

**ANALISIS PENURUNAN BALLAST AKIBAT BEBAN TAHUNAN KERETA API
(PASSING TONNAGE) PADA SEGMENT JEMBER - KALISAT**

**ANALYSIS OF BALLAST SETTLEMENT DUE TO ANNUAL TRAIN LOADS
(PASSING TONNAGE) ON THE JEMBER - KALISAT SEGMENT**

Putri Amabel Carissa Pradana^{*1}, Fitriana Purnamasari², Achmad Dzulfikar Alfiansyah³

^{1,2} Mahasiswa / Fakultas Teknik / Teknik Sipil / Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

³ Dosen / Fakultas Teknik / Teknik Sipil / Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

Korespondensi: 21035010008@student.upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Sebagian besar jalur kereta api di Indonesia menggunakan sistem rel berbalas (*ballasted track*), termasuk jalur Jember–Kalisat pada Daerah Operasional IX Jember yang menjadi lokasi penelitian ini. Struktur rel terdiri dari superstruktur (rel, penambat, bantalan) dan sub struktur (lapisan ballast, sub-ballast, subgrade), yang harus memenuhi spesifikasi teknis sesuai PM 60 Tahun 2012. Lapisan balas merupakan lapisan awal yang mendapat distribusi beban dari struktur atas, sehingga memerlukan perawatan rutin untuk menjaga stabilitas. Penelitian ini bertujuan mengestimasi penurunan lapisan balas akibat beban tahunan dengan pendekatan kuantitatif. Hasil perhitungan menunjukkan tonase tahunan pada segmen Jember–Kalisat sebesar 17.328.960 ton/tahun, yang sesuai dengan spesifikasi jalur kelas II. Pengukuran lapangan pada lima titik sampel menunjukkan ketebalan balas tidak memenuhi standar yaitu 30 cm, sehingga diperkirakan akan mengalami penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi standar. Estimasi penurunan terbesar terjadi pada KM 202+200 hingga KM 202+300, dengan penurunan 4,06 cm per tahun di hulu dan 3,36 cm per tahun di hilir. Pada perhitungan ini juga menghasilkan grafik estimasi penurunan lapisan balas berdasarkan tonase tahunan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi penting terkait perawatan lapisan balas untuk menjaga stabilitas jalur kereta api.

Kata Kunci: Lapisan balas, penurunan balas, tonase tahunan.

ABSTRACT

Most of the railway lines in Indonesia use a ballasted track system, including the Jember–Kalisat line in Operational Area IX Jember which is the location of this research. The rail structure consists of a superstructure (rails, tethers, sleepers) and a substructure (ballast layer, sub-ballast, subgrade), which must meet technical specifications according to PM 60 of 2012. The ballast layer is the initial layer that receives load distribution from the upper structure, so it requires routine maintenance to maintain stability. This research aims to estimate the decline in the ballast layer due to annual loads using a quantitative approach. The calculation results show that the annual tonnage on the Jember–Kalisat segment is 17,328,960 tons/year, which is in accordance with class II route specifications. Field measurements at five sample points showed that the ballast thickness did not meet the standard, namely 30 cm, so it was estimated that there would be a greater decrease compared to standard conditions. The largest estimated decrease occurred at KM 202+200 to KM 202+300, with a decrease of 4.06 cm per year upstream and 3.36 cm per year downstream. This calculation also produces an estimated

graph of ballast layer reduction based on annual tonnage. It is hoped that this research can provide important recommendations regarding ballast layer maintenance to maintain railway track stability.

Keywords: *Ballast layer, ballast settlement, passing tonnage*

PENDAHULUAN

Rel merupakan dua batang baja yang disusun sejajar dan berfungsi sebagai penopang pada lintasan roda kereta api (Pujiyulianto *et al.*, 2022). Mayoritas jalur kereta api di Indonesia menggunakan sistem rel berbalas (*ballasted track*). Salah satunya terdapat di Daerah Operasional IX Jember, yang akan menjadi lokasi penelitian pada jalur KA segmen Jember-Kalisat. Bersumber pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 mengenai persyaratan teknis perkeretaapian di Indonesia, sistem jalur ber-ballast terdiri atas dua komponen utama, yaitu struktur atas (*superstructure*) dan struktur bawah (*substructure*) (Menteri Perhubungan Republik Indonesia, 2012).

Kedua struktur ini harus tetap dalam kondisi baik dan memenuhi spesifikasi teknis yang diatur dalam PM 60 Tahun 2012. Pemeliharaan dilakukan untuk mengembalikan fungsi jalur rel ketika struktur jalur dinilai tidak sesuai standar dan berisiko memengaruhi operasional kereta api (Muhtarom dan Ratih, 2021). Hal ini disebabkan oleh perubahan bentuk (deformasi) yang lebih sering terjadi pada lapisan balas, seperti perubahan ketebalan. Tingkat perawatan pada penurunan lapisan balas dapat diestimasi berdasarkan jumlah beban siklik yang diterima lapisan tersebut. Perkiraan jumlah beban siklik suatu lintasan dapat dilakukan dengan mengacu pada besarnya beban lintas yang diterima jalur rel. Jika terjadi penurunan pada lapisan ballast, teknisi dapat melakukan beberapa jenis perawatan, seperti tamping (pemadatan balas), penambahan balas, serta pembentukan ulang profil balas.

TINJAUAN PUSTAKA

Perawatan Rel Kereta api

Struktur atas jalur rel kereta api meliputi rel, alat penambat, dan bantalan, sedangkan struktur bawah mencakup lapisan *ballast*, *sub ballast*, dan *subgrade*. Untuk memastikan standar tersebut terpenuhi, fasilitas perkeretaapian memerlukan pemeliharaan dan perawatan rutin. Perawatan rutin ialah upaya pencegahan atau penggantian

berdasarkan umur teknis untuk memelihara kelaikan jalur kereta api (KAI, 2016). Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 32 Tahun 2011 mengenai standar dan tata cara perawatan prasarana perkeretaapian, pemeliharaan jalur rel dilakukan secara berkala maupun melalui perbaikan untuk mengembalikan fungsinya (Kementrian Perhubungan, 2011). Kegiatan ini bertujuan sebagai langkah pencegahan dan perbaikan terhadap komponen, material, serta rangkaian yang berpotensi memengaruhi teknis kerja kereta api.

Salah satu bentuk perawatan pada komponen jalur rel adalah perawatan lapisan sub struktur, yang mencakup lapisan *ballast*, *sub ballast*, dan *subgrade*. Saat jalan rel beroperasi, lapisan balas menjadi lapisan awal yang mendapat distribusi beban dari lapisan struktur atas, sehingga lapisan ini memerlukan perawatan rutin. Jika tidak dirawat, kondisi lapisan balas yang tidak relevan dengan geometri yang diatur pada Peraturan Menteri 60 Tahun 2012 dapat meningkatkan risiko kerusakan pada superstruktur jalur rel. Keterlambatan perawatan jalur rel juga berpotensi meningkatkan risiko anjaknya kereta, yang tentu akan mengancam keselamatan perjalanan kereta yang melintas.

Beban Siklik

Saat kereta api beroperasi setiap harinya, dapat berpotensi menyebabkan perubahan posisi rel akibat beberapa faktor terutama frekuensi beban yang melintas (Surasno dan Tjahjohartoto, 2019). Perubahan posisi rel dapat disebabkan karena penurunan pada lapisan balas. Deformasi atau perubahan bentuk pada lapisan ballast disebabkan oleh beban lintas yang diterima jalur rel ketika kereta api melintas. Beban roda kereta api merupakan beban berulang (siklik) yang berkontribusi pada perubahan geometri jalur rel. Beban siklik yang terdapat pada roda kereta menyebabkan terjadinya deformasi plastis pada permukaan rel (Masoudi Nejad *et al.*, 2021). Deformasi plastis pada lapisan ballast akan menjadi lebih signifikan seiring dengan meningkatnya beban lintas, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi masa operasional jalur rel secara keseluruhan.

Pentingnya pemeliharaan rutin juga berpengaruh terhadap geometri lintasan dalam menjaga stabilitas dan keamanan jalur kereta (Zakirullah. M Fajriansyah. D, 2021).

METODE

Pada metode penelitian ini dilakukan secara kuantitatif menggunakan data yang diperoleh dari kontraktor yang menjalankan proyek tersebut. Data yang didapat kemudian digunakan sebagai data pendukung dalam perhitungan penurunan lapisan ballast. Sebelumnya, dilakukan perhitungan besarnya tonase tahunan (passing tonage) dari kereta api yang melewati segmen Jember – Kalisat berdasarkan data dari Grafik Perjalanan Kereta Api (GAPEKA) Tahun 2023 (PERHUBUNGAN, 2023), rangkaian kereta api (kereta penumpang, lokomotif, kereta makan, kereta pembangkit, dan gerbong), dan data berat setiap sarana kereta api.

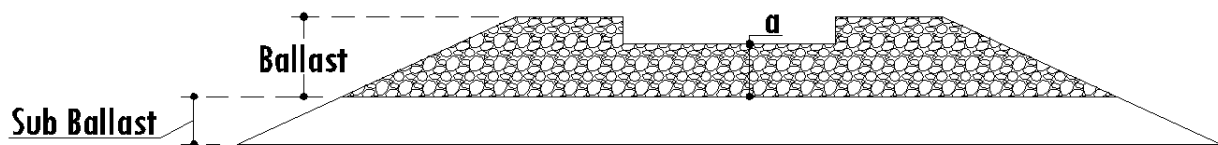
Beban lintas yang tinggi atau faktor dari peristiwa alam dapat menyebabkan perubahan kondisi geometri jalan rel (Roberto dan Mardiaman, 2022). Selama masa layan, rel kereta api akan menerima beban secara berulang-ulang atau disebut

dengan beban siklik. Perhitungan beban siklik dihitung menggunakan faktor tonase tahunan yang diterima oleh rel dan berat roda status lokomotif untuk dua gandar dibawah bogie. Perhitungan penurunan lapisan ballast dilakukan dengan persamaan yang ditulis oleh Ernest T. Selig dan John M. Waters pada buku *Track Geotechnology and Substructure Management* (1994). Pada perhitungan siklik dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh tonase tahunan (passing tonnage) untuk menentukan besarnya deformasi atau regangan plastis yang terjadi pada lapisan balas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan Lapangan dan Pengukuran Geometri pada Lapisan Balas Eksisting

Pada jalan rel segmen Jember - Kalisat sepanjang 4 kilometer pada KM 202 + 200 s/d KM 206 + 300 diambil data primer berupa tebal ballast (a) di bawah bantalan. Detail potongan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Potongan Melintang Struktur jalur Kereta Api
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)

Pada segmen Jember – Kalisat diambil 5 titik sampel lapisan ballast yang dilakukan pengukuran dengan hasil data yang terdapat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Lapisan Balas di Bawah Bantalan

Titik	KM + HM	Tebal Bawah Bantalan	
		Hulu	Hilir
1	202 + 200 202 + 300	35	29
2	203 + 700 203 + 800	29	29
3	204 + 200 204 + 300	32	29
4	205 + 200 205 + 300	29	29
5	206 + 200 206 + 300	29	28

Sumber: Data Lapangan (2024)

Tonase Tahunan (Passing Tonage)

Tonase tahunan kereta api merupakan jumlah total berat sarana kereta api yang melewati jalur tertentu pada kurun waktu satu tahun (Fatikhandi *et al.*, 2023). Perhitungan tonase ini didapatkan berdasarkan berat masing-masing rangkaian kereta api, termasuk lokomotif dan gerbong, serta frekuensi perjalanan harian yang dilakukan. Tonase tahunan menjadi indikator penting dalam menganalisis beban yang diterima jalur rel kereta api, terutama dalam aspek ketahanan struktur balas dan rel.

Pada jalur kereta api segmen Jember – Kalisat, berbagai jenis sarana kereta api melintas setiap harinya. Sarana tersebut mencakup kereta api lokal, antar kota, dan kereta barang. Masing-masing

gerbong memiliki berat dan frekuensi lintasan yang berbeda, yang secara akumulatif memberikan beban pada struktur jalur kereta. Untuk mengetahui beban tahunan yang diterima pada rel kereta api segmen Jember - Kalisat, dilakukan analisis terhadap total berat sarana yang melintas setiap harinya.

Tabel 2 menunjukkan data total berat sarana kereta api yang melintas pada segmen Jember – Kalisat. Data yang diperoleh merupakan informasi berat tiap rangkaian kereta, frekuensi harian, serta estimasi total beban tahunan yang akan digunakan dalam analisis selanjutnya.

Tabel 2. Berat Gerbong Setiap Kereta

Nama Kereta	Jumlah Gerbong			Tonase Lokomotif (ton)	Tonase Kereta Penumpang/Barang (ton)
	K. Makan dan Pembangkit	K. Penumpang	K. Barang Lokomotif		
Mutiara Timur Malam 90	1	7	1	84	40
Mutiara Timur Malam 89	1	7	1	84	40
Tawangalun 206	1	5	1	84	40
Sritanjung 193	1	7	1	84	40
Probowangi 213	1	6	1	84	40
Mutiara Timur Siang 88	1	7	1	84	40
Mutiara Timur Siang 87	1	7	1	84	40
Probowangi 214	1	6	1	84	40
Sritanjung 194	1	7	1	84	40
Tawangalun 205	1	5	1	84	40

Sumber: Grafik Perjalanan Kereta Api (GAPEKA) (2023)

Berdasarkan Tabel 2 dapat dihitung total berat sarana kereta api yang melintas pada segmen Jember – Kalisat dapat dihitung dengan mengalikan tonase setiap jenis sarana dengan jumlah gerbong pada masing-masing kereta.

Tabel 3. Total Berat Sarana yang Melintas

No.	Jenis Sarana	Total Berat Sarana (Ton)
1	Lokomotif	8400
2	Kereta Penumpang	25600
3	Kereta Makan dan Pembangkit	4000
4	Bagasi	1600

Sumber: Grafik Perjalanan Kereta Api (2023)

Berdasarkan total berat sarana yang tercantum pada Tabel 3. Maka dapat dilakukan perhitungan tonase tahunan dengan menggunakan persamaan yang terdapat dalam buku “Rekayasa Jalan Kereta Api (2015)” yang ditulis oleh Sri

atmaja (Rosyidi, 2015). Berikut adalah besar tonase tahunan (passing tonage) pada segmen jember-kalisat.

$$T = 360 \times S \times TE \quad (1)$$

$$TE = T_p + (K_b \times T_b) + (K_l \times T_l)$$

dimana,

TE = tonase ekivalen (ton/hari)
 T_p = tonase penumpang dan kereta harian
 T_b = tonase barang dan gerbong harian
 T_l = 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_l = 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).

$$T_l = \sum \text{Berat} \times K_l$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Lokomotif} \\
 & = 8400 \times 1.4 \\
 & = 11.760 \text{ Ton} \\
 \\
 & \text{Tp} = \sum \text{Berat Kereta Penumpang} + \sum \text{Berat Kereta Makan dan pembangkit} \\
 & = 25600 + 4000 \\
 & = 29.600 \text{ Ton} \\
 \\
 & \text{Tb} = \sum \text{Berat Bagasi} \times \text{Kb} \\
 & = 1600 \times 1.5 \\
 & = 2.400 \text{ Ton} \\
 \\
 & \text{TE} = \text{T1} + \text{Tp} + \text{Tb} \\
 & = 11760 + 29600 + 2400 \\
 & = 43.760 \text{ Ton/hari} \\
 \\
 & \text{T} = 360 \times \text{TE} \times \text{S} \\
 & = 360 \times 43760 \times 1.1 \\
 & = 17.328.960 \text{ Ton/tahun} \\
 \\
 & \text{Berdasarkan hasil perhitungan tonase tahunan, didapatkan bahwa pada jalur kereta api segmen jember – kalisat memiliki tonase tahunan sebesar 17.328.960 Ton/tahun.}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. Klarifikasi Kelas Jalan Rel untuk Lebar Jalan Rel 1067

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton/tahun)	V Maks.	P Maks Gandar (ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Jenis Penambat	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
					Jarak antar Sumbu Bantalan (cm)			
I	$>20.10^6$	120	18	R.60/R.54	$\frac{\text{Beton}}{60}$	Elastis Ganda	30	60
II	$10.10^6 - 20.10^6$	110	18	R.54/R.50	$\frac{\text{Beton/Kayu}}{60}$	Elastis Ganda	30	50
III	$5.10^6 - 10.10^6$	100	18	R.54/R.50/R.42	$\frac{\text{Beton/Kayu/Baja}}{60}$	Elastis Ganda	30	40
IV	$5.10^6 - 2,5.10^6$	90	18	R.54/R.50/R.42	$\frac{\text{Beton/Kayu/Baja}}{60}$	Elastis Ganda/Tunggal	25	40
V	$<2,5.10^6$	80	18	R.42	$\frac{\text{Kayu/Baja}}{60}$	Elastis Tunggal	25	35

Sumber: Peraturan Menteri 60 (2012)

Berdasarkan **Tabel 4.** kereta api segmen jember – kalisat memiliki daya angkut lintas sebesar 17.328.960 Ton/tahun. Maka termasuk pada kelas jalan rel II dengan spesifikasi tersebut.

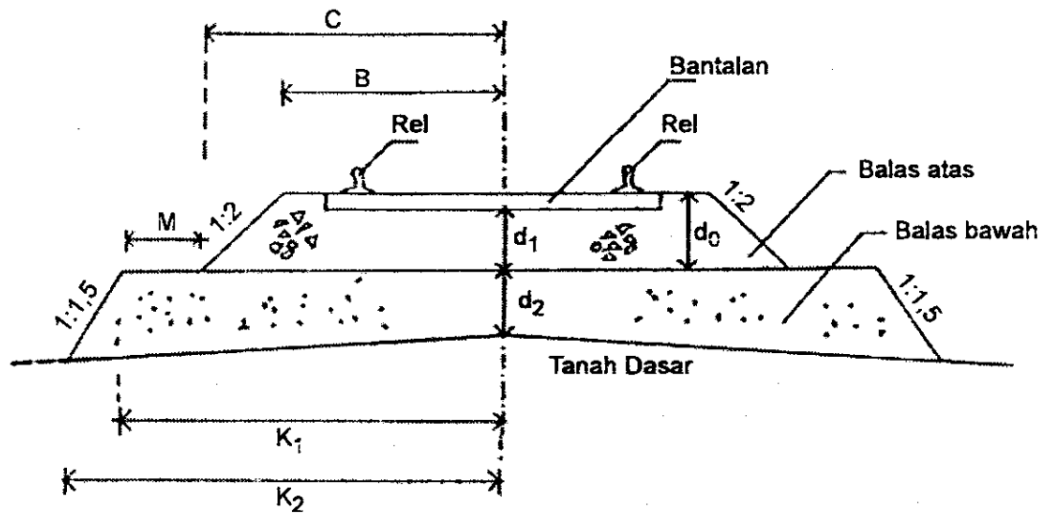
Tabel 5. Ukuran Struktur Jalan Rel

Kelas Jalan Rel	V _{maks.} (Km/jam)	d ₁ (cm)	b (cm)	c (cm)	k ₁ (cm)	d ₂ (cm)	e (cm)	k ₂ (cm)	a (cm)
1 st	120	30	150	235	265 – 315	15 – 50	25	375	185 – 237
2 nd	110	30	150	254	265 – 315	15 – 50	25	375	185 – 237
3 rd	100	30	140	244	240 – 270	15 – 50	22	325	170 – 200
4 th	90	25	140	234	240 – 250	15 – 35	20	300	170 – 190
5 th	80	25	135	211	240 – 250	15 – 35	20	300	170 – 190

Sumber: Peraturan Dinas 10 (1986)

Berdasarkan PD 10 tahun 1986 jalur kereta api segmen Jember - Kalisat termasuk pada kelas

jalur II yang memiliki spesifikasi ukuran struktur sebagai berikut (PJKA, 1986)



Gambar 2. Potongan Melintang Struktur Jalur Kereta Api

Sumber: Buku Jalan Rel (Utomo, 2009)

Tabel 6. Ukuran Struktur jalan Rel dengan kelas Jalan II

Kelas jalan rel	Vmaks (km/jam)	d ₁ (cm)	b (cm)	c (cm)	k ₁ (cm)	d ₂ (cm)	e (cm)	k ₂ (cm)
II	110	30	150	254	265-315	15-30	25	375

Sumber: Peraturan Dinas 10 (1986)

Pembebanan Siklik (Jumlah Siklus Beban)

Beban siklik merupakan suatu beban yang diperoleh suatu struktur secara berulang (Silalahi *et al.*, 2017). Saat kereta berjalan di jalur kereta api, sejumlah kapasitas pemuatan dihasilkan dengan mendistribusikan beban ke track dan tanah dasar dengan cepat. Beban siklik yang diterima jalan rel akan didistribusikan pertama kali ke lapisan balas. Pendistribusian beban terjadi secara berulang dan cepat dengan memperhitungkan pengaruh dari tonase tahunan (passing tonage) yang telah dihitung. Perhitungan beban siklik dilakukan pada semua jenis lokomotif yang menarik kereta

penumpang maupun kereta barang yang dipengaruhi oleh berat roda statis lokomotif.

Beban siklik yang telah diterima lapisan superstruktur (bantalan) kemudian akan didistribusikan pertama kali ke lapisan sub struktur paling atas yaitu lapisan balas. Kapasitas beban yang diterima ini diterima jalan rel dengan cepat dan berulang - ulang. Untuk dua gandar di bawah bogie yang sama menghasilkan satu siklus pembebanan pada lapisan balas. Perhitungan pembebanan siklik dipengaruhi tonase tahunan dan berat roda statis lokomotif dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Pembebanan Siklik (Jumlah Siklus Beban)

Nama Kereta	Tipe Kereta	Jumlah Gerbong	Berat (ton)	Jumlah Roda	Berat Roda Statis (ton)		Jumlah Siklus Beban (siklus)	
					Ps =	Berat Lokomotif	Nb =	T

					Jumlah roda	4 x Ps
Mutiara Timur Malam 90	CC203	9	84	12	7	30.325.680
Mutiara Timur Malam 89	CC203	9	84	12	7	30.325.680
Tawangalun 206	CC201	7	84	12	7	30.325.680
Sritanjung 193	CC203	10	84	12	7	30.325.680
Probowangi 213	CC201	9	84	12	7	30.325.680
Mutiara Timur Siang 88	CC203	9	84	12	7	30.325.680
Mutiara Timur Siang 87	CC203	9	84	12	7	30.325.680
Probowangi 214	CC201	9	84	12	7	30.325.680
Sritanjung 194	CC203	10	84	12	7	30.325.680
Tawangalun 205	CC201	7	84	12	7	30.325.680
TOTAL						303.256.800

Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Berdasarkan **Tabel 7.** didapatkan bahwa jalur kereta api segmen Jember - Kalisat menerima pembebanan siklik sebesar 303.256.800 siklus dari semua kereta yang melintas. Pembebanan siklik ini merupakan faktor terjadinya penurunan lapisan balas

Estimasi Penurunan Lapisan Balas

Analisis penurunan lapisan balas dapat dihitung dengan metode atau persamaan yang dikembangkan oleh Ernest T. Selig dan John M. Waters dalam buku *Track Geotechnology and Substructure Management* (1994). Perhitungan ini menggunakan nilai tonase tahunan (passing tonnage) untuk menghitung tingkat deformasi atau regangan plastis yang terjadi pada lapisan balas. Selain itu, nilai regangan plastis pada siklus pertama (ϵ_1) ditetapkan sebesar 0,0035 atau 0,35%, dengan eksponen (b) sebesar 0,21 untuk menjaga akurasi dalam menyusun data pada grafik yang disajikan pada Gambar 3. (Ernest Theodore Selig, 1994).

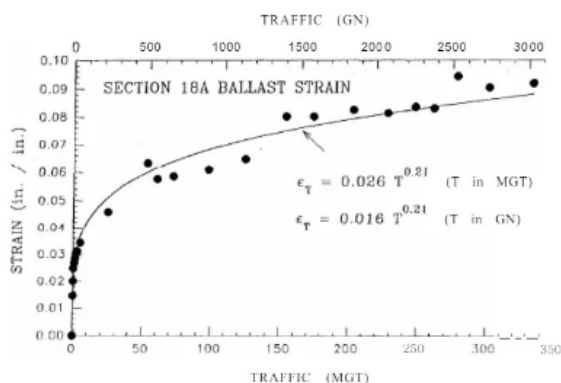


Fig. 8.42 Ballast strain at FAST track

Gambar 3. Grafik nilai ϵ_1 dan b

Sumber: Buku *Track Geotechnology and Substructure Management* (1994).

Berikut hasil perhitungan deformasi/regangan plastis setelah N siklus beban (ϵ_N) menggunakan persamaan dari Selig & Waters (1994).

$$\begin{aligned}
 \epsilon_N &= \epsilon_1 \times N^b \\
 &= 0.0035 \times 33.12395797 \\
 &= 0.11593 \\
 &= 11.593 \%
 \end{aligned}$$

Deformasi plastis mempengaruhi besarnya penurunan lapisan balas (S_b) yang terjadi pada segmen Jember - Kalisat, di mana ketebalan balas (H_b) berbeda-beda di setiap titik pengukuran. Pada segmen ini, terdapat lima titik sampel yang penurunannya diprediksi selama periode satu tahun. Selig dan Waters juga mengembangkan persamaan yang digunakan untuk menghitung penurunan lapisan balas dengan mempertimbangkan pengaruh deformasi plastis dan ketebalan lapisan balas yang dianalisis

$$S_b = \epsilon_N \times H_b$$

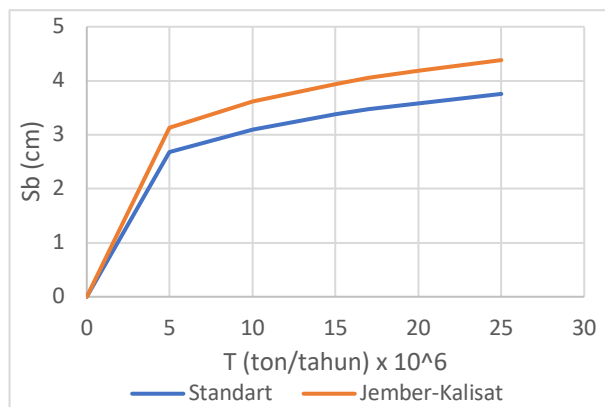
Hasil perhitungan penurunan lapisan balas di jalur hulu dan hilir pada jalur kereta api segmen Jember – Kalisat dapat dilihat pada **Tabel 7.**

Tabel 7. Hasil Penurunan Lapisan Balas				
Titik	KM + HM	Hb (cm)		Penurunan Balas ($S_b = \epsilon_N \times H_b$)
		Hulu	Hilir	Hulu (cm) Hilir (cm)

1	202 + 200 202 + 300	35	29	4.06	3.36
2	203 + 700 203 + 800	29	29	3.36	3.36
3	204 + 200 204 + 300	32	29	3.71	3.36
4	205 + 200 205 + 300	29	29	3.36	3.36
5	206 + 200 206 + 300	29	28	3.36	3.25

Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Estimasi penurunan lapisan balas terbesar akan terjadi pada KM 202 + 200 s/d 202 + 300 jalur hulu dengan penurunan sebesar 4,06 cm per tahunnya. Kemudian, untuk mempermudah estimasi/prediksi penurunan lapisan balas dilakukan perhitungan per 5 juta ton/tahun tonase tahunan dengan ketebalan balas dalam kondisi standar dengan ketebalan balas yang sudah dilakukan pengukuran di lapangan dengan hasil grafik sebagai berikut.



Gambar 4. Grafik Estimasi Penurunan Lapisan Balas Tahunan

Sumber: Dokumen pribadi (2024)

Dari grafik diatas, lapisan balas pada jalur kereta api segmen Jember - Kalisat terjadi penurunan yang lebih besar jika dibandingkan dengan penurunan lapisan balas dalam kondisi standar. Hal tersebut terjadi karena semakin besar ketebalan lapisan balas yang ada maka penurunan yang terjadi akan semakin besar.

KESIMPULAN

Pada perhitungan penelitian ini didapatkan bahwa jalur rel kereta api segmen Jember - Kalisat memiliki tonase tahunan sebesar 17.328.960

ton/tahun. Berdasarkan angka tonase tahunan tersebut, menurut PM 60 Tahun 2012 segmen jalur kereta api ini terletak pada kelas jalan II. Berdasarkan data hasil pengukuran di lapangan, pada lima titik sampel ketebalan balas di bawah bantalan masih belum memenuhi standar, karena nilainya tidak sesuai dengan spesifikasi teknis yang ditetapkan untuk ketebalan kelas jalan rel II, yaitu sebesar 30 cm. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan balas pada segmen tersebut akan mengalami penurunan yang lebih signifikan dibanding dengan kondisi standar ketika ketebalan balas sesuai dengan spesifikasi. Pada segmen jalan kereta api ini menerima beban siklik sebesar 303.256.800 siklus dari seluruh lokomotif yang melintas tiap tahunnya. Dari perhitungan ini juga didapatkan penurunan terbesar yang akan terjadi pada jalur hulu dan hilir di KM 202 + 200 s/d KM 202 + 300 yaitu sebesar 4,06 cm di hulu dan 3,36 cm di hilir per tahunnya. Kemudian diperoleh grafik yang memudahkan estimasi besarnya penurunan balas akibat tonase tahunan sebesar 5 juta ton/tahun. Grafik ini membandingkan kondisi balas dengan ketebalan standar dengan kondisi berdasarkan hasil pengukuran di lapangan yang dapat disimpulkan apabila semakin besar ketebalan lapisan balas maka akan mengalami penurunan yang semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ernest Theodore Selig, J.M.W. (1994) *Track Geotechnology and Substructure Management*.
- Fatikhandi, A. *et al.* (2023) "Estimasi Penurunan Lapisan Balas Akibat Tonase Tahunan (Passing Tonage) Pada Petak Jalan Yogyakarta-Patukan," *Prosiding Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi*, 10(1), hal. 174–184.
- KAI, P. (2016) *PD 10A Perawatan Jalan Rel*.
- Kementrian Perhubungan (2011) "Peraturan Menteri Perhubungan No 32 Tahun 2011 tentang Standar dan Tata Cara Perawatan Prasarana Perkeretaapian," *Kelas dan Kegiatan Di Stasiun Kereta Api*, hal. 2. Tersedia pada: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/106032/permenhub-no-33-tahun-2011>.
- Masoudi Nejad, R. *et al.* (2021) "Reliability analysis of fatigue crack growth for rail steel under variable amplitude service

- loading conditions and wear,” *International Journal of Fatigue*, 152, hal. 106450. doi:10.1016/j.ijfatigue.2021.106450.
- Menteri Perhubungan Republik Indonesia (2012) “Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api,” *Kementrian Perhubungan Republik Indonesia*, hal. 1–57. Tersedia pada: https://peraturan.bpk.go.id/Download/138947/pm_no_60_tahun_2012.pdf.
- Muhtarom, Z. dan Ratih, S.Y. (2021) “Analisis Kondisi Jalan Rel Kereta Api Pada Lintas Sragen-Solo Berdasarkan Nilai Track Quality Indeks (TQI),” *Jurnal Teknik Sipil*, 17(1), hal. 01–13. doi:10.28932/jts.v17i1.3440.
- PERHUBUNGAN, K. (2023) “Grafik Perjalanan Kereta Api Jaringan Jalur Kereta Api Nasional Di Jawa,” *Kementerian Perhubungan Direktorat Jenderal Perkeretaapian*, hal. 1887.
- PJKA (1986) “Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986 Tentang Perencanaan Kontruksi Jalan Rel,” *Perusahaan Jawatan Kereta Api* [Preprint].
- Pujiyulianto, E. *et al.* (2022) “Analisis Struktur Mikro dan Kekuatan Aus Rel Kereta Api Tipe R54 Divre IV Tanjung Karang,” *Metal Indonesia*, 44(2), hal. 67. doi:10.32423/jmi.2022.v44.67-74.
- Roberto, O. dan Mardiaman (2022) “Analisis Metode Pelaksanaan Perawatan Geometri Jalan Rel Pada Lintasan Lurus Terhadap Kualitas, Waktu dan Sumber Daya Manusia,” *Jurnal Teknik Sipil* [Preprint].
- Rosyidi, S.A.P. (2015) “Rekayasa Jalan Kereta Api,” hal. 1–23.
- Silalahi, J. *et al.* (2017) “Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Horizontal Dan.”
- Surasno, S. dan Tjahjohartoto, B. (2019) “Analisis Kegagalan Dongkrak Rel Kereta Api Kapasitas 10 Ton,” *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*, 4(1), hal. 35. doi:10.37209/jtbtt.v4i1.45.
- Utomo, S.H.T. (2009) *JALAN REL*.
- Zakirullah. M Fajriansyah. D, A.R. (2021) “Civil Engineering Collaboration Civil Engineering Collaboration,” *Civil Engineering Collaboration*, 6(2), hal. 53–63. doi:10.35134/jcivil.v9i2.75.