

Prediksi Kerusakan Permukaan Perkerasan Jalan Lentur Berdasarkan Metode HDM-4

Prediction of Pavement Surface Deterioration Based on HDM-4 Method

Septi Adnan¹, Bambang Sugeng Subagio², dan Djunaedi Kosasih³

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sembilan Belas November Kolaka, Indonesia

² Kelompok Keahlian Rekayasa Transportasi, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

³ Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

Abstrak

HDM-4 yang dikembangkan oleh *World Bank* (1968) dapat digunakan untuk memprediksi perkembangan kerusakan perkerasan jalan di tahun awal operasi ke tahun – tahun berikutnya selama periode analisa. Kerusakan yang akan dimodelkan diantaranya yaitu kerusakan retak, *ravelling*, lubang, dan *edge break*. Pada penelitian ini data Lalulintas Harian Rata - rata, data *Falling Weight Deflectometer*, dan data struktur perkerasan jalan di dua lajur lambat lokasi studi akan digunakan pada model sebagai variabel dalam proses analisis. Dari data tersebut menghasilkan nilai YE4 (beban sumbu standar), YAX (jumlah sumbu kendaraan) dan nilai ITP (indeks tebal perkerasan) yang berbeda. Studi kasus penelitian berada di jalan Lohbener – Jatibarang yang merupakan jalan nasional di Provinsi Jawa Barat. Hasil analisis data kerusakan yang terjadi pada permukaan perkerasan mendekati 30% dari total luas kerusakan, sehingga dibutuhkan suatu tindakan penanganan pada jalan tersebut. Dengan menggunakan model prediksi ini, dapat memberikan informasi untuk menyusun suatu program pemeliharaan yang tepat pada kerusakan jaringan jalan.

Kata kunci:
Edge Break, ITP, Kerusakan, Lubang, Retak, *Ravelling*, YE4, YAX.

PENDAHULUAN

Banyak kondisi ruas jalan nasional, jalan provinsi, jalan kabupaten maupun kota telah mengalami kerusakan perkerasan struktural, padahal perkerasan baru selesai dikerjakan dan masih dalam tahap masa pemeliharaan. Kondisi tersebut menunjukkan adanya masalah serius dalam kualitas pelaksanaan dan pemeliharaan infrastruktur jalan. Infrastruktur jalan yang berkualitas adalah fondasi (1). Untuk mengatasi masalah ini, penting untuk melakukan evaluasi terhadap proses perencanaan, pelaksanaan konstruksi, serta pemeliharaan jalan. Salah satu tujuan evaluasi ini ialah agar susunan lapis perkerasan jalan bisa terlaksana dengan baik. Dan susunan lapis perkerasan berfungsi untuk menerima beban kendaraan (2) serta mampu menahan beban lalu lintas (3). Selain itu, jalan raya dirancang sehalus mungkin melalui proses pengerasan (4). Kenyamanan pengemudi dipengaruhi oleh tingkat ketidakrataan permukaan jalan, sehingga perlu dilakukan pemeriksaan kondisi jalan secara berkala. Parameter yang digunakan untuk menentukan tingkat ketidakrataan permukaan jalan dalam satuan m/km (5). Retak struktural memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap proses kerusakan perkerasan jalan (6,7). Perkerasan jalan dapat diukur masa layanannya sebelum jalan rusak (8).

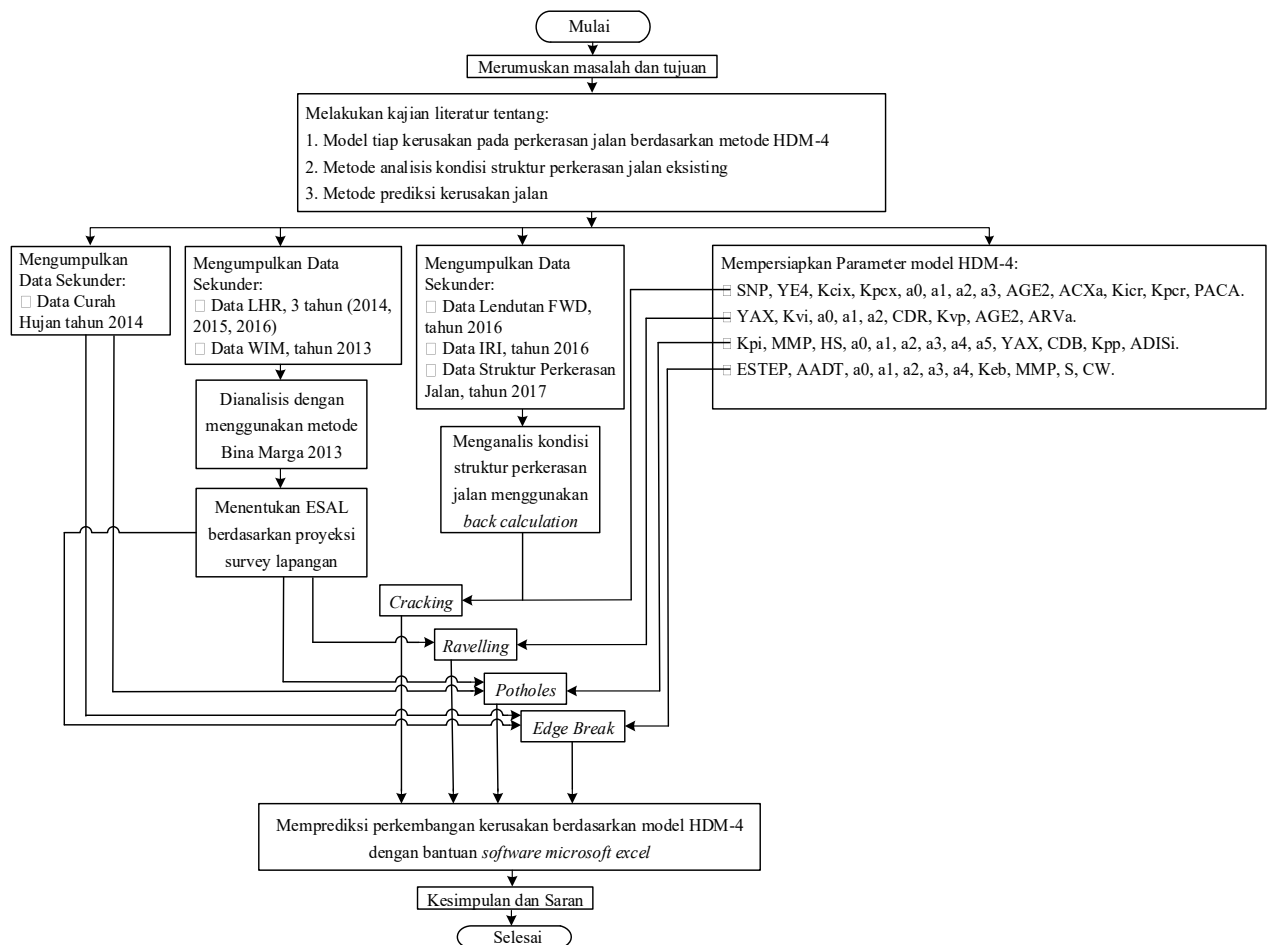
Perkiraan masa layan sisa struktur perkerasan yang didasarkan pada dua regangan kritis yang terjadi di dalam struktur perkerasan (9).

Berdasarkan permasalahan diatas, Pada kenyataannya, umur perkerasan jalan yang direncanakan seringkali tidak sesuai dengan yang terjadi di lapangan dan mengalami kerusakan dini (10). Penelitian ini mencoba untuk memprediksi jalan berdasarkan ketidakrataan jalan dengan menggunakan metode HDM-4 (*Highway Development and Management*, versi ke-4) yang merupakan suatu program yang dapat digunakan untuk memperkirakan kinerja perkerasan jalan di tahun awal operasi ke tahun – tahun berikutnya selama periode analisa dan bagaimana perkembangannya. Dalam penerapan HDM-4, terdapat beberapa fungsi yang perlu dipertimbangkan di jalan raya dalam proses manajemen, yaitu perencanaan, pemrograman, persiapan dan operation (11,12).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini memfokuskan analisis pada empat jenis kerusakan permukaan perkerasan jalan yang diidentifikasi dalam model HDM-4. Pemilihan keempat jenis kerusakan ini didasarkan pada pertimbangan tingkat signifikan dan frekuensi kemunculannya pada permukaan jalan, sehingga metodologi penelitian akan diarahkan untuk mengkaji secara mendalam mekanisme terjadinya serta faktor-faktor yang mempengaruhi penurunan kondisi permukaan perkerasan akibat kerusakan-kerusakan tersebut. Model penurunan ketidakrataan perkerasan jalan merupakan salah satu parameter penting untuk menentukan kinerja fungsional pada tahun mendatang (13).

Diagram alir pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

Adapun 4 model HDM-4 penurunan kondisi permukaan perkerasan jalan yaitu yang diakibatkan oleh Retak (Retak struktural dan retak refleksi), *ravelling*, Lubang (*potholing*), dan *edge break*. Sedangkan kerusakan dan ketidakrusakan area lapisan permukaan, alur (*rutting*), dan ketidakrataan (*roughness*) tidak termasuk dalam lingkup penelitian ini. Dalam analisis, parameter – parameter yang digunakan berdasarkan parameter yang terdapat dalam model HDM-4, persentase batasan kerusakan maksimum 30% berdasarkan standar International Study of HDM dan dilakukan dengan alat bantu *software Microsoft Excel*.

Data yang digunakan merupakan data sekunder yang didapatkan dari P2JN Jawa Barat. Lokasi Ruas jalan Lohbener – Jatibarang yang akan ditinjau, memiliki panjang jalan 8.812 km untuk jalur A dan 8.776 km untuk jalur B dengan tipe perkerasan lentur. Disekitar jalan terdapat pertokoan, perumahan, persawahan dan perkantoran dengan tipe jalan 4/2D. Kondisi ruas jalan nasional provinsi jawa barat ini sebagian sudah dalam kondisi baik dan sedang, dengan nilai IRI rata – rata 5.816 m/km arah jatibarang dan 4.340 m/km arah lohbenner di tahun 2016, data ini memberikan gambaran kondisi jalan lokasi studi saat di analisis. lendutan yang terjadi pada struktur perkerasan yang menjadi parameter kekuatan struktur perkerasan yang ditinjau. Alat lendutan yang digunakan ialah alat FWD (*Falling Weight Deflectometer*). Pengujian FWD pada struktur perkerasan dilakukan sebanyak tiga kali untuk tiap STA lajur jalan (A) dan lajur jalan (B). Dalam tabel nilai lendutan yang ditampilkan merupakan pengujian yang paling mendekati beban 40 kN.

Tabel 1. Data Lendutan Ruas Jalan Arah Jatibarang (A)

Data : Nilai lendutan hasil pengujian FWD
 Ruas : Lohbener - Jatibarang (A)
 Provinsi : Jawa Barat
 Waktu :
 Pengujian 8/24/2016

No.	STA.	Tekanan (Kpa)	Lendutan (0,001 mm)								
			df1	df2	df3	df4	df5	df6	df7	df8	df9
1	52,68	566,00	238,40	198,90	167,60	130,90	107,10	77,70	61,00	50,70	42,50
2	53,00	567,00	263,70	193,80	156,40	127,00	107,30	78,30	59,80	47,90	39,10
3	53,40	570,00	169,50	112,80	88,30	74,70	69,30	54,00	44,00	37,00	31,10
4	53,80	567,00	85,90	78,50	70,00	62,10	58,00	49,90	41,90	36,80	30,60
5	54,20	572,00	115,00	93,50	77,60	70,10	64,10	53,80	45,20	38,50	33,30
6	54,60	570,00	108,30	97,20	88,70	79,80	72,10	60,70	51,90	44,00	38,60
7	55,00	566,00	277,90	219,30	178,10	149,10	131,10	98,10	77,70	63,30	48,40
8	55,40	576,00	116,20	102,60	90,90	86,20	82,70	69,80	61,90	53,50	46,40
9	55,80	563,00	268,70	224,20	185,00	152,40	129,00	94,50	70,30	54,80	44,00
10	56,20	565,00	244,20	218,40	198,00	175,00	155,80	119,20	92,70	69,80	54,60
11	56,60	570,00	91,50	80,90	72,90	66,50	60,90	51,30	43,90	38,40	32,90
12	57,00	567,00	96,20	78,20	70,20	64,00	60,30	52,60	46,40	41,20	36,30
13	57,40	566,00	394,70	336,10	277,30	199,30	135,50	63,90	45,20	39,40	34,90
14	57,80	574,00	135,10	114,50	99,80	85,60	74,90	56,60	47,00	38,90	35,70
15	58,20	576,00	86,80	78,60	66,80	57,50	53,10	44,40	38,30	34,40	28,40
16	58,60	571,00	106,80	92,70	83,30	71,50	65,30	53,20	45,60	38,60	33,60
17	59,00	567,00	178,90	156,50	138,30	116,90	102,00	78,50	63,60	52,10	43,70
18	59,40	563,00	215,50	153,20	107,60	72,20	55,40	42,50	36,30	34,10	29,10
19	59,80	574,00	67,50	65,40	60,70	55,40	52,90	47,50	41,90	35,50	31,50
20	60,20	564,00	82,00	82,20	76,20	70,30	66,40	56,70	47,80	39,90	32,10
21	60,60	561,00	88,20	82,90	77,00	71,10	67,60	57,40	48,70	40,40	32,20
22	60,95	568,00	56,70	46,70	41,00	38,40	38,10	35,10	31,80	28,10	25,10
Min		561,00	56,70	46,70	41,00	38,40	38,10	35,10	31,80	28,10	25,10
Max		576,00	394,70	336,10	277,30	199,30	155,80	119,20	92,70	69,80	54,60
Rata2		568,32	158,53	132,14	112,35	94,36	82,22	63,44	51,95	43,51	36,55

Sumber: Balai Litbang Perkerasan Jalan Jawa Barat, 2016

Tabel 2. Data Lendutan Ruas Jalan Arah Lohbener (B)

Data : Nilai lendutan hasil pengujian FWD

Ruas : Lohbener - Jatibarang (B)

KM. : 60.95 s/d 52.68

Provinsi : Jawa Barat

Waktu :

pengujian 8/24/2016

No.	STA.	Tekanan (Kpa)	Lendutan (0,001 mm)								
			df1	df2	df3	df4	df5	df6	df7	df8	df9
1	60,95	570,00	69,70	42,50	39,70	36,60	35,20	31,10	27,00	23,60	20,10
2	60,90	574,00	101,60	95,50	91,70	88,10	85,40	77,30	69,60	61,10	53,80
3	60,50	567,00	273,60	212,90	161,90	117,50	94,60	65,60	48,60	39,70	31,80
4	60,10	564,00	162,70	135,20	115,60	93,40	81,10	61,90	47,50	40,10	34,50
5	59,70	566,00	163,10	106,70	82,90	75,10	68,00	56,10	46,50	38,80	33,00
6	59,30	567,00	164,30	120,70	96,20	76,90	66,70	53,10	43,50	36,80	30,60
7	58,90	563,00	281,50	179,00	128,10	100,80	85,60	66,70	54,50	44,30	36,50
8	58,50	565,00	263,80	200,80	150,60	107,70	85,30	62,00	48,30	39,70	34,40
9	58,10	572,00	180,40	153,50	127,90	101,20	83,40	60,40	45,90	40,30	33,40
10	57,70	567,00	225,70	170,00	126,60	95,20	80,70	62,80	51,60	41,50	38,30
11	57,30	567,00	188,60	151,30	134,10	119,70	106,70	82,40	65,90	53,40	44,10
12	56,90	571,00	141,10	110,10	93,80	81,20	72,30	59,70	49,30	42,60	36,00
13	56,50	567,00	327,80	268,50	221,00	178,20	149,00	106,50	80,70	65,00	52,70
14	56,10	571,00	235,80	184,50	146,50	116,00	98,50	74,60	59,60	51,00	43,60
15	55,70	573,00	99,20	86,60	77,80	70,10	64,40	55,00	47,10	40,00	33,40
16	55,30	566,00	167,20	136,40	110,10	90,60	78,30	62,50	51,80	44,30	37,60
17	54,90	575,00	107,50	101,20	93,60	85,00	78,00	65,60	56,30	47,10	39,80
18	54,50	567,00	180,30	151,70	127,70	108,20	96,40	75,70	61,70	51,20	43,00
19	54,10	569,00	116,70	96,50	80,10	66,90	59,80	50,50	43,90	38,80	32,80
20	53,70	571,00	101,40	78,80	68,30	61,00	56,50	48,50	41,60	35,30	30,30
21	53,30	564,00	184,10	138,90	113,50	92,10	80,20	63,10	51,60	44,30	36,70
22	52,90	569,00	266,70	225,20	186,90	147,90	119,20	85,20	67,70	55,40	47,00
23	52,68	567,00	323,80	276,50	231,30	178,10	145,60	94,00	66,60	48,10	36,00
Min		563,00	69,70	42,50	39,70	36,60	35,20	31,10	27,00	23,60	20,10
Max		575,00	327,80	276,50	231,30	178,20	149,00	106,50	80,70	65,00	53,80
Rata2		568,35	188,11	148,83	122,00	99,46	85,69	66,10	53,34	44,45	37,37

Sumber: Balai Litbang Perkerasan Jalan Jawa Barat, 2016

Tabel diatas digambarkan ke dalam grafik. Gambar grafik memperlihatkan hasil plot dari keseluruhan data cekung lendutan untuk masing – masing lajur A dan lajur B terhadap lokasi jalan lohbenner – jatibarang, jawa barat. Dari grafik dapat dilihat bahwa rentang Dmax yang terjadi pada lajur jalan arah jatibarang adalah 56.70 – 394.70 *micron* dan lajur jalan arah lohbenner adalah 48.00 – 327.80 *micron*.

Dalam melakukan prediksi kerusakan jalan, dibutuhkan data volume lalu lintas pada ruas yang ditinjau yang digunakan untuk menghitung nilai ESAL, data tersebut dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Kondisi LHR lohbenner – jatibarang Jawa Barat.

Lokasi	Tahun	LHR (kendaraan/hari)									
		Kendaraan Ringan					Kendaraan Berat				
		Gol 2	Gol 3	Gol 4	Gol 5a	Gol 5b	Gol 6a	Gol 6b	Gol 7a	Gol 7b	Gol 7c
Lohbenner-Jatibarang	2014	2032	240	264	92	543	951	53	938	224	642
Lohbenner-Jatibarang	2015	1822	142	587	18	607	1776	41	828	135	398

Tabel 3. (Lanjutan)

Lokasi	Tahun	LHR (kendaraan/hari)									
		Kendaraan Ringan					Kendaraan Berat				
		Gol 2	Gol 3	Gol 4	Gol 5a	Gol 5b	Gol 6a	Gol 6b	Gol 7a	Gol 7b	Gol 7c
Lohbener-Jatibarang	2016	1662	141	762	32	335	226	2187	1543	255	772

Sumber: Satker P2JN Jawa Barat

Dalam melakukan perhitungan ESAL diperlukan nilai VDF (*Vehicle Damage Factor*) yang didapatkan dari hasil survey *Weight In Motion* (WIM) di lokasi studi. Tetapi dengan keterbatasan data, maka data WIM yang digunakan ialah di jalan Sewo – Lohbener, Jawa Barat. Berdasarkan data WIM yang didapatkan dari Puslitbang Jalan dan Jembatan, dilakukan analisis terlebih dahulu untuk melihat beban ekivalen pada setiap sumbu kendaraan yang mewakili tiap jenis golongan kendaraan tidak melebihi MST 10 ton dikarenakan ruas jalan sewo – lohbenner termasuk dalam jalan kelas 1 sesuai UU No.22 pasal 19 ayat 2 tahun 2009, dimana muatan sumbu terberat yang diizinkan tidak boleh lebih besar dari 10 ton. Berikut adalah tabel 4 data WIM yang digunakan dalam analisis.

Tabel 4. Data WIM (*Weight In Motion*)

No	Klasifikasi Kendaraan	Gol. Kendaraan	Berat Tiap Sumbu						
			Sewo - Lohbener						Total
			1	2	3	4	5	6	
1	Kendaraan	2	1,00	1,00	-	-	-	-	2,00
2	Angkutan Penumpang	3	1,00	1,00	-	-	-	-	2,00
3	Pick-Up, Micro Truk	4	2,58	5,16	-	-	-	-	7,74
4	Bus Kecil	5a	2,00	4,00	-	-	-	-	6,00
5	Bus Besar	5b	4,00	5,00	-	-	-	-	9,00
6	Truk 2 Sumbu Ringan	6a	2,32	4,64	-	-	-	-	6,96
7	Truk 2 Sumbu Sedang	6b	3,40	9,18	-	-	-	-	12,58
8	Truk 3 Sumbu	7a	6,00	9,00	9,00	-	-	-	24,00
9	Truk Gandeng	7b	4,00	8,00	8,00	8,00	-	-	28,00
10	Traktor 2 Sumbu + Trailer 2 Sumbu	7c1	7,15	16,02	18,18	15,50	-	-	56,85
11	Traktor 2 Sumbu + Trailer 2 Sumbu	7c2	6,10	14,40	13,90	17,69	13,99	-	66,08
12	Traktor 3 Sumbu + Trailer 3 Sumbu	7c3	6,26	14,90	15,34	15,91	15,66	17,2	85,28

Sumber: Satker P2JN Jawa Barat, 2013

Setelah dilakukan analisis perhitungannya, dapat dilihat pada golongan kendaraan 7a dan 7c muatan sumbu terberatnya melebihi muatan sumbu terberat yangizinkan. Oleh karena itu digunakan asumsi muatan sumbu terberat standar yaitu MST 10 ton untuk golongan kendaraan 7a dan 7c.

Selain itu pada perhitungan VDF berdasarkan asumsi WIM standar MST 10 ton, untuk jenis golongan 7c nilai ekivalen golongan tersebut dikalikan dengan presentasi proporsi kendaraan yang berdasarkan pada hasil survey LHR (lalulintas harian rata – rata). Dan faktor distribusi kendaraan ringan untuk jalan 4 lajur 2 arah adalah 0.30 dan untuk kendaraan berat adalah 0.45 (Pd T 05-2005-B), sedangkan distribusi lajur per arah dalam hal ini lajur lambat untuk kedua jalur di ruas lohbenner – jatibarang ialah sebesar 0.36 arah Jatibarang dan 0.43 arah Lohbenner, nilai tersebut berdasarkan data survey langsung di lokasi studi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Nilai ITP Eksisting (ITPeff)

Struktur Perkerasan Jalan

Metoda AASHTO'93 menyediakan tiga cara untuk melakukan perhitungan tebal lapisan perkerasan pada struktur perkerasan lentur, yaitu cara survai visual dan uji material, cara *Nondestructive Deflection Test* (NDT) dan cara umur sisa. Pada penelitian ini cara kedua yang akan digunakan untuk mendapatkan nilai modulus perkerasan dengan menggunakan proses *back calculation* terhadap data cekung lendutan. Nilai ITPeff yang menjadi pertimbangan untuk digunakan atau dipilih pada analisis selanjutnya (analisis model HDM-4). Dalam penelitian ini, digunakan nilai lendutan rata – rata sepanjang data lendutan dilokasi studi.

Penentuan Nilai Kumulatif ESAL

Nilai kumulatif ESAL merupakan jumlah kumulatif beban ekivalen 18 ESAL selama satu tahun. Nilai ESAL didapatkan dengan mengkalikan nilai volume lalu lintas harian rata – rata (LHR) pada tahun yang ditinjau dengan *Truck Factor* (TF), koefisien distribusi arah, koefisien distribusi lajur dan jumlah hari dalam satu tahun.

Dalam melakukan prediksi kondisi jalan, diperlukan adanya prediksi pertumbuhan lalu lintas. Faktor pertumbuhan lalu lintas dihitung dengan rumus:

$$TGF = \frac{(i+1)^n - 1}{i} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan i adalah angka pertumbuhan lalu lintas yang dihitung dengan rumus:

$$i_n = \frac{LHR_n - LHR_{n-1}}{LHR_{n-1}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

LHRn = LHR tahun ditinjau

Berdasarkan data volume lalu lintas, diperoleh rata – rata pertumbuhan lalu lintas sebagai berikut:

Tabel 5. Angka pertumbuhan rata – rata ruas lohbenner - jatibarang

Tahun	Kendaraan Ringan		Kendaraan Berat		Total	Pertumbuhan (%)
	Jumlah	%	Jumlah	%		
2014	10272	67,09	5039	32,91	15311	-

Tabel 5. (Lanjutan)

Tahun	Kendaraan Ringan		Kendaraan Berat		Total	Pertumbuhan (%)
	Jumlah	%	Jumlah	%		
2014	10272	67,09	5039	32,91	15311	-
2015	9840	75,69	3161	24,31	13000,4	-15,09
2016	6263	40,33	9268	59,67	15531	19,47
Pertumbuhan Rata - rata						2,19

Tabel 6. Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

Umur Ren.	Tahun	i	TGF (%)
1	2016	0,0219	1
2,4	2017	0,0219	2,44
3,6	2018	0,0219	3,70
4	2019	0,0219	4,13
5	2020	0,0219	5,22
6	2021	0,0219	6,34
7	2022	0,0219	7,48
8	2023	0,0219	8,64
9	2024	0,0219	9,83
10	2025	0,0219	11,04

Berdasarkan tabel di atas, maka dapat dihitung nilai ESAL per tahun dari tahun 2016 hingga tahun berikutnya.

Menghitung Beban Sumbu Standar (YE4)

Dalam menghitung YE4, hal yang terlebih dahulu diketahui adalah umur rencana. Umur rencana didapatkan dari perkiraan perkembangan kerusakan dengan kerusakan yang diizinkan sebesar 30%, sehingga didapatkan umur rencananya. Selanjutnya dari umur rencana tersebut di lanjutkan dengan menganalisis lalu lintas yang terjadi kemudian dibagi dengan umur rencana yang menghasilkan YE4 tahunan. Umur rencana yang didapatkan di lajur 1 arah jatibarang sebesar 2.4 tahun sedangkan lajur 2 arah lohbenar sebesar 3.6 tahun dengan nilai TGF nya dapat dilihat pada tabel 6 diatas.

$$CESA = VDF * LDF * C * TGF * m * 365 \dots\dots\dots(3)$$

Ket:

- VDF = *Vehicle Damage Factor*
 LDF = *Distribusi Lajur*
 C = *Koefisien Distribusi Kendaraan*
 TGF = *Traffic Growth Factor*
 m = *Jumlah masing – masing kendaraan*

Tabel 7. Koefisien Distribusi Kendaraan (C)

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan*		Kendaraan Berat**	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabel 7. (Lanjutan)

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan*		Kendaraan Berat**	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
2	0,66	0,50	0,70	0,50
3	0,40	0,40	0,50	0,475
4	-	0,30	-	0,45
5	-	0,25	-	0,425
6	-	0,20	-	0,40

Keterangan: * Mobil Penumpang

** Truk dan Bus

Sumber: Pd T 05-2005 B

Tabel 8. Kumulatif ESAL arah jatibarang

Tahun	Golongan Kendaraan	VDF	Distribusi Lajur (LDF)	Koef. Distribusi kend. (C)	Traffic Growth Factor (R)	Jumlah kendaraan (m)	ESA per Hari	ESA per Tahun	YE4 per Tahun
1	2	3	4	5	6	7	$8 = \frac{3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7}{8}$	$9 = \frac{8 \cdot 365}{8}$	11
2018	Golongan 2	0,00236	0,36	0,3	2,44	1662	1,033609766	377,27	1.369.940,65
	Golongan 3	0,00236	0,36	0,3	2,44	141	0,087688915	32,01	
	Golongan 4	0,21200	0,36	0,3	2,44	762	42,57090544	15.538,38	
	Golongan 5A	0,07656	0,36	0,3	2,44	32	0,645578492	235,64	
	Golongan 5B	0,44204	0,36	0,45	2,44	335	58,53385715	21.364,86	
	Golongan 6A	4,45246	0,36	0,45	2,44	226	397,7531006	145.179,88	
	Golongan 6B	1,75897	0,36	0,45	2,44	2187	1520,586403	555.014,04	
	Golongan 7A	8,29060	0,36	0,45	2,44	1543	5056,580587	1.845.651,91	
	Golongan 7B	0,13862	0,36	0,45	2,44	255	13,97212528	5.099,83	
	Golongan 7C	6,27897	0,36	0,45	2,44	772	1916,065093	699.363,76	

Tabel 9. Kumulatif ESAL arah lohbenner

Tahun	Golongan Kendaraan	VDF	Distribusi Lajur (LDF)	Koef. Distribusi kend. (C)	Traffic Growth Factor (R)	Jumlah kendaraan (m)	ESA per Hari	ESA per Tahun	YE4 per Tahun
1	2	3	4	5	6	7	$8 = 3 \times 4 \times 5 \times 6 \times 7$	$9 = 8 \times 365$	11
2019	Golongan 2	0,00236	0,43	0,3	3,70	1674	1,89	688,92	1.542.613,88
	Golongan 3	0,00236	0,43	0,3	3,70	64	0,07	26,34	
	Golongan 4	0,21200	0,43	0,3	3,70	644	65,23	23.808,51	
	Golongan 5A	0,07656	0,43	0,3	3,70	46	1,68	614,11	
	Golongan 5B	0,44204	0,43	0,45	3,70	413	130,83	47.753,01	
	Golongan 6A	4,45246	0,43	0,45	3,70	264	842,37	307.466,24	
	Golongan 6B	1,75897	0,43	0,45	3,70	2131	2686,22	980.469,62	
	Golongan 7A	8,29060	0,43	0,45	3,70	1409	8371,39	3.055.556,89	
	Golongan 7B	0,13862	0,43	0,45	3,70	285	28,31	10.333,69	
	Golongan 7C	6,27897	0,43	0,45	3,70	686	3086,83	1.126.692,62	

Menghitung Jumlah Sumbu Kendaraan (YAX)

Menghitung nilai YAX, prosesnya sama dengan melakukan perhitungan YE4. Yang membedakan ialah, YAX merupakan jumlah sumbu kendaraan sedangkan YE4 merupakan beban sumbu standar.

Ket:

n = Jumlah sumbu masing – masing kendaraan

LDF = Distribusi Lajur

m = Jumlah masing – masing kendaraan,

= Jumlah kendaraan pergolongan * LDF * 365

YAX = (Total sumbu kend. * TGF) / umur rencana(4)

Maksud dari rumus diatas ialah berdasarkan data jumlah sumbu kendaraan kemudian dikalikan dengan faktor pertumbuhan lalu lintas yang telah di analisis sebel sebelumnya yaitu untuk lajur 1 arah jatibarang sebesar 7.48% sedangkan untuk lajur 2 arah lohbenner sebesar 6.34%, nilai tersebut berdasarkan kriteria 30% dari perhitungan perkembangan kerusakan jalan. Sehingga nilai jumlah sumbunya pada lajur yang di tinjau ialah 16.421.185 VA untuk lajur 1 dan 16.050.183 VA untuk lajur 2. Berdasarkan data tersebut kemudian di bagi dengan umur rencana masing – masing lajur yaitu 3.6 untuk lajur 1 dan 3.8 untuk lajur 2, sehingga nilai YAX untuk lajur 1 sebesar 4.561.440 VA dan lajur 2 sebesar 4.223.732 VA.

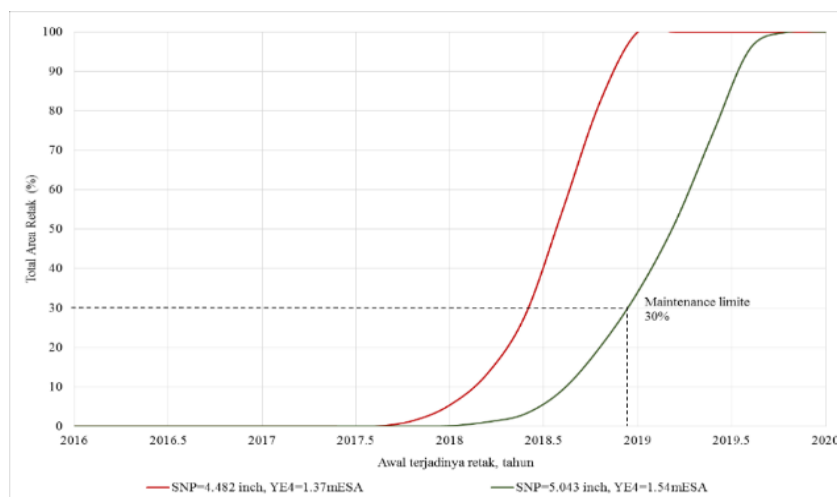
Tabel 10. Jumlah sumbu kendaraan pada ruas Lohbener – Jatibarang

Jumlah Sumbu Kendaraan / tahun / lajur					
Golongan Kendaraan	Jumlah sumbu (n)	Arah Jatibarang, lajur lambat (m)	Arah Lohbener, lajur lambat (m)	Jumlah Sumbu Kend. Arah Jatibarang (S)	Jumlah Sumbu Kend. Arah Lohbener (S)
2	2	218387	262734	436773,60	525468,60
3	2	18527	10045	37054,80	20089,60
4	2	100127	101076	200253,60	202151,60
5a	2	4205	7220	8409,60	14439,40
5b	2	44019	64820	88038,00	129640,70
6a	2	29696	41435	59392,80	82869,60
6b	2	287372	334460	574743,60	668920,90
7a	3	202750	221143	608250,60	663427,65
7b	4	33507	44731	134028,00	178923,00
7c1	4	5369	5252	21474,93	21008,33
7c2	5	4238	3751	21192,37	18757,44
7c3	6	1130	1125	6781,56	6752,68
Jumlah Sumbu Kendaraan per tahun / lajur				2.196.393	2.532.449

Analisis Prediksi Kerusakan Berdasarkan Model HDM-4

Retak (*cracking*)

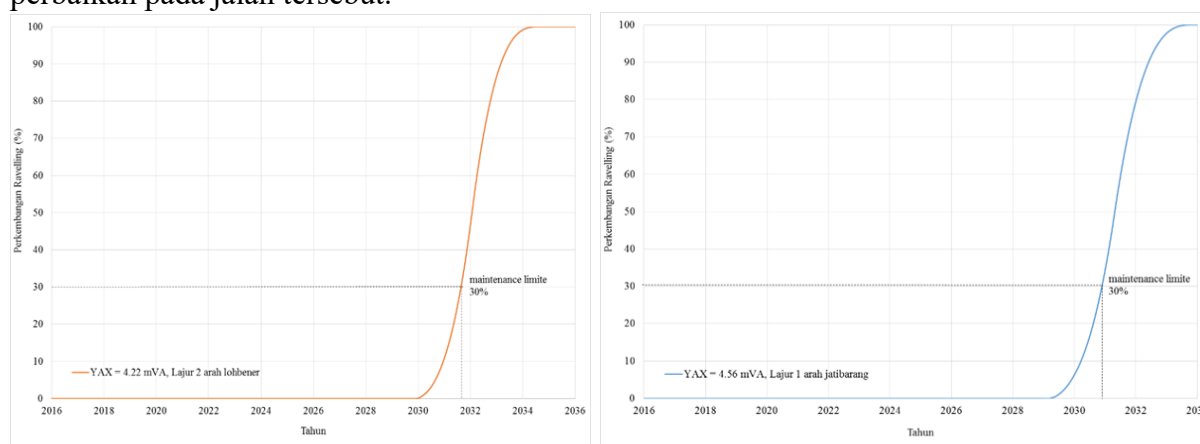
Model prediksi kerusakan retak terdiri 2 jenis retak yaitu retak struktural dan retak refleksi. Berikut ini dijelaskan bagaimana model perkembangannya. Retak struktural merupakan retak yang diakibatkan oleh kegagalan suatu struktur perkerasan dalam memikul beban lalu lintas yang melewatinya sedangkan retak refleksi merupakan retak yang terjadi pada lapis permukaan beraspal baru yang ditambahkan pada lapis permukaan yang lama. Retak tersebut terjadi akibat retak yang terjadi pada lapisan permukaan di bawahnya. Pada bagian ini akan diperlihatkan total area retak yang terjadi. Total area retak yang terjadi merupakan gabungan dari retak struktural dan retak refleksi. Model total area retak yang terjadi menggunakan PACA sebesar 30%, yang di analisis berdasarkan rumus pada bab sebelumnya. Hasil analisis total area retak (ACA) dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

**Gambar 2.** Total area retak

Pada grafik diatas terlihat model total retak yang terjadi pada kedua lajur jalan yang di tinjau. Pada gambar grafik diatas merupakan hasil penggambaran antara luas retak struktural yang terjadi dengan luas retak refleksi.

Ravelling (Pelepasan butir)

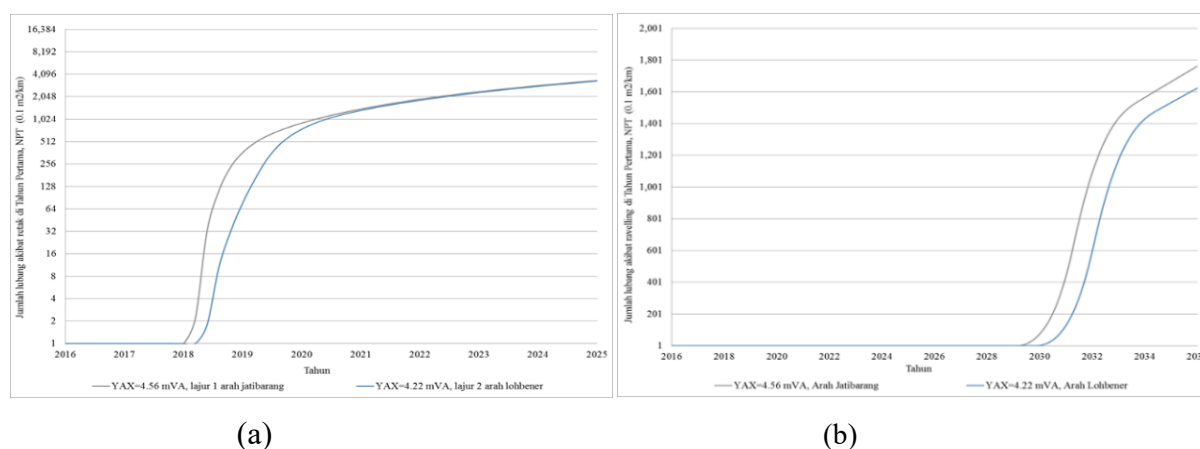
Ravelling merupakan terjadinya pelepasan material dari lapisan perkerasan. Kerusakan ravelling ini dalam analisis HDM-4 menggunakan jumlah sumbu kendaraan untuk menghitung awal terjadinya kerusakan ravelling pada ruas jalan yang di tinjau. Dari gambar dibawah ini, perkembangan ravelling yang terjadi selalu meningkat tiap tahunnya, seiring bertambahnya jumlah sumbu kendaraan pada ruas jalan yang di tinjau. Jika persentase perkembangan ravelling sudah mencapai atau mendekati 30% maka di harapkan dilakukan penanganan untuk perbaikan pada jalan tersebut.



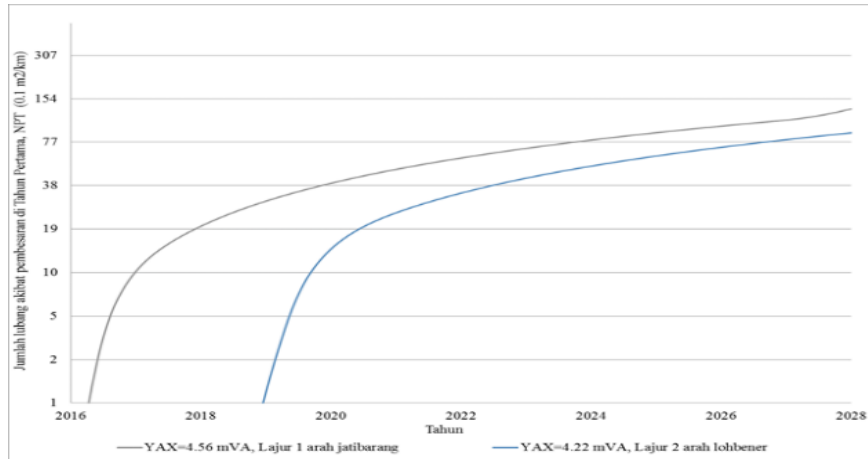
(a) (b)
Gambar 3. Perkembangan *ravelling* lajur 1 (a) dan lajur 2 (b)

Lubang (Pothole)

Potholling merupakan fungsi dai kerusakan lapis pondasi yang di nyatakan dalam jumlah lubang standar. Di dalam HDM-4, lubang pada jalan dinyatakan dalam sebuah angka standar yaitu area seluas 0.1 m². Pada bagian berikut ini digambarkan kapan awal terjadinya kerusakan lubang dan bagaimana perkembangannya. Terjadinya lubang pada jalan disebabkan oleh retak yang melebihi 20% dan lubang yang disebabkan oleh ravelling jika luas kerusakan areanya melebihi 30%.



(a) (b)
Gambar 4. Model prediksi lubang yang disebabkan oleh *cracking* (a), *ravelling* (b) & *pothole* (c)



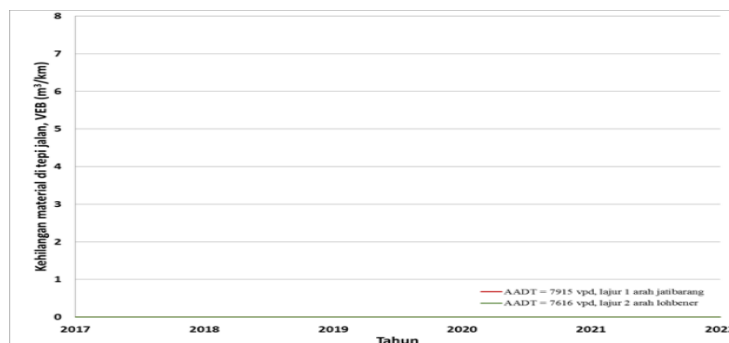
(c)

Gambar 4. (Lanjutan)

Grafik diatas menunjukkan bahwa, berdasarkan model HDM-4 Penambahan jumlah lubang per kilometer pada permukaan jalan yang ditinjau di sebabkan oleh masing – masing kerusakan (retak, *ravelling* dan pembesaran/perluasan) telah mengalami perubahan seiring bertambahnya jumlah sumbu kendaraan yang terjadi di kedua lajur.

Edge Break

Kerusakan *edge break* ini merupakan terjadinya pelepasan butiran yang terjadi pada pinggiran jalan. Salah satu yang mempengaruhi terjadinya edge break ialah kondisi lebar jalur jalan yang sempit. Semakin sempit lebar jalan maka semakin cepat terjadinya kerusakan edge break, begitupun sebaliknya. Hal ini di pengaruhi adanya repetisi kendaraan yang melalui jalan tersebut atau akibat adanya kendaraan yang sedang parkir pada bahu jalan.

**Gambar 5.** Kehilangan material bahu jalan terhadap nilai AADT

Berdasarkan analisis metode HDM-4 Gambar 5. diatas menjelaskan bahwa dengan lebar jalur jalan 7.5 m tidak mempengaruhi kerusakan edge break tiap tahunnya terhadap nilai AADT.

KESIMPULAN

Kesimpulan Prediksi perkembangan kerusakan permukaan perkerasan jalan berdasarkan metode HDM-4.

a. Retak

Retak yang dihasilkan menunjukkan bahwa nilai indeks tebal perkerasan yang lebih besar akan menyebabkan kerusakan retak lebih lama dibandingkan dengan indeks tebal perkerasan yang lebih kecil dengan beban lalu lintas yang sama. Misalnya lajur 1 arah jatibarang dengan

nilai SNP di lajur tersebut yaitu 4.482 inch kemudian di prediksi retak strukturalnya terjadi di 1.8 tahun/ESAL hingga 2.4 tahun/ESAL. sedangkan pada lajur 2 arah loh bener dengan nilai SNP nya yaitu 5.043 inch kemudian di prediksi retak strukturalnya terjadi di 2.2 tahun/ESAL hingga 3 tahun/ESAL. Hal ini membuktikan bahwa peningkatan tebal perkerasan mampu menunda terjadinya kerusakan retak struktural. Nilai kedua luas retak struktural (ACX) tersebut berada dibawah 30% yang merupakan ambang batas luas kerusakan retak yang memerlukan tindakan perbaikan jalan menurut standar penilaian kondisi perkerasan. Dengan demikian, peningkatan indeks tebal perkerasan tidak hanya memperpanjang umur layan jalan sebelum terjadi retak signifikan, tetapi juga menurunkan frekuensi kebutuhan perbaikan pada periode awal umur jalan.

b. *Ravelling*

Kerusakan ravelling di prediksi dengan jumlah sumbu kendaraan yang umur rencananya 3.6 tahun untuk lajur 1 arah jatibarang yaitu 4.56 mVA, dan untuk lajur 2 arah loh bener dengan umur rencananya 3.8 tahun nilai YAX nya yaitu 4.22 mVA. Perkembangan terjadinya ravelling mulai terjadi pada tahun ke 13.6 dengan nilai ARV nya sebesar 1.79% hingga ke tahun 14.8 dengan nilai ARV nya sebesar 26.23% untuk lajur 1 arah jatibarang sedangkan untuk lajur 2 arah loh bener perkembangan terjadinya ravelling mulai pada tahun ke 14.4 dengan nilai ARV nya sebesar 2.26% hingga tahun ke 15.6 dengan nilai ARV nya sebesar 28.49%. Nilai kedua kerusakan ravelling (AVR) tersebut mendekati 30% yang merupakan batas kerusakan ravelling yang perlu dilakukan penanganan perbaikan jalan. Hal ini menandakan bahwa tanpa intervensi pemeliharaan, kerusakan permukaan akibat ravelling akan terus berkembang dan berpotensi menurunkan fungsi serta kenyamanan jalan secara signifikan,

c. *Potholling*

Kerusakan lubang dipengaruhi oleh nilai jumlah sumbu kendaraan (YAX), jika nilai YAX besar akan menyebabkan cepat terjadinya kerusakan lubang, begitu pula sebaliknya. Hubungan ini menunjukkan pentingnya pengendalian beban lalu lintas dan pemeliharaan rutin, terutama pada ruas jalan dengan volume kendaraan berat yang tinggi, untuk mencegah terjadinya kerusakan lubang secara dini dan menjaga umur layanan jalan.

d. *Edge Break*

Kerusakan edge break pada jalur jalan yang di tinjau tidak terjadi kerusakan, hal ini di sebabkan oleh lebar jalur jalan yang lebar yaitu sebesar 7.25 m baik pada lajur 1 maupun pada lajur 2. Berdasarkan metode HDM-4, dari analisis yang dilakukan jika lebarnya jalur jalan lebih dari 6 meter maka tidak terjadi kerusakan edge break. Lebar jalan yang memadai memungkinkan distribusi beban kendaraan lebih merata dan mengurangi kemungkinan roda kendaraan melintas terlalu dekat dengan tepi jalan, sehingga tepi perkerasan tetap stabil dan tidak mudah rusak. Dengan demikian, desain lebar jalan yang optimal menjadi salah satu faktor penting dalam mencegah kerusakan edge break pada perkerasan jalan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Wibowo AE, Mudiyo R, Studi P, Teknik M, Teknik F, Islam U, et al. Tantangan pengembangan dan peningkatan infrastruktur jalan di provinsi jawa tengah. 2024;29(2):201–13.
2. Adnan* S, , Haerul Purnama BEP& SR. Evaluasi Kerusakan Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Metode Pavement Condition Index (PCI). 2025;12(1):80–7.
3. Tafakur A, Ode L, Hidayat A, Adnan S, Makmur M. Scale Journal of Civil Engineering The Analysis of Traffic Accident Levels in Kolaka – Pomalaa Main Road , Kolaka Regency , Southeast Sulawesi. 2025;02(01).

4. Syach F, Maulana A, Muhlis M. PERKERASAN JALAN RAYA (EFFICIENCY AND EFFECTIVENESS OF ASPHALT USE IN HIGHWAY PAVING). 2024;93–101.
5. Hanura Sinaga RT. Analisa Kerusakan Jalan Menggunakan Metode Bina Marga - IRIMETER 2 pada Ruas Jalan HAMADI - ENTROP KELAPA DUA KOTA JAYAPURA. J “MITSU” Media Inf Tek Sipil. 2021;9(1):1–8.
6. Bannour A, EL OMARI M, LAKHAL EK, AFECHKAR M, LAMRINI B, JOUBERT P. Calibration study of HDM-4 Model of structural cracking models for flexible pavements in Moroccan Context. 1st Congrès Int sur les Ingénieries Civile, Mécanique Electr pour l’Energie C. 2015;(1):1–8.
7. Ratnasari H, Suparma LB. Prediksi Present Serviceability Index Untuk Analisis Sisa Umur Layan Perkerasan Lentur. J HPJI. 2021;7(2):153–62.
8. Subagio BSS. Prediction of Remaining Service Life of Flexible Pavement Based on Patterson Method in Manado-Bitung Highway of Indonesia. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies; 2021. p. 1662–71.
9. Kosasih D. Proses Desain Struktur Perkerasan Lentur yang Memperhitungkan Variasi Modulus Perkerasan Akibat Pengaruh Temperatur. J Din Tek Sipil, Fak Tek 2008;8:1–9.
10. Dwiputra AY, Hapsoro S, Utomo T, Mulyono AT. Prediction of Remaining Life of Flexural Pavement with Mechanistic-Empirical Method for Prof. Dr. Wirjono Prodjodikoro Road, Yogyakarta. J Transp. 2021;21(3):173–86.
11. Morosiuk G, Kerali H. The Highway Development and Management Tool - HDM-4. IKRAM’s Semin Asph Pavement Technol (ISAPT 2001), Kuala Lumpur, Oct 2001. 2001;31.
12. Odoki DJB. Overseas Development Administration Asian Development Bank Swedish National Road Administration The World Bank INTERNATIONAL STUDY OF HIGHWAY DEVELOPMENT AND. Implement Road Deterior Model HDM-4 [Internet]. 1997;Part 1(Bituminous Pavements). Available from: pubs/RDSPEC.DOC
13. Kusnianti N, Nasution JAH, Bandung N. Model penurunan ketidakrataan pada perkerasan lentur (Roughness deterioration model for flexible pavement). J Jalan-Jembatan. 2019;36(1):1–8.