

## KAJIAN UMUR JALAN REL BERDASARKAN KEAUSAN DENGAN METODE DARI AREA DAN PERJANA

Wahyu Tamtomo Adi, Email : tamtomo@ppi.ac.id

Program Studi Teknologi Bangunan dan Jalur Perkeretaapian, Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun

### ABSTRAK

Penentuan usia layan rel merupakan hal yang penting untuk dilakukan untuk menghindari terjadinya kerusakan rel yang fatal. Estimasi usia layan komponen rel dapat ditinjau berdasarkan faktor keausan. Tulisan ini mencoba menghitung dan membandingkan usia layan rel berdasarkan rumus perhitungan keausan rel dengan metode AREMA yang menggunakan formula empiris dari Hay dan menggunakan metode PT KAI. Hasil menunjukkan nilai yang bervariasi untuk berbagai koridor yang ada pada lintas wilayah operasi Madiun, sesuai dengan spesifikasi jalan rel, beban lintas, dan geometri jalan rel. Namun demikian, perbandingan terhadap kondisi eksisting jalan rel belum bisa dilakukan karena adanya keterbatasan data hasil pengujian terhadap jalan rel yang dioperasikan.

**Kata Kunci:** jalan rel, keausan, umur jalanrel, AREA, PERJANA

### ABSTRACT

*Determination of the service life of rails is important to do in order to avoid fatal damage. The estimated service life of components can be reviewed based on wear factors. This paper tries to calculate and compare the service life based on the formula for calculating the wear of the rail with the AREMA method that uses the empirical formula from Hay and uses the PT KAI method. The results show varying values for existing crossings in the Madiun operating area, according to railroad specifications, cross loads, and railroad geometry. However, it is not possible to oppose the existing road conditions because there are limited data on the results of testing of the railroad being operated.*

**Keywords:** railtrack, wear and tear, road age, AREA, PERJANA

## 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Jalan rel adalah satu kesatuan konstruksi yang terbuat dari baja, beton, atau konstruksi lain yang terletak di permukaan, di bawah, dan di atas tanah atau bergantung beserta perangkatnya yang mengarahkan jalannya kereta (UU No. 23 tahun 2007). Jalan rel terdiri dari komponen jalan rel, yaitu: rel, bantalan, alat penambat, balas, subbalas, dan subgrade. Setiap komponen jalan rel memiliki fungsi untuk menerima dan mendistribusikan beban roda kereta api yang melintasinya ke komponen lain di bawahnya. Selama masa layannya, jalan rel akan terus menerima beban roda kereta api yang menyebabkan komponen jalan rel mengalami degradasi bentuk dan penurunan kekuatan terhadap fungsi waktu. Sehingga, komponen jalan rel akan membutuhkan perawatan yang merupakan upaya

untuk mempertahankan keandalan jalan rel dan laik operasi jalan.

Usia layan jalan rel sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kekuatan material komponen jalan rel, kelas layan jalan rel, dan geometri jalan rel. Faktor-faktor tersebut menyebabkan jenis perawatan yang dibutuhkan pada setiap bagian lintas jalan rel tidak selalu sama. Hal ini membuat penjadwalan perawatan jalan rel menjadi tidak mudah. Salah satu solusi untuk memudahkan penjadwalan perawatan jalan rel adalah dengan melakukan perhitungan usia layan setiap komponen jalan rel. Dengan demikian, jadwal perawatan, estimasi biaya perawatan, dan waktu penggantian komponen jalan rel dapat diperkirakan dan ditentukan sejak dini.

Salah satu komponen jalan rel yang sering kali mengalami kerusakan adalah rel. Rel merupakan

salah satu komponen jalan rel yang berfungsi sebagai permukaan tempat perpindahan roda kereta sehingga memiliki bidang kontak langsung dengan roda kereta api. Hal ini menyebabkan rel mudah mengalami kerusakan seperti bergelombang, aus, retak, hingga patah. Kerusakan rel dapat menyebabkan terjadinya kereta anjlok yang membahayakan perjalanan kereta api. Sehingga, penentuan usia layan rel merupakan hal yang penting untuk dilakukan untuk menghindari terjadinya kerusakan rel yang fatal. Estimasi usia layan komponen rel dapat ditinjau berdasarkan faktor keausan dan kelelahan material.

- a. Mengidentifikasi berbagai karakteristik rel (jalur lurus, jalur lengkung, radius lengkung, dsb) pada DAOP 7 Madiun;
- b. Memperkirakan umur layan komponen rel pada DAOP 7 Madiun;
- c. Melakukan perbandingan umur layan terhadap kondisi komponen rel pada DAOP 7 Madiun.

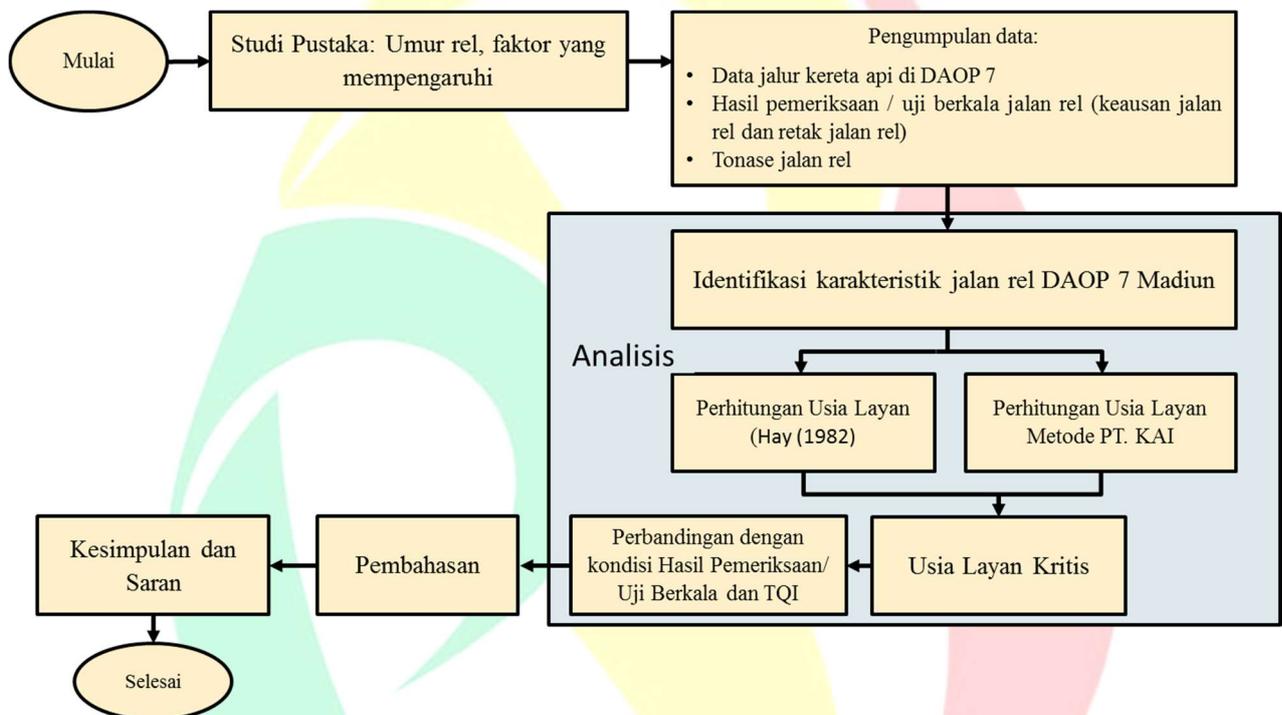
### 1.2 Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

## 2 METODE PENELITIAN

### 2.1 Digram Alir Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan mengikuti skema sebagaimana pada diagram alir penelitian (flowchart) berikut:



Gambar 1 Diagram alir penelitian

### 2.2 Metode Perhitungan Umur Rel AREA

Metode Perhitungan yang digunakan oleh AREA didasarkan pada persamaan empiris yang diberikan oleh Hay (1982). Hay memberikan konstanta K untuk menghitung umur layan rel. Nilai K dipengaruhi oleh jari-jari lengkung dan perawatan pelumasan rel. Tabel 2.1 menampilkan nilai K berdasarkan Hay (1982). Berdasarkan tabel tersebut, nilai K pada rel yang tidak diberi perawatan berupa pelumasan lebih kecil daripada rel dengan perawatan pelumasan. Selain itu, semakin kecil jari-jari lengkung jalan rel, maka

semakin kecil nilai K. Semakin kecil nilai K, mengindikasikan bahwa umur layan rel semakin singkat.

Tabel 1 Hubungan antara jari-jari lengkung jalan rel terhadap nilai K (Hay, 1982)

Jari – jari lengkung	Perbandingan dengan umur jalan lurus	
	Tanpa pelumasan	Dengan pelumasan*
$\infty - 3500$	1	1

Jari – jari lengkung	Perbandingan dengan umur jalan lurus	
	Tanpa pelumasan	Dengan pelumasan*
3500 – 1165	0,87	1
1165 – 700	0,74	0,88
700 – 500	0,61	0,73
500 – 390	0,49	0,70
390 - 320	0,38	0,62
320 - 270	0,30	0,55
270 - 230	0,22	0,48
230 - 200	0,16	0,44
200 - 285	0,12	0,40
< 185	0,10	0,37

\*Dengan menggunakan pelumasan secara mekanistik dari kereta ke kepala rel

Pada jalan rel yang baru, faktor umur layan rel direduksi dengan koefisien 0,9538. Perhitungan koefisien reduksi umur jalan rel kumulatif ditampilkan dalam persamaan 2.1.

$$K_{rata2} = \frac{\sum K}{\sum L} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- K = konstanta reduksi umur rel
- L = panjang rel

Setelah nilai koefisien reduksi umur jalan rel kumulatif diketahui, dilanjutkan dengan perhitungan nilai T seperti pada persamaan 2.2. Kemudian umur rel ditentukan berdasarkan persamaan 2.3.

$$T = K_{rata2} \cdot W \cdot D^{0,565} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$U = \frac{T}{D} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

- T = daya angkut lintas
- K<sub>rata2</sub> = konstanta reduksi rata-rata
- W = berat jalan rel
- D = kepadatan lalu lintas jalan rel (MGT)

**2.3 Metode Perhitungan Umur Rel PERJANA**

Dalam Perawatan Jalan Berencana yang disusun oleh PT. KAI, dijelaskan bahwa umur rel pada jalan lurus umumnya lebih dari 40 tahun, bahkan mencapai 60 tahun. Tetapi umumnya umur rel ditentukan 40 tahun. Umur rel ditentukan berdasarkan persamaan (2.5).

$$Umur = BBUR + \frac{(TT-BB) \times (BAUR-BBUR)}{(BATT-BBTT)}$$

Dengan:

- TT = Tonase tahunan
- BAUR = Batas atas umur rel
- BBUR = Batas bawah umur rel
- BATT = Batas atas tonase tahunan
- BBTT = Batas bawah tonase tahunan

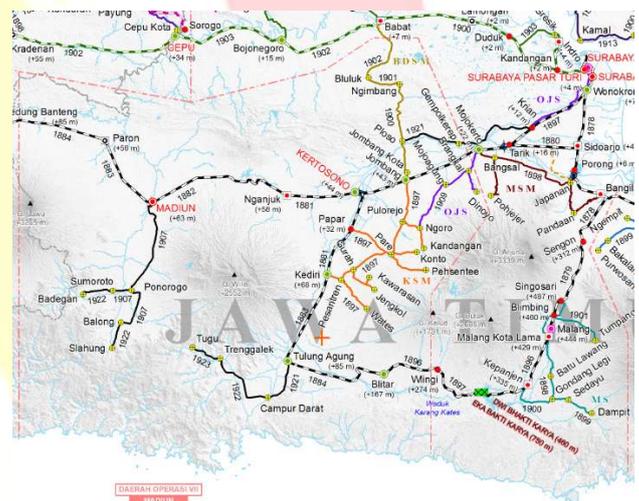
**2.4 Analisis Data**

Analisa data dimulai dari identifikasi karakteristik jalan rel di salah satu lintas yang ada di DAOP 7, setelah dilakukan perhitungan jumlah dan kondisi jalan rel, dilakukan perhitungan usia layan dengan menggunakan Metode Hay dan Metode PT KAI. Dari hasil perhitungan usia layan tersebut akan dilihat usia layan mana yang lebih singkat, sehingga menjadi usia layan kritis. Hasil usia layan kritis akan dibandingkan dengan hasil pengujian jalan rel yang didapatkan dari data sekunder.

**3 HASIL**

**3.1 Identifikasi Jalan Rel**

Identifikasi jalan rel dilakukan dengan melihat peta jalan rel. Berdasarkan Gambar berikut, jalan rel yang ada wilayah operasi DAOP 7 Telah dioperasikan sejak tahun 1881 sampai 1884.



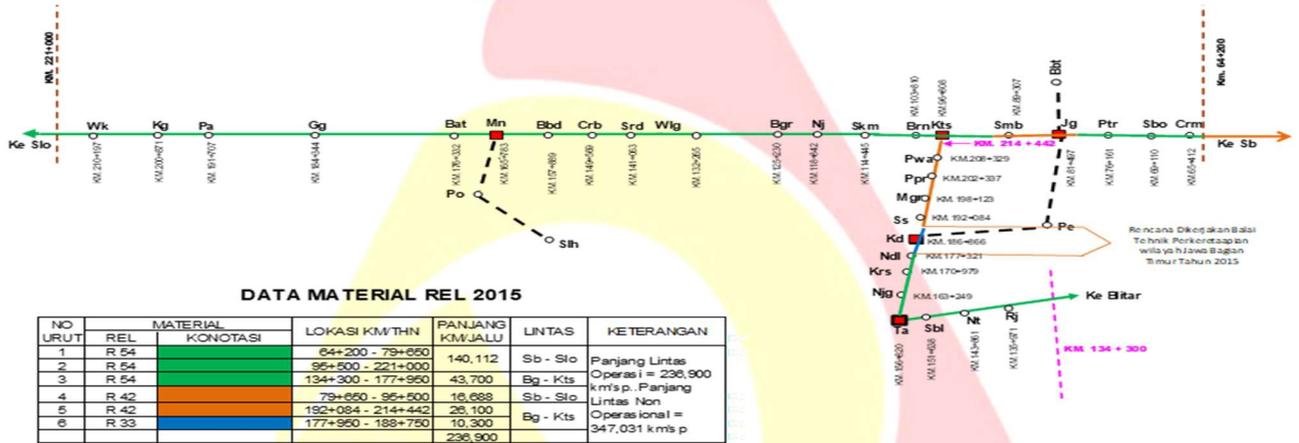
Gambar 1 Peta Jalur Rel DAOP 7

Daerah Operasi 7 mengoperasikan kereta api untuk 2 lintas, yaitu Lintas Surabaya - Solo (SBY-SLO) dan Bangil - Kertosono (BG-KTS). Daerah Operasi ini terdiri dari 7 (tujuh) koridor yaitu:

- a. Koridor 1, yaitu Stasiun Walikukun (WK) hingga Stasiun Madiun (MN)
- b. Koridor 2, yaitu Stasiun Babadan (BBD) hingga Stasiun Kertosono (KTS)
- c. Koridor 3, yaitu Stasiun Sembung (SMB) hingga Stasiun Jombang (JG)
- d. Koridor 4, yaitu Stasiun Peterongan (PTR) hingga Stasiun Curahmalang (CRM)
- e. Koridor 5, yaitu Stasiun Purwosari (PWA) hingga Stasiun Kediri (KD)
- f. Koridor 6, yaitu Stasiun Ngadiluwih (NDL) hingga Stasiun Tulungagung (TA)

- g. Koridor 7, yaitu Stasiun Sumbergempol (SBL) hingga Stasiun Rejotangan (RJ)

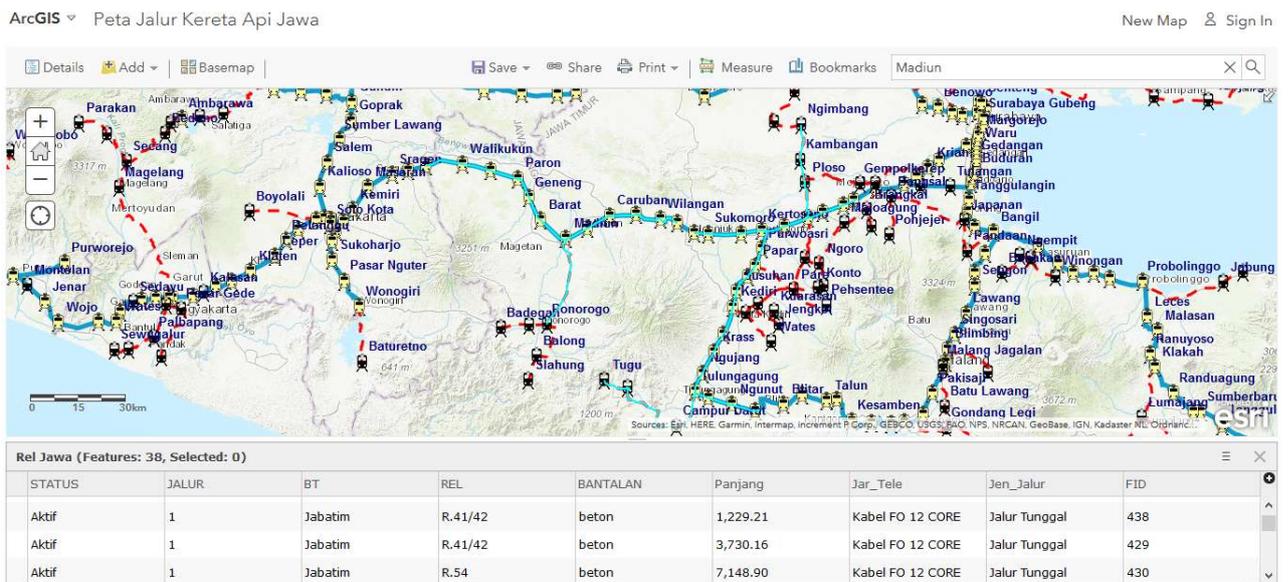
Wilayah yang dioperasikan meliputi Stasiun Walikukun hingga Stasiun Rejotangan dengan jalan rel sepanjang 262 Km dan umumnya bertipe 54 yang terbuat dari beton. Kecepatan yang disarankan dari Koridor 1 hingga Koridor 4 adalah 95 Km/jam. Sedangkan pada Koridor 5 adalah 60 Km/jam, dan pada Koridor 6 serta Koridor 7 adalah 75 Km/jam.



Gambar 2 Panjang Lintas DAOP 7 Madiun

Gambar di atas menunjukkan bahwa 3 jenis rel masih digunakan di DAOP 7 Madiun, diantaranya

R54 sepanjang 183,8 km, R42 sepanjang 42,7 km dan R33 sepanjang 10,3 km.



Gambar 3 GIS Data Jalur KA di DAOP 7 Madiun

Identifikasi data jalur rel melalui data sekunder dapat dilakukan melalui berbagai website berbasis

aplikasi GIS yang dibuat oleh praktisi dibidang GIS. Salah satu yang dapat diakses adalah Peta Jalur Kereta Api Jawa yang menampilkan berbagai data

jalur rel seperti stasiun, jalur rel, profil rel, profil bantalan serta panjang jalur kereta api, sebagaimana pada gambar berikut.

### 3.2 Umur Rel dengan Metode AREA

Untuk menggunakan rumus di atas, perlu dihitung berapa Panjang jalan rel untuk setiap petak jalan rel dan radius untuk setiap lengkung yang ada. Pada atas menunjukkan jumlah data sembilan Resort yang ada di DAOP 7, masing-masing resort mengelola jalan rel yang terdiri dari jalur lurus dan jalur lengkung, informasi lengkung diberikan Tabel

berupa informasi radius, awal dan akhir lengkung, panjang lengkung, kecepatan maksimal, serta kecepatan rencana dan keterangan arah masing-masing lengkung. Data ini diperlukan untuk menghitung umur rel dengan menggunakan metode AREA.

Contoh perhitungan ini menggunakan data jalan rel Lintas Surabaya – Solo, Koridor Kertosono – Madiun, (Resort 7.4) dari Stasiun Wilangan pada KM 137+852 sampai dengan Stasiun Madiun pada km 165+783. Pada Petak jalan ini rel yang digunakan adalah Rel R54.

No.	Lintas DAOP 7	Nomor lengkung	Radius lengkung (m)	Letak KM awal (m)	Letak KM akhir (m)	Panjang (m)
12b	Wilangan - Saradan			137+852	141+063	2485
		1	950.00	139+925	140+478	553
		2	2025.00	140+507	140+681	173
13	Saradan - Caruban			137+852	149+569	11312
		3	4000.00	141+284	141+389	105
		4	4000.00	141+491	141+596	105
		5	4000.00	145+145	145+340	195
14	Caruban - Babadan			149+569	157+889	7831
		7	1750.00	149+587	149+694	107
		8	875.00	149+812	150+194	382
15	Babadan - Madiun			157+889	165+783	7400
		9	960.00	164+599	165+093	494
						<b>28657</b>

#### Langkah 1 Perhitungan Nilai K

Berdasarkan Tabel di atas, dengan mengasumsikan pada saat proses pembangunan digunakan rel baru dengan nilai  $K = 0.9538$ , dan tidak semua jalur lurus, jalur yang lengkung akan mendapatkan factor reduksi berdasarkan tabel Hay, maka perhitungan K dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$K_1 = 2485 \text{ m jalur lurus} \times 0.9538 \times 1 \text{ (Tabel)} = 2370.10$$

$$K_2 = 553 \text{ m (lengkung R950)} \times 0.9538 \times 0.74 \text{ (Tabel)} = 390.10$$

$$K_3 = 173 \text{ m (lengkung R2025)} \times 0.9538 \times 0.87 \times 1 \text{ (Tabel)} = 143.74$$

$$K_4 = 11312 \text{ m jalur lurus} \times 0.9538 \times 1 \text{ (Tabel)} = 10789.28$$

$$K_5 = 105 \text{ m (lengkung R4000)} \times 0.9538 \times 1 \text{ (Tabel)} = 99.88$$

$$K_6 = 105 \text{ m (lengkung R4000)} \times 0.9538 \times 1 \text{ (Tabel)} = 99.88$$

$$K_7 = 195 \text{ m (lengkung R4000)} \times 0.9538 \times 1 \text{ (Tabel)} = 186.45$$

$$K_8 = 7831 \text{ m jalur lurus} \times 0.9538 \times 1 \text{ (Tabel)} = 7469.27$$

$$K_9 = 107 \text{ m (lengkung R1750)} \times 0.9538 \times 0.87 \text{ (Tabel)} = 88.71$$

$$K_{10} = 382 \text{ m (lengkung R875)} \times 0.9538 \times 0.74 \text{ (Tabel)} = 269.63$$

$$K_{11} = 7400 \text{ m jalur lurus} \times 0.9538 \times 1 \text{ (Tabel)} = 7058.12$$

$$K_{12} = 494 \text{ m (lengkung R960)} \times 0.9538 \times 0.74 \text{ (Tabel)} = 348.67$$

$$K = (\text{Total Nilai K}) / (\text{Total Jarak}) = 26944 / 28657 = 0.942$$

#### Langkah 2: Perhitungan Nilai W

$W = \text{Berat rel (lb/yard)}$ , dimana  $1 \text{ lb/yd} = 0,496 \text{ kg/m}$ .

Pada jalur ini digunakan R54 sehingga nilai  $W = 54 \text{ kg/m} / 0,496 = 108,87 \text{ lbs/yd}$ .

Langkah 3: Perhitungan Nilai D (Tonase)

D = Daya angkut lintas (juta ton/tahun atau million gross tons, MGT), dimana 1 MGT = 0,909 juta ton. Daya angkut lintas (T) adalah jumlah angkutan anggapan yang melewati suatu lintas dalam jangka waktu satu tahun.

$$T = 360 \times S \times TE$$

$$TE = T_p + (K_b \times T_b) + (K_1 \times T_1)$$

dimana,

TE = tonase ekuivalen (ton/hari)

$T_p$  = tonase penumpang dan kereta harian

$T_b$  = tonase barang dan gerbong harian

$T_1$  = tonase lokomotif harian

S = koefisien yang besarnya tergantung kualitas lintas

= 1,1 untuk lintas dengan kereta penumpang dengan V maksimum 120 km/jam

= 1,0 untuk lintas tanpa kereta penumpang

$K_1$  = Koefisien yang besarnya 1,4

$K_b$  = Koefisien yang besarnya tergantung pada beban gandar

(1,5 untuk gandar < 18 ton dan 1,3 untuk gandar > 18 ton).

Nama kereta, relasi, dan stamformasi kereta api yang beroperasi di DAOP 7 dapat dilihat pada tabel berikut, berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui berapa jumlah kereta yang lewat dengan beban pada masing-masing lokomotif dan rangkaian kereta. Jenis kereta api yang melewati DAOP 7 Madiun dan frekuensinya pada tahun 2018.

Perhitungan Beban Lintas Tahunan disajikan pada tabel berikut:

Tabel 2 Perhitungan Tonase Setiap Kereta

No	NAMA KA	Frekuensi/ Tahun	beban lokomotif	beban rangkai an kereta	beban rangkaian gerbong	beban lintas lokomotif / Tahun	beban lintas kereta/ Tahun	beban lintas gerbong g/ Tahun	Tonase Ekivalen , TE (juta ton/tahun)
1	Argo Wilis	364	88	436	0	32032	15870 4	0	0.20
	Argo Wilis	365	88	436	0	32120	15914 0	0	0.20
2	Gajayana	365	88	488	0	32120	17812 0	0	0.22
	Gajayana	365	88	488	0	32120	17812 0	0	0.22
	Gajayana Tambahan	31	88	488	0	2728	15128	0	0.02
	Gajayana Tambahan	20	88	488	0	1760	9760	0	0.01
	Gajayana Tambahan	11	88	488	0	968	5368	0	0.01
3	Bima	365	88	436	0	32120	15914 0	0	0.20
	Bima	365	88	436	0	32120	15914 0	0	0.20
	Bima Tambahan	1	88	436	0	88	436	0	0.00
4	Turangga	365	88	436	0	32120	15914 0	0	0.20
	Turangga	365	88	436	0	32120	15914 0	0	0.20
5	Bangunkarta	365	88	428	0	32120	15622 0	0	0.20

No	NAMA KA	Frekuensi/ Tahun	beban lokomotif	beban rangkai an kereta	beban rangkaia n gerbong	beban lintas lokomoti / Tahun	beban lintas kereta/ Tahun	beban lintas gerbon g/ Tahun	Tonase Ekivalen , TE (juta ton/tahu n)
	Bangunkarta	364	88	428	0	32032	15579 2	0	0.20
6	Sancaka I	365	84	475	0	30660	17337 5	0	0.22
	Sancaka I	364	84	475	0	30576	17290 0	0	0.22
7	Sancaka Ii	364	84	475	0	30576	17290 0	0	0.22
	Sancaka Ii	364	84	475	0	30576	17290 0	0	0.22
	Sancaka Tambahan	20	84	475	0	1680	9500	0	0.01
	Sancaka Tambahan	15	84	475	0	1260	7125	0	0.01
	Sancaka Tambahan	9	84	475	0	756	4275	0	0.01
	Sancaka Tambahan	24	84	475	0	2016	11400	0	0.01
8	Malabar	365	88	461	0	32120	16826 5	0	0.21
	Malabar	365	88	461	0	32120	16826 5	0	0.21
9	Malioboro Ekspres I	365	82	361	0	29930	13176 5	0	0.17
	Malioboro Ekspres I	365	82	361	0	29930	13176 5	0	0.17
10	Malioboro Ekspres Ii	365	82	361	0	29930	13176 5	0	0.17
	Malioboro Ekspres Ii	365	82	361	0	29930	13176 5	0	0.17
11	Ranggajati	364	88	447	0	32032	16270 8	0	0.21
	Ranggajati	365	88	447	0	32120	16315 5	0	0.21
12	Mutiara Selatan	364	88	452	0	32032	16452 8	0	0.21
	Mutiara Selatan	365	88	452	0	32120	16498 0	0	0.21
13	Jayakarta Premium	334	88	373	0	29392	12458 2	0	0.17
	Jayakarta Premium	334	88	373	0	29392	12458 2	0	0.17
	Jayakarta Premium	31	88	373	0	2728	11563	0	0.02
	Jayakarta Premium	31	88	373	0	2728	11563	0	0.02
14	Wijaya Kusuma		82	375	0	0	0	0	0.00

No	NAMA KA	Frekuensi/ Tahun	beban lokomotif	beban rangkai an kereta	beban rangkai n gerbong	beban lintas lokomoti / Tahun	beban lintas kereta/ Tahun	beban lintas gerbon g/ Tahun	Tonase Ekivalen , TE (juta ton/tahu n)
15	Singasari	334	84	443	0	28056	14796 2	0	0.19
	Singasari	334	84	443	0	28056	14796 2	0	0.19
16	Matarmaja	365	82	384	0	29930	14016 0	0	0.18
	Matarmaja	365	82	384	0	29930	14016 0	0	0.18
	Matarmaja Tambah	43	82	384	0	3526	16512	0	0.02
	Matarmaja Tambah	43	82	384	0	3526	16512	0	0.02
17	Gayabaru Malam Selatan	365	84	400	0	30660	14600 0	0	0.19
	Gayabaru Malam Selatan	365	84	400	0	30660	14600 0	0	0.19
18	Brantas	365	82	400	0	29930	14600 0	0	0.19
	Brantas	365	82	400	0	29930	14600 0	0	0.19
	Brantas Tambah	54	82	400	0	4428	21600	0	0.03
	Brantas Tambah	54	82	400	0	4428	21600	0	0.03
19	Pasundan	365	84	310	0	30660	11315 0	0	0.16
	Pasundan	365	84	310	0	30660	11315 0	0	0.16
	Pasundan Tambah	39	84	310	0	3276	12090	0	0.02
	Pasundan Tambah	39	84	310	0	3276	12090	0	0.02
20	Kahuripan	365	84	258	0	30660	94170	0	0.14
	Kahuripan	365	84	258	0	30660	94170	0	0.14
21	Logawa	364	82	347	0	29848	12630 8	0	0.17
	Logawa	365	82	347	0	29930	12665 5	0	0.17
22	Sritanjung	365	82	347	0	29930	12665 5	0	0.17
	Sritanjung	365	82	347	0	29930	12665 5	0	0.17
23	Dhoho	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
24	Dhoho	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
25	Dhoho	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
26	Dhoho	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
27	Dhoho	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
28	Dhoho	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
29	Dhoho	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12

No	NAMA KA	Frekuensi/ Tahun	beban lokomotif	beban rangkai an kereta	beban rangkai n gerbong	beban lintas lokomoti / Tahun	beban lintas kereta/ Tahun	beban lintas gerbon g/ Tahun	Tonase Ekivalen , TE (juta ton/tahu n)
30	Dhoho	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
31	Dhoho	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
32	Dhoho	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
33	Dhoho	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
34	Dhoho	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
35	Dhoho	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
36	Dhoho	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
37	Dhoho	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
38	Dhoho	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
39	Penataran	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
40	Penataran	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
41	Penataran	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
42	Penataran	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
43	Penataran	363	82	221	0	29766	80223	0	0.12
44	Penataran	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
45	Penataran	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
46	Penataran	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
47	Penataran	364	82	221	0	29848	80444	0	0.12
48	Ekonomi Lokal	364	82	221	0	29848	80444	0	0.12
49	Ekonomi Lokal	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
50	Ekonomi Lokal	365	82	221	0	29930	80665	0	0.12
51	Ekonomi Lokal	364	82	221	0	29848	80444	0	0.12
52	Bbm Rewulu	184	88	0	800	16192	0	14720 0	0.24
	Bbm Rewulu	322	88	0	800	28336	0	25760 0	0.43
54	Bbm Rewulu Tambah	155	88	0	400	13640	0	62000	0.11
	Bbm Rewulu Tambah	159	88	0	400	13992	0	63600	0.11
	Bbm Rewulu Tambah	8	88	0	400	704	0	3200	0.01
53	Bbm Beteng	319	88	0	800	28072	0	25520 0	0.42
	Bbm Beteng	318	88	0	800	27984	0	25440 0	0.42
55	Bbm Beteng Tambah	173	88	0	400	15224	0	69200	0.13
55	Bbm Beteng Tambah	172	88	0	400	15136	0	68800	0.12

Tabel di atas menunjukkan perhitungan beban kereta yang beroperasi di DAOP 7, dengan frekuensi kereta menggunakan data lintas kereta api pada tahun 2018. Beban lokomotif dihitung sesuai dengan jenis lokomotif yang melayani operasi kereta api. Beban Rangkaian kereta merupakan penjumlahan dari seluruh beban kereta angkutan penumpang pada stamformasi kereta yang beroperasi. Beban rangkaian gerbong merupakan penjumlahan dari seluruh beban rangkaian gerbong (angkutan barang) yang beroperasi di DAOP 7 Madiun. Beban Lintas Lokomotif, rangkaian kereta, dan rangkaian gerbong merupakan perkalian dari beban harian dengan frekuensi kereta dalam satu tahun. Selanjutnya, perhitungan Tonase Ekuivalen

dalam/ TE (dalam juta ton/ tahun) dihitung dengan persamaan berikut.

$$TE = T_p + (K_b \times T_b) + (K_1 \times T_1), \text{ dimana,}$$

TE = tonase ekuivalen (ton/hari)

$T_p$  = tonase penumpang dan kereta harian

$T_b$  = tonase barang dan gerbong harian

$T_1$  = tonase lokomotif harian

$K_b$  dalam hal perhitungan ini menggunakan nilai 1,5 karena beban gandar lebih kecil dari 18 Ton dan  $K_1$  menggunakan nilai 1,4.

Hasil rekapitulasi perhitungan tonase tahunan untuk Lintas Surabaya – Solo dari Stasiun Madiun sampai dengan Kertosono adalah sebagai berikut:

Tabel Tonase Tahunan Lintas Surabaya – Solo

Nama KA	Lintas Surabaya - Solo (SBY-SLO)									
	MN	BBD	CRB	SRD	WLG	BGR	NJ	SKM	BRN	KTS
Argo Wilis	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Gajayana	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
Bima	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Turangga	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Bangunkarta	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
Sancaka	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Malabar	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
Malioboro Ekspres	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
Ranggajati	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
Mutiara Selatan	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
Jayakarta Premium	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Singasari	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
Matarmaja	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Gayabaru Malam Selatan	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
Brantas	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
Pasundan	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
Kahuripan	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Logawa	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
Sritanjung	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
Dhoho	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16
Bbm Rewulu	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bbm Beteng	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
<b>TOTAL TT</b>	<b>13.39</b>	<b>12.40</b>	<b>12.94</b>							

$$T = 360 \times S \times TE$$

Dimana Tonase merupakan TE yang dikalikan dengan S = koefisien yang besarnya tergantung kualitas lintas, dalam hal ini digunakan 1,1 untuk lintas dengan kereta penumpang dengan V maksimum 120 km/jam.

Hasil perhitungan tabel di atas menunjukkan bahwa besarnya T untuk Madiun sampai dengan Wilangan adalah 12,4 Juta Ton Per Tahun.

Langkah 4: Perhitungan Umur Rel

$$T = K.W.D0.565$$

$$T = 0.942 \times 108,87 \times (12,4/0.909) 0.565$$

$$T = 32,82 \text{ Tahun.}$$

### 3.3 Umure Rel dengan Metode PERJANA

Berdasarkan perhitungan kajian KAI, nilai tonase lintas (TT) digunakan untuk menentukan nilai dari BAUR, BBUR, BATT, dan BBTT pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 tergantung pada besarnya radius lengkung jalan rel dan tipe profil rel. Karena data radius lengkung di atas 400 m dan seluruh profil rel pada Koridor 4 menggunakan R.54, maka

penentuan tersebut menunjukkan BAUR, BBUR, BATT, dan BBTT pada koridor ini hanya akan menggunakan data pada Tabel 2.4. Setelah nilai BAUR, BBUR, BATT, dan BBTT diketahui, maka umur rel dapat ditentukan menggunakan persamaan (2.5). Rekap nilai BAUR, BBUR, BATT, dan BBTT untuk masing-masing petak jalan di koridor 4 disajikan dalam Tabel berikut.

Tabel

No	Lintas DAOP 7	Nomor lengkung g	Radius lengkung g (m)	TT (jt ton/thn)	Umur rel menurut kajian KAI				
					BAUR	BBUR	BATT	BBTT	Umur rel (thn)
<b>KORIDOR 4 CARUBAN</b>									
12	Wilangan - Saradan			12,40	27	35	18	10	32,60
		1	950,00	12,40	27	35	18	10	32,60
		2	2025,00	12,40	27	35	18	10	32,60
13	Saradan - Caruban			12,40	27	35	18	10	32,60
		3	4000,00	12,40	27	35	18	10	32,60
		4	4000,00	12,40	27	35	18	10	32,60
		5	4000,00	12,40	27	35	18	10	32,60
14	Caruban - Babadan			12,40	27	35	18	10	32,60
		7	1750,00	12,40	27	35	18	10	32,60
		8	875,00	12,40	27	35	18	10	32,60
15	Babadan - Madiun			12,40	27	35	18	10	32,60
		9	960,00	12,40	27	35	18	10	32,60

Contoh perhitungan berikut merupakan penentuan umur jalan rel pada lintas Wilangan-Saradan. Hasil perhitungan tonase lintas (TT) Wilangan-Saradan adalah 12,40 juta ton/tahun. Dengan menggunakan data Tabel 2.4, nilai TT sebesar 12,40 juta ton/ tahun dengan rel tipe R.54 berada di antara BATT sebesar 18 juta ton/tahun dan BBTT sebesar 10 juta ton/tahun. Sehingga BAUR dan BBUR dapat ditentukan sebesar 27 dan 35 tahun.

BBTT = batas bawah tonase tahunan  
 Sehingga,  

$$\text{Umur rel} = 35 + ((12,40 - 10) \times (27 - 35)) / ((18 - 10)) = 32,60 \text{ tahun.}$$
 Seluruh petak jalan pada Koridor 4 dilewati kereta dengan tonase lintas yang sama, yaitu 12,40 juta ton/tahun. Sehingga seluruh petak jalannya memiliki umur rel yang sama.

Umur rel =  $BBUR + ((TT - BBTT) \times (BAUR - BBUR)) / (BATT - BBTT)$   
 Dengan:  
 TT = tonase tahunan  
 BAUR = batas atas umur rel  
 BBUR = batas bawah umur rel  
 BATT = batas atas tonase tahunan

### 3.4 Perbandingan Umur Rel

Umur rencana Jalan Rel dengan menggunakan metode AREMA dan metode KAI dihitung untuk setiap koridor yang ada pada DAOP 7 Madiun. Hasil perhitungan tersebut dapat dibandingkan seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel Hasil Perhitungan Umur Manfaat Jalan Rel

No	Daerah Operasi	Sta Awal	Sta Akhir	KM Awal (m)	KM Akhir (m)	Lintas	Hasil AREMA	Hasil PERJANA	Keterangan
1	Koridor 1 Jombang	Batas Daop 7	Sembung	64+200	89+307	SB - SLO	42.71	42.99	AREMA
2	Koridor 2 Kertosono	Sembung	Sukomoro	89+307	114+445	SB - SLO	32.20	32.06	PERJANA
3	Koridor 3 Nganjuk	Sukomoro	Saradan	114+445	137+852	SB - SLO	30.74	32.60	AREMA
4	Koridor 4 Caruban	Saradan	Madiun	137+852	165+783	SB - SLO	32.85	32.60	PERJANA
5	Koridor 5 Madiun	Madiun	Kedung Galar	165+783	200+871	SB - SLO	31.81	31.61	PERJANA
6	Koridor 6 Walikukun	Kedung Galar	Batas Daop 7	200+871	221+000	SB - SLO	25.78	32.81	AREMA
7	Koridor 7 Kediri	Blitar	Kertosono	134300	214442	BG - KTS	41.36	42.25	AREMA

Berdasarkan tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa kedua metode perhitungan memberikan nilai umur rel yang hampir sama, nilai yang dianggap kritis adalah nilai yang menunjukkan hasil yang lebih kecil, kedua metode memberikan nilai yang sama-sama berkontribusi untuk nilai kritis umur rel berdasarkan prediksi keausan. Dengan demikian, .

### 3.5 Pembahasan

Rel yang telah melewati umur rencana perlu diganti, mekanisme untuk penggantian rel telah diatur berdasarkan Peraturan Dinas 10 PT. KAI dengan pemeriksaan kerusakan dan pengukuran keausan rel yang dilakukan secara berkala untuk mengetahui kondisi kerusakan dan tingkat keausan. Penggantian rel dilakukan jika ada kerusakan seperti rel patah, rel retak, penipisan dan keausan plat sambun, tekuk mendarat maupun vertikal serta keausan pada rel yang melebihi batas yang berbahaya bagi operasi kereta api.

Batas keausan yang diberikan adalah yang diukur pada sumbu vertikal sebesar 12 mm dan yang diukur dan pada arah 45° dari sumbu vertikal sebesar 15 mm.

Lebih lanjut, telah diatur dalam Perjana (2012) bahwa penggantian jalan rel dipersyaratkan dengan rel yang mencapai batas keausannya, ditambah berbagai faktor lainnya seperti rel pecah yang bisa putus, penipisan ketebalan badan sebesar 3mm, keausan pada bidang kontak sambungan, dan keausan samping rel.

Dengan demikian, penggantian rel selain dengan mengukur keausan dan kelelahan rel pada permukaan rel, juga ditentukan oleh berbagai jenis kerusakan yang terjadi pada rel tersebut, yang tidak menjadi bagian dari perhitungan pada penelitian ini. Dalam monitoring kinerja jalan rel dalam penerapan penggunaan rumus

keausan di atas, diperlukan alat untuk mengukur tonase kereta dinamik yang ditempatkan di berbagai lokasi di jalur rel.

Sebagai perbandingan, Korea menerapkan peraturan penggantian rel jika sudah melewati batas keausan untuk berbagai jenis rel sebagai berikut: 60kg : 13 mm (15 mm), 50kg N, 50kg PS : 12 mm (13 mm), 50kg ARA-A : 9 mm (13 mm), 37kg ASCE : 7 mm (12 mm). Ketika terjadi retak yang berbahaya untuk operasi kereta, dan ketika mencapai batas beban lintas yang disyaratkan, misalnya untuk jalan lurus 60kg rail : 600 juta ton, 50kg rail : 500 jut ton.

Untuk menindaklanjuti hasil perhitungan sebelumnya, diperlukan pemeriksaan terhadap kondisi rel yang ada dan sehingga dapat menentukan hasil perhitungan umur rel yang lebih mendekati realita yang terjadi akibat beban lintasan sesuai dengan karakteristik jalan rel.

## 4 KESIMPULAN

Hasil menunjukkan bahwa metode perhitungan untuk umur rel pada wilayah studi mendapatkan hasil umur rel yang tidak jauh berbeda ketika menggunakan metode dari AREA dan metode dari PERJANA. Hasil menunjukkan nilai yang bervariasi untuk berbagai koridor yang ada pada lintas wilayah operasi Madiun, sesuai dengan spesifikasi jalan rel, beban lintas, dan geometri jalan rel. Namun demikian, perbandingan terhadap kondisi eksisting jalan rel belum bisa dilakukan karena adanya keterbatasan data hasil pengujian terhadap jalan rel yang dioperasikan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penelitian ini baik dalam proses penulisan maupun dalam tahap pengumpulan data.

### REFERENSI

Kerr, M. (2012). Rail Defects Handbook. Australia: RailCorp, NSW.

Popp, K. d. (2003). System Dynamics and Longterm Behaviour Railway Track. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Priyanto, S.S., dkk. (2016). Peraturan Dinas 10A Perawatan Jalan Rel dengan Lebar 1067 mm. Bandung: PT. Kereta Api Indonesia.

Rosyidi, S. A. (2015). Rekayasa Jalan Kereta Api. Yogyakarta: LP3M Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Fadhila, M.N. "Buku 2A Rencana Perawatan Tahunan Jalan Rel." Bandung. 2012.

Fadhila, M.N. "Buku 6A Rencana Perawatan Tahunan Jalan Rel." Bandung. 2012.

