penurunan PCI pada penelitian ini menggunakan model dari R. L. Lytton dalam Concepts of Pavement Performance Prediction Modeling. Proc., North American Conference on Managing Pavements, Toronto, Canada, Vol. 2, 1987.

Dengan rumus sebagai berikut:

$$PCI_n = PCI_0 - a \left(e^{umur^b} - 1 \right) \log \left(\frac{CESA}{SNC^c} \right)$$

Dengan a = 0.6349; b = 0.4203; and c = 2.706

Analisis Biaya Siklus Hidup

Pengambilan keputusan dalam memilih strategi pemeliharaan jalan dapat dilakukan dengan analisis biaya siklus hidup dapat dilakukan dengan membandingkan suatu alternatif strategi pemeliharaan dengan alternatif lainnya untuk menetapkan pembiayaan paling efisien pada kegiatan pemeliharaan jalan.

Biaya siklus hidup mencakup dua jenis biaya, yaitu agency cost dan user cost (FHWA, 1998). Penelitian ini hanya menggunakan agency cost dalam melakukan analisis biaya siklus hidup, untuk memilih strategi pemeliharaan preventif yang akan digunakan. FHWA menyarankan penggunaan pendekatan *present value* (PV) untuk memproyeksikan biaya di masa depan menjadi biaya sekarang.

Jenis biaya yang digunakan dalam melakukan analisis biaya siklus hidup untuk memilih strategi pemeliharaan preventif adalah sebagai berikut:

Initial Cost (First Year Cost)

Merupakan nilai sekarang dari biaya yang dikeluarkan pada tahun ke-0, yang ditimbulkan oleh biaya desain dan biaya konstruksi.

Present Value of The Alternative

Pengaruh tingkat inflasi dan suku bunga perlu diperhitungkan dalam sebuah analisis. Dengan nilai tingkat inflasi, biaya masa depan pada setiap pemeliharaan preventif yang akan dilakukan dapat dicari

$$C_{mt} = C_m(1 + r)^t$$

Dengan:

C_m = Nilai sekarang dari biaya pemeliharaan

r = nilai inflasi per tahun

t = tahun

C_{mt} = Nilai masa depan dari biaya pemeliharaan

Suku bunga (i)

Diterapkan untuk memproyeksikan biaya dimasa depan menjadi biaya sekarang. Untuk memproyeksikan biaya masa depan menjadi biaya saat ini dapat menggunakan persamaan berikut:

$$PV = \frac{C_{mt}}{(1 + i)^t}$$

atau

$$PV = C_m \frac{(1 + r)^t}{(1 + i)^t}$$

Dimana:

PV = nilai biaya saat ini

C_{mt} = biaya pemeliharaan dimasa mendatang

r = nilai inflasi per tahun

i = nilai suku bunga per tahun

t = tahun

Setelah itu nilai sekarang dari semua biaya pemeliharaan dimasa depan dijumlahkan dengan biaya awal (C_1) untuk digunakan dalam mengambil keputusan

$$PV = C_1 + \sum_t^N \frac{C_{mt}}{(1 + i)^t}$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data primer dan data sekunder yang dikumpulkan, diolah dan dianalisa, kemudian dapat dillanjutkan ke tahap hasil dan pembahasan.

Analisis Kondisi Perkerasan Jalan dengan Metode PCI

Data kondisi kerusakan jalan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang didapatkan dari hasil survei kerusakan jalan yang dilakukan oleh Muhammad Zaid pada tahun 2021. Karena

terdapat perbedaan panjang unit segmen pada penelitian ini dengan penelitian terdahulu, maka hasil survei kerusakan pada penelitian terdahulu yang sebelumnya dilakukan setiap interval 50 m diubah menjadi setiap 100 m.

Penelitian ini tidak menggunakan metode sampling, untuk mendapatkan kepastian nilai kondisi perkerasan secara menyeluruh. Perhitungan nilai PCI dilakukan dengan interval unit segmen per-100 meter. Terdapat total 90 unit segmen, dengan ukuran dari masing-masing unit segmen adalah 300 m² (100 m x 3 m). Contoh perhitungan PCI dilakukan pada STA 02+000 – 02+100 lajur kanan (unit segmen no. 41)

Tabel 4. Form Survei Kerusakan Jalan Unit Segmen No.42

Lajur Kanan	Form Survey Kerusakan Jalan		Luas Area	No. Unit
	Jalan P. Tirtayasa Kota Bandar Lampung	300 m ²		
	Jenis Kerusakan	Sketsa		
1. Retak Buaya	11. Tambalan			
2. Kegemukan	12. Pengausan			
3. Retak Blok	13. Lubang			
4. Tonjolan dan Lengkung	14. Perpotongan Rel			
5. Keriting	15. Alur			
6. Amblas	16. Sungkur			
7. Retak Pinggir	17. Retak Slip			
8. Retak Sambungan	18. Pengembangan			
9. Penurunan Bahu Jalan	19. Pelepasan Butir			
10. Retak Melintang				
STA	Jenis Kerusakan	Tingkat Kerusakan	Quantity	
			p	l
19	L	13	3	39
1	L	4,6	1	4,6
4	M	3,2		4M
1	M	7,4	1,2	8,88
1	M	6	0,5	3
1	M	5,5	0,5	2,75
1	M	3,2	0,5	1,6
11	L	8	3	24
11	L	6	1,5	9

Sebagai contoh, pada STA 02+000 – 02+100 lajur kanan terdapat 5 jenis kerusakan yaitu:

1. Retak Buaya
Low Severity : 4,6 m²
Medium Severity : 16,23 m²
2. Tonjolan dan Lengkung
Medium Severity : 3,2 m
3. Tambalan
Low Severity : 33 m²
4. Pelepasan Butir
Low Severity : 3,9 m²

Perhitungan Kadar Kerusakan (Density)

Kadar kerusakan dihitung dengan membagi total luasan kerusakan tersebut dengan luas total unit segmen. Perhitungan kadar kerusakan pada unit segmen 38 adalah sebagai berikut:

Retak Buaya

$$1L = \frac{4,6}{300} \times 100\% = 1,53\%$$

$$1M = \frac{16,23}{300} \times 100\% = 5,41\%$$

Tonjolan dan Lengkungan

$$4M = \frac{3,2}{300} \times 100\% = 1,07\%$$

Tambalan

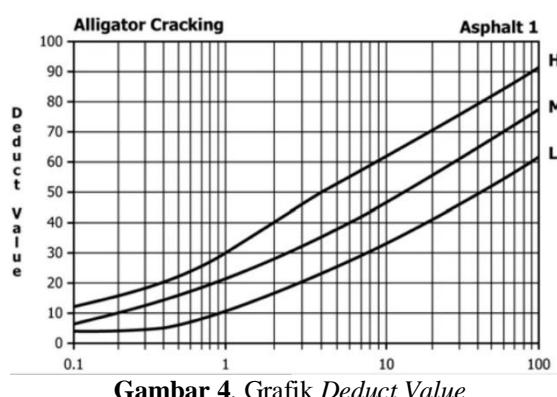
$$11L = \frac{33}{300} \times 100\% = 11,00\%$$

Pelepasan Butir

$$19L = \frac{3,9}{300} \times 100\% = 1,30\%$$

Menentukan Nilai Deduct Value (DV)

Nilai pengurangan dapat dicari menggunakan grafik hubungan antara nilai deduct value dengan nilai density. Nilai pengurangan dari jenis kerusakan Retak Buaya dapat dicari dengan menarik hubungan kadar kerusakan yaitu sebesar 1,53 dengan tingkat keparahan Low (L), maka didapat nilai pengurangan sebesar 14.



Gambar 4. Grafik Deduct Value

Tabel 5. Rekapitulasi Nilai Deduct Value

Jenis Kerusakan	Tingkat Kerusakan	Density	Deduct Value
Retak Buaya	L	1,53%	14,15
Retak Buaya	M	5,41%	39,38
Tonjolan dan Lengkung	M	1,07%	13
Tambalan	L	11,00%	16,8
Pelepasan Butir	L	1,30%	3,8

Perhitungan Nilai Ijin Maksimum Deduct Value (m)

Perhitungan Nilai izin maksimum *deduct value* dilakukan untuk mengecek nilai pengurangan dapat digunakan dalam perhitungan selanjutnya atau tidak. Contoh perhitungan nilai izin maksimum nilai pengurangan adalah sebagai berikut:

$$m = 1 + \left[\frac{9}{98} \times (100 - HDV) \right]$$

$$m = 1 + \left[\frac{9}{98} \times (100 - 39,38) \right]$$

$$m = 6,57$$

Perhitungan Nilai Pengurangan Total (TDV)

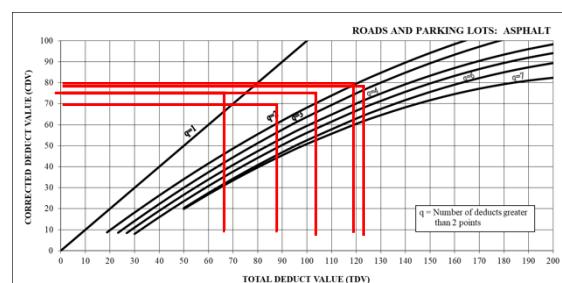
Nilai pengurangan total (total deduct value) dapat dihitung dengan menjumlahkan seluruh nilai pengurangan (deduct value). Nilai TDV tersebut dimasukkan kedalam grafik nilai CDV yang memotong nilai q. Nilai q yang merupakan banyaknya nilai pengurang yang nilainya lebih besar dari 2. Berdasarkan nilai deduct value pada STA 02+000 – 02+100 lajur kanan, terdapat 5 nilai deduct value dengan nilai lebih besar dari 2, maka q=5. Kemudian nilai deduct value terkecil diganti dengan 2 kemudian mencari kembali nilai TDV dan q. Langkah tersebut diulangi hingga diperoleh nilai q=1.

Tabel 6. Iterasi Nilai q

Deduct Value					q	TDV
39,38	16,8	14,15	13	3,8	5	87,13
39,38	16,8	14,15	13	2	4	85,33
39,38	16,8	14,15	2	2	3	74,33
39,38	16,8	2	2	2	2	62,18
39,38	2	2	2	1	1	47,38

Perhitungan Nilai Pengurangan Terkoreksi Terbesar (CDV)

Nilai pengurangan terkoreksi didapatkan dari kurva hubungan TDV dan CDV, yaitu dengan cara menarik garis dari nilai TDV ke q.



Gambar 5. Grafik Hubungan TDV dan CDV

Tabel 7. Nilai CDV

Q	TDV	CDV
5	87,13	49
4	85,33	51
3	74,33	47
2	62,18	43
1	47,38	47

Perhitungan Nilai PCI

Nilai PCI dihitung dengan cara mengurangkan nilai 100 dengan nilai CDV maks yang didapat. Contoh perhitungan nilai PCI adalah unit segmen no 42, dimana nilai CDV max pada Tabel 7 adalah 51.

Nilai PCI dihitung dengan cara mengurangkan nilai 100 dengan nilai CDV maks yang didapat. Contoh perhitungan nilai PCI adalah unit segmen no 42, dimana nilai CDV max pada Tabel 7 diatas adalah 51.

$$PCI = 100 - CDV \text{ Max}$$

$$PCI = 100 - 51 = 49$$

Maka, kondisi perkerasan pada unit segmen no 42 adalah fair.

Setelah mendapatkan nilai PCI pada tiap unit segmen, perhitungan dilanjutkan dengan menghitung nilai PCI pada keseluruhan jalan. Berikut perhitungan Nilai PCI keseluruhan ruas jalan

$$PCI = \frac{\sum PCI \text{ unit segmen}}{\text{Jumlah unit segmen}}$$

$$PCI = \frac{4233}{90} = 47,04$$

Dari hasil analisis PCI ruas jalan tersebut, dapat diketahui kondisi perkerasan adalah fair (47,04). Nilai PCI ruas Jl. Pangeran Tirtayasa pada setiap stasiun ditampilkan pada Tabel 8.

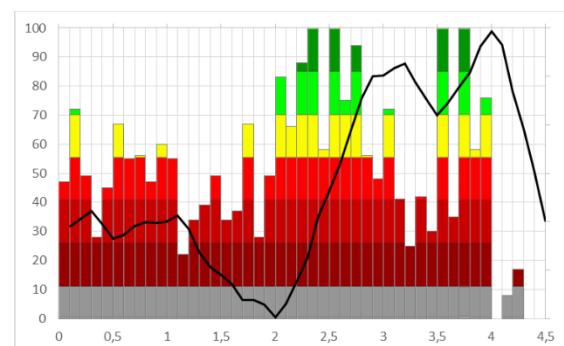
Tabel 8. Rekapitulasi nilai PCI

Station Pengamatan	Ruas Kiri		Ruas Kanan	
	PCI	Kondisi Perkerasan	PCI	Kondisi Perkerasan
STA 00 + 000 - 00 + 100	47	Fair	17	Very Poor
STA 00 + 100 - 00 + 200	72	Very Good	73	Very Good
STA 00 + 200 - 00 + 300	49	Fair	42	Fair
STA 00 + 300 - 00 + 400	28	Poor	22	Very Poor
STA 00 + 400 - 00 + 500	45	Fair	17	Very Poor
STA 00 + 500 - 00 + 600	67	Good	7	Failed
STA 00 + 600 - 00 + 700	55	Good	38	Poor
STA 00 + 700 - 00 + 800	56	Good	13	Very Poor
STA 00 + 800 - 00 + 900	47	Fair	88	Excellent
STA 00 + 900 - 01 + 000	60	Good	21	Very Poor
STA 01 + 000 - 01 + 100	55	Good	69	Good
STA 01 + 100 - 01 + 200	22	Very Poor	19	Very Poor
STA 01 + 200 - 01 + 300	34	Poor	27	Poor
STA 01 + 300 - 01 + 400	39	Poor	29	Poor
STA 01 + 400 - 01 + 500	49	Fair	83	Very Good
STA 01 + 500 - 01 + 600	34	Poor	27	Poor
STA 01 + 600 - 01 + 700	37	Poor	52	Fair
STA 01 + 700 - 01 + 800	67	Good	38	Poor
STA 01 + 800 - 01 + 900	28	Poor	55	Good
STA 01 + 900 - 02 + 000	49	Fair	16	Very Poor
STA 02 + 000 - 02 + 100	83	Very Good	49	Fair
STA 02 + 100 - 02 + 200	66	Good	29	Poor
STA 02 + 200 - 02 + 300	88	Excellent	27	Poor
STA 02 + 300 - 02 + 400	100	Excellent	100	Excellent
STA 02 + 400 - 02 + 500	58	Good	90	Excellent
STA 02 + 500 - 02 + 600	100	Excellent	70	Very Good
STA 02 + 600 - 02 + 700	75	Very Good	66	Good
STA 02 + 700 - 02 + 800	94	Excellent	92	Excellent
STA 02 + 800 - 02 + 900	56	Good	29	Poor
STA 02 + 900 - 03 + 000	48	Fair	36	Poor
STA 03 + 000 - 03 + 100	72	Very Good	47	Fair
STA 03 + 100 - 03 + 200	41	Fair	34	Poor

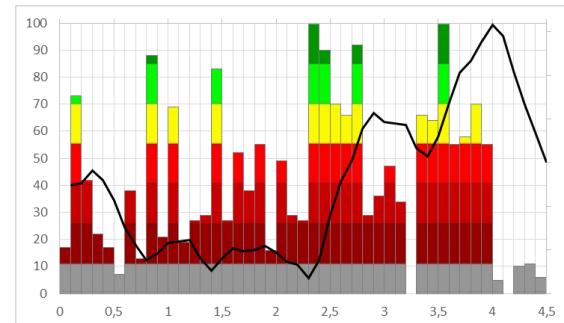
Station Pengamatan	Ruas Kiri		Ruas Kanan	
	PCI	Kondisi Perkerasan	PCI	Kondisi Perkerasan
STA 03 + 200 - 03 + 300	25	Poor	0	Failed
STA 03 + 300 - 03 + 400	42	Fair	66	Good
STA 03 + 400 - 03 + 500	30	Poor	64	Good
STA 03 + 500 - 03 + 600	100	Excellent	100	Excellent
STA 03 + 600 - 03 + 700	35	Poor	55	Good
STA 03 + 700 - 03 + 800	100	Excellent	58	Good
STA 03 + 800 - 03 + 900	58	Good	70	Very Good
STA 03 + 900 - 04 + 000	76	Very Good	55	Good
STA 04 + 000 - 04 + 100	0	Failed	5	Failed
STA 04 + 100 - 04 + 200	8	Failed	0	Failed
STA 04 + 200 - 04 + 300	17	Very Poor	10	Very Poor
STA 04 + 300 - 04 + 400	0	Failed	11	Very Poor
STA 04 + 400 - 04 + 500	0	Failed	6	Failed

Segmentasi Jalan

Untuk menentukan program penanganan, peneliti melakukan homogenisasi segmen, yaitu dengan menggabungkan beberapa segmen yang memiliki karakteristik sama, dalam hal ini nilai PCI. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan jenis penanganan yang sama pada jalan tersebut berdasarkan segmen jalan yang homogen. Penelitian ini menggunakan metode AASHTO CDA yang terdapat pada AASHTO *Guide for Design of Pavement Structures* (1993) untuk melakukan homogenisasi segmen. Berikut tabel hasil perhitungan *Cumulative Difference Approach* pada ruas Jl. Pangeran Tirtayasa Bandar Lampung yang ditampilkan dalam bentuk grafik:



Gambar 6. Hasil Perhitungan CDA Ruas Kiri



Gambar 7. Hasil Perhitungan CDA Ruas Kanan

Berdasarkan hasil perhitungan CDA, ruas kiri dan kanan jalan Jl. Pangeran Tirtayasa dibagi atas 6 (enam) segmen. Pembagian segmen jalan berdasarkan persentase luas kerusakan ditampilkan pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Pembagian Segmen Ruas Kiri

Titik Awal	Titik Akhir	Panjang Segmen	Nilai PCI
STA 00+000	STA 01+100	1100	52,82
STA 01+100	STA 02+000	900	39,89
STA 02+000	STA 03+200	1200	73,42
STA 03+200	STA 03+500	300	32,33
STA 03+500	STA 04+000	500	73,80
STA 04+000	STA 04+500	500	5,00

Tabel 10. Pembagian Segmen Ruas Kanan

Titik Awal	Titik Akhir	Panjang Segmen	Nilai PCI
STA 00+000	STA 00+800	800	28,6
STA 00+800	STA 02+300	1500	41,9
STA 02+300	STA 02+900	600	74,5
STA 02+900	STA 03+400	500	36,6
STA 03+400	STA 04+000	600	67,0
STA 04+000	STA 04+500	500	6,4

Untuk melakukan penanganan terhadap kerusakan pada perkerasan, diperlukan acuan yang digunakan dalam pengambilan keputusan, acuan pengambilan keputusan menggunakan Tabel 2. Program penanganan setiap segmen jalan ditampilkan pada Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11. Penanganan pada Segmen Ruas Kiri

Titik Awal	Titik Akhir	PCI	IRI	Penanganan
STA 00+000	STA 01+100	52,82	4,83	Rehabilitation
STA 01+100	STA 02+000	39,89	5,73	Rehabilitation
STA 02+000	STA 03+200	73,42	3,98	Resurface
STA 03+200	STA 03+500	32,33	6,27	Reconstruction
STA 03+500	STA 04+000	73,80	4,00	Resurface
STA 04+000	STA 04+500	5,00	9,30	Reconstruction

Berdasarkan nilai PCI pada ruas Jl.P.Tirtayasa, maka harus segera dilakukan rekonstruksi pada segmen 4 dan segmen 6. Untuk segmen 3 dan segmen 5 perlu dilakukan pelapisan ulang, sedangkan untuk segmen 1 dan segmen 2 pemeliharaan yang harus dilakukan adalah rehabilitasi.

Tabel 12. Penanganan pada Segmen Ruas Kanan

Titik Awal	Titik Akhir	PCI	IRI	Penanganan
STA 00+000	STA 00+800	28,6	7,15	Reconstruction
STA 00+800	STA 02+300	41,9	5,87	Rehabilitation
STA 02+300	STA 02+900	74,5	4,13	Resurface
STA 02+900	STA 03+400	36,6	6,16	Reconstruction
STA 03+400	STA 04+000	67,0	4,15	Resurface
STA 04+000	STA 04+500	6,4	9,60	Reconstruction

Berdasarkan nilai PCI untuk segmen ruas kanan Jl.P.Tirtayasa, segmen 1, segmen 4 dan segmen 6 perlu segera dilakukan rekonstruksi. Segmen 3 dan segmen 5 perlu pelapisan ulang, sedangkan rehabilitasi diperlukan untuk segmen 2.

Usulan skenario penanganan akan dilakukan pada segmen jalan yang membutuhkan rekonstruksi, karena ketersediaan data yang tidak memadai mengenai mutu perkerasan pada saat terakhir dilakukan penanganan pada tahun 2014.

Beban Lalu Lintas Selama Umur Rencana

Untuk menentukan tebal perkerasan dan melakukan estimasi model penurunan kondisi jalan, perlu dilakukan perhitungan beban lalu lintas selama umur rencana. Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar yang dikonversi menggunakan faktor ekivalen beban kendaraan (VDF).

Tabel 13. Nilai VDF Masing-masing Kendaraan

Kendaraan	VDF4	VDF5
Sepeda motor	0	0
Sedan/Angkot/Pickup	0	0
Bus kecil	0,3	0,2
Bus besar	1	1
Truk 2 sumbu ringan	0,55	0,5
Truk 2 sumbu berat	3,4	4,6
Truk 3 as	4,3	5,6
Truk 4 as	7	9,6

Data LHR pada penelitian adalah data LHR pada tahun 2018 yang didapatkan dari penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Kusnadi yang tertulis dalam JRSDD, Edisi Juni 2019, Vol.7, No.2, Hal:269 – 280. Nilai LHR pada penelitian

tersebut kemudian digunakan untuk memprediksi lalu lintas pada masa yang akan datang dengan adanya pengaruh pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana.

Tabel 14. Lalu Lintas Harian Rata-rata

Kendaraan	LHR ₂₀₁₈	R	LHR ₂₀₂₂
Sepeda motor	19493	1,21	23540,8
Sedan/Angkot/Pickup	6691	1,21	8080,41
Bus kecil	11	1,21	13,28
Bus besar	4	1,21	4,83
Truk 2 sumbu ringan	241	1,21	291,04
Truk 2 sumbu berat	933	1,21	1126,74
Truk 3 as	115	1,21	138,88
Truk 4 as	5	1,21	6,04

Data LHR 2018 kemudian diproyeksikan menjadi LHR 2022 dengan menggunakan rumus $(1+i)n$, dimana i laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%) sebesar 4,83% berdasarkan Manual Desain Perkerasan Tahun 2017.

Nilai beban sumbu standar kumulatif dapat dihitung dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu. Faktor distribusi lajur digunakan untuk menyesuaikan beban kumulatif (ESA) pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam satu arah. Ruas Jl. P.Tirtayasa merupakan jalan dengan satu lajur satu arah, maka faktor distribusi lajur tidak diperhitungkan. Nilai beban sumbu standar kumulatif dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$CESA = \left(\sum LHR \times VDF \right) \times 365 \times DD \times R$$

Dimana:

CESA : kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen (equivalent standard axle)

LHR : lalu lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan

VDFJK : Faktor Ekivalen Beban (Vehicle Damage Factor) tiap jenis kendaraan

DD : Faktor distribusi arah.

R : Faktor pertumbuhan lalu lintas kumulatif

Berdasarkan rumus tersebut, dapat diketahui kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana adalah sebagai berikut:

$$CESA = \left(\sum LHR \times VDF \right) \times 365 \times DD \times R$$

$$\begin{aligned} CESA &= (13 \times 0,2 + 5 \times 1 + 291 \times 0,5 + 1127 \\ &\quad \times 4,6 + 139 \times 5,6 + 6 \times 9,6) \\ &\quad \times 365 \times 0,5 \times 32,48 \end{aligned}$$

$$CESA = 4639 \times 365 \times 0,5 \times 32,48$$

$$CESA = 27.498.040$$

Usulan Strategi Pemeliharaan

Berdasarkan Manual Desain Perkerasan tahun 2017 disebutkan, untuk rekonstruksi dengan CESA diatas 0,5 juta hingga 30 juta, maka dipilih umur rencana sebesar 20 tahun.

Tabel 15. Umur Rencana Perkerasan Jalan

Kriteria beban lalu lintas (ESA4)	<0,5	0,5 ≤ 30	≥30
		Rekonstruksi - 20 tahun	
Umur rencana perkerasan lentur	Seluruh penanganan : 10 tahun	Overlay struktural - 10 tahun	
		Overlay non struktural - 10 tahun	
		Penanganan sementara - sesuai kebutuhan	

Pemilihan Jenis Perkerasan

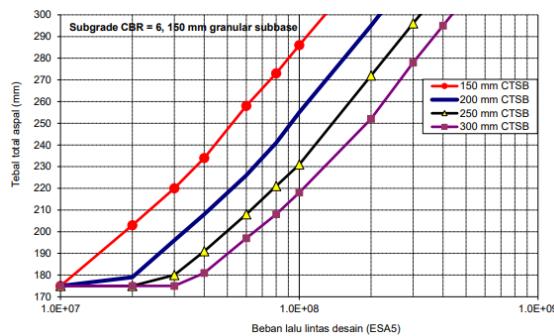
Dengan nilai ESA dalam 20 tahun adalah sebesar 10-30 juta, maka jenis perkerasan yang dipilih adalah CTRB + AC modifikasi. Pemilihan struktur perkerasan pada penelitian menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 sebagai acuan

Tabel 16. Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	REKONSTRUKSI				
	Kumulatif ESA4 20 tahun (juta)***				
	<0,1	0,1 - 4	4 - 10	>10-30	>30
Perkerasan beton di atas tanah normal					
CTRБ + AC modifikasi					
CTRБ + AC					
HRS + lapis fondasi agregat kelas A perkerasan tanpa penutup					

Stabilisasi semen pada material perkerasan umumnya dilaksanakan untuk mendaur ulang lapisan aspal eksisting dan material lapis fondasi agregat.

Berikut contoh perhitungan rekonstruksi pada segmen 6 ruas kiri. Dengan CBR tanah dasar = 6 dan CESA5 sebesar 36.581.258, maka didapatkan, tebal total aspal sebesar 205 mm, dengan tebal CTRB 200 mm dan tebal lapis pondasi a 150 mm



Gambar 8. Bagan Desain Perkerasan

Model Penurunan Kondisi Jalan

1. Model Penurunan IRI

Untuk menghitung estimasi nilai IRI pada tahun ke-n digunakan persamaan berikut, dengan SNC adalah modified structural number dengan adanya pengaruh tanah dasar

$$IRI_n = (e^{mn}[IRI_0 + 725(1 + SNC)^{-5} \times CSA_n])$$

Berikut contoh perhitungan model penurunan IRI untuk Segmen 6 ruas kiri setelah dilakukan rekonstruksi pada tahun 2022. Nilai IRI adalah 3 setelah dilakukan rekonstruksi.

$$SNC = SN + SNSG$$

$$SNC = \left(\sum (a_n D_n) \right) + 3,51 \log(CBR) - 0,85(\log CBR)^2 - 1,43$$

$$SNC = 4,88 + 0,79 = 5,67$$

Berikut model penurunan IRI dengan umur rencana 20 tahun:

Tabel 17. Prediksi Nilai IRI Selama UR 20 Tahun

Tahun	Tahun	CSA	IRI	Penanganan
0	2022	0,00	3,00	Pemeliharaan Rutin
1	2023	0,85	3,33	Pemeliharaan Rutin
2	2024	1,73	3,28	Pemeliharaan Rutin
3	2025	2,66	3,43	Pemeliharaan Rutin
4	2026	3,64	3,59	Pemeliharaan Rutin
5	2027	4,66	3,75	Pemeliharaan Rutin
6	2028	5,73	3,93	Pemeliharaan Rutin
7	2029	6,86	4,12	Rehabilitasi Minor
8	2030	8,04	4,32	Rehabilitasi Minor
9	2031	9,27	4,53	Rehabilitasi Minor
10	2032	10,57	4,76	Rehabilitasi Minor
11	2033	11,92	4,99	Rehabilitasi Minor
12	2034	13,34	5,25	Rehabilitasi Minor
13	2035	14,84	5,52	Rehabilitasi Minor
14	2036	16,40	5,80	Rehabilitasi Minor
15	2037	18,04	6,10	Rehabilitasi Minor
16	2038	19,76	6,43	Rehabilitasi Minor
17	2039	21,56	6,77	Rehabilitasi Minor
18	2040	23,44	7,14	Rehabilitasi Minor
19	2041	25,42	7,53	Rehabilitasi Minor
20	2042	27,50	7,95	Rehabilitasi Minor

2. Model Penurunan PCI

Model penurunan PCI pada penelitian ini menggunakan model dari R. L. Lytton dalam Concepts of Pavement Performance Prediction Modeling. Proc., North American Conference on Managing Pavements, Toronto, Canada, Vol. 2, 1987.

Dengan rumus sebagai berikut:

$$PCI_n = PCI_0 - a \left(e^{umur^b} - 1 \right) \log \left(\frac{CESA}{SNC^c} \right)$$

Dengan $a = 0,6349$; $b = 0,4203$; and $c = 2,7062$. Nilai PCI adalah 100 setelah dilakukan rekonstruksi.

Berikut model penurunan PCI pada Umur Rencana 20 tahun:

Tabel 18. Penurunan PCI Selama UR 20 Tahun

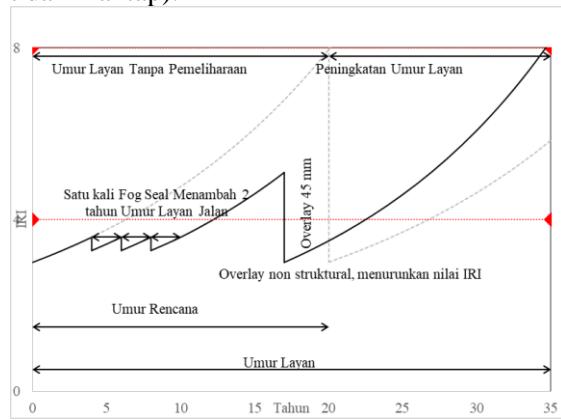
Tahun	CESA	PCI	Penanganan
2022	0	100	Do Nothing
2023	8.466.652	95,8	Do Nothing
2024	17.342.243	92,6	Do Nothing
2025	26.646.525	89,2	Do Nothing
2026	36.400.204	85,8	Do Nothing
2027	46.624.986	78,1	Preventive maintenance
2028	57.343.625	73,9	Preventive maintenance
2029	68.579.974	69,3	Resurface
2030	80.359.038	64,5	Resurface
2031	92.707.031	69,4	Resurface
2032	105.651.433	59,4	Resurface
2033	119.221.049	54,0	Rehabilitation
2034	133.446.078	48,2	Rehabilitation
2035	148.358.175	42,0	Rehabilitation
2036	163.990.527	35,5	Reconstruction
2037	180.377.921	28,6	Reconstruction
2038	197.556.826	21,3	Reconstruction
2039	215.565.473	13,6	Reconstruction
2040	234.443.937	5,5	Reconstruction
2041	254.234.231	0	Reconstruction
2042	274.980.396	0	Reconstruction

Skenario Pemeliharaan Jalan

Berdasarkan model penurunan IRI dan PCI, diusulkan 2 alternatif scenario pemeliharaan jalan, alternative pertama adalah berdasarkan model penurunan IRI dan alternative kedua berdasarkan model penurunan PCI.

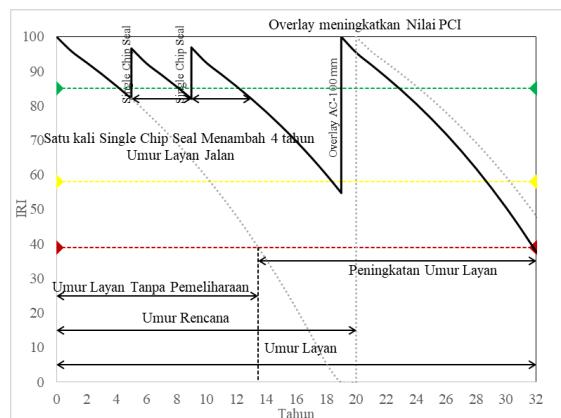
Pada Alternatif 1, dilakukan pemeliharaan rutin sebanyak tiga kali yaitu pada tahun ke 4, tahun ke-6, dan tahun ke-8 pada saat nilai IRI ≤ 4 , untuk menambah umur layan jalan. Overlay non struktural dilakukan pada tahun ke-17 yaitu pada saat $4 \leq IRI \leq 8$, untuk meningkatkan nilai

IRI. Setelah itu kembali dilakukan pemodelan penurunan IRI hingga didapatkan $IRI \geq 8$ (Jalan tidak mantap).



Gambar 9. Skenario Pemeliharaan Alternatif 1

Pada Alternatif 2, dilakukan pemeliharaan *preventif chip seal* yaitu pada tahun ke-5 dan tahun ke-9 untuk menambah umur layan jalan. Overlay dilakukan pada tahun ke-19. Tebal overlay pada alternatif 2 adalah 40 mm AC-WC dan 60 mm AC-BC.



Gambar 10. Skenario Pemeliharaan Alternatif 2

Perkiraan Biaya Siklus Hidup

Perkiraan biaya siklus hidup menggunakan nilai sekarang dari biaya dimasa depan, dengan mempertimbangkan inflasi.

Contoh perhitungan biaya siklus hidup alternatif 1 pada segmen 6L, Tingkat inflasi yang digunakan pada penelitian ini adalah rata-rata tingkat inflasi dalam 5 tahun terakhir (Mei 2017-Mei 2017) sebesar 2,65%. Perhitungan biaya pekerjaan fog seal:

$$C_{mt} = C_m(1+r)^t$$

$$C_{m17} = \text{Rp } 206.766.920 (1 + 0.0265)^{17}$$

$$C_{m17} = \text{Rp } 322.388.457$$

Nilai sekarang dari biaya pekerjaan overlay di tahun ke 17:

$$PV = \frac{C_{mt}}{(1+i)^t} = \frac{\text{Rp } 322.388.457}{(1+0.0451)^{17}} \\ = \text{Rp } 152.246.721$$

Contoh perhitungan untuk mengetahui total biaya masa depan pada alternatif 1 dalam nilai sekarang:

$$PV = C_1 + \sum_t^N \frac{C_{mt}}{(1+i)^t} = \text{Rp } 1.032.072.659$$

Berdasarkan perhitungan biaya siklus hidup, alternatif 1 memberikan biaya siklus hidup yang lebih kecil daripada alternatif 2

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, kesimpulan pada penelitian ini adalah:

1. Nilai Pavement Condition Index (PCI) rata-rata pada ruas Jalan P. Tirtayasa adalah 47.04 dengan kondisi sedang (fair).
2. Dilakukan homogenesis segmen berdasarkan sebaran kerusakan, yaitu ruas kiri dibagi menjadi 6 Segmen, dengan panjang berturut-turut: 1100m, 900m, 1200m, 300m, 500m, dan 500m. Ruas kanan dibagi menjadi 6 segmen, dengan panjang berturut-turut 800m, 1500m, 600m, 600m, 500m, 600m, dan 500m.
3. Rekonstruksi pada segmen 4 dan segmen 6 pada ruas kiri, sedangkan pada ruas kanan dilakukan rekonstruksi pada segmen 1, segmen 4, dan segmen 6.
4. Pada segmen 3 dan segmen 5 ruas kiri serta ruas kanan, perlu dilakukan pelapisan ulang. Untuk segmen 1 dan 2 pada ruas kiri dan segmen 2 pada ruas kanan, pemeliharaan harus adalah rehabilitasi.
5. Jenis perkerasan yang dipilih untuk Rekonstruksi adalah CTRB + AC, dengan tebal total aspal sebesar 205 mm, dengan tebal CTRB 200 mm dan tebal lapis pondasi a 150 mm
6. Pada Alternatif 1, dilakukan pemeliharaan rutin sebanyak tiga kali yaitu pada tahun ke 4, tahun ke-6, dan tahun ke-8 pada saat nilai IRI ≤ 4 , untuk menambah umur layan jalan. Overlay non struktural dilakukan pada tahun ke-17 yaitu pada saat $4 \leq IRI \leq 8$ dengan tebal overlay 45 mm, untuk meningkatkan nilai IRI. Setelah itu kembali dilakukan pemodelan penurunan IRI hingga didapatkan $IRI \geq 8$ (Jalan tidak mantap).
7. Pada Alternatif 2, dilakukan pemeliharaan preventif chip seal yaitu pada tahun ke-5 dan

- tahun ke-9 untuk menambah umur layan jalan. Overlay dilakukan pada tahun ke-19 dengan tebal overlay 100 mm.
8. Biaya Siklus Hidup Alternatif 1 dengan masa layan 35 tahun adalah Rp1.032.072.659
 9. Biaya Siklus Hidup Alternatif 2 dengan masa layan 32 tahun adalah Rp1.611.945.646

SARAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut ini.

1. Untuk mengetahui titik optimasi pemeliharaan perlu dilakukan analisis matematis lebih lanjut. Hal tersebut harus dibarengi dengan ketersediaan data yang memadai
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut yang memberikan alternatif-alternatif pemeliharaan lain, karena perbedaan dalam menentukan strategi pemeliharaan akan mempengaruhi biaya siklus hidup jalan tersebut.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan yang memasukkan seluruh item pekerjaan, agar diperoleh biaya siklus hidup secara keseluruhan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 1993. Guide for Design of Pavement Structures. 1993 ed. Washington, D.C.: American Association of The Highway and Transportation Officials.
- Abisetyo, W., 2018. PREDIKSI UMUR SISA PERKERASAN LENTUR. Bandun
- ASTM International, 2018. Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017. Manual Desain Perkerasan Jalan.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018.
- SPESIFIKASI UMUM 2018 UNTUK PEKERJAAN KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN
- Direktorat Preservasi Jalan, 2019. PEMROGRAMAN PRESERVASI JALAN
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2011. PERATURAN MENTERI PEKERJAAN UMUM.

- Sinaga, H. P., 2011. Manajemen Preservasi Jalan. Cetakan Ke-1 ed. s.l.:Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan.
- Wayan Diana, I. & Purba, A., 2019. Perencanaan Teknis Rehabilitasi Ruas jalan Tirtayasa.
- Zaid, M., Sulistyorini, R. & Anugrah Mulya Putri Ofrial, S., 2021. Analisis Tingkat Kerusakan Jalan dengan Menggunakan Metode Pavement Condition Index (PCI) (Studi Kasus Jalan P. Tirtayasa Bandar Lampung)