

# Analisis Prediksi Nilai IRI Menggunakan Metode AASHTO 2008 (MEPDG) Dan IRMS (Studi Kasus: Ruas Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung Sta 294+000 sampai dengan STA 304+000)

H.A. Wiraprakoso<sup>1\*</sup>, E.S. Hariyadi<sup>1</sup>, H. Rahman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Institut Teknologi Bandung, Bandung, INDONESIA

\*Corresponding author: hafizhan.aw@hutamakarya.com

## INTISARI

Jalan tol merupakan suatu aset yang perlu dilakukan pengawasan terhadap performanya. Salah satu parameter untuk menilai performa jalan adalah nilai ketidakrataan. Ketidakrataan dinyatakan dalam standar internasional sebagai *International Roughness Index (IRI)*. Direktorat Jenderal Bina Marga telah menetapkan nilai IRI sebagai standar pelayanan minimal (SPM) pada jalan tol maksimal sebesar 4 m/km. Dalam rangka menjaga performa jalan tol, perlu dilakukan prediksi terjadinya nilai IRI yang melebihi SPM agar badan usaha jalan tol (BUJT) memiliki kesiapan untuk melakukan penanganan pemeliharaan.

AASHTO pada tahun 2008 menerbitkan sebuah pedoman desain perkerasan yaitu *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG)* dengan parameter IRI sebagai *output* dari proses desain tersebut. Metode ini dapat digunakan untuk memprediksi nilai IRI dan menjadi dasar dalam penyusunan program pemeliharaan. Direktorat Jenderal Bina Marga telah merilis pedoman untuk manajemen jalan yaitu *Indonesia Road Management System (IRMS)* untuk melakukan prediksi nilai IRI di Indonesia. Perbedaan mendasar dari kedua metode adalah metode MEPDG menggunakan nilai respon perkerasan dalam proses analisis, sedangkan pada metode IRMS, nilai IRI merupakan pengaruh dari kondisi permukaan dan struktural. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa prediksi nilai IRI metode IRMS menghasilkan nilai prediksi yang lebih pesimis daripada prediksi nilai IRI menggunakan metode MEPDG.

Kata kunci: IRI, MEPDG, IRMS

## 1 PENDAHULUAN

Jalan tol merupakan infrastruktur penting dalam transportasi yang memiliki peran krusial dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan mobilitas masyarakat. Pemerintah Indonesia sedang melakukan upaya untuk mengurangi kesenjangan infrastruktur, salah satunya adalah dengan pembangunan jalan Tol Trans Sumatera dengan estimasi nilai investasi sebesar 538 triliun rupiah. Salah satu ruas jalan yang termasuk kedalam Jalan Tol Trans Sumatera adalah ruas Pematang Panggang – Kayu Agung. Ruas ini memiliki panjang sebesar 77,62 km dan telah beroperasi pada tahun 2019. Ruas tol ini menghubungkan Provinsi Lampung dan Provinsi Sumatera Selatan.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 16/PRT/M/2014 tentang Standar Pelayanan Minimal (SPM) jalan tol menyatakan bahwa salah satu lingkup pelayanan jalan tol adalah kondisi jalan tol, dimana salah satu indikator yang digunakan adalah ketidakrataan (*roughness*). Di dalam peraturan tersebut mensyaratkan batas nilai ketidakrataan untuk jalan tol dengan perkerasan lentur ataupun kaku adalah sebesar IRI (*International Roughness Index*) <4m/km.

Suatu program pemeliharaan perlu dirancang dalam rangka menjaga nilai IRI pada jalan tol sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Dalam membangun sebuah program pemeliharaan pada jalan perlu dilakukan prediksi terhadap tingkat penurunan kondisi perkerasan sehingga jenis dan biaya pemeliharaan dapat diestimasi (Paterson, 1987). *The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)* pada tahun 2008 menerbitkan *Manual of Practice Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG)* sebagai salah satu metode untuk perancangan perkerasan dan juga untuk memprediksi penurunan kondisi jalan dan penurunan nilai IRI. Metode ini telah banyak diteliti di berbagai negara. Negara-negara yang telah melakukan penelitian penggunaan metode MEPDG ini diantaranya adalah: Italia (Caliendo, 2012), Kanada (Hamdi et al, 2014), Mesir (El-Shaib et al, 2017), dan Arab Saudi (Al-Qaili & Solieman, 2021). Sedangkan prediksi penurunan kondisi perkerasan di Indonesia dilakukan mengikuti pedoman No. 07/P/BM/2021 tentang perencanaan dan pemrograman pekerjaan preservasi jaringan jalan. Pedoman tersebut kemudian dijadikan acuan penyusunan Indonesia Road Management System (IRMS).

Terdapat perbedaan antara prediksi nilai IRI dengan metode MEPDG dan IRMS, dimana MEPDG menggunakan metode desain empiris mekanistik yang memerlukan respon perkerasan dalam analisisnya sedangkan pada metode

IRMS analisis prediksi nilai IRI ditentukan dari kondisi permukaan dan struktural, dimana kondisi struktural merupakan pengaruh dari sisa umur layan perkerasan (RSL). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji prediksi dari kedua metode tersebut dan menentukan parameter-parameter apa saja yang memengaruhi hasil prediksi.

## 2 METODOLOGI PENELITIAN

Jalan tol ruas Pematang Panggang-Kayu Agung selesai dikonstruksi pada tahun 2019. Pada tahun 2022 pada ruas tersebut telah terjadi kerusakan, sehingga perlu dilakukan rekonstruksi. Rekonstruksi selesai pada pertengahan tahun 2023. Prediksi nilai IRI dilakukan pada kondisi perkerasan setelah rekonstruksi yaitu tahun 2023 sampai umur rencana 20 tahun, yaitu tahun 2042.

Pada metode analisis prediksi nilai IRI MEPDG, perlu dilakukan kalibrasi lokal terhadap persamaan-persamaan kerusakannya dan persamaan nilai IRI agar hasil prediksi sesuai dengan kondisi perkerasan di lapangan. Kalibrasi lokal dilakukan menggunakan data perkerasan setelah selesai konstruksi sampai sebelum dilakukan rekonstruksi, yaitu data dari tahun 2019 sampai tahun 2022.

### 2.1 Pengumpulan Data

Data realisasi lalu lintas, data IRI, data pengujian lendutan, dan data investigasi tanah merupakan data sekunder yang didapatkan dari Divisi Operasional dan Pemeliharaan Jalan Tol PT Utama Karya (Persero) yang merupakan badan usaha jalan tol (BUJT) pada ruas ini. Kemudian, data *traffic counting* untuk mendapatkan rasio golongan kendaraan merupakan data yang didapatkan dari survei primer.

Tabel 1. Realisasi lalu lintas berdasarkan golongan kendaraan di jalan tol

Tahun	Golongan				
	1	2	3	4	5
2.019	6.855	5.374	1.575	109	177
2.020	28.287	23.983	8.162	360	920
2.021	40.301	30.944	8.952	433	1.142
2.022	48.936	34.510	9.494	494	1.505
2023 (September)	35.804	26.869	6.931	392	1.376
2023 (1 tahun)	48.046	36.056	9.301	526	1.846

Tabel 2. Hasil traffic counting

Golongan Kendaraan di Tol	I					II		III	IV	V
	Jumlah									
Jumlah	5.553					758		349	247	250
Golongan Kendaraan MDP 2017	2	3	4	5a	6a	5b	6b	7a	7b	7c
Jumlah	4.082	381	375	277	438	291	467	349	247	250
Distribusi Terhadap Golongan Tol (%)	73,5	6,9	6,8	5,0	7,9	38,4	61,6	100	100	100

Struktur perkerasan pada jalan tol setelah selesai di konstruksi pada tahun 2019 adalah AC-WC 40mm, AC-BC 60mm, AC-Base 75mm, agregat base kelas A 175mm, agregat base kelas B 200mm, dan tanah dasar dengan nilai CBR 6%. Kegiatan rekonstruksi yang dilakukan pada tahun 2023 adalah menggali lapisan perkerasan eksisting dengan kedalaman 410mm dan mengganti lapisan perkerasan dengan AC-WC 50mm, AC-BC 60mm, AC-Base 150mm, *cement treated base* 150mm, dan agregat kelas A 350mm. Berdasarkan hasil investigasi tanah didapatkan bahwa indeks plastisitas tanah dasar sebesar 10%.

Tabel 1. Menunjukkan hasil realisasi lalu lintas dari tahun 2019 sampai dengan 2022, Tabel 2. Menunjukkan hasil traffic counting, dan Tabel 3. menunjukkan nilai IRI pada tahun 2019 (setelah konstruksi), 2022 (sebelum rekonstruksi), dan 2023 (setelah rekonstruksi). Tabel 4. menunjukkan segmentasi ruas jalan berdasarkan data hasil pengujian lendutan menggunakan *falling weight deflectometer* (FWD).

Tabel 3. Data IRI

Stationing	2019		2022		2023	
	A	B	A	B	A	B
294 - 296	2,14	2,45	3,84	3,52	2,45	2,24
296 - 298	2,30	2,36	3,83	4,10	2,99	2,63
298 - 300	2,39	2,21	3,63	3,81	2,42	2,35
300 - 302	2,34	2,40	3,73	4,06	2,54	2,47
302 - 304	2,54	2,37	3,91	3,43	2,29	2,81
Min	1,40	1,40	1,70	1,80	1,37	1,40
Max	4,00	5,20	8,60	11,50	3,93	3,95
Mean	2,34	2,36	3,78	3,78	2,54	2,50

Tabel 4. Segmentasi jalan berdasarkan pengujian lendutan (FWD)

Segmen	Stationing		Jarak (km)	d1 (0,001mm)
1. Lajur Lambat A	294 + 000	s.d. 304 + 000	10,00	818,72
2. Lajur Cepat A	294 + 000	s.d. 304 + 000	10,00	620,07
3. Lajur Lambat B1	294 + 000	s.d. 301 + 700	7,70	621,05
4. Lajur Lambat B2	301 + 700	s.d. 304 + 000	2,30	966,34
5. Lajur Cepat B	294 + 000	s.d. 304 + 000	10,00	400,18

2.2 Prediksi IRI metode MEPDG

MEPDG menyatakan bahwa nilai IRI merupakan pengaruh dari kerusakan-kerusakan perkerasan yang terjadi. Pada perkerasan lentur kerusakan yang didefinisikan dalam MEPDG adalah *rutting*, *load related cracking* yang terdiri dari *longitudinal* dan *alligator cracking*, *non load related cracking (transversal cracking)*, dan *site factor*. Berikut ini adalah persamaan IRI metode MEPDG.

$$IRI = IRI_0 + C_1(RD) + C_2(FC_{Total}) + C_3(TC) + C_4(SF) \tag{1}$$

Dimana  $IRI_0$  adalah IRI awal setelah konstruksi (in/mi), RD adalah kedalaman dari kerusakan *rutting (rut depth)*, TC adalah nilai dari *transversal cracking*, SF adalah *site factor*, dan  $C_1, C_2, C_3, C_4$  merupakan koefisien kalibrasi lokal untuk masing-masing kerusakan.

Pada penelitian ini analisis kerusakan *transversal cracking* tidak dilakukan, karena kerusakan ini biasanya hanya terjadi di negara yang memiliki musim salju sehingga jenis kerusakan ini tidak terjadi pada kondisi iklim di Indonesia.

2.3 Prediksi IRI metode IRMS

IRMS menyatakan bahwa peningkatan nilai IRI merupakan pengaruh dari kondisi permukaan dan struktural. Kontribusi dari kondisi permukaan dan struktural terhadap nilai IRI mungkin bervariasi untuk setiap jalan, namun untuk tujuan pemodelan nilai rasio yang digunakan adalah 25% permukaan dan 75% struktural.

$$IRI_{new} = 0,25 \times IRIG + 0,75 \times IRIR \tag{2}$$

Dimana IRIG adalah IRI kondisi permukaan dan IRIR adalah IRI kondisi struktural. Untuk mendapatkan IRIG digunakan persamaan berikut.

$$\text{Apabila IRI sebelumnya } < 2, IRIG = IRIP_{prev} + 0,04 \times Climate\ Mult \times ESA\ mult \tag{3}$$

$$\text{Apabila IRI sebelumnya } > 2, IRIG = IRIP_{prev} + (0,074 \times IRIP_{prev} - 0,1124) \times Climate\ Mult \times ESA\ Mult \tag{4}$$

Dimana  $IRIP_{prev}$  adalah IRI sebelumnya, *Climate Mult* adalah faktor pengali iklim, dan *ESA Mult* adalah faktor pengali ESA. Untuk mencari IRIR digunakan persamaan berikut.

$$\text{Apabila RSL sebelumnya } < 0,01, IRIR = IRIP_{prev} + 0,05 \tag{4}$$

$$\text{Apabila RSL sebelumnya } > 0,01, IRIR = IRIP_{prev} + 0,4977 \times e^{(-0,074 \times RSL)} \tag{5}$$

Dimana RSL adalah *remaining service life* atau sisa umur layan perkerasan.

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Repetisi Beban Lalu Lintas

Analisis repetisi beban lalu lintas menggunakan Metode Desain Perkerasan (MDP) 2017 yang merupakan adaptasi dari metode Austroads. Nilai *Vehicle Damage Factor (VDF)* yang digunakan dalam penelitian ini adalah VDF5, dimana berdasarkan Austroads, apabila desain perkerasan menggunakan metode mekanistik-empiris maka nilai VDF yang digunakan adalah VDF5. Nilai laju pertumbuhan lalu lintas untuk pulau Sumatera adalah sebesar 4,83%. Hasil analisis repetisi beban lalu lintas ditunjukkan oleh Tabel 5.

Tabel 5. Hasil analisis repetisi beban lalu lintas

Tahun	ESAL	CESAL	Tahun	ESAL	CESAL
2019	26.102	26.102	2031	1.728.982	8.102.851
2020	113.844	139.946	2032	1.970.394	10.073.245
2021	136.461	276.407	2033	2.223.467	12.296.713
2022	152.319	428.725	2034	2.488.763	14.785.476
2023	157.903	157.903	2035	2.766.873	17.552.349
2024	323.432	481.335	2036	3.058.416	20.610.765
2025	496.956	978.291	2037	3.364.040	23.974.805
2026	678.862	1.657.153	2038	3.684.426	27.659.231
2027	869.554	2.526.707	2039	4.020.286	31.679.517
2028	1.069.456	3.596.163	2040	4.372.369	36.051.886
2029	1.279.013	4.875.177	2041	4.741.457	40.793.343
2030	1.498.692	6.373.869	2042	5.128.372	45.921.715

#### 3.2 Kalibrasi Lokal Persamaan IRI MEPDG

Penentuan karakteristik material perlu dilakukan agar analisis prediksi IRI dapat dilakukan, penentuan karakteristik material ini mengacu kepada karakterisasi materail oleh MDP 2017. Karakterisasi material dilakukan pada perkerasan awal setelah masa konstruksi.

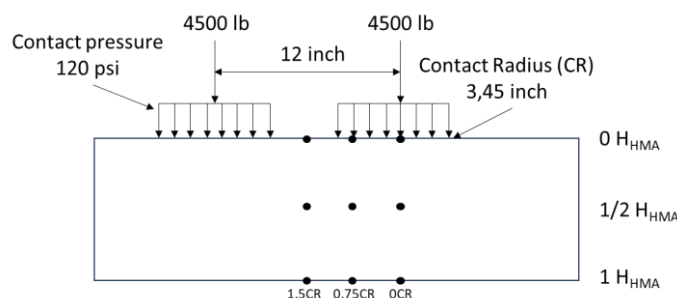
Tabel 6. Modulus dan poisson ratio perkerasan setelah konstruksi

Layer	Tebal (cm)	Modulus (psi)	Poisson Ratio
Campuran Aspal	17,5	145.137,00	0,4
Base Course	37,5	7.210,00	0,35
Subgrade	-	8.708,22	0,45

Nilai respon perkerasan didapatkan dari pengolahan perangkat lunak KENPAVE. Tipe pembebanan merupakan pembebanan sumbu tunggal roda ganda. MEPDG menetapkan untuk pembebanan sumbu tunggal roda ganda memiliki *contact pressure* sebesar 120 psi dan jarak antar ban sebesar 12 inch. Huang (2004) menentukan persamaan untuk mendapatkan *contact radius* sebagai berikut, sehingga didapatkan nilai *contact radius* sebesar 3,45 inch.

$$contact\ radius = \sqrt{\frac{P_d}{\pi q}} \tag{6}$$

Dimana,  $P_d$  adalah Beban (lbs) dan  $q$  adalah *contact pressure* (psi). Ilustrasi pembebanan ditunjukkan Gambar 1.

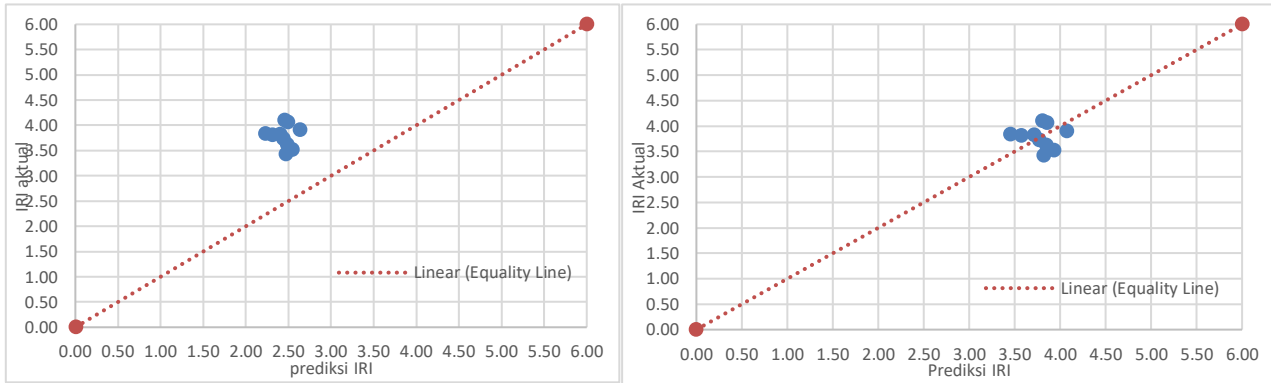


Gambar 1. Ilustrasi pembebanan

Penyesuaian nilai kalibrasi dilakukan dengan memperkecil nilai bias dan *sum square error* (SSE). Nilai bias dan SSE ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Selisih antara prediksi dan aktual nilai IRI}}{\text{Jumlah segmen jalan yang dianalisis}} \tag{7}$$

$$SSE = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Perbedaan antara prediksi dan aktual nilai IRI}^2}{\text{Jumlah segmen jalan yang dianalisis}} \tag{8}$$



(a) (b)  
Gambar 2. Nilai IRI sebelum kalibrasi (a) dan nilai IRI setelah kalibrasi (b)

Gambar 2. menunjukkan perubahan nilai IRI setelah di kalibrasi, dimana bias dan SSE sebelum kalibrasi adalah sebesar -1,35 dan 3,93 sedangkan bias dan SSE setelah kalibrasi adalah 0 dan 0,009. Berdasarkan analisis tersebut didapatkan nilai koefisien kalibrasi yaitu  $C_1=61,95$ ,  $C_2=0,62$ ,  $C_3=0,012$ , dan  $C_4=0,023$ .

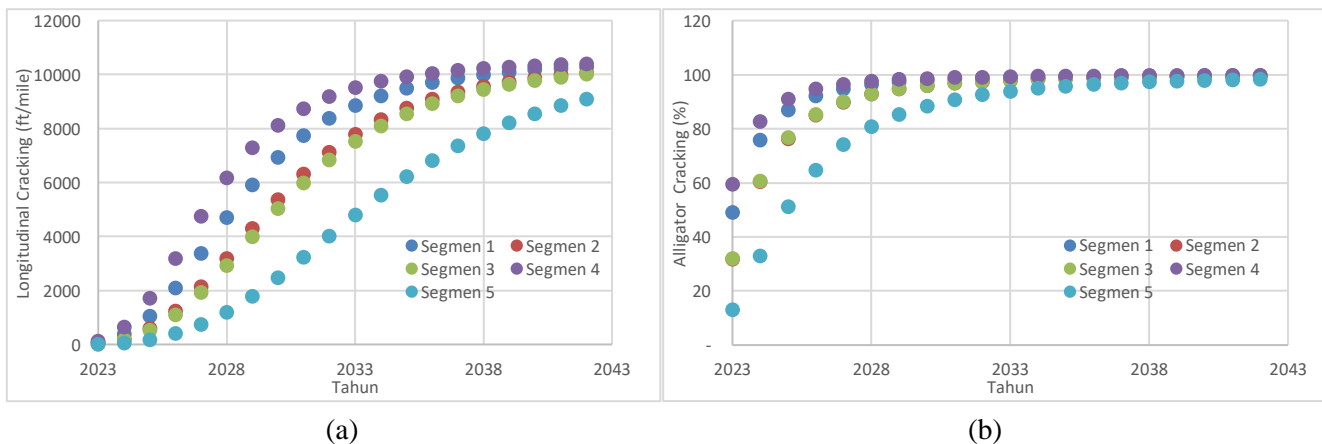
### 3.3 Prediksi Nilai IRI metode MEPDG

Hasil analisis lendutan berupa nilai modulus resilien tanah dasar dan modulus efektif perkerasan. Hasil analisis lendutan kemudian akan menjadi *input* pada KENPAVE untuk mencari respon perkerasan.

Tabel 7. Hasil analisis lendutan

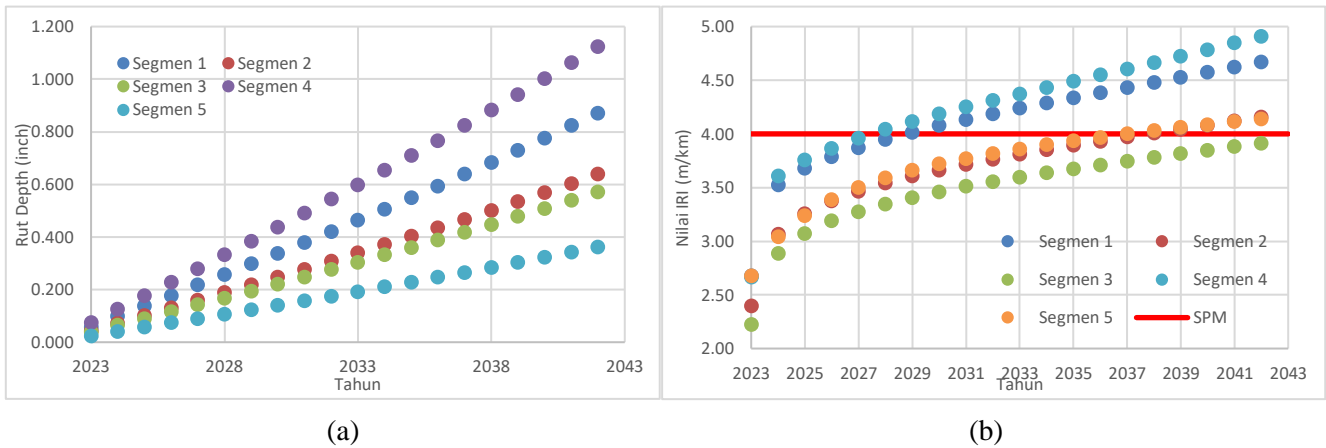
Segmen	$M_R$ (psi)	$E_p$ (psi)
1. Lajur Lambat A	21.560,94	14.020,00
2. Lajur Cepat A	18.244,38	18.440,00
3. Lajur Lambat B1	21.099,03	18.410,00
4. Lajur Lambat B2	19.154,15	11.875,00
5. Lajur Cepat B	19.902,81	28.450,00

Prediksi nilai IRI metode MEPDG dilakukan dengan mencari kenaikan kerusakan-kerusakan perkerasan. Gambar 3. menunjukkan grafik kenaikan kerusakan *alligator cracking*.



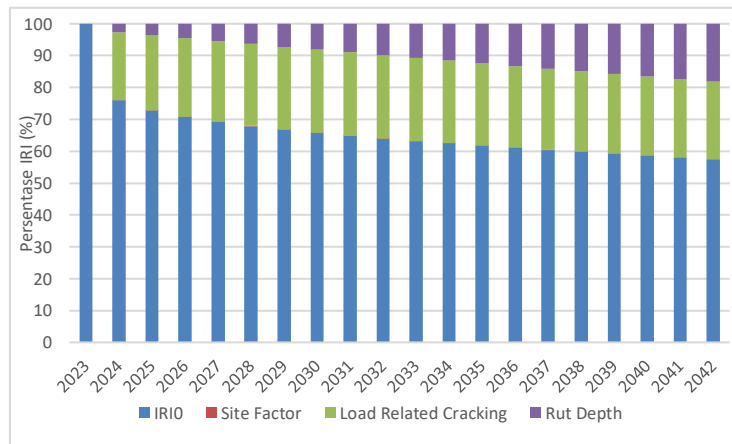
Gambar 3. Grafik kerusakan *longitudinal cracking* (a) dan *alligator cracking* (b)

Gambar 4. Menunjukkan grafik kenaikan kerusakan *rutting* dan prediksi nilai IRI.



Gambar 4. Grafik kenaikan kerusakan *rutting* (a) dan prediksi nilai IRI MEPDG (b)

Gambar 5. Menunjukkan pengaruh parameter kerusakan jalan terhadap prediksi nilai IRI. Grafik tersebut menunjukkan bahwa  $IRI_0$  adalah parameter yang paling mempengaruhi prediksi nilai IRI, dimana nilai pengaruh paling tinggi yaitu 78,3%. *Load related cracking* adalah parameter kedua yang paling mempengaruhi nilai IRI, dimana pengaruh *load related cracking* paling tinggi adalah sebesar 26,16%. Selanjutnya kerusakan *rutting* adalah parameter ketiga yang paling mempengaruhi nilai IRI, dimana pengaruh *rutting* paling besar adalah sebesar 18,24%. Pengaruh dari *site factor* terhadap prediksi nilai IRI sangat tidak signifikan, dimana nilai pengaruh *site factor* paling tinggi hanya 0,12%.



Gambar 5. Pengaruh kerusakan jalan terhadap nilai prediksi IRI MEPDG

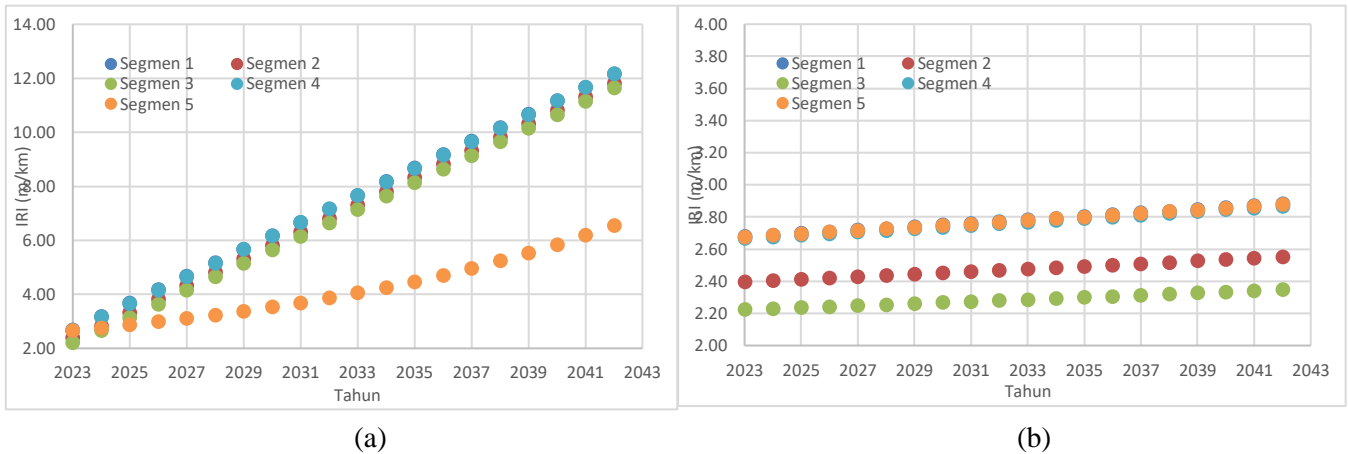
### 3.4 Prediksi Nilai IRI metode IRMS

IRI kondisi struktural (IRIR) merupakan pengaruh dari nilai *remaining service life (RSL)*. Tabel 8. menunjukkan hasil analisis perhitungan RSL untuk setiap segmen.

Tabel 8. RSL perkerasan

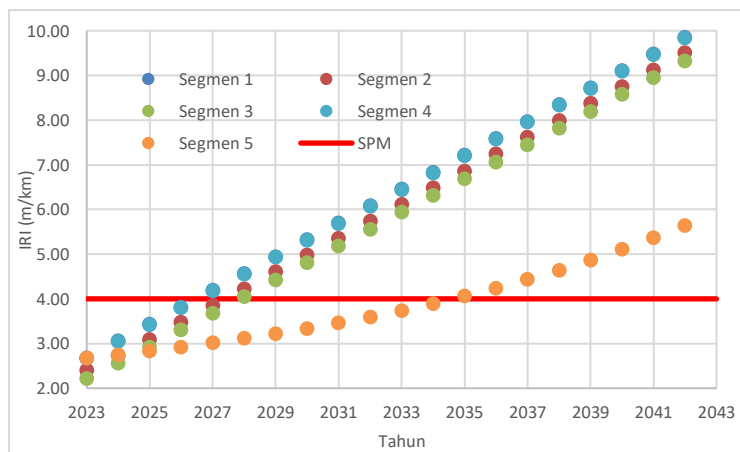
Segmen	d1 (0,001mm)	SNP	CAP	RSL (tahun)
1. Lajur Lambat A	818,72	3,13	0,076	0,464
2. Lajur Cepat A	620,07	3,77	0,434	2,526
3. Lajur Lambat B1	621,05	3,76	0,429	2,503
4. Lajur Lambat B2	966,34	2,80	0,027	0,165
5. Lajur Cepat B	400,18	5,05	6,773	23,123

Berdasarkan hasil analisis RSL, maka didapatkan prediksi nilai IRIR untuk setiap segmen. Hasil prediksi IRIR ditunjukkan oleh Gambar 6.

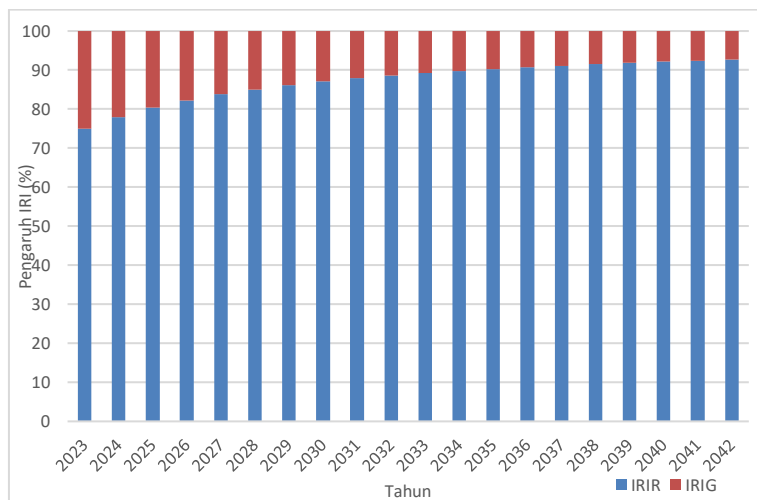


Gambar 6. Grafik prediksi IRIR (a) dan prediksi IRIG (b)

Hasil analisis IRIR dan IRIG menjadi *input* untuk amendapatkan nilai prediksi IRI IRMS. Gambar 8. menunjukkan grafik prediksi IRMS.



Gambar 7. Grafik prediksi IRI IRMS



Gambar 8. Pengaruh IRIR dan IRIG terhadap IRI IRMS

Gambar 9. menunjukkan grafik pengaruh nilai IRIR dan IRIG terhadap prediksi nilai IRI IRMS. Grafik tersebut menunjukkan bahwa IRIR adalah parameter yang lebih berpengaruh terhadap nilai IRI daripada parameter IRIG dengan nilai pengaruh yang paling besar adalah 92,69% sedangkan pengaruh nilai IRIG yang paling besar adalah 25%.

#### 4 KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa prediksi nilai IRI dengan metode IRMS memiliki hasil yang lebih pesimis dibandingkan prediksi nilai IRI menggunakan metode MEPDG. Hal ini disebabkan oleh nilai IRI kondisi struktural pada metode IRMS untuk segmen jalan yang memiliki RSL < 0,01 mengalami kenaikan sebesar 0,05 setiap tahun, dimana IRI kondisi struktural memiliki pengaruh yang dominan terhadap nilai IRI IRMS, dengan nilai pengaruh IRI kondisi struktural terbesar adalah 92,69%. Sedangkan pada metode MEPDG, kenaikan nilai IRI didapatkan pengaruh kerusakan-kerusakan jalan yaitu; *rutting*, *longitudinal cracking*, dan *alligator cracking*. Kerusakan-kerusakan tersebut merupakan hasil analisis nilai respon perkerasan dan kenaikan repetisi beban setiap tahunnya. Parameter yang paling mempengaruhi nilai prediksi IRI metode MEPDG adalah nilai IRI<sub>0</sub> dimana nilai pengaruh paling tinggi yaitu sebesar 78,3%. Parameter kedua yang paling mempengaruhi nilai IRI adalah *load related cracking*, dimana pengaruh *load related cracking* paling tinggi adalah sebesar 26,16%. Selanjutnya, parameter ketiga yang paling mempengaruhi nilai IRI adalah kerusakan *rutting*, dimana pengaruh *rutting* paling besar adalah sebesar 18,24%.

#### REFERENSI

- AASHTO. (1993). "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures". *American Association of State Highway and Transportation*. Washington D.C.
- AASHTO. (2008). "Mechanistic-EMpirical Pavement Design Guide". *American Association of State Highway and Transportation Officials*. Washington D.C.
- Abdulraof H. Al-Qaili, H. A.-S. (2021). "Enhancing MEPDG distress models prediction for Saudi Arabia by local calibration". *Road Materials and Pavement Design*. doi:10.1080/14680629.2021.1910546
- Amin S. Hamdi, S. L. (2014). "Canadian Calibration on Mechanistic – Empirical Pavement Design Guide to Estimate International Roughness Index (IRI) using MTO Data". *Chinese Society of Pavement Engineering, Vol.7 No.2*. doi:10.6135/ijprt.org.tw/2014.7(2).101
- Austrroads. (2012). "Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design". *Austrroads Ltd*.
- Caliendo, C. (2012). "Local Calibration and Implementation of the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide for Flexible Pavement Design". *JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING*.
- Direktorat jenderal Bina Marga. (2017). "Manual Desain Perkerasan Jalan No.04/SE/Db/2017". *Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2021). "Perencanaan dan Pemrograman Pekerjaan Preservasi Jaringan Jalan". *Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*.
- Huang, Y. H. (2004). "Pavement Analysis and Design". *Pearson Education Inc*.
- Jhuma Saha, S. N. (2012). "A Comparative Study between the Alberta Transportation Flexible Pavement Design and the MEPDG". *International Journal of Pavement Research and Technology*.
- Kazi Moinul Islam, S. L. (2023). "Predicting Flexible Pavement Distress and IRI Considering Subgrade Resilient Modulus of Fine-Grained Soils Using MEPDG". *MDPI, Materials 16, no. 3, 1126*. doi:https://doi.org/10.3390/ma16031126
- Maha A. El-shaib, S. M.-B.-S. (2017). "Comparison of AASHTO 1993 and MEPDG considering the Egyptian climatic conditions". *Innovation Infrastructure Solution, 2-18*.
- Michael W. Sayers, T. D. (1986). "Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurement". *The International Bank for Reconstruction*. Washington D.C., U.S.A.
- Paterson, W. D. (1987). "Road Deterioration and Maintenance Effect, Models for Planning and Management". *The John Hopkins University Press*.