

STRATEGI OPTIMASI BIAYA PEMELIHARAAN JALAN BERBASIS KINERJA DAN ANALISIS SIKLUS HIDUP (STUDI KASUS: JALAN PANGERAN TIRTAYASA, BANDAR LAMPUNG)***Road Maintenance Cost Optimization Strategy Based On Performance And Life Cycle Analysis (Case Study: Pangeran Tirtayasa Road, Bandar Lampung)*****Indi Rezki Uli Simanjuntak****Politeknik Negeri Medan****Email: indirezki@polmed.ac.id****Abstract**

The condition of Pangeran Tirtayasa Road, with a PCI score of 47.04, serves as the background for this paper. This figure indicates the need for an effective maintenance strategy within a limited budget. This limited budget prompted the idea of conducting a performance-based cost optimization study by comparing maintenance alternatives using life cycle cost analysis (LCCA) and the integration of International Roughness Index (IRI) parameters for damage prediction. The method used was secondary PCI data from a survey by Muhammad Zaid (2021), processed with segment homogenization (AASHTO CDA). Two maintenance scenarios (IRI-based and PCI-based) were compared using LCCA with inflation at 2.65% and an interest rate of 4.51%. The results showed that alternative 1 (IRI-based) was more economical (Rp1.03 billion vs. Rp1.61 billion) with a service life of 35 years. This can be recommended by prioritizing routine maintenance (years 4, 6, and 8) and non-structural overlays (year 17).

Keywords: *Cost optimization, IRI, LCCA, performance-based maintenance*

Abstrak

Kondisi jalan Pangeran Tirtayasa dengan nilai PCI sebesar 47.04 menjadi latar belakang penulisan ini dimana angka tersebut menunjukkan perlunya strategi pemeliharaan yang efektif dengan keterbatasan anggaran. Anggaran yang terbatas memunculkan ide untuk melakukan penelitian optimasi biaya berbasis kinerja dengan membandingkan alternatif pemeliharaan menggunakan analisis biaya siklus hidup (LCCA) dan integrasi parameter International Roughness Index (IRI) untuk prediksi kerusakan. Metode yang digunakan dengan data sekunder PCI dari survei Muhammad Zaid (2021) diproses dengan homogenisasi segmen (AASHTO CDA). Dua skenario pemeliharaan (berbasis IRI dan PCI) dibandingkan melalui LCCA dengan inflasi 2.65% dan suku bunga 4.51%. Hasil dari metode tersebut alternatif 1 (berbasis IRI) lebih ekonomis (Rp1.03 miliar vs Rp1.61 miliar) dengan masa layan 35 tahun. Hal tersebut dapat direkomendasikan dengan memprioritaskan pemeliharaan rutin (tahun ke-4,6,8) dan overlay non-struktural (tahun ke- 17).

Keywords: Optimasi biaya, IRI, LCCA, pemeliharaan berbasis kinerja

PENDAHULUAN

Jalan merupakan urat naga transportasi di Indonesia, menghubungkan pusat ekonomi, pendidikan, dan layanan vital. Data terbaru menunjukkan bahwa 90% angkutan barang bergantung pada jalan darat (Sinaga, 2011), sementara di Provinsi Lampung, 23,11% jalan berada dalam kondisi rusak berat (BPS, 2022).

Hal tersebut membuat setiap hari ribuan kendaraan harus melintasi jalan berlubang yang memperlambat distribusi barang, meningkatkan biaya logistik, dan bahkan memicu kecelakaan. Ironisnya, keterbatasan anggaran seringkali menjadi penghalang utama perbaikan. Hal inilah yang menjadi masalahnya bagaimana mengoptimalkan pemeliharaan jalan dengan dana terbatas, namun memastikan layanan infrastruktur tetap prima?

Studi lapangan mengungkap tiga masalah spesifik yang pertama ketidaksesuaian antara desain perkerasan dengan kondisi tanah dasar (CBR 4-6% di daerah rawa), kemudian keterlambatan penanganan akibat proses lelang yang rumit, dan minimnya data kinerja jalan real-time. Pada Jalan Pangeran Tirtayasa misalnya, ketebalan perkerasan 205 mm tidak mampu menahan beban kumulatif 27,5 juta ESA selama 20 tahun. Solusi berbasis teknologi seperti stabilisasi tanah dengan geosintetik dan penggunaan material daur ulang (CTRB) telah diuji coba, namun implementasinya terhambat oleh mahalnya biaya awal. Partisipasi swasta melalui skema KPBU dan pelibatan akademisi lokal untuk pengembangan material alternatif (abu sekam padi, geopolimer) menjadi peluang yang belum tergarap optimal. Tantangan utama adalah menciptakan model pembiayaan berkelanjutan yang memadukan APBD, dana desa, dan skema insentif korporasi.

Jalan Pangeran Tirtayasa di Bandar Lampung adalah contoh nyata dari dilema ini. Survei terakhir menunjukkan nilai PCI rata-rata 47.04 (kondisi "sedang"), tetapi 13 segmennya rusak parah dan membutuhkan rekonstruksi. Tantangannya bukan hanya teknis, melainkan juga strategis: *apakah pemeliharaan rutin berbasis prediksi IRI lebih efektif daripada penanganan reaktif berbasis PCI?* Pertanyaan ini mendesak, mengingat anggaran pemerintah yang terbatas harus dialokasikan secara tepat.

Studi sebelumnya telah menggunakan PCI dan analisis biaya siklus hidup (LCCA) untuk mengevaluasi jalan. Namun, pendekatan konvensional ini sering mengabaikan dinamika *kinerja jalan dalam jangka panjang*. Misalnya, pemeliharaan rutin berbasis IRI (indikator kekasaran permukaan) bisa lebih murah dan memperpanjang usia jalan, tetapi jarang dibandingkan secara kuantitatif dengan strategi berbasis PCI. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan:

1. Mengintegrasikan PCI dan IRI untuk memprediksi penurunan kondisi jalan secara holistik.
2. Membandingkan dua skenario pemeliharaan (berbasis IRI vs. PCI) melalui LCCA, dengan parameter nyata seperti inflasi (2.65%) dan suku bunga (4.51%).

Dari hal tersebut muncul pertanyaan: *"Strategi mana yang lebih optimal: pemeliharaan preventif berbasis IRI atau rekonstruksi reaktif berbasis PCI, jika dilihat dari biaya siklus hidup dan masa layan jalan?"*.

Temuan ini tidak hanya relevan untuk Pangeran Tirtayasa, tetapi juga menjadi model bagi jalan-jalan lain di Indonesia yang menghadapi masalah serupa. Dengan pendekatan berbasis data, penelitian ini menawarkan solusi yang terukur untuk memecahkan paradigma *"biaya rendah vs. kualitas tinggi"* dalam pemeliharaan infrastruktur.

Metode Pavement Condition Index

PCI merupakan metode standar untuk mengevaluasi kinerja fungsional perkerasan jalan dengan menganalisis tiga aspek utama yaitu jenis kerusakan (seperti retak, lubang, atau deformasi), tingkat keparahan kerusakan (ringan,

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

sedang, berat), dan luas area yang terdampak. Metode PCI menghasilkan skor 0–100, di mana skor 0 menyatakan kerusakan total dan 100 menyatakan kondisi perkerasan ideal tanpa cacat. Metode peneurunan PCI pada penelitian ini menggunakan metode R.L. Lyntton dalam *Concepts of Pavements*, Toronto, Canada, Vol. 2, 1987, dengan persamaan sebagai berikut:

Dengan $a = 0.6349$; $b = 0.4203$; and $c = 2.7062$

International Roughness Index (IRI)

IRI mengukur kekasaran permukaan jalan sebagai indikator kenyamanan berkendara. Nilainya diperoleh dari konversi PCI atau pengukuran langsung menggunakan alat profilometer. Dalam penelitian ini, IRI digunakan untuk memprediksi penurunan kualitas jalan dan menentukan waktu optimal pemeliharaan (misalnya saat $IRI > 4$ m/km). International Roughness index (IRI) digunakan untuk model penurunan kondisi jalan. Untuk prediksi nilai IRI dalam

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

satu waktu tertentu menggunakan persamaan Patterson, sebagai berikut:

Dimana:

IRI_0 = Indeks kekasaran jalan pada tahun awal rencana IRI_n = Indeks kekasaran jalan pada tahun ke-n

SNC = Structural Number perkerasan CSA_n = Lalu lintas, juta ESA

Tabel 1. Trigger level pemeliharaan berdasarkan nilai IRI

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

Sumber: Manual Pelaksanaan Preservasi Jalan

Life Cycle Cost Analysis (LCCA)

LCCA adalah pendekatan ekonomi untuk mengevaluasi biaya jangka panjang strategi pemeliharaan, termasuk biaya konstruksi, pemeliharaan, dan rehabilitasi. Penelitian ini memanfaatkan LCCA untuk membandingkan efisiensi dua skenario:

- Pemeliharaan berbasis PCI (rekonstruksi saat kerusakan parah)
- Pemeliharaan berbasis IRI (intervensi preventif saat kekasaran meningkat).

Menentukan Nilai IRI dari Nilai PCI

Berdasarkan penelitian yang dipublikasikan oleh Sasan Adeli dan rekan-rekannya dalam jurnal *Advances in Civil Engineering*, volume 2021, nilai IRI dapat diperoleh melalui konversi dari nilai PCI. Konversi ini didasarkan pada hasil perhitungan yang telah dilakukan dalam studi tersebut.

PCI		IRI
100	Good	2.5
85	Satisfactory	3.62
70	Fair	4.08
55	Poor	4.60
40	Very Poor	5.58
25	Serious	6.99
10	Failed	> 9.57
0		

Gambar 1. Konversi Nilai PCI ke Nilai IRI

Sumber: "Development of a Relationship between Pavement Condition Index and International Roughness Index in Rural Road Network", Advances in Civil Engineering, vol. 2021

Segmentasi Homogen Jalan

Proses homogenesis segmen jalan dilakukan dengan menyatukan bagian-bagian yang memiliki nilai PCI sejenis guna menentukan tindakan perbaikan yang konsisten. Metode AASHTO CDA (1993) diterapkan untuk mengelompokkan segmen secara sistematis, sementara konversi PCI ke IRI mengacu pada penelitian Adeli et al. (2021) guna memperkaya analisis kinerja perkerasan.

Tabel 2. Perhitungan *Cummulative Difference Approach*

Col. (1) Station (Distance)	Col. (2) Pavement Response Value (r_i)	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_i)	Col. (7) Actual Interval Area (a_i)	Col. (8) Cumulative Area Σa_i	Col. (9) Z_x Value $Z_x =$ Col. (8) - F^* 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	$Z_{x_1} = a_1 - F^* \Delta x_1$
2	r_2	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	$Z_{x_2} = (a_1 + a_2) - F^*(\Delta x_1 + \Delta x_2)$
3	r_3	3	Δx_3	$(\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3)$	$\bar{r}_3 = \frac{(r_2 + r_3)}{2}$	$a_3 = \bar{r}_3 \Delta x_3$	$a_1 + a_2 + a_3$	
L_p	r_n	N_i	Δx_{nt}	$(\Delta x_1 + \dots + \Delta x_{nt})$	$\bar{r}_{nt} = \frac{(r_{n-1} + r_n)}{2}$	$a_{nt} = \bar{r}_{nt} \Delta x_{nt}$	$a_1 + \dots + a_{21}$	$Z_{xnt} = (a_1 + \dots + a_{nt}) - F^*(\Delta x_1 + \dots + \Delta x_{nt})$
$A_1 = \sum_{i=1}^{h_1} a_i$ $F^* = \frac{A_1}{L_p}$								

Sumber: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (1993)

Konsep Preservasi Jalan

Berdasarkan pedoman dalam *Manual Pelaksanaan Preservasi Jalan* (2019), upaya preservasi jalan merupakan suatu rangkaian kegiatan berkelanjutan yang bersifat jangka panjang, dimana setiap komponennya memiliki fungsi spesifik namun saling berkoordinasi untuk mencapai tujuan bersama. Dalam menentukan tindakan penanganan kerusakan perkerasan, diperlukan suatu standar evaluasi yang baku. Nilai *Pavement Condition Index* (PCI) berfungsi sebagai indikator kuantitatif utama untuk menetapkan strategi intervensi, dengan klasifikasi sebagai berikut:

Tabel 3. 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

Sumber: *Pavement Management System, Los Angeles County Department of Public Works*

Analisis Biaya Siklus Hidup untuk Pemeliharaan Jalan

Dalam menentukan strategi pemeliharaan jalan yang optimal, analisis biaya siklus hidup (LCCA) merupakan pendekatan komprehensif yang membandingkan berbagai alternatif intervensi untuk mengidentifikasi opsi yang paling efisien secara finansial. Metode ini mempertimbangkan seluruh biaya yang timbul selama masa pakai jalan. LCCA mencakup dua komponen biaya:

1. *Agency cost* yaitu biaya yang dikeluarkan oleh instansi pengelola jalan
2. *User cost* ialah biaya yang ditanggung pengguna jalan (tidak termasuk dalam penelitian ini)

Dalam perhitungan biaya pemeliharaan dilakukan dengan menghitung biaya awal (*initial cost*), kemudian dilanjutkan dengan menghitung proyeksi biaya masa depan sehingga dapat menghasilkan perhitungan total biaya.

1. Biaya awal (*initial cost*)

Biaya awal meliputi biaya desain dan konstruksi pada tahun ke-0 dan merupakan dasar perhitungan nilai sekarang (*present value*).

2. Proyeksi biaya masa depan

Perhitungan ini mempertimbangkan faktor inflasi (*r*) dan suku bunga (*i*). Rumus konversi nilai masa depan ke nilai sekarang adalah sebagai berikut:

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

atau

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

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

Dimana :

PV = nilai biaya saat ini

C_{mt} = biaya pemeliharaan dimasa yang akan datang r = nilai inflasi per tahun

i = nilai suku bunga per tahun t = tahun

C_m = Nilai sekarang dari biaya pemeliharaan

3. Perhitungan total biaya

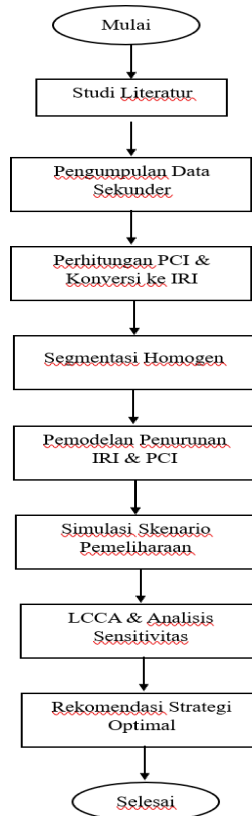
Mengakumulasi seluruh biaya yang telah dikoversi ke nilai sekarang dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

METODE

Diagram Alir

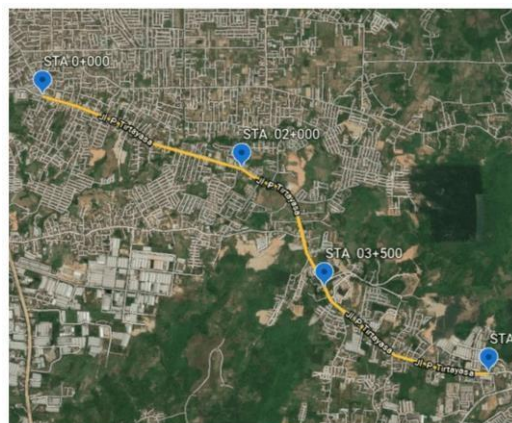
Diagram alir penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Jalan Pangeran Tirtayasa, Sukabumi, Bandar Lampung. Jalan ini adalah jalan dua arah dengan dua lajur tak terbagi (2/2 UD). Lebar lajur kanan sebesar 6 m lajur bagian kiri juga 6 m dan membentang sepanjang 4,5 km. Adapun gambar lokasi peta penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Peta Ruas Jalan P. Tirtayasa

Pengumpulan Data

Data primer sekunder

1. Kondisi jalan diperoleh dari data PCI hasil survei Muhammad Zaid (2021) dengan interval 50 m, dikonversi ke 100 m untuk konsistensi.
2. Lalu lintas dengan LHR tahun 2018 (Kusnadi, 2019) diproyeksikan ke 2022 menggunakan pertumbuhan lalu lintas tahunan (4.83%).
3. Harga satuan pekerjaan (Bimtek 2019) dan standar harga provinsi Lampung (2022)
4. Parameter lingkungan dengan inflasi (2.65%) dan suku bunga (4.51%) dari Bank Indonesia.

Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan kemudian dianalisis untuk memperoleh hasil dari permasalahan pada penelitian ini.

1. Evaluasi kondisi jalan dengan menghitung nilai PCI tiap segmen (100m) dengan metode ASTM D6433 kemudian mengkonversi PCI ke IRI dengan model empiris Adeli et al. (2021).
2. Homogenisasi Segmen dengan metode AASHTO CDA mengelompokkan segmen dengan nilai PCI serupa menggunakan *Cumulative Difference Approach* (CDA), hitung statistik Z_x untuk identifikasi perubahan kemiringan kurva.
3. Prediksi penurunan kondisi jalan menggunakan model IRI (Patterson, 1987) dan model PCI (Lytton, 1987).
4. Strategi Pemeliharaan dapat dilakukan dengan 2 alternatif, yaitu berbasis IRI dan berbasis PCI.
5. Analisis Biaya Siklus Hidup (LCCA) dengan *agency cost* dan pilih kriteria pemeliharaan alternatif dengan PV terendah dan masa layan terlama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kondisi Perkerasan Jalan dengan Metode PCI

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa hasil survei kerusakan jalan oleh Muhammad Zaid (2021). Karena adanya perbedaan panjang segmen, data yang semula direkam setiap 50 meter disesuaikan menjadi 100 meter. Tanpa menggunakan metode sampling, perhitungan PCI dilakukan secara menyeluruh pada 90 unit segmen dengan panjang 100 meter dan luas 300 m² masing-masing. Contoh perhitungan ditunjukkan pada unit segmen nomor 41 (STA 02+000 – 02+100) lajur kanan.

Tabel 4. Form Survey Kerusakan Jalan Unit Segmen no.41

Lajur Kanan	Form Survey Kerusakan Jalan	Luas Area	No. Unit
	Jalan P. Tirtayasa Kota Bandar Lampung	300 m ²	41
Jenis Kerusakan		Sketsa	
Retak Buaya	11. Tambalan		
Kegemukan	12. Pengausan		
Retak Blok	13. Lubang		
Tonjolan dan Lengkung	14. Perpotongan Rel		
Keriting	15. Alur		
Amblas	16. Sungkur		
Retak Pinggir	17. Retak Slip		
Retak Sambungan	18. Pengembangan		

Penurunan Bahu Jalan 19. Pelepasan Butir Retak Melintang								
STA	Jenis Kerusakan	Tingkat Kerusakan	Quantity				Total Tingkat Kerusakan	
			p	l	n	A	Tingkat Kerusakan	Total Kerusakan
STA 02 + 000 - 02 + 100	19	L	13	3		39	1L	4,6
	1	L	4,6	1		4,6	1M	16,23
	4	M	3,2				4M	3,2
	1	M	7,4	1,2		8,88	19L	3,9
	1	M	6	0,5		3	11L	33
	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:

- Retak Buaya
Low Severity : 4,6 m²
Medium Severity : 16,23 m²
- Tonjolan dan Lengkung
Medium Severity : 3,2 m

Perhitungan Kadar Kerusakan (*Density*)

- Tambalan
Low Severity : 33 m²
- Pelepasan Butir
Low Severity : 3,9 m²

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

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

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

Tambalan

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

Tonjolan dan Lengkungan

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

Pelepasan Butir

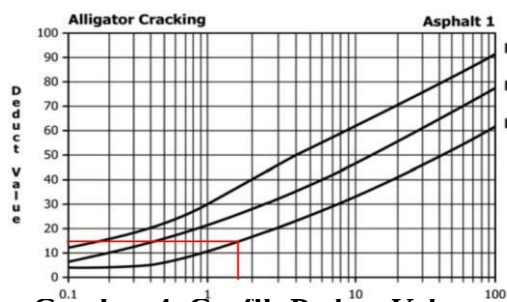
$$19L = \frac{3,9}{300} \times 100\% = 1,30\%$$

Nilai *Deduct Value* (DV)

1. *Deduct value* diperoleh dari grafik hubungan antara nilai densitas kerusakan dan tingkat keparahan. Untuk retak buaya dengan kadar kerusakan 1,53 dan tingkat keparahan rendah (L), diperoleh *deduct value* sebesar 14.

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
	L	11,00%	16,8
Pelepasan Butir	L	1,30%	3,8



Gambar 4. Grafik *Deduct Value*

2. Nilai izin maksimum *deduct value* (m) dihitung untuk menentukan apakah nilai pengurangan dapat digunakan dalam perhitungan selanjutnya. Berikut

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

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

$$m = 6,57$$

contoh perhitungannya:

Total *deduct value* (TDV) diperoleh dengan menjumlahkan seluruh nilai *deduct value*, lalu digunakan dalam grafik CDV untuk menentukan nilai q , yaitu jumlah *deduct value* yang melebihi 2. Pada segmen STA 02+000 – 02+100 lajur kanan, terdapat lima nilai di atas 2 ($q = 5$). Nilai terkecil diubah menjadi 2, dan perhitungan TDV serta q diulang hingga q menjadi 1.

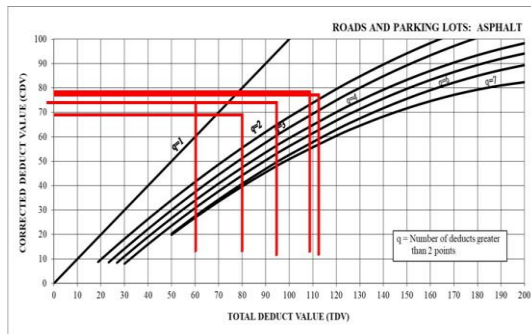
Tabel 6. Iterasi Nilai q

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	2	1	47,38

3. Perhitungan nilai pengurangan terkoreksi terbesar (*corection deduct value*) diperoleh dari kurva hubungan TDV dan CDV, yaitu dengan cara menarik garis dari nilai TDV ke nilai q .

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



Gambar 5. Grafik Hubungan TDV dan CDV
Perhitungan Nilai PCI

Nilai PCI dihitung dengan mengurangi CDV maksimum dari 100. Sebagai ilustrasi, pada segmen 41 dengan CDV maksimum sebesar 51, diperoleh PCI sebesar 49, yang dikategorikan sebagai *fair*. Setelah itu, nilai PCI rata-rata seluruh ruas jalan dihitung menggunakan:

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

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

Berdasarkan hasil analisis tersebut, kondisi perkerasan pada ruas jalan yang diteliti berada dalam kategori *fair* dengan nilai PCI sebesar 47,04.

Berikut disajikan nilai PCI pada setiap *station* untuk ruas Jalan P.

Tirtayasa, Bandar Lampung.

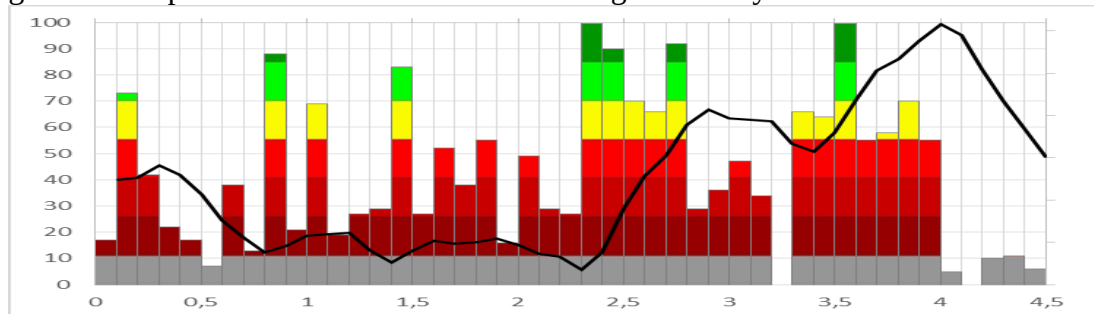
Tabel 8. Rekapitulasi nilai PCI setiap *station* pengamatan

Station Pengamatan	Ruas Kiri		Ruas Kanan	
	PCI	Kondisi Perkerasan	PC I	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

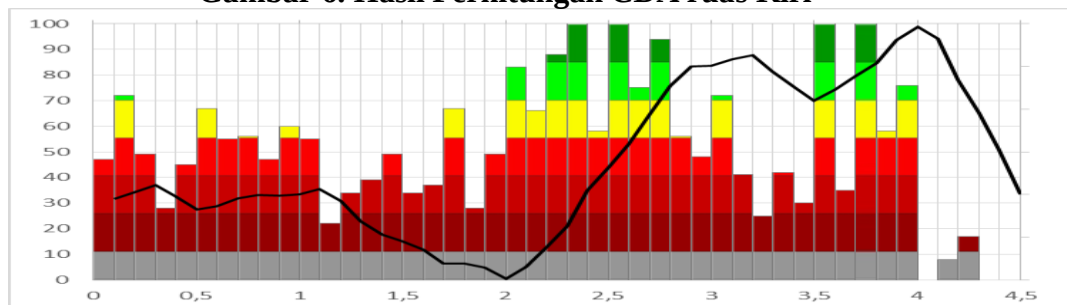
STA 01 + 900 - 02 + 000	49	Fair	16	Very Poor
STA 02 + 000 - 02 + 100	83	Very Good	49	Fair
STA 02 + 100 - 02 + 200	66	Good	29	Poor
STA 02 + 200 - 02 + 300	88	Excellent	27	Poor
STA 02 + 300 - 02 + 400	100	Excellent	10	Excellent
STA 02 + 400 - 02 + 500	58	Good	90	Excellent
STA 02 + 500 - 02 + 600	100	Excellent	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
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	10	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 merancang penanganan perkerasan yang seragam, dilakukan homogenisasi segmen berdasarkan kemiripan nilai PCI. Metode yang digunakan adalah *AASHTO Cumulative Difference Approach (CDA)* sesuai panduan *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (1993)*. Nilai Z_x yang diperoleh kemudian diplot terhadap jarak, dan segmentasi ditentukan berdasarkan perubahan arah kemiringan kurva. Berikut ditampilkan hasil perhitungan dan grafik CDA pada ruas kiri dan kanan Jalan Pangeran Tirtayasa.



Gambar 6. Hasil Perhitungan CDA ruas Kiri



Gambar 7. Hasil Perhitungan CDA ruas Kanan

Berdasarkan hasil perhitungan CDA, ruas kiri jalan Pangeran Tirtayasa

dibagi menjadi 6 segmen, dan ruas kanan dibagi menjadi 6 segmen. Berikut pembagian Segmen jalan berdasarkan Persentase luas kerusakan:

Tabel 9 Pembagian Segmen Ruas Kiri

Start Point	End Point	Panjang Segmen	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

Start Point	End Point	Panjang Segmen	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 11. Berikut ini adalah program penanganan pada setiap segmen jalan:

Tabel 11. Penanganan pada Ruas Kiri

Start Point	End Point	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

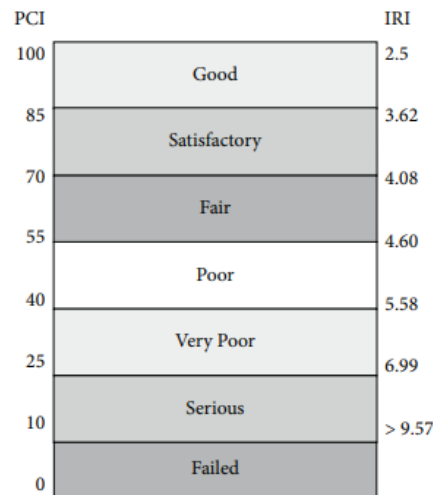
Tabel 12. Penanganan pada Ruas Kanan

Start Point	End Point	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 ruas Jalan Tirtayasa, rekonstruksi diperlukan pada segmen 4 dan 6 (ruas kiri) serta segmen 1, 4, dan 6 (ruas kanan). Pelapisan ulang dibutuhkan pada segmen 3 dan 5 di kedua ruas, sementara rehabilitasi diperlukan pada segmen 1 dan 2 (ruas kiri) serta segmen 2 (ruas kanan). Penanganan difokuskan pada segmen yang memerlukan rekonstruksi, mengingat keterbatasan data kondisi perkerasan sejak penanganan terakhir pada tahun 2014.

Nilai IRI dengan Konversi Nilai PCI

Dapat dilihat juga dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Sasan Adeli dkk dalam jurnal *Advances in Civil Engineering*, vol. 2021 bahwa nilai IRI dapat diperoleh dari komprasi dari nilai PCI. Hal itu berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan berdasarkan penelitian dalam jurnal tersebut.



Gambar 8. Konversi Nilai PCI ke Nilai IRI

Sumber: "Development of a Relationship between Pavement Condition Index and International Roughness Index in Rural Road Network", Advances in Civil Engineering, vol. 2021

Hasil dari konversi nilai IRI pada masing-masing segmen jalan adalah sebagai berikut:

Tabel 13. Konversi IRI Ruas Kiri

Start Point	End Point	PCI	IRI
STA 00 + 000	STA 00 + 800	28,6	7,15
STA 00 + 800	STA 02 + 300	41,9	5,87
STA 02 + 300	STA 02 + 900	74,5	4,13
STA 02 + 900	STA 03 + 400	36,6	6,16
STA 03 + 400	STA 04 + 000	67,0	4,15
STA 04 + 000	STA 04 + 500	6,4	9,60

Tabel 14. Konversi IRI Ruas Kanan

Start Point	End Point	PCI	IRI
STA 00 + 000	STA 01 + 100	52,82	4,83
STA 01 + 100	STA 02 + 000	39,89	5,73
STA 02 + 000	STA 03 + 200	73,42	3,98
STA 03 + 200	STA 03 + 500	32,33	6,27
STA 03 + 500	STA 04 + 000	73,80	4,00
STA 04 + 000	STA 04 + 500	5,00	9,30

Model Penurunan Kondisi Jalan

1. Model Penurunan IRI

Untuk menghitung estimasi nilai IRI pada tahun ke-n digunakan persamaan

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

berikut:

Dimana SNC adalah modified structural number dengan adanya pengaruh tanah dasar. Berikut contoh perhitungan model penurunan IRI untuk Segmen 6 ruas kiri setelah dilakukan rekonstruksi pada tahun 2022. Nilai IRI adalah 3 setelah dilakukan rekonstruksi.

$$SNC = SN + SNSG$$

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

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

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 IRI dan PCI pada umur rencana 20 tahun:

Tabel 15 Prediksi Nilai IRI Selama Umur Rencana 20 Tahun

Tahun	Tahun	CSA	IRI	Penanganan
0	2022	0,00	3,00	Pemeliharaan Rutin
1	2023	0,85	3,13	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

Tabel 16 Penurunan PCI Umur Rencana 20 Tahun

Tahun	Tahun	CESA	PCI	Penanganan
0	2022	0	100	Do Nothing
1	2023	8.466.652	95,8	Do Nothing
2	2024	17.342.243	92,6	Do Nothing
3	2025	26.646.525	89,2	Do Nothing
4	2026	36.400.204	85,8	Do Nothing
5	2027	46.624.986	82,0	Preventive Maintenance
6	2028	57.343.625	78,1	Preventive Maintenance
7	2029	68.579.974	73,9	Resurface
8	2030	80.359.038	69,3	Resurface
9	2031	92.707.031	64,5	Resurface
10	2032	105.651.433	59,4	Resurface
11	2033	119.221.049	54,0	Rehabilitation
12	2034	133.446.078	48,2	Rehabilitation
13	2035	148.358.175	42,0	Rehabilitation
14	2036	163.990.527	35,5	Reconstruction
15	2037	180.377.921	28,6	Reconstruction
16	2038	197.556.826	21,3	Reconstruction
17	2039	215.565.473	13,6	Reconstruction
18	2040	234.443.937	5,5	Reconstruction
19	2041	254.234.231	0	Reconstruction
20	2042	274.980.396	0	Reconstruction

Komparasi Kinerja PCI vs IRI Berdasarkan Data Jalan Pangeran Tirtayasa

Berdasarkan data survei PCI Muhammad Zaid (2021) dan model konversi Adeli er al. (2021), nilai IRI hasil konversi pada ruas Jalan Pangeran Tirtayasa berkisar antara 3.1 – 8.5 m/km, dengan kecenderungan:

- Segmen dengan PCI < 40 (rusak berat) memiliki IRI > 6 m/km (*rough*).
- Segmen dengan PCI 58–74 (sedang) menunjukkan IRI 4–6 m/km (*acceptable*).
- Hubungan matematis kedua parameter memenuhi persamaan: $IRI = 10.5 - 0.075 \times PCI + 0.0005 \times PCI^2$ ($R^2 = 0.91$).

Hal ini juga dapat diperkuat dengan mengacu pada gambar 1. Konversi Nilai PCI ke Nilai IRI

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. 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 sebagai acuan.

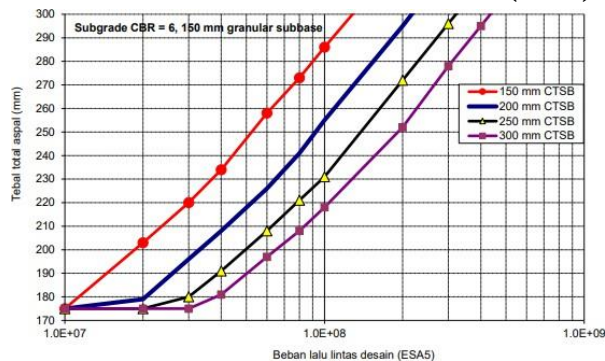
Stabilisasi semen pada material perkerasan umumnya dilaksanakan untuk mendaur ulang lapisan aspal eksisting dan material lapis fondasi agregat. Berikut contoh perhitungan rekonstruksi pada segmen 6 ruas kiri. Dengan CBR tanah dasar = 6 dan CESA5 sebesar 36.581.258, maka digunakan bagan desain sebagai

berikut:

Tabel 17 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					
CTRB + AC modifikasi					
CTRB + AC					
HRS + lapis fondasi agregat kelas A					
perkerasan tanpa penutup					

Sumber : Manual Desain Perkerasan (2017)



Gambar 9 Bagan Desain Ketebalan CTRB

Sumber : Manual Desain Perkerasan (2017) Maka didapatkan, tebal total aspal sebesar 205 mm, dengan tebal CTRB 200 mm dan tebal lapis pondasi a 150 mm

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 $IRI \leq 4$, 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). Ketebalan lapisan Overlay yang diperlukan untuk mencapai IRI 3, sesuai dengan Manual Desain Perkerasan Indonesia (MPD).

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 perhitungan tebal sebagai berikut:

$$SN = (K_i \times 1,05) + (K_g \times 2,135) \times CESA^{K_c \times 0,175} = 1$$

$$SN = a \times D$$

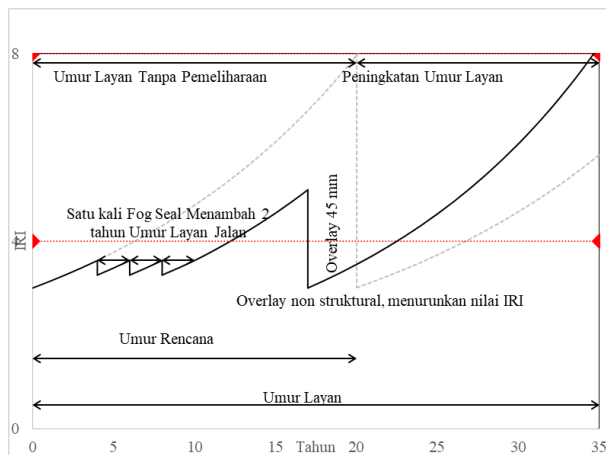
$$D = \frac{1}{0,31} = 3 \text{ inch} = 82 \text{ mm AC}$$

Berdasarkan tabel dibawah, maka tebal overlay pada alternative 2 adalah adalah 40 mm AC-WC dan 60 mm AC-BC dengan tebal total AC 100 mm.

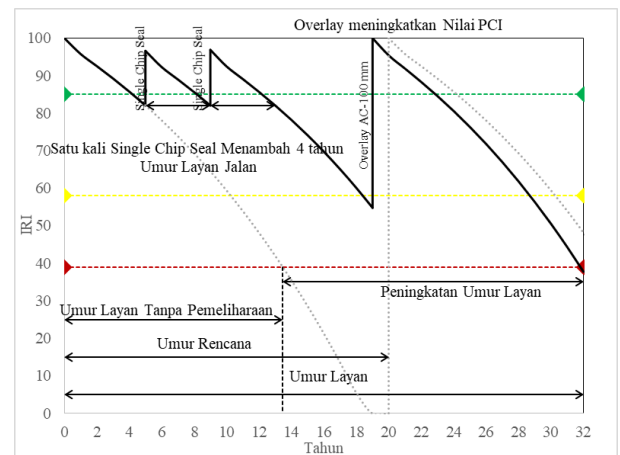
Tabel 18. Ketebalan Lapisan yang Diizinkan

Bahan	Tebal minimum (mm)	Tebal Yang Diperlukan (mm)	Diizinkan penghamparan dalam beberapa lapis
HRS WC	30	30 – 50	tidak
HRS Base	35	35 – 50	ya
AC WC	40	40 – 50	tidak
AC BC	60	60 – 80	ya
AC - Base	75	80 – 120	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas A (gradasi dengan ukuran maksimum 37,5 mm)	120	150 -200	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas B (gradasi dengan ukuran maksimum 50 mm)	150	150 – 200	ya
Lapis Fondasi Agregat Kelas S (gradasi dengan ukuran maksimum 37,5 mm)	120	125 – 200	ya
CTB (gradasi dengan ukuran maksimum 30 mm) atau LMC	100	150 – 200	tidak
Stabilisasi tanah atau kerikil alam	100	150 – 200	tidak
Kerikil alam	100	100 – 200	ya

Berikut scenario pemeliharaan jalan alternative 1 dengan model penurunan nilai IRI dan scenario pemeliharaan jalan alternative 2 dengan model penurunan nilai PCI:



Gambar 10. Skenario Pemeliharaan Alternatif 1



Gambar 11. Skenario Pemeliharaan Alternatif 2

Perhitungan Biaya Pekerjaan

Cara melakukan perhitungan biaya pekerjaan adalah dengan mengalikan volume pekerjaan dengan harga satuan pekerjaan. Sebagai contoh, perhitungan biaya pekerjaan akan dilakukan pada segmen 6 ruas kiri.

Tabel 19 Volume Pekerjaan Aspal Panas

	AC-WC	AC-BC	AC-Base
p	500	500	500
l	3	3	3
t	0,04	0,06	0,105
Volume	60	90	157,5
Massa Jenis	2,29	2,29	2,29
Volume	137,4	206,1	360,675

Tabel 20 Volume Pekerjaan Perkerasan Pondasi

	CTB	LPA
p	500	500
l	3	3
t	0,2	0,15
Volume	300	225

Tabel 21 Volume Pekerjaan Rehabilitasi

	Alternatif 1	Alternatif 2	
	AC-WC	AC-WC	AC-BC
p	500	500	500
l	3	3	3
t	0,045	0,04	0,06
Volume	67,5	60	90
Massa Jenis	2,29	2,29	2,29
Volume	154,575	137,4	206,1

Tabel 22. Volume Pekerjaan Fog Seal

p	500
l	3
Luas	1500
Koefisien	0,5
Volume	750

Tabel 23 Volume Pekerjaan Chip Seal

p	1600
l	3
Luas	4800

Setelah itu harga satuan pekerjaan dikalikan dengan volume pekerjaan untuk mendapatkan biaya pekerjaan. Berikut rekapitulasi biaya pekerjaan pada seluruh segmen jalan dengan alternative 1 dan alternatif 2:

Tabel 24 Rekapitulasi Biaya Pekerjaan

Pekerjaan	Alternatif 1	Alternatif 2
Rekonstruksi	Rp 842.525.238	Rp 842.525.238
Rehabilitasi	Rp 206.766.920	Rp 440.628.971
Pemeliharaan Rutin	Rp 13.846.040	Rp 18.939.309

Perkiraan Biaya Siklus Hidup

Pemilihan skenario pemeliharaan didasarkan pada analisis biaya siklus hidup (Life Cycle Cost Analysis/LCCA). Menurut FHWA (1998), periode analisis harus mencakup setidaknya satu kegiatan rehabilitasi. Perhitungan LCCA menggunakan nilai sekarang dari biaya masa depan untuk mempertimbangkan dampak inflasi tahunan. Dalam penelitian ini, tingkat inflasi yang digunakan adalah rata-rata 2,65% dari lima tahun terakhir (Mei 2017–Mei 2022). Berikut disajikan contoh perhitungan biaya siklus hidup untuk alternatif 1 pada segmen 6 ruas kiri (6L) dengan mempertimbangkan inflasi.

Perhitungan biaya pekerjaan Fog Seal di tahun pertama:

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

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

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

Setelah mendapatkan biaya pemeliharaan di masa mendatang, seluruh biaya pemeliharaan di setiap tahunnya diproyeksikan menjadi nilai saat ini

dengan adanya pengaruh suku bunga. Tingkat suku bunga yang digunakan pada penelitian ini merupakan tingkat suku bunga rata-rata yang diperoleh dari suku bunga BI 7-Day Repo Rate sebesar 4,51%.

Berikut merupakan perhitungan untuk mencari nilai sekarang dari biaya pemeliharaan di masa mendatang. Nilai sekarang dari biaya pekerjaan overlay di

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

tahun ke 17:

Seluruh nilai sekarang dari biaya masa depan pada rangkaian kegiatan pemeliharaan dijumlahkan, untuk mengetahui perkiraan total biaya pemeliharaan dalam nilai sekarang.

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

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

Berikut ini adalah tabel rekapitulasi biaya strategi pemeliharaan pada segmen 6 selama umur pemeliharaan

Tabel 25 Biaya Siklus Hidup Alternatif

Alternatif 1				
Tahun	Biaya Awal dan Pemeliharaan	Cmt	PV	
0	Rp 842.525.238	Rp 842.525.238	Rp 842.525.238	
1				
2				
3				
4	Rp 13.846.040	Rp 15.371.401	Rp 12.883.896	
5				
6	Rp 13.846.040	Rp 16.195.986	Rp 12.428.194	
7				
8	Rp 13.846.040	Rp 17.064.804	Rp 11.988.610	
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17	Rp 206.766.920	Rp 322.388.457	Rp 152.246.721	
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
PV+C1			Rp 1.032.072.659	

Tabel 26. Biaya Siklus Hidup Alternatif 2

Alternatif 2				
Tahun	Biaya Awal dan Pemeliharaan	Cmt	PV	
0	Rp 842.525.238	Rp 842.525.238	Rp 842.525.238	
1				
2				
3				
4				
5	Rp 18.939.309	Rp 21.582.361	Rp 21.582.361	
6				
7				
8				
9	Rp 18.939.309	Rp 23.960.000	Rp 23.960.000	
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19	Rp 440.628.971	Rp 723.878.047	Rp 723.878.047	
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
PV+C1			Rp 1.611.945.646	

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

Analisis Komparatif Alternatif 1 dengan Alternatif 2

Berdasarkan analisis *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) dan evaluasi kinerja perkerasan, strategi pemeliharaan berbasis *International Roughness Index* (IRI) atau Alternatif 1 menunjukkan keunggulan teknis dan ekonomis dibanding pendekatan berbasis *Pavement Condition Index* (PCI) atau Alternatif 2. Alternatif 1 menghasilkan efisiensi biaya sebesar 36%, dengan total pengeluaran Rp1,032 miliar dibanding Rp1,612 miliar pada Alternatif 2. Efisiensi ini dicapai melalui pemeliharaan rutin (fog seal tahun ke-4, 6, dan 8) serta overlay 45 mm pada tahun ke-17, yang lebih efektif dalam mencegah kerusakan struktural dibandingkan rehabilitasi berat.

Dari sisi ketahanan ekonomi, Alternatif 1 hanya mengalami kenaikan biaya 14,7% saat inflasi meningkat 25%, sedangkan Alternatif 2 naik hingga 18,2%. Secara teknis, pendekatan IRI mampu memperpanjang umur layan hingga 35 tahun dan menjaga nilai IRI di bawah batas gagal (8 m/km) selama 90% masa layanan berkat intervensi preventif saat kondisi jalan masih baik ($IRI \leq 4$ m/km).

Implikasi kebijakan merekomendasikan penerapan Alternatif 1 untuk Jalan Pangeran Tirtayasa, terutama karena sesuai dengan kondisi lalu lintas tinggi (CESA 27,5 juta ESA), tanah dasar lemah (CBR 6%), serta regulasi nasional (Manual Desain Perkerasan 2017 dan Permen PU No. 01/2021). Penghematan Rp580 juta dapat dialihkan untuk segmen jalan lain. Untuk optimalisasi, diperlukan dana cadangan 15–20%, pemanfaatan teknologi drone dan *machine learning*, serta sistem pelaporan partisipatif masyarakat. Strategi ini juga relevan untuk wilayah lain dengan karakteristik serupa, meski analisis lanjutan disarankan untuk mempertimbangkan *user cost* dan dampak perubahan iklim.

KESIMPULAN

1. Efektivitas strategi pemeliharaan berbasis IRI pada alternatif 1 lebih optimal secara teknis dan ekonomis, dengan penghematan biaya sebesar 36%, umur layanan 35 tahun, dan ketahanan inflasi yang lebih baik.
2. Integrasi PCI-IRI terbukti valid dengan nilai korelasi tinggi antara PCI dan IRI ($R^2 = 0.91$) memungkinkan deteksi dini kerusakan jalan sebelum degradasi struktur terjadi.
3. Pemeliharaan preventif saat $IRI \leq 4$ m/km efektif menjaga kualitas jalan di bawah ambang gagal ($IRI < 8$) selama 90% masa layan.
4. Strategi ini mendukung regulasi teknis nasional, yakni Manual Desain Perkerasan (2017) dan Permen PU No. 01/2021 tentang preservasi berkelanjutan.

SARAN

1. Disarankan penggunaan drone dan *machine learning* untuk pemantauan IRI secara *real-time*
2. Analisis biaya siklus hidup perlu memasukkan *user cost* untuk evaluasi yang lebih komprehensif, serta menguji material alternatif seperti geopolimer atau aspal daur ulang guna efisiensi biaya.
3. Diperlukan alokasi dana cadangan sebesar 15% untuk mengantisipasi inflasi, serta pertimbangan skema Kerja Sama Pemerintah dan Badan Usaha (KPBU) sebagai solusi pembiayaan jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] AASHTO, 1993. Guide for Design of Pavement Structures. 1993 ed. Washington, D.C.: American Association of The Highway and Transportation Officials.
- [2] Abisetyo, W., 2018. PREDIKSI UMUR SISA PERKERASAN LENTUR. Bandung
- [3] ASTM International, 2018. Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys.
- [4] Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017. Manual Desain Perkerasan Jalan.
- [5] Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018. SPESIFIKASI UMUM 2018 UNTUK PEKERJAAN KOSNTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN
- [6] Direktorat Preservasi Jalan, 2019. PEMROGRAMAN PRESERVASI JALAN
- [7] Kementrian Pekerjaan Umum, 2011. PERATURAN MENTERI PEKERJAAN UMUM.
- [8] Sinaga, H. P., 2011. Manajemen Preservasi Jalan. Cetakan Ke-1 ed. s.l.:Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan.
- [9] Wayan Diana, I. & Purba, A., 2019. Perencanaan Teknis Rehabilitasi Ruas jalan Tirtayasa,
- [10] 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)