

PENILAIAN KONDISI PERKERASAN JALAN MENGUNAKAN METODE *SURFACE DISTRESS INDEX* (SDI) DAN *PAVEMENT CONDITION INDEX* (PCI)

Ni Putu Ananda Sharirha Putri
Teknik Sipil
Politeknik Negeri Bali
Kampus Politeknik Negeri Bali,
Bukit Jimbaran, Kuta Selatan,
Kab. Badung, Bali 80361

Putu Hermawati¹
Teknik Sipil
Politeknik Negeri Bali
Kampus Politeknik Negeri Bali,
Bukit Jimbaran, Kuta Selatan,
Kab. Badung, Bali 80361

Fransiska Moi
Teknik Sipil
Politeknik Negeri Bali
Kampus Politeknik Negeri Bali,
Bukit Jimbaran, Kuta Selatan,
Kab. Badung, Bali 80361

Abstract

Road pavements are crucial components of transportation infrastructure, impacting the safety and comfort of road users. Regular assessment is essential to gauge pavement condition, evaluate performance, and identify damage extent. This study assessed pavement conditions using the Surface Distress Index (SDI) and Pavement Condition Index (PCI). Field data was collected, detailing pavement type and damage levels, which were then analyzed using predefined SDI and PCI parameters. Findings indicate that Jalan Gunung Agung's pavement has an average SDI of 18 (Good) and an average PCI of 63.8 (Good). Technical solutions for the flexible pavement of Jalan Gunung Agung are P2 (Asphalt), P4 (Crack filling), P5 (Patching), and P6 (Flattening).

Keywords: rating, damage, road, SDI, PCI

Abstrak

Perkerasan jalan memegang peran penting dalam infrastruktur transportasi yang memengaruhi keamanan dan kenyamanan para pengguna jalan. Oleh karena itu, penilaian berkala mengenai kondisi perkerasan jalan sangat diperlukan untuk menentukan tingkat kerusakan dan mengevaluasi performa jalan tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kondisi perkerasan jalan dengan menggunakan metode *Surface Distress Index* (SDI) dan *Pavement Condition Index* (PCI). Metode penelitian ini melibatkan pengumpulan data lapangan mengenai kondisi perkerasan jalan, termasuk jenis dan tingkat kerusakan yang terdapat pada perkerasan tersebut. Data ini kemudian dianalisis dengan menggunakan rumus dan parameter yang telah ditetapkan dalam metode SDI dan PCI. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, ditemukan bahwa nilai rata-rata SDI untuk perkerasan lentur Jalan Gunung Agung adalah 18 (Baik) dan nilai rata-rata PCI adalah 63,8 (Baik). Penanganan teknis yang dapat diterapkan pada perkerasan lentur Jalan Gunung Agung mencakup P2 (Pengaspalan), P4 (Pengisian retak), P5 (Penambalan lubang), dan P6 (Perataan).

Kata kunci: penilaian, kerusakan, jalan, SDI, PCI

PENDAHULUAN

Kabupaten Tabanan adalah salah satu wilayah di Provinsi Bali yang terletak di bagian selatan Pulau Bali dengan luas wilayah mencapai 839,33 km² yang meliputi daerah pegunungan dan pantai. Secara geografis, wilayah Kabupaten Tabanan terletak di antara 114° 54' 52" bujur timur dan 80° 14' 30" - 80° 30' 07" lintang selatan (Pemerintah Kabupaten Tabanan, 2023). Panjang total jalan di Kabupaten Tabanan mencakup Jalan Nasional sepanjang 65,381 Km, Jalan Provinsi 130,780 Km, dan jalan milik pemerintah kota selama 863,218 Km, sehingga total panjang jalan mencapai 1.059,379 Km (Naraputra, 2022). Saat ini, sejumlah jalan di kabupaten ini mengalami kerusakan perkerasan, yang berdampak pada kenyamanan dan kerugian langsung bagi pengguna jalan (Fatikasari, 2021). Salah satu jalan yang mengalami

¹ Corresponding author: hermawati@pnb.ac.id

kerusakan adalah Jalan Gunung Agung yang terletak di Desa Dajan Peken, Kecamatan Tabanan. Jalan ini termasuk dalam kategori jalan provinsi dan jenis kolektor primer dengan panjang 1,62 Km. Jalan Gunung Agung memiliki lebar rata-rata 7,358 meter dan perkerasan lentur serta *paving block*. Jalan ini digunakan oleh berbagai jenis kendaraan, termasuk kendaraan berat yang mengangkut berbagai bahan. Namun, Jalan Gunung Agung mengalami kerusakan seperti berlubang, retak, dan kerusakan lainnya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi permukaan jalan dengan metode survei visual menggunakan *Surface Distress Index* (SDI) dan *Pavement Condition Index* (PCI). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi jenis kerusakan, mengukur persentase kerusakan, dan menentukan nilai indeks kondisi permukaan perkerasan lentur pada STA 0+000 hingga STA 1+620 di Jalan Gunung Agung, Desa Dajan Peken, Kecamatan Tabanan, Kabupaten Tabanan.

METODE PENELITIAN

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah pengumpulan data primer yaitu data kerusakan perkerasan jalan berupa jenis kerusakan, dimensi kerusakan, dan dokumentasi melalui survei visual menggunakan formulir survei kondisi jalan. Selanjutnya dilakukan pengukuran luas masing-masing segmen jalan yang dibagi per 100 meter. Setelah pengumpulan data primer, penulis menganalisis data tersebut sehingga didapatkan nilai SDI dan PCI. Penulis lalu menganalisis solusi tentang penanganan teknis jalan tersebut. Terakhir, penulis membuat kesimpulan dari penelitian ini. Denah lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Denah lokasi penelitian

PEMBAHASAN

Jenis Kerusakan

Jenis kerusakan yang terdapat pada perkerasan lentur jalan Gunung Agung STA 0+000 sampai dengan STA 1+620, dapat dilihat pada tabel 1.

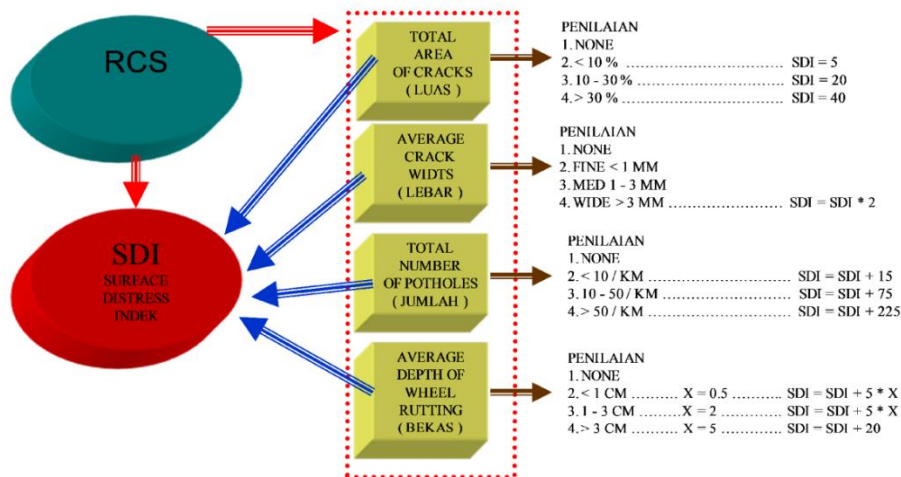
Tabel 1. Jenis Kerusakan yang terdapat pada perkerasan lentur Jalan Gunung Agung

No.	Jenis Kerusakan	Total Luas (m ²)
1	Alur (<i>Rutting</i>)	7.85
2	Jembul (<i>Swell</i>)	56.432
3	Lubang (<i>Potholes</i>)	0.32
4	Pelepasan butir (<i>Ravelling</i>)	71.001
5	Retak Memanjang (<i>Longitudinal Cracking</i>)	81.91
6	Retak Kulit Buaya (<i>Alligator Cracking</i>)	415.02
7	Tambalan (<i>Patching</i>)	58.3695
	Total	690.9025

Penilaian Berdasarkan Metode *Surfaces Distress Index* (SDI)

Adapun langkah-langkah pengukuran kerusakan perkerasan jalan dengan metode SDI adalah:

1. Menghitung SDIa berdasarkan total luas retak per segmen
2. Menghitung SDIb berdasarkan rata-rata lebar retak per segmen
3. Menghitung SDIc berdasarkan jumlah lubang per Km
4. Menghitung SDId berdasarkan rata-rata kedalaman alur (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010)



Gambar 2. Penilaian kerusakan jalan dengan metode SDI

Rekapitulasi indek penilaian Jalan Gunung Agung berdasarkan metode SDI dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi indeks penilaian Jalan Gunung Agung berdasarkan metode SDI

Segmen	STA	Luas Retak (%)	Lebar Retak (mm)	Jumlah Lubang (/Km)	Kedalaman Alur (cm)
I	(STA 0+170 s/d STA 0+270)	2	1-3 mm	0	1.5
II	(STA 0+270 s/d STA 0+370)	0.215	1-3 mm	0	0
III	(STA 0+370 s/d STA 0+470)	0.432	>3 mm	1	0
IV	(STA 0+470 s/d STA 0+570)	2.426	>3mm	1	2.2
V	(STA 0+570 s/d STA 0+670)	14.206	>3mm	0	0
VI	(STA 0+670 s/d STA 0+770)	6.028	>3mm	0	0
VII	(STA 0+770 s/d STA 0+870)	2.831	>3mm	0	0
VIII	(STA 0+870 s/d STA 0+970)	2.160	>3mm	0	2
IX	(STA 0+970 s/d STA 1+070)	0.406	>3mm	0	0
X	(STA 1+070 s/d STA 1+170)	2.8517	>3mm	0	0
XI	(STA 1+170 s/d STA 1+270)	9.520	>3mm	0	0
XII	(STA 1+270 s/d STA 1+370)	20.496	>3mm	0	0
XIII	(STA 1+370 s/d STA 1+470)	0.421	>3mm	0	0
XIV	(STA 1+470 s/d STA 1+570)	5.567	>3mm	0	0
XV	(STA 1+570 s/d STA 1+620)	2	>3mm	0	1.3

Berikut merupakan perhitungan penilaian kerusakan perkerasan jalan dengan metode *Surface Distress Index* (SDI) per segmen dengan mengambil unit sampel ruas segmen I Jalan Gunung Agung STA 0+170 s/d STA 270 dan segmen V STA 0+570 s/d 0+670.

Perhitungan nilai SDI STA 0+170 s/d STA 0+270

- Perhitungan luas retak
 Total luas retak pada segmen I = 15,5 m²
 Total luas jalan pada segmen I = 775 m²
 $\% \text{ Luas retak} = (\text{Total luas retak} / \text{Total luas jalan}) \times 100\%$
 Maka diperoleh % luas retak terhadap segmen I
 $= (15,5 / 775) \times 100\%$
 $= 2\%$
 Karena luas retak <10% luas jalan, maka didapatkan nilai SDIa sebesar 5
- Perhitungan rata-rata lebar retak
 Dari hasil survei, rata-rata lebar retak pada segmen I adalah 1-3 mm, maka didapatkan nilai SDIb sama dengan SDIa yaitu sebesar 5
- Perhitungan jumlah lubang
 Jumlah lubang pada segmen I = 0
 Karena tidak terdapat lubang, maka nilai SDIc sama dengan SDIb yaitu sebesar 5
- Perhitungan rata-rata kedalaman alur
 Rata-rata kedalaman alur segmen I = 1-3 cm
 Karena rata-rata kedalaman alur 1-3 cm, maka diperoleh nilai SDId sebesar SDIc + 5 x X. Nilai X yaitu 2, maka nilai SDId = 5 + 5 x 2 = 15.
 Dari perhitungan di atas, maka diperoleh nilai SDI segmen I ialah 15 (Baik)

Perhitungan lengkap nilai SDI Jalan Gunung Agung dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Penilaian SDI Jalan Gunung Agung

Segmen	STA	Nilai SDIa	Nilai SDIb	Nilai SDIc	Nilai SDId
		Luas Retak	Lebar Retak	Jumlah Lubang	Kedalaman Alur
I	(STA 0+170 s/d STA 0+270)	5	5	5	15
II	(STA 0+270 s/d STA 0+370)	5	5	5	5
III	(STA 0+370 s/d STA 0+470)	5	10	25	25
IV	(STA 0+470 s/d STA 0+570)	5	10	25	35
V	(STA 0+570 s/d STA 0+670)	20	40	40	40
VI	(STA 0+670 s/d STA 0+770)	5	10	10	10
VII	(STA 0+770 s/d STA 0+870)	5	10	10	10
VIII	(STA 0+870 s/d STA 0+970)	5	10	10	10
IX	(STA 0+970 s/d STA 1+070)	5	10	10	20
X	(STA 1+070 s/d STA 1+170)	5	10	10	10
XI	(STA 1+170 s/d STA 1+270)	5	10	10	10
XII	(STA 1+270 s/d STA 1+370)	20	40	40	40
XIII	(STA 1+370 s/d STA 1+470)	5	10	10	10
XIV	(STA 1+470 s/d STA 1+570)	5	10	10	10
XV	(STA 1+570 s/d STA 1+620)	5	10	10	20
RATA-RATA					18

Dari hasil analisis dengan menggunakan metode *Surface Distress Index* (SDI) didapatkan rata-rata nilai sebesar 18, dengan rentang 5 sampai dengan 40. Nilai SDI terendah terdapat pada segmen II yaitu sebesar 5 dan nilai SDI tertinggi terdapat pada segmen V dan XII yaitu sebesar 40, yang mana nilai-nilai tersebut masuk dalam rentang nilai 0-50 yang mengindikasikan kondisi Baik dan jenis penanganan yang sesuai ialah Pemeliharaan rutin.

Penilaian berdasarkan metode *Pavement Condition Index* (PCI)

Adapun langkah-langkah dalam menentukan kondisi perkerasan jalan menggunakan metode *Pavement Condition Index* (PCI) adalah sebagai berikut:

1. Menentukan *severity level*
2. Menghitung nilai *density*
3. Menentukan nilai *deduct value* tiap jenis kerusakan
4. Menghitung *allowable maximum deduct value* (m)
5. Menghitung nilai *Total Deduct Value*
6. Menentukan nilai *Corrected Deduct Value*
7. Menghitung nilai PCI (ASTM International, 1995)

Perhitungan nilai PCI segmen I

1. *Severity Level*

Hasil penggolongan tingkat keparahan setiap jenis kerusakan pada STA 0+170 sampai dengan STA 0+270 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. *Severity Level* pada Segmen I

No	Jenis Kerusakan	<i>Severity Level</i>
1	Tambalan (<i>Patching</i>)	M
2	Jembul (<i>Swell</i>)	H
3	Retak Memanjang (<i>Longitudinal Cracking</i>)	L
4	Alur (<i>Rutting</i>)	L
5	Pelepasan butir (<i>Ravelling</i>)	M

2. *Density* (Persentase Kerusakan)

$$Density = \frac{Ad}{As} \times 100\% \quad (1)$$

dimana,

Ad = luas total jenis kerusakan unntuk tiap tingkat kerusakan (m²)

As = luas total unit segmen (m²)

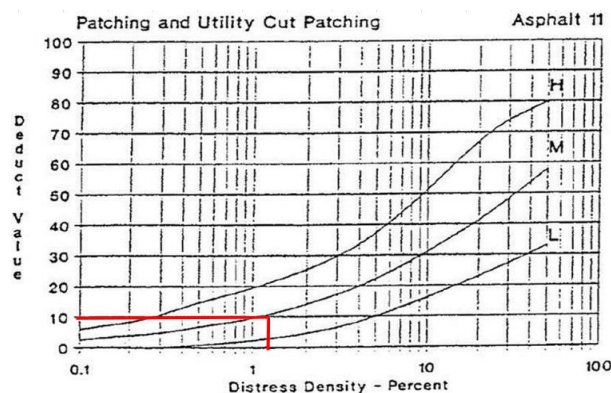
Hasil perhitungan *density* pada STA 0+170 sampai dengan STA 0+270 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. *Density* pada Segmen I

No	Jenis Kerusakan	<i>Severity Level</i>	Luas (m ²)	<i>Density</i>
1	Tambalan (<i>Patching</i>)	M	9.4325	1.217
2	Jembul (<i>Swell</i>)	H	14.952	1.929
3	Retak Memanjang (<i>Longitudinal Cracking</i>)	L	15.5	2.000
4	Alur (<i>Rutting</i>)	L	1.11	0.143
5	Pelepasan butir (<i>Ravelling</i>)	M	16.52	2.132

3. *Deduct Value* (Nilai Pengurangan)

Deduct Value (nilai pengurangan) adalah suatu nilai pengurang untuk setiap jenis kerusakan yang diperoleh dari kurva hubungan kerapatan (*density*) dan tingkat keparahan (*severity level*) kerusakan. *Deduct Value* dapat dilihat dari grafik yang terdapat pada ASTM D6433.

Gambar 3. *Deduct Value* pada Tambalan

Hasil rekapitulasi *deduct value* pada STA 0+170 sampai dengan STA 0+270 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. *Deduct Value* pada Segmen I

No	Jenis Kerusakan	Severity Level	Density	Deduct Value
1	Tambalan (<i>Patching</i>)	M	1.217	10
2	Jembul (<i>Swell</i>)	H	1.929	38
3	Retak Memanjang (<i>Longitudinal Cracking</i>)	L	2.000	6
4	Alur (<i>Rutting</i>)	L	0.143	1
5	Pelepasan butir (<i>Ravelling</i>)	M	2.132	10

4. *Allowable maximum deduct value* (m) dan q

$$m = 1 + \left(\frac{q}{98}\right) \times (100 - HDV) \quad (2)$$

dimana,

m = *Allowable maximum deduct value*

HDV = Nilai tertinggi *deduct value*

Dari persamaan di atas, didapatkan hasil $m = 6,693$. Karena didapat nilai m sebesar 6,693 yang mana lebih besar jumlahnya dari unit *deduct value* yaitu 5, maka semua nilai *deduct value* dapat digunakan ke tahap selanjutnya. Namun karena syarat nilai q pada grafik CDV merupakan nilai *deduct value* yang >5 , maka *deduct value* yang digunakan hanya 4 unit.

5. *Total Deduct Value* (TDV)

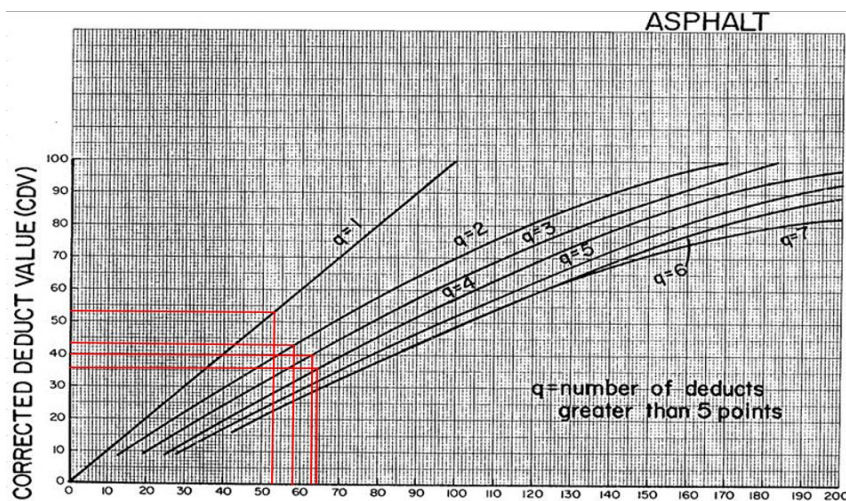
Hasil perhitungan *total deduct value* pada STA 0+170 sampai dengan STA 0+270 setiap iterasi dapat dilihat pada Tabel 7.

6. *Corrected Deduct Value* (CDV)

Dari hasil analisis pada Tabel 8, didapatkan *corrected deduct value* (CDV) tertinggi adalah 53, maka nilai tersebut digunakan untuk menghitung nilai PCI.

Tabel 7. Nilai TDV pada Segmen I

Iterasi	<i>Deduct Value</i>		TDV	q	CDV		
1	38	10	10	6	64	4	36
2	38	10	10	5	63	3	40
3	38	10	5	5	58	2	43
4	38	5	5	5	53	1	53

Gambar 4. Grafik *Corrected Deduct Value* pada Segmen I

7. Nilai PCI

$$PCI = 100 - CDV$$

$$PCI = 100 - 53$$

$$PCI = 47$$

Hasil perhitungan nilai PCI pada STA 0+170 sampai dengan STA 0+270 adalah 47 maka kondisi perkerasan pada segmen tersebut tergolong *fair*. Hasil perhitungan nilai PCI setiap segmen jalan Gunung Agung dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi nilai PCI Jalan Gunung Agung

Segmen	STA	Nilai PCI	Rating
I	(STA 0+170 s/d STA 0+270)	47	<i>Fair</i>
II	(STA 0+270 s/d STA 0+370)	90	<i>Excellent</i>
III	(STA 0+370 s/d STA 0+470)	94	<i>Excellent</i>
IV	(STA 0+470 s/d STA 0+570)	67	<i>Good</i>
V	(STA 0+570 s/d STA 0+670)	24	<i>Very Poor</i>
VI	(STA 0+670 s/d STA 0+770)	36	<i>Poor</i>
VII	(STA 0+770 s/d STA 0+870)	62	<i>Good</i>
VIII	(STA 0+870 s/d STA 0+970)	66	<i>Good</i>
IX	(STA 0+970 s/d STA 1+070)	90	<i>Excellent</i>
X	(STA 1+070 s/d STA 1+170)	71	<i>Very Good</i>
XI	(STA 1+170 s/d STA 1+270)	52	<i>Fair</i>
XII	(STA 1+270 s/d STA 1+370)	42	<i>Fair</i>
XIII	(STA 1+370 s/d STA 1+470)	85	<i>Excellent</i>
XIV	(STA 1+470 s/d STA 1+570)	56	<i>Good</i>
XV	(STA 1+570 s/d STA 1+620)	70	<i>Good</i>
	RATA-RATA	63.4	<i>GOOD</i>

Penanganan Teknis

Berdasarkan syarat yang tertera pada Perbaikan Standar Untuk Perbaikan Jalan Bina Marga Tahun 2011, maka penanganan teknis yang bisa dilakukan pada Jalan Gunung Agung terdapat pada tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi penanganan teknis kerusakan Jalan Gunung Agung

Segmen	STA	Penanganan
I	(STA 0+170 s/d STA 0+270)	P2, P4, P5, P6
II	(STA 0+270 s/d STA 0+370)	P2, P4, P5, P6
III	(STA 0+370 s/d STA 0+470)	P2, P4, P5, P6
IV	(STA 0+470 s/d STA 0+570)	P2, P4, P5, P6
V	(STA 0+570 s/d STA 0+670)	P2, P4, P5, P6
VI	(STA 0+670 s/d STA 0+770)	P2, P4, P5, P6
VII	(STA 0+770 s/d STA 0+870)	P4, P5, P6
VIII	(STA 0+870 s/d STA 0+970)	P2, P5, P6
IX	(STA 0+970 s/d STA 1+070)	P2, P4, P5
X	(STA 1+070 s/d STA 1+170)	P2, P4, P5, P6
XI	(STA 1+170 s/d STA 1+270)	P5
XII	(STA 1+270 s/d STA 1+370)	P5
XIII	(STA 1+370 s/d STA 1+470)	P5
XIV	(STA 1+470 s/d STA 1+570)	P2, P4, P5, P6
XV	(STA 1+570 s/d STA 1+620)	P2, P4, P5, P6

Keterangan:

P2 : Pengaspalan

P4 : Pengisian retak

P5: Penambalan lubang

P6: Perataan

Penanganan teknis yang dapat dilakukan pada perkerasan lentur Jalan Gunung Agung adalah pemeliharaan rutin berupa P2 (Pengaspalan), P4 (Pengisian retak), P5 (Penambalan lubang) dan P6 (Perataan).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis di jalan Gunung Agung, dari STA 0+170 sampai dengan STA 1+620, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Ditemukan 7 (tujuh) jenis kerusakan pada perkerasan lentur jalan tersebut, yaitu Alur (*Rutting*), Jembul (*Swell*), Lubang (*Potholes*), Pelepasan butir (*Ravelling*), Retak Memanjang (*Longitudinal Cracking*), Retak Kulit Buaya (*Alligator Cracking*), dan Tambalan (*Patching*). Total luas kerusakan mencapai 690,903 m², atau sekitar 6,510% dari luas total perkerasan lentur. Kerusakan terparah terjadi pada jenis Retak Kulit Buaya, mencapai 415,02 m².
2. Rata-rata nilai SDI jalan tersebut adalah 18, dengan rentang nilai antara 5 hingga 40. Nilai ini termasuk dalam kategori kurang dari 50, menunjukkan bahwa kondisinya baik dan memerlukan Pemeliharaan Rutin sebagai penanganan yang sesuai. Rata-rata nilai PCI adalah 63,4, yang termasuk dalam kategori "Baik." Namun, terdapat tiga segmen dengan nilai PCI terendah, yaitu segmen V (STA 0+570 hingga STA 0+670) dengan nilai 24 (Sangat Buruk), segmen VI (STA 0+670 hingga STA 0+770) dengan nilai 36 (Buruk), dan segmen XII (STA 1+270 hingga STA 1+370) dengan nilai 42 (Cukup Baik).
3. Dalam konteks penanganan teknis, opsi yang dapat diterapkan meliputi P2 (Pengaspalan), P4 (Pengisian retak), P5 (Penambalan lubang), dan P6 (Perataan).

DAFTAR PUSTAKA

- Aptarila, G., Lubis, F. and Saleh, A. (2020) 'Analisis Kerusakan Jalan Metode SDI Taluk Kuantan - Batas Provinsi Sumatera Barat', *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), pp. 195–203. Available at: <https://doi.org/10.31849/siklus.v6i2.4647>.
- ASTM International (1995) *Standard Practice for Shotcrete*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (1997) *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/TBM/1997 Direktorat Jenderal Bina Marga*.
- Fatikasari, A.D. (2021) 'Analisa Tingkat Kerusakan Jalan Menggunakan Metode PCI Untuk Mengevaluasi Kondisi Jalan di Raya Cangkring, Kecamatan Krembung, Kabupaten Sidoarjo', *Aulia Dewi Fatikasari*, 6(2), pp. 1–6.
- Kementerian Pekerjaan Umum (2010) *PERBAIKAN STANDAR Untuk PEMELIHARAAN RUTIN JALAN*.
- Naraputra, A. (2022) *Koordinasi Simpang Bersinyal di Kabupaten Tabanan (Studi Kasus Simpang Gerokgak, Simpang Kasih Ibu, dan Simpang Dukuh)*.
- Pemerintah Kabupaten Tabanan (2023) *Topografi*. Available at: <https://tabanankab.go.id/home/mengenal-tabanan/topografi> (Accessed: 21 March 2023).
- Rachman, D.N. and Sari, P.I. (2021) 'Analisis Kerusakan Jalan Dengan Menggunakan Metode PCI Dan Strategi Penanganannya (Studi Kasus Jalan Nasional Srijaya Raya Palembang Km 8+149 Sd Km9+149)', *Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), pp. 13–24. Available at: <https://doi.org/10.36546/tekniksipil.v10i1.456>.