

Penentuan Biaya Preservasi Berdasarkan Analisa Nilai Pemicu IRI PCI dan Lendutan Perkerasan pada Jalan Nasional di Sulawesi Utara

(Studi Kasus : Jalan Pierre Tendean, Jalan Samratulangi, Jalan Bethesda, dan Jalan Monginsidi)

Eucharis D. Monginsidi¹, Joice E. Waani², Lucia I. R. Lefrandt³

Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Samratulangi, Manado^{1,2,3}

E-mail: eucharismonginsidi25@gmail.com

Abstrak

Jalan Samratulangi, Jalan R.W. Monginsidi, Jalan Bethesda dan Jalan Pierre Tendean merupakan jalan nasional di Sulawesi Utara. Keempat ruas jalan ini jika dilihat sepintas berada dalam kondisi baik, sedang dan rusak ringan. Berdasarkan statusnya, ruas-ruas jalan ini diteliti dalam rangka melihat hubungan antara IRI, PCI dan Lendutan serta menghitung biaya tindakan preservasi. Kondisi fungsional Jalan Pierre Tendean, Jalan Sam Ratulangi, Jalan Bethesda, dan Jalan R.W Monginsidi berada dalam kondisi baik, sedang, dan rusak ringan memerlukan penanganan dari pemeliharaan, rehab minor, dan rehab mayor. Kondisi struktural Jalan Pierre Tendean, Jalan Sam Ratulangi, Jalan Bethesda, dan Jalan R.W Monginsidi berada dalam kondisi baik, sedang, rusak ringan dan rusak berat memerlukan penanganan dari pemeliharaan, rehab minor, rehab mayor, dan rekonstruksi. Biaya penanganan jalan nasional di Sulawesi Utara Jalan Pierre Tendean, Jalan Samratulangi, Jalan Bethesda, dan Jalan R.W Monginsidi berdasarkan nilai pemicu IRI, PCI dan lendutan harga perkiraan penanganan berdasarkan nilai IRI bernilai Rp34,275,452,571. Untuk harga analitis penanganan kondisi fungsional berdasarkan nilai IRI dan PCI Rp37,488,723,429 memiliki selisih (-Rp3,213,270,857) dan harga analitis penanganan kondisi struktural berdasarkan nilai lendutan dan modulus elastisitas Rp. Rp105,461,940,000 memiliki selisih (-Rp71,186,487,429). Dari hasil diharapkan dapat memberikan informasi kepada otoritas pengelola jalan mengenai hubungan tingkat kerusakan dan besarnya biaya.

Kata kunci: biaya preservasi, fwd, iri, pci.

Abstract

Sam Ratulangi Road, R.W. Monginsidi Road, Bethesda Road and Pierre Tendean Road are national roads in North Sulawesi. At first glance, these four roads are in good, moderate and slightly damaged condition. Based on their status, these road sections were examined to see the relationship between IRI, PCI and Deflection and calculate the cost of preservation measures. The functional condition of Pierre Tendean Road, Sam Ratulangi Road, Bethesda Road, and R.W Monginsidi Road is in good, moderate, and slightly damaged conditions requiring maintenance, minor rehabilitation, and major rehabilitation. The structural conditions of Pierre Tendean Road, Sam Ratulangi Road, Bethesda Road and R.W Monginsidi Road are in good, moderate condition, with minor damage and severe damage requiring maintenance, minor rehabilitation, major rehabilitation and reconstruction. The cost of handling national roads in North Sulawesi on Pierre Tendean Road, Sam Ratulangi Road, Bethesda Road, and R.W Monginsidi Road based on the trigger value of IRI, PCI and deflection estimated cost for handling based on the IRI value is IDR 34,275,452,571. The analytical price for handling functional conditions based on IRI and

PCI values is IDR 37,488,723,429, which has a difference (-RP 3,213,270,857), and the analytical price for handling structural conditions based on deflection and modulus of elasticity is IDR 105,461,940,000 has a difference (-IDR 71,186,487,429). The results are expected to provide information to the road management authority regarding the relationship between the level of damage and the amount of costs.

Keywords: *preservation cost, fwd, iri, pci*

1. PENDAHULUAN

Jalan adalah prasarana untuk menunjang laju ekonomi dan berfungsi sangat besar dalam hal kemajuan serta pertumbuhan suatu wilayah, Indonesia selaku salah satu negara yang berkembang sangat memerlukan kualitas serta kuantitas jalan yang digunakan untuk memenuhi keperluan warga guna menyelenggarakan bermacam tipe aktivitas ekonomi, termasuk aksesibilitas dan perpindahan barang dan jasa.

Pada keseluruhan jaringan jalan nasional di Indonesia sepanjang 46963,96 km, 40,46% berada pada kondisi baik, 50,50% berada pada kondisi sedang, 5,76% pada kondisi rusak ringan dan 2,97% berada pada kondisi rusak berat atau 91,27% pada kondisi mantap dan 8,73% dalam kondisi tidak mantap. Sedangkan kondisi jalan nasional di Sulawesi Utara ada sekitar 95,79% berada dalam kondisi mantap dan 4,21% dalam kondisi kurang mantap (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020). Persentase ini jika dihitung dalam kilometer panjang jalan berarti ada sekitar 1393,35 km jalan nasional dalam kondisi buruk atau rusak berat dan 2707,36 km dalam kondisi rusak ringan. termasuk didalamnya jalan nasional di sulawesi utara dimana 2,41 km dalam kondisi rusak berat dan 67,59 km dalam kondisi rusak ringan dan 921,55 km dalam kondisi sedang (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020). Gambaran ini mengindikasikan bahwa pemerintah masih mengalami kesulitan untuk menjaga jaringan jalan yang tetap dalam kondisi baik, terutama karena jumlah dana yang tersedia untuk kegiatan pemeliharaan dan peningkatan kondisi perkerasan jalan. Oleh karena itu perlu adanya sistem pengelolaan perkerasan jalan sebagai sistem manajemen perkerasan jalan *Pavement Management System* (PMS), yang mengintegrasikan data-data di tingkat proyek maupun di tingkat jaringan sebagai suatu sistem yang memberikan informasi prioritas dan cara penanganan yang tepat agar penanganan preservasi jalan dapat dilakukan tepat waktu dan tepat sasaran serta menghemat anggaran biaya (AASTHO, 2012).

Metode evaluasi kondisi jalan saat ini yang paling umum adalah IRI (International Roughness Index) dengan peralatan pengukur Roughometer NAASRA. Metode IRI tidak dapat menunjukkan kerusakan jalan secara penuh. Karena Roughometer NAASRA yang dipasang pada mobil hanya dapat mencatat nilai kerataan permukaan jalan yang dilewati oleh mobil yang menunjukkan tingkat kenyamanan bagi pengguna jalan raya dan tidak dilakukan secara periodik (Kalengkongan et al., 2021).

Selain metode IRI ada pula metode PCI (*Pavement Condition Index*) untuk menghitung tingkat kerusakan pada jalan, meskipun prosesnya lama data kerusakan jalan dapat menggambarkan kerusakan jalan secara keseluruhan. Metode PCI tidak cocok pada saat lalu lintas padat karena mengakibatkan masalah seperti kemacetan lalu lintas (Prabowo et al., 2013).

Evaluasi struktural digunakan untuk menentukan kemampuan perkerasan saat mendukung repetisi beban lalu lintas kendaraan selama umur rencana yang didapat oleh alat FWD (*Falling Weight Deflectometer*) (Birasungi et al., 2019). Horak et al., (2015) menghitung kekuatan struktur perkerasan jalan dengan menggunakan metode pendekatan nilai lendutan yang dihasilkan FWD,

metode ini dikenal sebagai cekung lendutan (deflection bowl) untuk menentukan jenis kondisi setiap lapis perkerasan diklasifikasikan berdasarkan hasil dari FWD yakni nilai lendutan. Nilai lendutan juga dipakai saat menentukan modulus elastisitas tiap lapis perkerasan, nilai modulus elastisitas dapat digunakan sebagai rujukan untuk menentukan jenis kondisi yang dialami oleh setiap lapis perkerasan. Nilai modulus elastisitas ini dihitung berdasarkan perhitungan balik (*back calculation*), pada tahun 1925 Westergaard mengusulkan konsep perhitungan balik, prinsip perhitungan ini menunjukkan bahwa modulus perkerasan jalan dapat dihitung dengan mempersamakan cekung lendutan teoritis dengan hasil survei. Data komposisi dan tebal lapisan perkerasan dapat digunakan untuk mengetahui besarnya lendutan perkerasan yang dihasilkan (modulus elastisitas dan rasio poisson), pengaruh lingkungan, dan konfigurasi beban roda. Teori lapis elastis memungkinkan perhitungan balik dilakukan secara manual. Namun, proses ini membutuhkan waktu yang sangat lama dan tidak efisien, sejumlah peneliti membuat beberapa program komputer yang dapat melakukan proses perhitungan balik, salah satunya adalah Elmod oleh Dynest, dan BAKFAA oleh *Federal Aviation Administration*.

Jalan Samratulangi, Jalan R.W. Monginsidi, Jalan Bethesda dan Jalan Pierre Tendean adalah merupakan jalan nasional yang ada di Sulawesi Utara. Keempat ruas jalan ini jika dilihat sepiintas lalu berada dalam kondisi baik, sedang dan rusak ringan. Berdasarkan (Sinaga, 2011) maka kondisi tersebut berada pada skor 2; 3 dan 4 dengan kebutuhan penanganan Pemeliharaan seperti pengecatan marka, lampu penerangan, dan rambu lalu lintas. Rehab minor seperti *patching*, *slurry seals*, *micro surfacing*, dan *fog seal*. Rehab mayor seperti *overlay* struktural. Rekonstruksi yakni mengganti hingga tanah dasar. Berdasarkan statusnya, ruas-ruas jalan ini dipilih untuk diteliti dalam rangka melihat hubungan antara IRI, PCI dan Lendutan serta menghitung besarnya biaya tindakan preservasi nilai pemicu yakni IRI, PCI dan Lendutan serta dapat memberikan informasi kepada otoritas pengelola jalan mengenai hubungan tingkat kerusakan dan besarnya biaya.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pengumpulan Data

Data Primer yang dibutuhkan adalah informasi tentang jenis kerusakan yang terjadi dan data dimensi kerusakan (panjang, lebar, dan kedalaman). Untuk mendapatkan data-data ini dilakukan dengan cara menghitung secara langsung di lokasi ruas jalan.

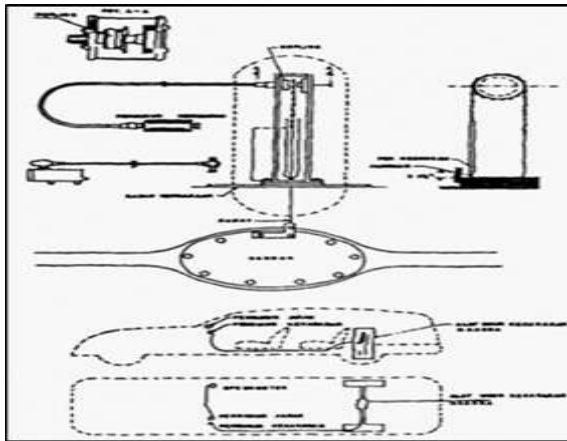
Data sekunder yang digunakan untuk penelitian ini adalah data tingkat kerataan permukaan jalan (IRI), data lendutan, data tebal dan data biaya preservasi jalan. Data-data ini memberikan gambaran menyeluruh tentang kondisi perkerasan lentur ruas yang ditinjau. yang diperoleh dari Badan Pelaksana Jalan Nasional Provinsi Sulawesi Utara.

2.2 Peralatan Penelitian

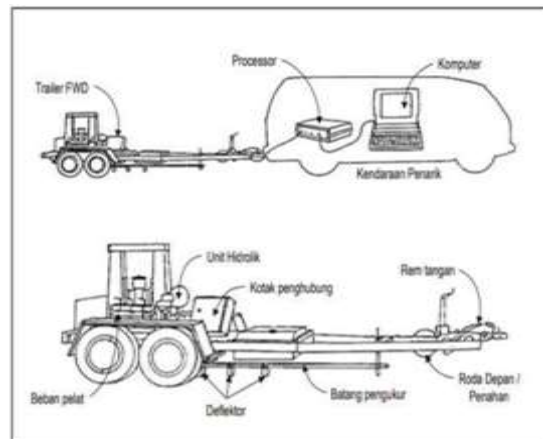
Perlengkapan yang dipakai untuk pengamatan tipe serta dimensi kerusakan perkerasan jalan yaitu:

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1. Kamera | 5. Jangka Sorong |
| 2. Alat ukur meteran | 6. Helm dan Rompi |
| 3. Penggaris | 7. Traffic Cone |
| 4. NAASRA (alat pengukuran IRI) | 8. <i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD) |

Gambar 1 dan 2 menunjukkan alat NAASRA dan FWD yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Alat NAASRA (Umum, 1994)



Gambar 2. Alat FWD(Umum, 2005)

2.3 Analisa

Analisis data kondisi fungsional dan struktural dilakukan berdasarkan segmentasi jalan untuk sinkronisasi posisi nilai IRI dari alat roughness meter, PCI, serta lendutan dari alat FWD. Tahapan analisa yang dilakukan yaitu:

- Penilaian Kondisi Fungsional Jalan berdasarkan Nilai IRI & Metode.
- Menghitung nilai lendutan metode cekung lendutan Horak dan Emery.
- Menganalisis Modulus Elastisitas menggunakan program Elmod 6.

Setelah mengetahui hasil kondisi jalan dari nilai IRI, nilai PCI, nilai lendutan, dan nilai Modulus Elastisitas selanjutnya ditentukan jenis kondisi dan rekomendasi penanganan. Pemeliharaan jalan masing-masing metode kemudian selanjutnya kombinasi antara metode untuk menemukan biaya perservasi terbaik untuk kondisi fungsional dan struktural. Kondisi fungsional nilai IRI dan PCI, kondisi struktural nilai lendutan dan modulus elastisitas (E).

2.4 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang diambil adalah 4 jalan nasional yang bertempat di Kota Manado yaitu, jalan pierre tendean, jalan samratulangi, jalan bethesda, dan jalan monginsidi untuk mempermudah penelitian maka dilakukan segmentasi mengikuti STA (*Stationing*) hasil pengujian FWD dengan panjang jalan. Jalan Pierre Tendea 3.42 km STA 100, 500, 1500, 2000, 2500, 3000, 3420. Jalan Samratulangi 3.25 km STA 100, 500, 3000, 3250. Jalan Bethesda 1.1 km STA 100, 500, 1100. Jalan Monginsidi 5.42 km 13.19 km STA 100, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3400, 3900 4300, 5100, 5420.

Gambar 3 menunjukkan peta lokasi penelitian yang diambil dari Google Earth, 2022.



Gambar 3. Lokasi Penelitian (Earth, 2022).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Jenis Kondisi berdasarkan Nilai IRI dan Rekomendasi Penanganan Jalan

Berdasarkan tabel 1 yang diambil dari (Umum, 2011) rangkuman nilai kerataan permukaan (IRI) hasil uji BPJN dengan alat roughometer NAASRA adalah sebagai berikut di jalan Pierre Tendean, jalan Sam Ratulangi, jalan Bethesda, dan jalan R.W Monginsidi memiliki nilai IRI dan PCI berkisar dari 3.81 sampai 8.53 untuk IRI atau berada dalam kondisi baik, sedang dan rusak ringan dan memerlukan penanganan pemeliharaan, rehab minor, rehab mayor.

Tabel 1. Rekomendasi Penanganan Jalan Berdasarkan Nilai IRI dan Penentuan Kondisi

No	Nilai IRI	Kondisi	Rekomendasi
1	<4	Baik	Pemeliharaan
2	4-8	Sedang	Rehab Minor
3	8-12	Rusak Ringan	Rehab Mayor
4	>12	Rusak Berat	Rekonstruksi

3.2 Analisis Jenis Kondisi berdasarkan Nilai PCI dan Rekomendasi Penanganan Jalan

Berdasarkan Tabel 2 yang diambil dari (Shahin, 1994) mengatakan Nilai PCI mempunyai bentang 0 hingga 100 dengan tolok ukur sempurna (*excellent*), amat baik (*very good*), baik (*good*), cukup (*fair*), jelek (*poor*), amat jelek (*very poor*) dan gagal (*failed*). Berdasarkan Tabel 3 yang diambil dari (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2021) maka hasil pengamatan dan perhitungan secara langsung dari Indeks Kondisi Perkerasan, (PCI) dirangkum sebagai berikut di jalan Pierre Tendean, jalan Sam Ratulangi, jalan Bethesda, dan jalan R.W Monginsidi memiliki nilai PCI berkisar 69 sampai 100 untuk PCI.

Tabel 2. Nilai PCI dan Kondisi Perkerasan

Nilai PCI	Kondisi Perkerasan
0-10	Gagal (<i>Failed</i>)
10-25	Amat Jelek (<i>Very Poor</i>)
25-40	Jelek (<i>Poor</i>)
40-55	Cukup (<i>Fair</i>)
55-70	Baik (<i>Good</i>)
70-85	Amat Baik (<i>Very Good</i>)
85-100	Sempurna (<i>Excellent</i>)

Tabel 3. Rekomendasi Penanganan Jalan berdasarkan Nilai PCI dan Penentuan Kondisi

No	Nilai PCI	Kondisi	Rekomendasi
1	>85	Baik	Pemeliharaan
2	70-85	Sedang	Rehab Minor
3	55-70	Rusak Ringan	Rehab Mayor
4	<25-55	Rusak Berat	Rekonstruksi

3.3 Analisis Jenis Kondisi berdasarkan Nilai Lendutan dan Rekomendasi Penanganan Jalan

Berdasarkan Tabel 4 yang diambil dari (Horak et al., 2015) Setiap bagian jalan memiliki nilai D_0 (lendutan maksimum). R_oC (lapisan permukaan), BLI (lapisan pondasi atas), MLI (lapisan pondasi bawah), dan LLI (lapisan tanah dasar). Nilai lendutan hasil uji alat FWD diolah hal ini dilakukan dengan menggunakan acuan Tabel 4 dan Tabel 5. Kondisi struktural berdasarkan nilai lendutan di empat ruas jalan nasional memiliki nilai lendutan berkisar dari 91.4 μm sampai 542.5 μm untuk lendutan maksimum, 62.97 m sampai 4443.7 m untuk lapis permukaan, 14.7 μm sampai 447.4 μm untuk lapis pondasi atas, 20.1 μm sampai 259.9 μm untuk lapis pondasi bawah, dan 22.4 μm sampai 66.7 μm untuk lapis tanah dasar.

Tabel 4. *Deflection Bowl* sebagai Kriteria Kondisi

<i>Structural Condition Rating</i>	<i>Deflection Bowl Parameters</i>				
	D_0 (μm)	R_oC (m)	BLI (μm)	MLI (μm)	LLI (μm)
<i>Sound</i>	<500	>100	<200	<100	<50
<i>Warning</i>	500-750	50-100	200-400	100-200	50-100
<i>Severe</i>	>750	<50	>400	>200	>100

Tabel 5. Rekomendasi Penanganan Jalan berdasarkan Nilai Lendutan dan Penentuan Kondisi

No	Kondisi Lapis Permukaan	Lapis Pondasi Atas	Lapis Pondasi Bawah	Lapis Tanah Dasar	Rekomendasi
1	<i>Sound</i>	<i>Sound</i>	<i>Sound</i>	<i>Sound</i>	Pemeliharaan
2	<i>Warning/Severe</i>	<i>Sound</i>	<i>Sound</i>	<i>Sound</i>	Rehab Minor
3	<i>Sound/Warning/Severe</i>	<i>Warning/Severe</i>	<i>Sound</i>	<i>Sound</i>	Rehab Minor

4	<i>Sound/Warning/Severe</i>	<i>Sound/Warning/Severe</i>	<i>Warning/Severe</i>	<i>Sound</i>	Rehab Mayor
5	<i>Sound/Warning/Severe</i>	<i>Sound/Warning/Severe</i>	<i>Sound/Warning/Severe</i>	<i>Warning/Severe</i>	Rekonstruksi

3.4 Analisis Jenis Kondisi berdasarkan Nilai Elastisitas dan Rekomendasi Penanganan Jalan

Berdasarkan tabel 6 yang diambil dari (D. R. Prabowo and Mulyono, 2016) Nilai E *backcalculation* >95% E awal = *Sound*, Nilai E *backcalculation* 50%-95% E awal = *Warning* Nilai E *backcalculation* <50% E awal = *Severe*. Nilai E awal adalah *Seed Moduli*.

Tabel 6. Rekomendasi Penanganan Jalan berdasarkan Modulus Elastisitas dan Penentuan Kondisi

No	Kondisi Lapis Permukaan	Lapis Pondasi Atas	Lapis Pondasi Bawah	Lapis Tanah Dasar	Rekomendasi
1	<i>Sound</i>	<i>Sound</i>	<i>Sound</i>	<i>Sound</i>	Pemeliharaan
2	<i>Warning/Severe</i>	<i>Sound</i>	<i>Sound</i>	<i>Sound</i>	Rehab Minor
3	<i>Sound/Warning/Severe</i>	<i>Warning/Severe</i>	<i>Sound</i>	<i>Sound</i>	Rehab Minor
4	<i>Sound/Warning/Severe</i>	<i>Sound/Warning/Severe</i>	<i>Warning/Severe</i>	<i>Sound</i>	Rehab Mayor
5	<i>Sound/Warning/Severe</i>	<i>Sound/Warning/Severe</i>	<i>Sound/Warning/Severe</i>	<i>Warning/Severe</i>	Rekonstruksi

Tabel 7 dari (*Federal Highway Administration*, 2017) yang menunjukkan bahwa lapisan permukaan terdiri dari *asphalt treated, crushed stone* di lapisan pondasi atas dan di lapisan pondasi bawah memiliki dan tanah dasar terdiri dari *soil aggregate mixture*, kondisi struktural nilai modulus elastisitas di empat jalan. Modulus elastisitas lapis permukaan berkisar 517. 6 MPa sampai 29549.2 MPa, modulus elastisitas lapis pondasi atas 90.97 MPa sampai 4427.71 MPa, modulus elastisitas lapis pondasi bawah 60.08 MPa sampai 2903.14 MPa, dan modulus elastisitas lapis tanah dasar 59.83 MPa sampai 777.47 MPa. Kerusakan struktural yang mengakibatkan retakan parah dapat menghasilkan modulus elastisitas *backcalculation* secara signifikan melebihi nilai moduli yang diharapkan dan memerlukan perbaikan.

Tabel 7. Moduli Range

Moduli Range Lapis Permukaan	Moduli Range Lapis Pondasi Atas	Moduli Range Lapis Pondasi Bawah	Moduli Range Lapis Tanah Dasar
700-25000 MPa	70-7000 Mpa	70-7000 Mpa	60-800 MPa

3.5 Kombinasi Kondisi Fungsional Nilai Kerataan Permukaan (IRI) Nilai PCI. Serta Kondisi Struktural Nilai Lendutan Metode Cekung Lendutan (Deflection Bowl) dan Modulus Elastisitas Elmod 6

Pada tahapan analisis kombinasi ini. rating kondisi setiap segmen jalan nilai IRI dan nilai PCI untuk kondisi fungsional serta nilai lendutan metode cekung lendutan (*Deflection Bowl*) oleh Horak dan Emery dan Modulus Elastisitas menggunakan program ELMOD 6 untuk kondisi struktural saling sanding dengan rekomendasi setiap segmen. Memakai *logical analysis* didapat rekomendasi kondisi terburuk pada setiap segmen jalan. yaitu dengan cara memilih rekomendasi terburuk dari tiap perbandingan untuk kondisi fungsional dan kondisi struktural.

Sepanjang jalan nasional Pierre Tendean, jenis kondisi dan saran penanganan fungsional gabungan dikelompokkan menjadi dua kategori, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 8:

- (1) kondisi baik pada STA 3000 atau sebesar 14.62% luas jalan membutuhkan penanganan pemeliharaan rutin kondisi yakni perbaikan lampu jalan dan trotoar yang rusak.
- (2) kondisi sedang pada STA 100, 500, 1500, 2000, 2500 dan 3420 atau sebesar 85.38% membutuhkan penanganan rehabilitasi minor yakni *slurry seals*.

Tabel 8. Nilai IRI-PCI Serta Rekomendasi Penanganan Kondisi Terburuk Jalan Pierre Tendean

STA	Nilai IRI	Nilai IRI-PCI	Rekomendasi
100	5.00	100	Rehab Minor
500	5.21	100	Rehab Minor
1500	4.47	100	Rehab Minor
2000	4.49	100	Rehab Minor
2500	3.92	82	Rehab Minor
3000	3.96	100	Pemeliharaan
3420	3.91	88	Rehab Minor

Sepanjang jalan nasional Sam Ratulangi, jenis kondisi dan saran penanganan fungsional gabungan dikelompokkan menjadi dua kategori, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 9 :

- (1) kondisi sedang pada STA 100, 3000, dan 3250 atau sebesar 87.69% luas jalan membutuhkan penanganan rehab minor yakni *slurry seals*, *micro surfacing*, dan *fog seal*.
- (2) kondisi sedang pada STA 500 atau sebesar 12.31% membutuhkan penanganan rehab mayor yakni *overlay*.

Sepanjang jalan nasional Bethesda, jenis kondisi dan saran penanganan fungsional gabungan dikelompokkan menjadi dua kategori, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 10 :

- (1) kondisi sedang pada STA 100 dan 500 atau sebesar 45.45% luas jalan membutuhkan penanganan rehab minor yakni *slurry seals*, *micro surfacing*, dan *fog seal*.
- (2) kondisi sedang pada STA 1100 atau sebesar 54.55% membutuhkan penanganan pemeliharaan rutin kondisi yakni perbaikan rambu lalu lintas, dan pengecatan marka.

Tabel 9. Nilai IRI-PCI Serta Rekomendasi Penanganan Kondisi Terburuk Jalan Samratulangi

STA	Nilai IRI	Nilai IRI-PCI	Rekomendasi
100	5.20	100	Rehab Minor
500	8.53	69	Rehab Mayor
3000	5.95	79	Rehab Minor
3250	6.23	100	Rehab Minor

Tabel 10. Nilai IRI-PCI Serta Rekomendasi Penanganan Kondisi Terburuk Jalan Bethesda

STA	Nilai IRI	Nilai IRI-PCI	Rekomendasi
100	4.05	100	Rehab Minor
500	4.19	80	Rehab Minor
1100	3.89	100	Pemeliharaan

Sepanjang jalan nasional Monginsidi, jenis kondisi dan saran penanganan fungsional gabungan dikelompokkan menjadi dua kategori, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 11 :

(1) kondisi sedang pada STA 100, 500, 1000, 1500, 2000, 3000, 3400, 3900, 4300, dan 5100 atau sebesar 84.87% luas jalan membutuhkan penanganan rehab minor yakni *slurry seals*, *micro surfacing* dan *fog seal*.

(2) kondisi baik pada STA 2500 dan 5420 atau sebesar 15.13% membutuhkan penanganan pemeliharaan rutin kondisi yakni pengecatan marka, perbaikan rambu dan lampu lalu lintas.

Sepanjang jalan nasional Pierre Tendean, jenis kondisi dan saran penanganan struktural gabungan dikelompokkan menjadi dua kategori, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 12 :

(1) kondisi rusak ringan pada STA 500, 1500, dan 2000, atau 44.44% luas jalan membutuhkan penanganan rehab mayor yakni *overlay*.

(2) kondisi rusak berat pada STA 100, 2500, 3000, dan 3420 atau sebesar 55.56% membutuhkan penanganan rekonstruksi yakni perbaikan keseluruhan sampai tanah dasar.

Sepanjang jalan nasional Sam Ratulangi, jenis kondisi dan saran penanganan struktural gabungan dikelompokkan menjadi tiga kategori, seperti yang ditunjukkan dalam tabel 13 :

(1) kondisi baik pada STA 3000 dan 3250 atau 84.62% luas jalan membutuhkan penanganan pemeliharaan rutin kondisi yakni pengecatan marka, perbaikan rambu dan lampu lalu lintas.

(1) kondisi sedang pada STA 500 atau 12.31% luas jalan membutuhkan penanganan rehab minor yakni *slurry seals*, *micro surfacing*, dan *fog seal*.

(2) kondisi rusak berat pada STA 100 atau sebesar 3.08% membutuhkan penanganan rekonstruksi yakni perbaikan keseluruhan sampai tanah dasar.

Tabel 11. Nilai IRI-PCI Serta Rekomendasi Penanganan Kondisi Terburuk Jalan Monginsidi

STA	Nilai IRI	Nilai IRI-PCI	Rekomendasi
100	5.35	100	Rehab Minor
500	4.52	88	Rehab Minor
1000	4.05	90	Rehab Minor
1500	4.64	82	Rehab Minor
2000	4.67	100	Rehab Minor
2500	3.81	90	Pemeliharaan
3000	4.24	88	Rehab Minor
3400	5.43	100	Rehab Minor
3900	5.22	100	Rehab Minor
4300	5.94	100	Rehab Minor
5100	4.73	76	Rehab Minor
5420	3.86	90	Pemeliharaan

Tabel 12. Nilai Lendutan- Elastisitas Serta Rekomendasi Penanganan Jalan Pierre Tendeau

STA	RoC	BLI	MLI	LLI	E1	E2	E3	E4	Rekomen dasi
100	203.54	89.5	114.7	27.5	1256.49	3702.2	209.4	122.45	Rekonstruksi
500	203.54	89.5	114.7	27.5	1021.32	4427.71	87.46	178.54	Rehab Mayor
1500	767.43	182.3	149.8	50.7	5314.68	144.34	136.13	184.35	Rehab Mayor
2000	1634.27	179.2	126.9	23.7	5314.68	129.91	90.21	231.52	Rehab Mayor
2500	459.2	116.5	259.9	36.7	13784.92	90.97	84.93	59.83	Rekonstruksi
3000	83.69	260	239.3	43.2	2673	121.54	114.02	114.98	Rekonstruksi
3420	433.87	53.7	53.6	63.5	8146.47	1003.33	1513.64	262.49	Rekonstruksi

Tabel 13. Nilai Lendutan- Elastisitas Serta Rekomendasi Penanganan Jalan Samratulangi

STA	RoC	BLI	MLI	LLI	E1	E2	E3	E4	Rekomen dasi
100	739.46	43.3	62.8	62.1	11905.16	1284.04	219.08	227.15	Rekonstruksi
500	71.93	172.8	30	38.2	960.4	354.78	1901.37	412.75	Rehab Minor
3000	720.15	27.7	20.1	43.6	9180.12	3800.48	2903.14	379.41	Pemeliharaan
3250	453.68	90.3	27	39.3	6727.15	548.14	1017.53	525.71	Pemeliharaan

Sepanjang jalan nasional Bethesda, jenis kondisi dan saran penanganan struktural gabungan dikelompokkan menjadi tiga kategori, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 14 :

- (1) kondisi baik pada STA 100 atau 9.09% luas jalan membutuhkan penanganan pemeliharaan rutin kondisi yakni pengecatan marka, perbaikan rambu dan lampu lalu lintas.
- (2) kondisi rusak ringan pada STA 500 atau 36.36% luas jalan membutuhkan penanganan rehab minor yakni *slurry seals*, *micro surfacing*, dan *fog seal*.
- (3) kondisi rusak berat pada STA 1100 atau sebesar 54.55% membutuhkan penanganan rekonstruksi yakni perbaikan keseluruhan sampai tanah dasar.

Tabel 14. Nilai Lendutan- Elastisitas Serta Rekomendasi Penanganan Jalan Bethesda

STA	RoC	BLI	MLI	LLI	E1	E2	E3	E4	Rekomen dasi
100	417.97	52.1	38.3	37.2	5456.48	1734.67	887.53	442.67	Pemeliharaan
500	101.79	196.1	230.3	66.7	2970	207.9	96.19	113.94	Rekonstruksi
1100	440.29	45.5	93.9	49	4260.31	2685.87	115.26	304.17	Rehab Mayor

Sepanjang jalan nasional Monginsidi, jenis kondisi dan saran penanganan struktural gabungan dikelompokkan menjadi empat kategori, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 15 :

- (1) kondisi baik pada STA 2500 atau 9.23% luas jalan membutuhkan penanganan pemeliharaan rutin kondisi yakni pengecatan marka, perbaikan rambu dan lampu lalu lintas.
- (2) kondisi sedang pada STA 100, 1000, dan 4300 atau 18.45% luas jalan membutuhkan penanganan rehab minor yakni *slurry seals*, *micro surfacing*, dan *fog seal*.

(3) kondisi rusak ringan pada STA 2000, 3000, dan 3900 atau 27.68% luas jalan membutuhkan penanganan rehab mayor yakni *overlay*.

(4) kondisi rusak berat pada STA 500, 1500, 3400, 5100, dan 5420 atau sebesar 46.65% membutuhkan penanganan rekonstruksi yakni perbaikan keseluruhan sampai tanah dasar.

Tabel 15. Nilai Lendutan- Elastisitas Serta Rekomendasi Penanganan Jalan Monginsidi

STA	RoC	BLI	MLI	LLI	E1	E2	E3	E4	Rekomen dasi
100	67.35	159.3	93.85	42.5	558.03	1225.96	608.6	311.59	Rehab Minor
500	168.89	138.4	132.95	55.15	2881.79	493.93	141.22	236.47	Rekon struksi
1000	70.88	156.7	92.7	46.55	652.67	835.45	756.84	269.77	Rehab Minor
1500	98.68	116	56.8	53.21	679.36	1265.46	1478.27	263.74	Rekon struksi
2000	351.5	64.25	87.19	36.12	3166.99	2281.31	66.23	616.52	Rehab Mayor
2500	4443.7	51.74	37.52	36.3	15163.41	751.9	574.37	434.47	Pemeli haraan
3000	4338.9	14.7	130.4	44.4	29549.2	143.59	60.08	482.75	Rehab Mayor
3400	62.97	195.1	106.6	38.7	517.6	799.76	762.1	106.95	Rekon struksi
3900	280.18	75.1	86.6	48.7	5631.39	1631.76	74.38	373.25	Rehab Mayor
4300	122.43	99.9	61.1	22.4	1762.29	1210.95	546.22	777.47	Rehab Minor
5100	3807.49	447.4	30.7	39.2	1771.47	118.1	90.21	137.21	Rekon struksi
5420	3807.49	447.4	30.7	39.2	1771.47	118.1	90.21	137.21	Rekon struksi

3.6 Biaya Preservasi Jalan Nasional di Sulawesi Utara Berdasarkan Evaluasi Fungsional dan Evaluasi Struktural

Tahapan ini adalah untuk membandingkan biaya penanganan pemeliharaan jalan tiap segmen berdasarkan kondisi fungsional analisis nilai kerataan permukaan (IRI) dan nilai *Pavement Condition Index* (PCI), kondisi struktural nilai lendutan dan nilai modulus modulus. Biaya preservasi jalan nasional diilustrasikan berdasarkan harga perkiraan pekerjaan diambil dari kondisi IRI. Memakai hasil dari masing-masing analisis penentuan kondisi dan jenis penanganan yang berbeda-beda yang diberikan pada penjelasan sebelumnya, dilakukan perbandingan biaya untuk menentukan jumlah biaya penanganan yang diperlukan untuk setiap segmen ruas jalan yang diteliti. Tabel 16 menunjukkan Harga perkiraan satuan penanganan preservasi jalan nasional per kilometer tahun 2020 yang didapatkan dari BPJN Provinsi Sulawesi.

Tabel 16. Harga Perkiraan Satuan Penanganan Alokasi per Kilometer Lebar Jalan 7 Meter

Lingkup Penanganan	Alokasi (Rp)
Pemeliharaan Rutin Kondisi	62,600,000
Rehabilitasi Minor	2,100,000,000

Rehabilitasi Mayor	3,700,000,000
Rekonstruksi	9,000,000,000

Hasil akhir dari efektivitas pendanaan penanganan jalan secara keseluruhan dan per segmennya. Efektivitas ditunjukkan oleh perbedaan antara harga perkiraan pekerjaan (berdasarkan kondisi nilai IRI) dan harga versi analitis (berdasarkan kondisi fungsional dan struktural dengan *logical analysis*). Efektivitas pada penelitian ini merupakan tingkatan sejauh mana penanganan pemeliharaan jalan tepat sasaran. Jika terdapat rupiah minus (-) dan plus (+) pada segmentasi tertentu berarti penanganan yang tidak efektif sebesar rupiah tersebut. Segmentasi efektivitas 0 menunjukkan pemeliharaan yang tepat (Samosir and Mulyono, 2017).

Untuk keseluruhan biaya yang diperlukan dirangkum sebagai berikut:

1. Biaya preservasi Jalan Pierre Tendean harga perkiraan satuan penanganan berdasarkan nilai IRI bernilai Rp9,452,386,286 untuk versi analitis kondisi fungsional berdasarkan nilai IRI dan PCI Rp12,665,657,143 memiliki selisih (-Rp3,213,270,857). untuk versi analitis kondisi struktural berdasarkan nilai lendutan dan modulus elastisitas Rp51,620,000,000 memiliki selisih (-Rp42,167,613,714).
2. Biaya preservasi Jalan Samratulangi harga perkiraan satuan penanganan berdasarkan nilai IRI bernilai Rp7,517,142,857 untuk versi analitis kondisi fungsional berdasarkan nilai IRI dan PCI Rp7,517,142,857 memiliki selisih (Rp0). untuk versi analitis kondisi struktural berdasarkan nilai lendutan dan modulus elastisitas Rp3,120,577,143 memiliki selisih (+Rp4,396,565,714).
3. Biaya preservasi Jalan Bethesda harga perkiraan satuan penanganan berdasarkan nilai IRI bernilai Rp1,398,291,429 untuk versi analitis kondisi fungsional berdasarkan nilai IRI dan PCI Rp1,398,291,429 memiliki selisih (Rp0). untuk versi analitis kondisi struktural berdasarkan nilai lendutan dan modulus elastisitas Rp6,256,620,000 memiliki selisih (-Rp4,858,328,571).
4. Biaya preservasi Jalan Monginsidi harga perkiraan satuan penanganan berdasarkan nilai IRI bernilai Rp15,907,632,000 untuk versi analitis kondisi fungsional berdasarkan nilai IRI dan PCI Rp15,907,632,000 memiliki selisih (Rp0). untuk versi analitis kondisi struktural berdasarkan nilai lendutan dan modulus elastisitas Rp44,464,742,857 memiliki selisih (-Rp28,557,110,857).

5. KESIMPULAN

Kondisi fungsional Jalan Pierre Tendean, Jalan Sam Ratulangi, Jalan Bethesda, dan Jalan R.W Monginsidi berada dalam kondisi baik, sedang, dan rusak ringan memerlukan penanganan dari pemeliharaan, rehab minor, dan rehab mayor. Kondisi struktural Jalan Pierre Tendean, Jalan Sam Ratulangi, Jalan Bethesda, dan Jalan R.W Monginsidi berada dalam kondisi baik, sedang, rusak ringan dan rusak berat memerlukan penanganan dari pemeliharaan, rehab minor, rehab mayor, dan rekonstruksi Biaya penanganan jalan nasional di Sulawesi Utara berdasarkan nilai pemicu IRI, PCI dan lendutan Jalan Pierre Tendean, Jalan Sam Ratulangi, Jalan Bethesda, dan Jalan R.W Monginsidi versi proyek berdasarkan nilai IRI bernilai Rp34,275,452,571 Untuk versi analitis kondisi fungsional berdasarkan nilai IRI dan PCI Rp37,488,723,429 memiliki selisih (-Rp3,213,270,857) dan versi analitis kondisi struktural berdasarkan nilai lendutan dan modulus elastisitas Rp105,461,940,000 memiliki selisih (-Rp71,186,487,429). Oleh sebab itu Nilai Indeks Kerataan Permukaan (IRI) sebelum menjadi tinggi sebaiknya segera dilakukan perbaikan kondisi fungsional jalan agar tidak terjadi kerusakan yang lebih parah. Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional/Balai Pelaksanaan Jalan Nasional atau P2JN harus melakukan uji mutu nilai FWD perkerasan jalan jika nilai IRI telah tinggi, hal ini dimaksudkan untuk digunakan sebagai referensi saat menetapkan penanganan rehab atau rekonstruksi jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- AASTHO. (2012). *Pavement Management Guide* (Second). Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Birasungi, C. F., Waani, J. E., and Manoppo, M. R. E. (2019). Evaluasi Struktur Perkerasan Lentur menggunakan Metode Bina Marga 2013 (Studi Kasus: Ruas Jalan Yos Sudarso Manado). *Jurnal Sipil Statik*, 7(1), 137–146.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2020). *Buku Kondisi Jalan Nasional 2020 Semester II*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2021). *Pd No.07/P/BM/2021 Perencanaan dan Pemrograman Pekerjaan Preservasi Jaringan Jalan (Bagian dari Manajemen Aset Prasarana Jalan)*.
- Federal Highway Administration. (2017). Using Falling Weight Deflectometer Data with Mechanistic Empirical Design and Analysis, Volume III: Guidelines for Deflection Testing, Analysis, and Interpretation. In *Report No. FHWA-HRT-16-011*.
- Horak, E., Hefer, A., Emery, S., and Maina, J. (2015). Flexible Road Pavement Structural Condition Benchmark Methodology Incorporating Structural Condition Indices Derived from Falling Weight Deflectometer Deflection Bowls. *Journal of Civil Engineering and Construction*, 4(1), 12.
- Kalengkongan, L. O., Waani, J. E., and Rompis, S. Y. R. (2021). Model Hubungan antara Ketidakrataan Permukaan Jalan dengan Nilai Kerusakan Permukaan Jalan pada Ruas Jalan Nasional di Kota Manado (Studi Kasus : Ruas Jalan Batas Kota Manado - Tomohon dan Jalan Monginsidi). *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 11(2), 135–144.
- Prabowo, D. R., and Mulyono, A. T. (2016). Program Pemeliharaan Jalan Nasional berdasarkan Nilai Kerataan Permukaan, Nilai Lendutan, dan Nilai Modulus Elastisitas Perkerasan. *Journal Unpar*, 2(1), 63–70.
- Prabowo, G. A., Rahmawati, V. D., Djakfar, L., and Wicaksono, A. (2013). Studi Hubungan antara Nilai Kerusakan Permukaan Jalan (PCI) dengan Nilai Ketidakrataan Jalan (IRI) (Studi Kasus : Jalan Provinsi di Upt Mojokerto). *Jurnal Civitas Akademik*.
- Samosir, D. M., and Mulyono, A. T. (2017). Biaya Preservasi Jalan Nasional berdasarkan Analisis Nilai Kerataan Permukaan dan Nilai Lendutan Perkerasan terhadap Program Pendanaan Proyek Pemeliharaan Jalan. *Jurnal HPJII*, 3(2), 107–118.
- Shahin, M. Y. (1994). *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*. New York: Springer.
- Sinaga, H. P. (2011). *Manajemen Preservasi Jalan untuk Pengelolaan Jaringan Jalan Wilayah*. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum Badan Penelitian dan Pengembangan Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan.
- Umum, K. P. (1994). *SNI 03-3426-1994 Tata Cara Survei Kerataan Permukaan Perkerasan Jalan dengan Alat Ukur Kerataan NAASRA*.
- Umum, K. P. (2005). *Pd T-05-2005-B, Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metoda Lendutan*. Jakarta.
- Umum, K. P. (2011). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 13/PRT/M/2011 Tentang Tata Cara Pemeliharaan dan Penilikan Jalan*. Jakarta.