

Analisis Kondisi Jalan Perkerasan Lentur Berdasarkan Prediksi Umur Sisa Menggunakan Metode AASHTO 1993 serta Analisis Kerusakan Lapis Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Horack (Studi Kasus: Ruas Jalan Bypass Kota Pariaman STA 52+100 s/d 57+100)

Fitri Oktavia Tanjung*

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Email: fitrioktaviatj09@gmail.com

Bambang Sugeng Subagio

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Email: bbsugengs@gmail.com

Harmein Rahman

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Email: rahmanharmein@gmail.com

Abstrak

Jalan yang dibebani oleh lalu lintas kendaraan yang tinggi dan terus menerus dapat menyebabkan terjadinya kerusakan jalan baik secara fungsional maupun struktural. Ruas jalan Bypass Kota Pariaman merupakan ruas jalan nasional yang diperuntukan bagi kendaraan-kendaraan berat yang akan melintasi Kota Pariaman menuju ke arah Kota Padang dan sebaliknya ke arah Kabupaten Agam. Dalam beberapa tahun terakhir ruas jalan ini telah mengalami kerusakan yang cukup parah sehingga dapat mengganggu kenyamanan serta keamanan dalam berkendara. Prediksi umur sisa perkerasan jalan penting dilakukan untuk mengetahui apakah ruas jalan ini masih mampu menanggung beban lalu lintas atau tidak. Prediksi umur sisa dilakukan menggunakan metode AASHTO 1993 berdasarkan data lendutan jalan tahun 2020 yang di uji menggunakan alat FWD dengan analisis perhitungan Backcalculation untuk mendapatkan nilai CESAL pada saat kondisi failure. Hasil analisis menunjukkan, jumlah repetisi beban yang masih mampu ditanggung oleh ruas jalan ini sebesar 2.337.881 ESAL ditahun 2023 dengan umur sisa = 0 tahun lagi. selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui kondisi kerusakan tiap lapisan perkerasan menggunakan metode Horack dengan data lendutan sebagai parameter penilaian. Hasil analisis menunjukkan rata-rata kondisi tiap lapis perkerasan jalan telah berada dalam kategori rusak berat dengan lapisan yang mengalami kerusakan paling parah yaitu di lapisan subbase.

Kata-kata Kunci: AASHTO 1993, CESAL, FWD, horack, umur sisa perkerasan jalan,

Abstract

Roads loaded with high vehicle traffic can cause road damage both functionally and structurally. The Pariaman City Bypass Road is a national road section intended for heavy vehicles that will cross Pariaman City to Padang City and vice versa to Agam Regency. In recent years, this road has been damaged quite severely which can interfere with driving comfort and safety. Prediction of the remaining life is important to know whether the road section is still able to carry the traffic load or not. Prediction of remaining life is by using the 1993 AASHTO method based on 2020 road deflection data tested using the FWD tool with Backcalculation analysis to obtain the CESAL value at the time of failure. The analysis results show that the number of load repetitions that can still be borne by this road section is 2,337,881 ESAL in 2023 with a remaining life of 0 year. Furthermore, an analysis is carried out to determine the damage condition of each pavement layer using the Horack method with deflection data as an assessment parameter. The analysis results show that the average condition of each pavement layer has been in the category of severe damage with the most severely damaged layer being the subbase layer.

Keywords: AASHTO 1993, CESAL, FWD, horack, pavement remaining life

* Penulis Korespondensi: fitrioktaviatj09@gmail.com

1. Pendahuluan

Menurut AASHTO (1993) Kerusakan jalan umumnya disebabkan oleh beban lalu lintas, kondisi iklim serta kondisi material yang digunakan didalam proses pembangunan jalan. Suatu ruas jalan didesain dengan umur rencana tertentu dengan harapan selama umur rencana tersebut ruas jalan masih dapat dilalui dengan nyaman oleh pengendara. Jalan Bypass Kota Pariaman merupakan ruas jalan nasional yang menjadi jalur bagi kendaraan-kendaraan berat yang akan menuju ke arah Kota Padang dan Kabupaten Agam. Dalam beberapa tahun terakhir ruas jalan Bypass Kota Pariaman mengalami kerusakan yang cukup parah. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Tanjung dkk (2020), jenis kerusakan yang terjadi pada ruas jalan Bypass Kota Pariaman antara lain retak kulit buaya, retak memanjang, retak melintang, tambalan dan lubang. Umur sisa perkerasan jalan dapat dievaluasi berdasarkan kondisi struktural menggunakan data lendutan jalan yang diuji menggunakan alat FWD. Data lendutan ini dapat dianalisis menggunakan metode AASHTO 1993 berdasarkan analisis *Backcalculation* sehingga nantinya dapat diketahui nilai repetisi beban (CESAL) yang akan terjadi pada saat kondisi *failure*. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Abisetoyo dkk (2018), analisis umur sisa menggunakan metode AASHTO 1993 dipengaruhi oleh beberapa faktor sehingga data yang digunakan sebaiknya memiliki tingkat akurasi yang baik. Penelitian yang telah dilakukan oleh Rahardjo (2022) menghasilkan nilai umur sisa berdasarkan kondisi struktural dan fungsional memiliki hasil yang jauh berbeda. Didalam pedoman 07/P/BM (2021), umur sisa perkerasan jalan dapat dijadikan sebagai salah satu parameter untuk menentukan program pemeliharaan jalan. Penelitian yang telah dilakukan oleh Suwanda (2022) dan Tranggono (2018), umur sisa perkerasan jalan dapat dijadikan sebagai acuan didalam menentukan bentuk penanganan pada ruas jalan. Selanjutnya untuk mengetahui kondisi kerusakan tiap lapisan perkerasan lentur, dapat dianalisis menggunakan metode Horack berdasarkan data lendutan jalan dengan 3 kategori kerusakan pada lapisan perkerasan jalan antara lain *sound*, *warning*, dan *severe*.

2. Metodologi

2.1 Metode AASHTO 1993

Umur sisa perkerasan lentur dianalisis berdasarkan kondisi struktural menggunakan data lendutan jalan yang diuji menggunakan alat FWD. Analisis dilakukan menggunakan metode AASHTO 1993 berdasarkan analisis *Backcalculation* dengan tahapan sebagai berikut:

- Perhitungan nilai CESAL untuk 10 tahun kedepan berdasarkan data LHR tahun 2020
- Perhitungan nilai lendutan wakil untuk satu segmen ruas jalan
- Perhitungan nilai Modulus Resilient tanah dasar (MR) yang dianalisis berdasarkan data lendutan
- Perhitungan nilai Modulus Efektivitas seluruh lapisan diatas tanah dasar (EP) berdasarkan nilai lendutan yang telah terkoreksi suhu

- Perhitungan nilai Struktural Number Efektif berdasarkan kondisi eksisting (SN_{eff})
- Hasil perhitungan sebelumnya diplotkan kedalam persamaan AASHTO 1993 sehingga dapat diketahui nilai CESAL pada saat kondisi *failure*.
- Umur sisa perkerasan didapatkan dari hasil perbandingan antara nilai CESAL pada saat kondisi *failure* dengan nilai CESAL yang telah diproyeksikan dari data LHR tahun 2020, sehingga dapat diketahui nilai CESAL pada saat kondisi *failure* akan dicapai pada tahun beberapa.

2.2 Metode Horack

Untuk mengetahui kondisi kerusakan tiap lapisan perkerasan lentur, dilakukan analisis menggunakan metode Horack dengan nilai lendutan jalan sebagai parameter penilaian. Kategori kerusakan lapisan perkerasan jalan terdiri dari kategori *sound*, *warning*, dan *severe*. Tahapan didalam analisis menggunakan metode Horack adalah sebagai berikut:

- Penentuan nilai lendutan maksimum untuk satu segmen ruas jalan (D_0)
- Perhitungan nilai jari-jari kelengkungan (RoC)
- Perhitungan nilai *Base Layer Index* (BLI)
- Perhitungan nilai *Middle Layer Index* (MLI)
- Perhitungan nilai *Lower Layer Index* (LLI)

3. Pengumpulan Data

Data-data yang dibutuhkan didalam melakukan analisis menggunakan metode AASHTO 1993 dan metode Horack antara lain:

- Data Lalu Lintas Harian (LHR)

Data LHR yang digunakan merupakan data LHR sekunder tahun 2020, yang didapatkan dari BPJN Provinsi Sumatera Barat. Pada **Tabel 1** berikut ini dapat dilihat data LHR tahun 2020 ruas jalan Bypass Kota Pariaman.

- Data Lendutan Jalan

Data lendutan yang digunakan merupakan data lendutan tahun 2020 yang diuji menggunakan alat FWD. Rangkuman data lendutan ruas jalan Bypass Kota Pariaman dapat dilihat pada **Tabel 2**.

- Data Tebal Perkerasan Eksisting

Data tebal perkerasan dari lapisan *surface* hingga *subgrade* didapatkan dari P2JN Provinsi Sumatera Barat.

- Data Temperatur Perkerasan

Data temperature perkerasan tahun 2020 didapatkan dari BPJN Provinsi Sumatera Barat yang dapat dilihat pada **Tabel 3**.

4. Umur Sisa Perkerasan Lentur Berdasarkan Metode AASHTO 1993

Umur sisa perkerasan dapat memberikan gambaran jumlah repetisi beban yang masih dapat ditanggung oleh perkerasan jalan hingga kondisi *failure* dan dapat

Tabel 1. Data LHR ruas jalan bypass kota Pariaman tahun 2020 (BPJN Provinsi Sumatera Barat, 2020)

Gol. Kend.	Jenis Kendaraan	LHR
Gol. 1	Sepeda Motor, Sekuter, Sepeda Kumbang dan Roda 3	8.960
Gol. 2	Sedan, Jeep, dan Wagon	547
Gol. 3	Opelet, Pick up, Combi dan Minibus	3.035
Gol. 4	Pick Up, Micro Truk dan Mobil Hantaran	894
Gol. 5a	Bus Kecil	44
Gol. 5b	Bus Besar	32
Gol. 6a	Truk Ringan 2 Sumbu 4 Roda	190
Gol. 6b	Truk 2 Sumbu 6 roda	658
Gol. 7a	Truk 3 Sumbu 8-10 Roda	221
Gol. 7b	Truk Gandeng	0
Gol. 7c	Truk Semi Trailer	13
Gol. 8	Kendaraan Tidak Bermotor	35
Jumlah Kendaraan/Hari		14.629

Tabel 2. Data lendutan ruas jalan bypass kota Pariaman tahun 2020 (BPJN Provinsi Sumatera Barat, 2020)

STA	P (Kpa)	Force (Kpa)	D1 (µm)	D2 (µm)	D3 (µm)	D4 (µm)	D5 (µm)	D6 (µm)	D7 (µm)	D8 (µm)	D9 (µm)
0+000	590	41.67	892.2	679.6	556.2	391.9	290	180	136.9	110	58.4
0+500	574	40.57	1377	992.1	812.5	602.6	460	294.8	207	153	85.1
1+000	585	41.35	1130	842.2	682.1	478.8	343	209.1	162.7	118	89.3
1+500	588	41.58	895.6	626.4	469.3	293.2	193	114.4	99.6	87.7	66.5
2+000	602	42.57	692.9	524.8	427.5	303	217	132	104.9	78.1	49.6
2+500	590	41.69	1096	704	491.2	295.6	206	162	144.3	127	96.1
3+000	594	41.95	1089	855.9	703.2	504.6	374	230.6	155.1	117	79.4
3+500	585	41.37	1165	901.3	734.4	498.6	346	180.5	116.5	83.9	66.8
4+000	600	42.38	849.4	603.3	454.8	284.5	184	109.7	87.5	83.8	67.3
4+500	583	41.17	1389	927.7	668.9	404.6	267	140.9	85.9	64.4	65.7
5+000	600	42.40	581.7	442.8	354	234.8	154	81.2	48.7	33.6	34.2

Tabel 3. Data temperatur perkerasan ruas jalan bypass kota Pariaman tahun 2020 (BPJN Provinsi Sumatera Barat, 2020)

STA	Temp Asphalt (°C)	Temp Surface (°C)	Temp Air (°C)
0+000	33,2	41.67	892.2
0+500	33,3	40.57	1377
1+000	35,1	41.35	1130
1+500	33,2	41.58	895.6
2+000	602	42.57	692.9
2+500	590	41.69	1096
3+000	594	41.95	1089
3+500	585	41.37	1165
4+000	600	42.38	849.4
4+500	583	41.17	1389
5+000	600	42.4	581.7

dijadikan sebagai acuan didalam pengambilan keputusan untuk melakukan penanganan pada suatu ruas jalan. Umur sisa ini diperoleh dari hasil perbandingan antara nilai CESAL pada saat kondisi *failure* dengan nilai CESAL yang didapatkan dari perhitungan menggunakan data LHR tahun 2020. Perhitungan nilai CESAL menggunakan persamaan (1) yang terdapat didalam MDP 2017 berikut ini:

$$ESA = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times D_D \times D_L \times R \quad (1)$$

Dimana:

- ESA = Kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen pada tahun pertama.
- LHR_{JK} = Lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga (satu kendaraan per hari)
- VDF_{JK} = Faktor ekivalen beban tiap jenis kendaraan niaga. (MDP, 2017)
- D_D = Faktor distribusi arah (0,5 untuk jalan 2 arah)
- D_L = Faktor distribusi lajur.
- CESAL = Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana.
- R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

Untuk menentukan nilai faktor pengali pertumbuhan lalu lintas dapat menggunakan Persamaan (2) berikut ini:

$$R = \frac{(1+0,01)^{UR} - 1}{0,01 i} \quad (2)$$

Dimana:

- UR = Umur Rencana
- i = ngka pertumbuhan lalu lintas (%)

Rangkuman hasil perhitungan nilai CESAL ruas jalan Bypass Kota Pariaman untuk 10 tahun kedepan dapat dilihat pada tabel 4.

Garis putus-putus menunjukkan batasan nilai lendutan yang akan digunakan didalam perhitungan nilai

lendutan wakil. Hal ini dilakukan agar faktor keseragaman nilai lendutan dapat memenuhi persyaratan. Perhitungan nilai lendutan wakil bertujuan untuk mengetahui besaran nilai lendutan yang dapat mewakili kondisi satu segmen ruas jalan yang ditinjau.

Keseragaman lendutan dihitung berdasarkan persamaan (3) berikut:

$$FK = \frac{s}{d_R} \times 100\% < FK \text{ ijin} \quad (3)$$

Dimana:

- FK = faktor keseragaman
- FK ijin = faktor keseragaman yang diijinkan
 - = 0% - 10%; keseragaman sangat baik
 - = 11% - 20%; keseragaman baik
 - = 21% - 30%; keseragaman cukup baik
- d_R = lendutan rata-rata pada suatu seksi jalan
- s = Standar deviasi

Lendutan wakil dapat dihitung menggunakan persamaan (4) berikut:

$$Dwakil = dR + 2 s ; \text{ untuk jalan arteri} \quad (4)$$

Hasil perhitungan nilai lendutan wakil pada ruas jalan Bypass Kota Pariaman dapat dilihat pada tabel 5 berikut ini:

Nilai Modulus Resilient tanah dasar dihitung menggunakan data nilai lendutan yang di trial beberapa kali hingga nilainya dapat memenuhi persyaratan seperti yang dapat dilihat pada persamaan dibawah ini. Setelah dilakukan beberapa kali trial didapatkan nilai lendutan D₆ yang memenuhi persyaratan sehingga perhitungan dapat dilanjutkan.

$$M_R = \frac{0,24 P}{d_r \cdot r} \quad (5)$$

Dimana:

- M_R = Backcalculation subgrade resilient modulus (psi)
- P = Beban yang diberikan pada perkerasan (pounds)
- d_r = Lendutan pada jarak offset r dari pusat beban (inch)
- r = Jarak lendutan ke pusat beban (inch)

Nilai d_r dan r didapatkan dengan proses trial sehingga dapat memenuhi persyaratan $r \geq 0,7a_c$. Dimana untuk menghitung nilai a_c dapat menggunakan persamaan (6) berikut:

$$a_c = \sqrt{a^2 + \left(D^3 \sqrt{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2} \quad (6)$$

Dimana:

- a_c = radius of stress bulb pada pertemuan lapisan tanah dasar dengan perkerasan (inch)
- a = Jari-jari plat beban (inch)
- D = Total tebal lapisan perkerasan diatas tanah dasar (inch)
- M_R = Modulus Resilient tanah dasar
- E_p = Modulus efektif seluruh lapisan perkerasan diatas tanah dasar (psi)

Untuk mendapatkan nilai E_p, dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (7) berikut:

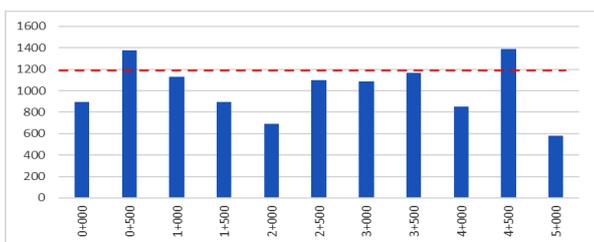
$$d_o \times Taf = 1,5 p a \left\{ \frac{1}{M \sqrt{1 + \left(\frac{D^3}{a} \sqrt{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2}} + \frac{\left[\frac{1}{1 + \left(\frac{D^3}{a} \right)^2} \right]}{E_p} \right\} \quad (7)$$

Dimana:

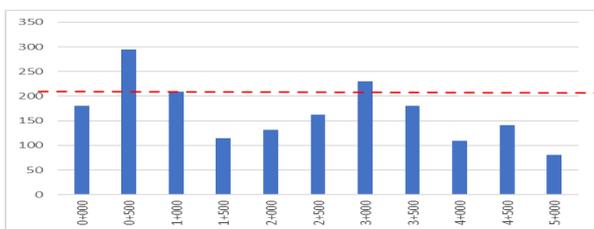
- d_o = Lendutan pada pusat beban
- Taf = Faktor koreksi suhu
- p = Tekanan pada pelat beban (psi)

Tabel 4. Hasil analisis nilai CESAL ruas jalan bypass kota Pariaman (Pengolahan data, 2023)

Tahun	CESAL	Tahun	CESAL
2021	1,031,729	2027	4,780,738
2022	1,585,261	2028	5,515,348
2023	2,165,529	2029	6,285,439
2024	2,773,824	2030	7,092,726
2025	3,411,500	2031	7,939,005
2026	4,079,976	2032	8,826,159



Gambar 1. Nilai lendutan FWD D1



Gambar 2. Nilai lendutan FWD D6

Tabel 5. Hasil perhitungan nilai lendutan wakil ruas jalan bypass kota Pariaman (Pengolahan data, 2023)

Segmentasi	Segmen	Jarak	Pwakil	D1 wakil	D6wakil	Twakil	
	STA - STA	m	Kpa	(x0,001mm)	(x0,001mm)	(°C)	(°F)
Segmen 1	0+000 - 5+000	5000	605.90	1342,16	227,14	34,06	93,32

Tanjung, dkk.

- a = Jari-jari pada plat beban (inch)
- D = Total tebal lapisan diatas tanah dasar (inch)
- M_R = Modulus Resilient tanah dasar (psi)
- E_p = Modulus efektif seluruh lapisan perkerasan diatas tanah dasar (psi)

Nilai struktural number perkerasan eksisting (S_{Neff}) dihitung menggunakan **Persamaan (8)** berikut ini:

$$S_{Neff} = 0,0045 D \sqrt[3]{E_p} \quad (8)$$

Rangkuman hasil perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 6** berikut ini:

Pada **Persamaan (9)** berikut ini dapat dilakukan prediksi beban lalu lintas yang masih mampu dipikul oleh perkerasan eksisting.

$$\begin{aligned} \text{Log}(W18) &= Z_R S_O + 9,36 \text{Log}_{10}(SN+1) \\ &-0,2 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{APSI}{1694}\right)}{0,4 + \frac{1,2-1,5}{(SN+1)^{5,14}}} + 2,32 \text{Log}_{10}(MR) - 8,07 \quad (9) \end{aligned}$$

Dari persamaan diatas, selanjutnya dilakukan analisis *Backcalculation* sehingga didapatkan hasil nilai CESAL pada saat kondisi *failure* yaitu sebesar 2.337.881. Umur sisa perkerasan dapat ditentukan dengan perbandingan antara nilai CESAL pada saat kondisi *failure* dengan nilai CESAL yang diperoleh dari data LHR tahun 2020 yang diproyeksikan. Hasil analisis umur sisa dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Setelah dilakukan analisis umur sisa perkerasan berdasarkan kondisi struktural menggunakan data lendutan jalan yang dianalisis menggunakan metode AASHTO 1993, dapat disimpulkan bahwa ruas jalan ini akan mengalami *failure* saat tercapainya nilai CESAL = 2.337.881. Setelah dibandingkan dengan hasil analisis nilai CESAL berdasarkan data LHR, dapat diketahui bahwa nilai CESAL pada saat kondisi *failure* akan tercapai ditahun 2023. Artinya, umur sisa ruas jalan Bypass Kota Pariaman = 0 tahun. Hasil ini cukup sesuai dengan kondisi terkini dari ruas jalan yang telah diamati secara visual dimana telah terdapat banyak kerusakan yang cukup parah. Bisa saja kerusakan yang terjadi secara terus menerus ini diakibatkan karena telah tercapainya repetisi beban rencana sehingga kondisi struktur perkerasan sudah tidak mampu lagi menanggung beban lalu lintas diatasnya.

5. Analisis Kondisi Lapisan Perkerasan Jalan Menggunakan Metode Horack

Menurut Horak (2008), Parameter *deflection bowl* dapat digunakan dalam mengidentifikasi lapisan perkerasan yang mengalami kerusakan. Identifikasi dilakukan berdasarkan data lendutan jalan yang diukur menggunakan alat *falling weight deflectometer* (FWD).

Tabel 6. Nilai CESAL kondisi *failure* ruas jalan bypass kota Pariaman (Pengolahan Data, 2023)

Segmen	CESAL <i>Failure</i>
0+000 - 5+000	2.337.881

Tabel 7. Prediksi umur sisa berdasarkan capaian nilai CESAL (Pengolahan data, 2023)

Tahun	Nilai CESAL
2021	1.031.729
2022	1.585.261
2023	2.165.529
2024	2.773.824
2025	3.411.500
2026	4.079.976
2027	4.780.738
2028	5.515.348
2029	6.285.439
2030	7.092.726
2031	7.939.005
2032	8.826.159

Deflection bowl ini memberikan gambaran kondisi dari tiap lapisan perkerasan jalan yang nantinya dapat digunakan dalam menentukan kebutuhan rehabilitasi dari ruas jalan yang ditinjau. Terdapat 5 parameter yang digunakan didalam analisis kondisi kerusakan lapisan perkerasan lentur menggunakan metode Horack antara lain: D₀ atau lendutan maksimum, ROC atau jari-jari kelengkungan, *Base Layer Index*, *Middle Layer Index* dan *Lower layer Index* yang masing-masing parameter ini mewakili kondisi perkerasan mulai dari bagian *surface* hingga *subgrade*. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada **gambar 3** berikut ini:

Dimana:

D₀ = Lendutan maksimal

R₀C = Jari-jari kelengkungan

Parameter	Formula	Zone correlated to (see figure 1)
Maximum deflection	D ₀ as measured at point of loading	1, 2 and 3
Radius of curvature (RoC)	$RoC = \frac{(L)^2}{2D_0(1 - D_{200}/D_0)}$ Where L = 127 mm in the original Dehlen (1961) curvature meter and 200 mm for the FWD	1
Base layer index (BLI) (previously referred to as surface curvature index, SCI)	BLI = D ₀ - D ₃₀₀	1
Middle layer index (MLI) (previously referred to as base curvature index, BCI)	MLI = D ₃₀₀ - D ₆₀₀	2
Lower layer index (LLI) (previously referred to as base damage index, BDI)	LLI = D ₆₀₀ - D ₉₀₀	3

Gambar 3. Parameter penilaian kondisi tiap lapisan perkerasan (Horack, 2008)

Tabel 6. Hasil analisis nilai MR, EP dan S_{Neff} ruas jalan bypass kota Pariaman (Pengolahan Data, 2023)

Segmen			MR	EP	S _{Neff}
STA	s.d.	STA			
0+000	-	5+000	7183	29894	4.29

D_{300} = Lendutan pada jarak 300mm dari pusat beban
 D_{600} = Lendutan pada jarak 600mm dari pusat beban
 D_{900} = Lendutan pada jarak 900mm dari pusat beban

Deflection bowl terdiri dari 3 zona sebagai berikut:

1. Zona 1 (BLI)

Merupakan zona yang paling dekat dengan titik pembebanan. Zona ini berada pada radius yang tidak lebih dari 300mm dari titik pembebanan.

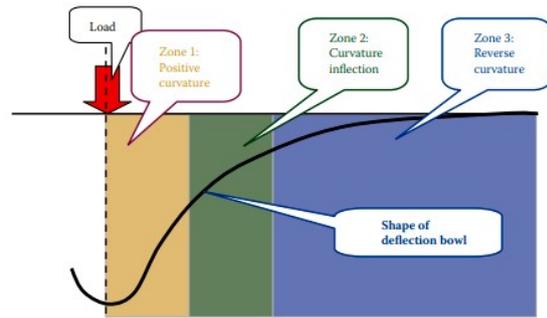
2. Zona 2 (MLI)

Merupakan zona pembelokan dari lengkung positif di zona 1 menjadi lengkung terbalik pada zona 2. Posisi titik pembelokan pada zona 2 tergantung komposisi struktur lapisan perkerasan. Zona 2 biasanya terletak sekitar 300 mm hingga 600 mm dari titik pembebanan.

3. Zona 3 (LLI)

Merupakan posisi saat lengkung terbalik di zona 2 telah meluas hingga ke bagian permukaan sehingga defleksi kembali ke posisi awal. Zona 3 biasanya terletak sekitar 600 mm hingga 2000 mm dari titik pembebanan.

Pembagian zona pada deflection bowl dapat dilihat pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Pembagian zona pada deflection bowl (Horack, 2008)

	Structural condition rating	Deflection bowl parameters				
		D_0 (μm)	RoC (m)	BLI (μm)	MLI (μm)	LLI (μm)
Granular base	Sound	<500	>100	<200	<100	<50
	Warning	500-750	50-100	200-400	100-200	50-100
	Severe	>750	<50	>400	>200	>100
Cementitious base	Sound	<200	>150	<100	<50	<40
	Warning	200-400	80-150	100-300	50-100	40-80
	Severe	>400	<80	>300	>100	>80
Bituminous base	Sound	<400	>250	<200	<100	<50
	Warning	400-600	100-250	200-400	100-150	50-80
	Severe	>600	<100	>400	>150	>80

Gambar 5. Penilaian kondisi tiap lapisan perkerasan (Horack, 2008)

Sedangkan untuk melakukan penilaian kondisi pada tiap lapisan perkerasan jalan, mengacu kepada Gambar 5 berikut ini dengan 3 kategori kerusakan yaitu *sound*, *warning* dan *severe*.

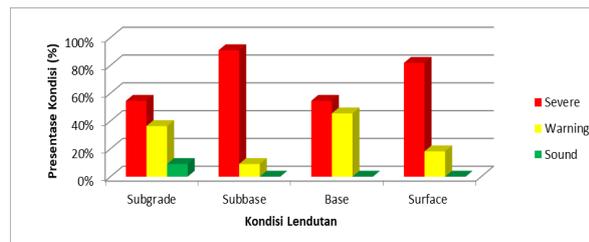
Hasil analisis kondisi tiap lapisan perkerasan ruas jalan Bypass Kota Pariaman dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 6 berikut ini:

Analisis kondisi tiap lapis perkerasan jalan berdasarkan data lendutan menggunakan metode Horack menunjukkan kondisi ruas jalan Bypass Kota Pariaman telah mengalami kerusakan yang cukup parah dari bagian *surface* hingga *subgrade* dengan kategori kerusakan yang paling dominan yaitu *severe*. Dari hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa lapisan perkerasan yang mengalami kerusakan paling parah yaitu dilapisan *subbase*. Oleh karena itu, ruas jalan ini telah membutuhkan penanganan segera dan sebaiknya dilakukan penanganan berupa rekonstruksi agar perbaikan dapat dilakukan dari bagian *surface* hingga *subgrade*.

6. Analisis Perbandingan Metode AASHTO 1993 dan Metode Horack.

Metode AASHTO 1993 menggunakan nilai lendutan jalan sebagai parameter untuk mengetahui umur sisa perkerasan jalan. Dari nilai lendutan ini nantinya dapat diketahui nilai modulus resilient tanah dasar serta *structural number* perkerasan jalan (SN). Nilai *structural number* perkerasan ini dipengaruhi oleh tebal lapis perkerasan, semakin tebal lapis perkerasan maka semakin tinggi pula nilai *structural number* perkerasan. Dari hasil analisis *Backcalculation* nantinya dapat diketahui besaran nilai CESAL yang

terjadi pada saat mencapai kondisi *failure*. Metode ini sangat cocok digunakan untuk mengevaluasi kondisi perkerasan jalan eksisting. Sedangkan metode Horack menggunakan nilai lendutan jalan untuk menganalisis kondisi kerusakan dari tiap lapis perkerasan jalan namun tidak memperhitungkan repetisi beban yang terjadi (CESAL) sehingga analisis yang dilakukan hanya berdasarkan analisis nilai lendutan saja. Analisis metode Horack ini sangat cocok digunakan bersamaan dengan metode AASHTO 1993 karena dapat memberikan gambaran kondisi kerusakan tiap lapis perkerasan sehingga dapat diketahui posisi kerusakan terjadi di lapisan mana. Dan penentuan bentuk penanganan dapat lebih efisien karena perbaikan cukup dilakukan pada bagian yang mengalami kerusakan saja. Sehingga hasil analisis menggunakan metode AASHTO 1993 ini dapat diperkuat dengan metode Horack.



Gambar 6. Kondisi kerusakan tiap lapisan perkerasan ruas jalan bypass kota Pariaman (Pengolahan data, 2023)

Tabel 8. Hasil analisis kondisi tiap lapis perkerasan ruas jalan bypass kota Pariaman berdasarkan data lendutan tahun 2020 (Pengolahan data, 2023)

Km	D1	Kondisi	RoC	Kondisi	BLI	Kondisi	MLI	Kondisi	LLI	Kondisi
0+000	892.20	Severe	94	Warning	336.00	Warning	266.20	Severe	110.00	Severe
0+500	1377.20	Severe	52	Warning	564.70	Severe	352.50	Severe	165.20	Severe
1+000	1130.30	Severe	69	Warning	448.20	Severe	338.70	Severe	134.30	Severe
1+500	895.60	Severe	74	Warning	426.30	Severe	275.50	Severe	79.40	Warning
2+000	692.90	Warning	119	Sound	265.40	Warning	210.00	Severe	85.50	Warning
2+500	1096.90	Severe	51	Warning	605.70	Severe	284.40	Severe	44.80	Sound
3+000	1089.20	Severe	86	Warning	386.00	Warning	328.50	Severe	144.10	Severe
3+500	1165.60	Severe	76	Warning	431.20	Severe	388.10	Severe	165.80	Severe
4+000	849.40	Severe	81	Warning	394.60	Warning	270.00	Severe	75.10	Warning
4+500	1389.30	Severe	43	Warning	720.40	Severe	401.90	Severe	126.10	Severe
5+000	581.70	Warning	144	Sound	227.70	Warning	199.10	Warning	73.70	Warning

7. Kesimpulan dan Saran

7.1 Kesimpulan

a. Setelah dilakukan analisis umur sisa menggunakan metode AASHTO 1993 dan analisis kondisi tiap lapis perkerasan menggunakan metode Horack, maka dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis prediksi umur sisa perkerasan pada ruas jalan Bypass Kota Pariaman memberikan hasil repetisi beban kendaraan (CESAL) pada saat kondisi *failure* sebesar 2.337.881. Setelah dibandingkan dengan nilai CESAL hasil proyeksi berdasarkan data LHR tahun 2020, didapatkan hasil nilai CESAL kondisi *failure* tersebut akan dicapai pada tahun 2023, yang artinya umur sisa perkerasan ruas jalan Bypass Kota Pariaman berdasarkan analisis kondisi struktural = 0 tahun.
2. Analisis kondisi kerusakan tiap lapisan perkerasan lentur memberikan gambaran kondisi ruas jalan Bypass Kota Pariaman telah mengalami kerusakan dari lapisan *surface* hingga lapisan *subgrade* dengan kerusakan lapisan terparah terjadi pada lapisan *subbase*.
3. Dari hasil analisis tersebut menunjukkan umur sisa perkerasan telah habis serta kondisi kerusakan tiap lapis perkerasan didominasi oleh kondisi *severe*, maka dapat disimpulkan bahwa hasil analisis menggunakan metode AASHTO 1993 memiliki keselarasan dengan hasil analisis metode Horack.
4. Berdasarkan hasil analisis dari kedua metode tersebut dapat disimpulkan bahwa ruas jalan Bypass Kota Pariaman telah membutuhkan penanganan berupa rekonstruksi agar kerusakan dapat ditangani hingga ke lapisan *subgrade*.

7.2 Saran

1. Akibat keterbatasan data lendutan yang pengujiannya tidak dilakukan setiap tahun, maka dapat mempengaruhi tingkat akurasi dari hasil yang didapatkan. Untuk itu perlu dilakukan analisis dengan menggunakan metode lain sebagai pembanding.
2. Sebaiknya dilakukan juga analisis umur sisa berdasarkan kondisi fungsional mengingat survey

kondisi fungsional jalan biasanya dilakukan setiap tahun sehingga analisis dapat dilakukan menggunakan data terkini.

Daftar Pustaka

- AASHTO, (1993): *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- Abisetyo, W (2018): *Prediksi Umur Sisa Perkerasan Lentur Berdasarkan Metode AASHTO (1993), Metode Survivor Curve dan Metode Patterson*. Sistem dan Teknik Jalan Raya ITB, Bandung.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, (2021): *07/P/BM/2021 Pedoman Perencanaan dan Pemograman Pekerjaan Preservasi Jaringan Jalan*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, (2017): *Manual Desain Perkerasan Jalan No.04/SE/Db/2017*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, (2005): *Pd T-05-2005-B Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur dengan Metoda Lendutan*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Horak, E. (2008): *Benchmarking the Structural Condition of Flexible Pavements with Deflection Bowl Parameters*. Journal of the South African Institution of Civil Engineering.
- Tanjung, F. O., Rita, E., & Zufrimar. (2020): *Analisis Kerusakan Jalan Perkerasan Lentur Dengan Menggunakan Metode Pavement Condition Index (PCI) dan Metode Bina Marga Beserta Penanganannya (Studi Kasus: Ruas Jalan Bypass Kota Pariaman STA 52+100 - STA 57+100)*. Teknik Sipil Universitas Bung Hatta, Padang.
- Rahardjo, A. D. M. (2022): *Analisis Pengaruh Faktor IRI, RSL dan IKP dalam Program Pemeliharaan*

Jalan Menggunakan Aplikasi Indonesian Road Management System V.3. Sistem dan Teknik Jalan Raya ITB, Bandung.

Suwanda, M. A. (2022): *Penyusunan Program Pemeliharaan Jalan Berdasarkan Prediksi Kondisi Fungsional Perkerasan Menggunakan Metode MEPDG (Studi Kasus: Jl Raya Sindanglaya – Ujung Berung – Cipadung - Cibiru)* Sistem dan Teknik Jalan Raya ITB, Bandung.

Tranggono, M., & Santosa, W. (2016): *Prediksi Umur Sisa Pekerjaan Lentur Berdasarkan Ketidakrataan Permukaan Jalan (Remaining Service Life of Flexible Pavement Based on Surface Pavement Roughness)*. Jurnal Jalan – Jembatan.