

## ESTIMASI PENURUNAN LAPISAN BALAS AKIBAT TONASE TAHUNAN (*PASSING TONAGE*) PADA PETAK JALAN YOGYAKARTA – PATUKAN

**Andhara Fatikhandi**  
Politeknik Perkeretaapian  
Indonesia Madiun  
Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan  
Lor, Kec. Manguharjo, Madiun,  
Jawa Timur 63161  
andhara.tbjp1925@taruna.ppi.ac.id

**Muh. Adib Kurniawan**  
Politeknik Perkeretaapian  
Indonesia Madiun  
Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan  
Lor, Kec. Manguharjo, Madiun,  
Jawa Timur 63161  
adib@pengajar.ppi.ac.id

**Adya Aghastya**  
Politeknik Perkeretaapian  
Indonesia Madiun  
Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan  
Lor, Kec. Manguharjo, Madiun,  
Jawa Timur 63161  
adya@pengajar.ppi.ac.id

### Abstract

The ballast layer is the first layer that receives load distribution from the superstructure layer so that it will experience a change in shape (deformation). The plastic deformation that happens will be more significant if the railroad receives a large cross load or repeated load. So, in this study, an estimation/prediction of changes in shape in the form of a decrease in the ballast layer caused by the annual tonnage (passing tonnage) on the railroad in the Yogyakarta - Patukan section was carried out. This research uses the equation found by Ernest T. Selig and John M. Waters (1994) in the book *Track Geotechnology and Substructure Management* by taking into account the annual tonnage and cyclic loading factors. In addition, ballast volume calculations are also carried out to determine the need for additional ballast in the area required. As result, the decrease in the ballast layer, the largest decrease is in KM 538 + 700 s/d 538 + 800 downstream line and KM 539 + 200 s / d 539 + 300 upstream lines with a large decrease of 3,08 cm/tahun.

**Keywords:** Ballast, Deformation, Decrease, Loading, Estimation

### Abstrak

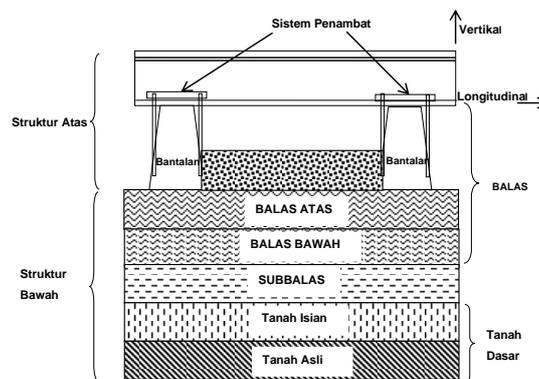
Lapisan balas merupakan lapisan pertama yang menerima pendistribusian beban dari lapisan superstruktur sehingga akan mengalami perubahan bentuk (deformasi). Deformasi plastis yang terjadi akan semakin signifikan jika jalan rel menerima beban lintas atau beban berulang yang besar sehingga pada penelitian ini dilakukan estimasi/prediksi perubahan bentuk berupa penurunan lapisan balas yang diakibatkan oleh tonase tahunan (*passing tonage*) pada jalan rel di petak jalan Yogyakarta – Patukan yang dan perawatannya. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan persamaan yang ditemukan oleh Ernest T. Selig dan John M. Waters (1994) pada buku *Track Geotechnology and Substructure Management* dengan memperhitungkan faktor tonase tahunan dan pembebanan siklik. Selain itu juga dilakukan perhitungan volume balas di lapangan untuk mengetahui kebutuhan penambahan balas pada lokasi balas yang kurang. Hasil dari penelitian ini adalah penurunan lapisan balas terjadi penurunan terbesar di KM 538 + 700 s/d 538 + 800 jalur hilir dan KM 539 + 200 s/d 539 + 300 jalur hulu dengan besar penurunan 3,08 cm/tahun.

**Kata Kunci:** Balas, Deformasi, Penurunan, Beban, Estimasi

## PENJELASAN UMUM

Sebagian besar jalan rel di Indonesia menggunakan tipe jalan rel berbalas (*ballasted track*) salah satunya pada jalan rel di Daerah Operasi VI Yogyakarta petak jalan Yogyakarta – Patukan yang digunakan sebagai lokasi penelitian. Pada Peraturan Menteri Perhubungan

Nomor 60 Tahun 2012 yang mengatur tentang persyaratan teknis jalan rel di Indonesia, sistem jalan rel berbalas (*ballasted track*) memiliki 2 bagian yaitu konstruksi bagian atas (*superstructure*) dan konstruksi bagian bawah (*substructure*). *Superstructure* terdiri dari rel, alat penambat, dan bantalan. Sedangkan *substructure* terdiri dari balas, subbalas, dan subgrade. Kedua struktur tersebut harus memiliki kondisi yang laik dan spesifikasi teknisnya harus sesuai dengan peraturan yang ditetapkan pada PM 60 Tahun 2012. Agar memiliki kondisi jalan rel yang laik untuk dilewati sarana kereta api maka diperlukan perawatan.



Gambar 1. Struktur Jalan Rel

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 32 Tahun 2011 tentang Standar dan Tata Cara Perawatan Prasarana Kereta api, kegiatan perawatan jalan rel dilakukan untuk menjaga jalan rel tetap dalam kondisi laik. Perawatan jalan rel terdiri dari perawatan berkala dan perbaikan untuk mengembalikan fungsi. Dari klasifikasi jenis perawatan jalan rel tersebut, pada dasarnya kegiatan perawatan dilakukan sebagai tindakan pencegahan/perbaikan material, komponen, dan sistem yang mengganggu operasional kereta api serta penggantian sesuai umur teknis. Salah satu jenis kegiatan perawatan komponen jalan rel adalah perawatan lapisan substruktur (balas, subbalas, dan subgrade). Selama masa layan jalan rel, lapisan balas merupakan lapisan terluar/pertama yang menerima pendistribusian beban dari lapisan superstruktur. Dengan demikian, lapisan balas merupakan komponen jalan rel yang membutuhkan perawatan rutin karena akan lebih sering mengalami perubahan bentuk (deformasi) seperti perubahan ketebalan lapisan. Untuk mengembalikan ketebalan dan profilnya sesuai ketentuan dalam PM Perhubungan Nomor 60 tahun 2012. Apabila tidak dilakukan perawatan, kondisi lapisan balas yang tidak sesuai dengan geometri dalam PM 60 tahun 2012 akan meningkatkan potensi rusaknya superstruktur jalan rel. Selain, itu dapat meningkatkan peluang terjadinya kereta anjlok sehingga membahayakan keselamatan perjalanan kereta yang melintas.

Perubahan bentuk/deformasi pada lapisan balas disebabkan oleh beban lintas yang diterima jalan rel dari sarana kereta api yang melintas. Beban lintas roda kereta merupakan jenis beban berulang (siklik). Beban berulang tersebut menyebabkan perubahan geometri jalan rel. Li Dingqing et al. (2016) menyatakan bahwa satu dari sebagian besar kriteria dari pondasi lintasan adalah untuk mencegah deformasi plastis yang berlebihan karena beban berulang. Deformasi plastis yang terjadi pada lapisan balas akan semakin signifikan jika

beban lintas yang diterima jalan rel makin besar sehingga masa layan jalan rel akan semakin singkat. Jumlah beban siklik suatu lintas dapat diperkirakan dan prediksi dari besar beban lintas yang diterima jalan rel tersebut. Sehingga kebutuhan perawatan yang harus dilakukan untuk menanggulangi penurunan lapisan balas. Pemeliharaan/perawatan yang dilakukan tenaga perawat pada lapisan balas jika terjadi penurunan pada antara lain adalah tamping (pemadatan balas), penambahan balas agar balas, dan profil ulang balas. Penurunan yang terjadi dapat diestimasi untuk membantu memperkirakan kebutuhan perawatan atau perbaikannya.

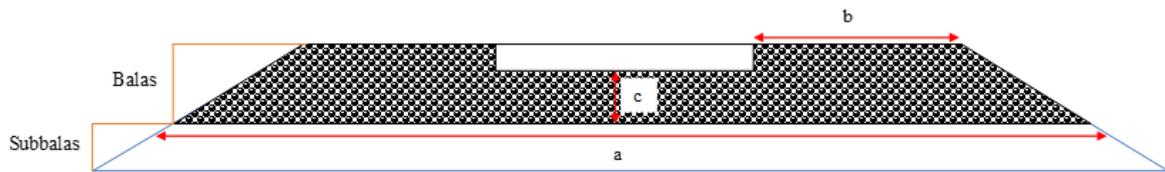
## **METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian dilakukan dengan pengambilan data sampel dari survei lapangan lokasi jalan rel yang mengalami kekurangan balas yang cukup signifikan berdasarkan pengamatan visual peneliti di petak jalan Yogyakarta – Patukan. Data tersebut kemudian akan digunakan sebagai data pendukung untuk perhitungan estimasi penurunan lapisan balas. Sebelum melakukan estimasi penurunan, dilakukan perhitungan tonase tahunan (*passing tonage*) kereta api yang melintas di petak jalan Yogyakarta – Patukan berdasarkan data dari Grafik Perjalanan Kereta Api (GAPEKA) Tahun 2021, stamformasi kereta api (lokomotif, kereta penumpang, makan, pembangkit, dan gerbong), dan data berat masing-masing sarana kereta api. Jalan rel tentunya menerima tonase secara berulang-ulang selama masa layannya atau dapat disebut beban siklik. Perhitungan beban siklik ini dihitung dengan faktor tonase tahunan yang diterima jalan rel dan berat roda statis lokomotif untuk dua gandar di bawah bogie.

Estimasi penurunan lapisan balas dilakukan menggunakan metode/persamaan yang ditulis oleh Ernest T. Selig dan John M. Waters pada buku *Track Geotechnology and Substructure Management* (1994). Perhitungan dilakukan dengan faktor/pegaruh tonase tahunan (*passing tonage*) untuk mendapatkan besar deformasi/regangan plastis yang terjadi pada lapisan balas dengan nilai regangan plastis pada siklus pertama ( $\epsilon_1$ ) dan eksponen (b) yang sudah ditetapkan untuk meminimalisir ketidaktepatan plot pada grafik yang tersedia. Nilai deformasi plastis tersebut memengaruhi penurunan yang akan terjadi dengan ketebalan awal di lapisan balas dalam kurun waktu satu tahun.

## **SURVEI LOKASI DAN PENGUKURAN GEOMETRI BALAS EKSISTING**

Pengambilan data primer dilakukan pada jalan rel wilayah DAOP VI Yogyakarta di petak jalan Yogyakarta – Patukan yang berjarak berjarak  $\pm$  4-kilometer pada KM 538+300 s/d 542+300. Pengukuran yang dilakukan meliputi panjang kaki balas (a), panjang bahu balas (b), tebal balas di bawah bantalan (c) dan tebal balas di bawah bantalan. Adapun gambaran pengukuran yang dilakukan adalah sebagai berikut



Gambar 2. Sketsa Bagian Balas yang Diukur di Lapangan

Pada petak jalan Yogyakarta – Patukan terdapat 5 titik sampel lapisan balas yang dilakukan pengukuran dengan hasil data sebagai berikut

Tabel 1. Hasil Pengukuran Lapisan Balas di Lapangan

Titik	KM + HM	HULU (cm)			HILIR (cm)		
		Bahu	Kaki	Tebal Bawah Bantalan	Bahu	Kaki	Tebal Bawah Bantalan
1	538 + 700	53	520	25	63	560	28
	538 + 800						
2	539 + 200	63	600	28	63	556	18
	539 + 300						
3	540 + 300	58	540	18	48	568	24
	540 + 400						
4	541 + 500	43	460	21	48	448	21
	541 + 600						
5	542 + 400	38	546	16	63	548	16
	542 + 500						

## TONASE TAHUNAN (*PASSING TONAGE*)

Tonase tahunan, beban lintas tahunan (*passing tonage*) adalah jumlah angkutan anggapan yang melewati suatu lintas dalam jangka waktu satu tahun. Pada petak jalan Yogyakarta – Patukan yang berjarak ± 4-kilometer dan juga termasuk jalan rel yang padat karena dilintasi banyak sarana kereta api per harinya. Sarana yang melintas meliputi kereta api lokal (Kereta Api Bandara dan Prambanan Ekspres), antar kota, jarak jauh, dan barang. Namun, perlu diketahui Stasiun Patukan tidak melayani naik turun penumpang. Sebelum melakukan perhitungan, dilakukan analisis berat sarana yang melintas dalam satu hari di petak jalan ini. Berikut data total berat sarana yang melintas di petak jalan Yogyakarta - Patukan dalam satu hari.

Tabel 2. Total Berat Sarana yang Melintas

No	Jenis Sarana	Total Berat Sarana (Ton)
1	Lokomotif	7941,4
2	Kereta Penumpang	30802
3	Kereta Makan	2773
4	Kereta Pembangkit	2193
5	Bagasi	1548
6	Gerbong	13400

Dari daftar total berat sarana di atas dapat dilakukan perhitungan tonase tahunan dengan menggunakan persamaan yang terdapat dalam buku “Rekayasa Jalan Kereta Api (2015) yang ditulis oleh Sri Atmaja. Berikut adalah besar tonase tahunan (*passing tonage*) pada petak jalan Yogyakarta – Patukan

$$\begin{aligned}\text{Tonase Lokomotif (Tl)} &= \sum \text{Berat Lokomotif} \times K_l \\ &= 7941,4 \times 1,4 \\ &= 11117,96 \text{ Ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tonase Kereta Harian (Tp)} &= \sum \text{Berat Kereta Penumpang} + \sum \text{Berat Kereta Makan} + \\ &\quad \sum \text{Berat Kereta Pembangkit} + \sum \text{Bagasi} \\ &= 30802 + 2773 + 1548 + 2193 \\ &= 37316 \text{ Ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tonase Gerbong (Tb)} &= \sum \text{Berat Gerbong} \times K_b \\ &= 13400 \times 1,5 \\ &= 20100 \text{ Ton}\end{aligned}$$

Koefisien untuk menghitung tonase gerbong menggunakan 1,5 karena pada petak jalan Yogyakarta – Patukan memiliki lebar jalan rel 1067 mm sehingga beban gandar yang melintas maksimal 18 ton.

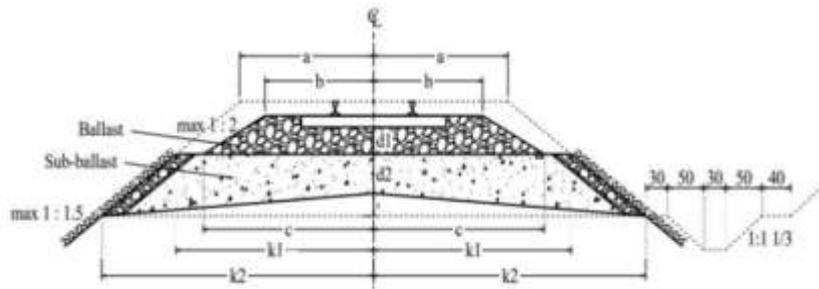
$$\begin{aligned}\text{Tonase Ekuivalen (TE)} &= T_l + T_p + T_b \\ &= 11117,96 + 37316 + 20100 \\ &= 68533,96 \text{ Ton/Hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tonase Tahunan (T)} &= 360 \times TE \times S \\ &= 360 \times 68533,96 \times 1,1 \\ &= 27139448,16 \text{ Ton/Tahun}\end{aligned}$$

Koefisien kualitas lintas menggunakan 1,1 karena pada petak jalan Yogyakarta – Patukan dilintasi kereta penumpang. Selain itu, petak jalan ini merupakan jalur double track maka untuk per satu jalurnya dapat dihitung sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Tonase Tahunan (T)} &= \frac{27139448,16}{2} \\ &= 13.569.724,08 \text{ Ton/Tahun}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil tonase tahunan yang telah didapatkan petak jalan Yogyakarta – Patukan memiliki kelas jalan II dengan klasifikasi dan ukuran struktur lapisan balas yang telah diatur pada PM 60 Tahun 2012 sebagai berikut.



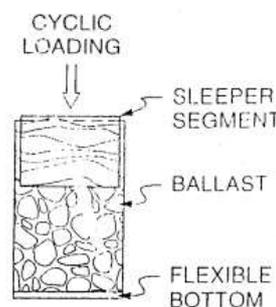
Gambar 3. Potongan Melintang Ukuran Geometri Balas

Tabel 3. Ukuran Struktur Jalan Rel dengan Kelas Jalan II (PM 60 Tahun 2012)

Kelas Jalan Rel	Vmaks (km/jam)	d1 (cm)	b (cm)	c (cm)	k1 (cm)	d2 (cm)	e (cm)	k2 (cm)
II	110	30	150	235	265	15-50	25	375

## PEMBEBANAN SIKLIK (JUMLAH SIKLUS BEBAN)

Beban siklik adalah beban yang bekerja berulang kali dengan kekuatan yang relatif sama. Li Dingqing et.al (2016) menyatakan dalam buku *Railway Geotechnic* 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.



Sumber: Buku *Track Geotechnology and Substructure Management*, 1994

Gambar 4. Pendistribusian Beban ke Lapisan Balas

Pada gambar tersebut, beban siklik yang telah diterima lapisan superstruktur (bantalan) kemudian akan didistribusikan pertama kali ke lapisan substruktur 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 dengan persamaan sebagai berikut.

$$Nb = \frac{T}{4 P_s} \quad (1)$$

Berikut adalah perhitungan pembebanan siklik (jumlah siklus beban) lokomotif yang melintas di petak jalan Yogyakarta – Patukan.

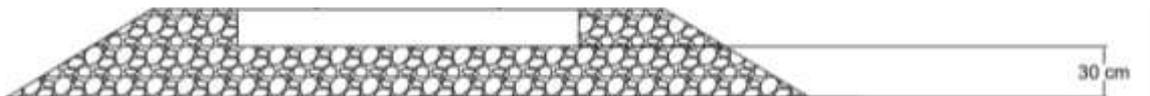
Tabel 4. Hasil Perhitungan Pembebanan Siklik (Jumlah Siklus Beban)

Nama Lokomotif	Jumlah Sarana	Berat (Ton)	Jumlah Roda	Berat Roda Statis (Ton) $P_s = \frac{\text{Berat Lokomotif}}{\text{Jumlah Roda}}$	Jumlah Siklus Beban (Siklus)
CC201	7	82	12	6,83	3.475.173,24
CC203	7	84	12	7	3.392.431,02
CC204	4	84	12	7	1.938.532,01
CC206	29	88.2	12	7,35	13.385.101,98
<b>TOTAL</b>					<b>22.191.238,26</b>

Dari tabel diatas dapat dianalisis bahwa jalan rel di petak jalan Yogyakarta – Patukan dalam satu tahun menerima pembebanan siklik (jumlah siklus beban) sebesar 22.191.238,26 siklus dari semua lokomotif yang melintas. Jumlah siklus beban ini menjadi faktor terjadinya penurunan lapisan balas.

## ESTIMASI PENURUNAN LAPISAN BALAS

Lapisan balas merupakan lapisan terluar dari substruktur dan menerima pendistribusian beban pertama dari superstruktur. Hamdani (2013) menyatakan pembebanan pada rangkaian rel kereta api menyebabkan balas saling gesek dan aus sehingga volume dan tebal balas berkurang sehingga terjadi penurunan pada balas. Penurunan lapisan balas biasanya disebabkan oleh deformasi plastis yang terjadi pada balas akibat beban berulang (siklik) yang diterima jalan rel. Sebagai pembanding antara ketebalan standar dan ketebalan yang ada di lapangan digunakan standar teknis ketebalan lapisan balas dari PM 60 Tahun 2012 untuk jalan rel dengan kelas jalan II sebagai berikut.



Gambar 5. Standar Ketebalan Lapisan Balas untuk Kelas Jalan II (PM 60 Tahun 2012)

### Estimasi Penurunan Tahunan Lapisan Balas

Estimasi penurunan lapisan balas dihitung menggunakan metode/persamaan yang ditulis oleh Ernest T. Selig dan John M. Waters pada buku *Track Geotechnology and Substructure Management* (1994). Perhitungan dilakukan dengan faktor/pegaruh tonase tahunan (*passing*)

tonage) untuk mendapatkan besar deformasi/regangan plastis yang terjadi pada lapisan balas. Selain itu, kedua penulis menetapkan nilai dari regangan plastis pada siklus pertama ( $\epsilon_1$ ) sebesar 0,0035 atau 0,35% dan eksponen (b) sebesar 0,21 untuk menghindari ketidaktepatan saat melakukan plot pada grafik sebagai berikut.

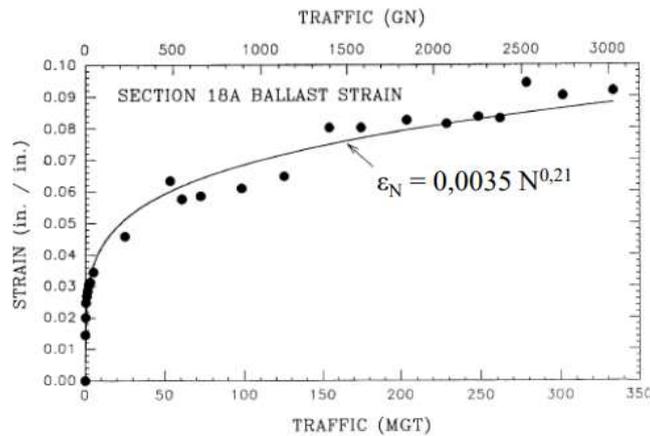


Fig. 8.42 Ballast strain at FAST track

Sumber: Selig dan Waters, 1994

Gambar 6. Grafik Nilai  $\epsilon_1$  dan b

Petak Jalan Yogyakarta – Patukan memiliki tonase tahunan sebesar 13.569.724,08 ton/tahun yang sudah dihitung sebelumnya. Berikut hasil perhitungan deformasi/regangan plastis setelah N siklus beban ( $\epsilon_N$ ) menggunakan persamaan dari Selig & Waters (1994)

$$\begin{aligned} \epsilon_N &= \epsilon_1 \times N^b \\ &= 0,35\% \times (13.569.724,08)^{0,21} \\ &= 11,01\% \end{aligned}$$

Nilai deformasi plastis tersebut memengaruhi besar penurunan lapisan balas ( $S_b$ ) yang terjadi di petak jalan Yogyakarta – Patukan dengan ketebalan ( $H_b$ ) yang berbeda disetiap titik yang sudah dilakukan pengukuran. Terdapat 5 titik sampel pada petak jalan ini yang diestimasi/prediksi penurunannya dalam kurun waktu satu tahun. Selig dan Waters juga menuliskan persamaan untuk menghitung penurunan lapisan balas dengan pengaruh dari deformasi plastis dan ketebalan lapisan balas yang diteliti

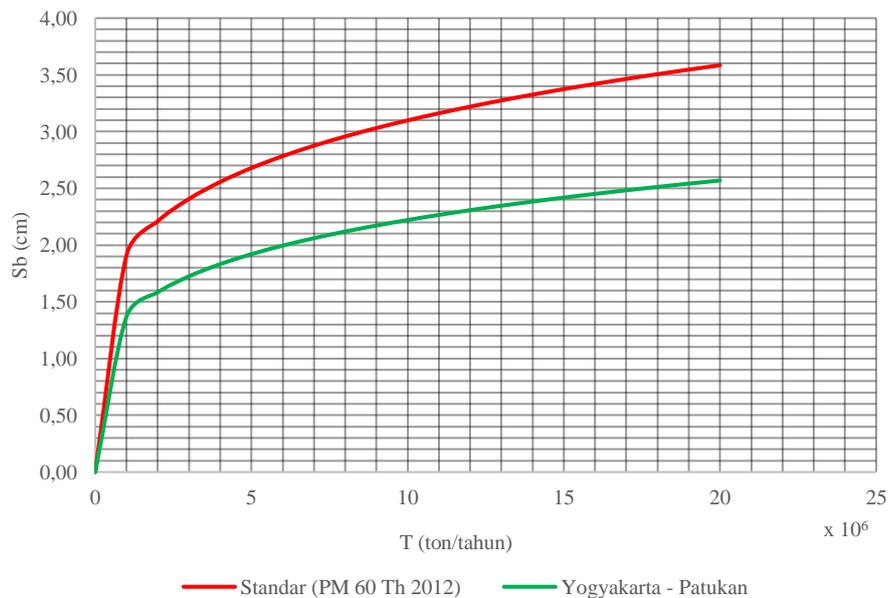
$$S_b = \epsilon_N \times H_b \tag{2}$$

Berikut adalah hasil perhitungan penurunan lapisan balas di jalur hulu dan hilir pada petak jalan Yogyakarta – Patukan.

Tabel 5. 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	538 + 700	25	28	2,75	3,08
	538 + 800				
2	539 + 200	28	18	3,08	1,98
	539 + 300				
3	540 + 300	18	24	1,98	2,64
	540 + 400				
4	541 + 500	21	21	2,31	2,31
	541 + 600				
5	542 + 400	16	16	1,76	1,76
	542 + 500				

Estimasi penurunan lapisan balas terbesar akan terjadi pada KM 538 + 700 s/d 538 + 800 jalur hilir dan KM 539 + 200 s/d 539 + 300 jalur hulu dengan besar penurunan 3,08 cm per tahunnya. Kemudian, untuk mempermudah estimasi/prediksi penurunan lapisan balas dilakukan perhitungan per 10 juta ton/tahun tonase tahunan dengan ketebalan balas standar yang dapat dianggap sebagai balas baru atau balas yang belum mendapatkan masa layan dengan ketebalan balas yang sudah dilakukan pengukuran di lapangan dengan hasil grafik sebagai berikut



Gambar 7. Grafik Estimasi Penurunan Lapisan Balas Tahunan

Dari grafik diatas penurunan balas yang masih dalam kondisi standar atau dianggap sebagai balas baru lebih signifikan jika dibandingkan dengan kondisi balas pada petak jalan Yogyakarta – Patukan yang sudah mengalami masa layan per 10 juta ton/tahun. Hal ini terjadi

karena balas baru memiliki *void* (rongga) yang masih besar dibandingkan balas yang sudah mengalami masa layan. Balas yang sudah mengalami masa layan dan menerima tonase tahunan tentunya akan terjadi pemadatan dan *void* (rongga) pada balas akan mengecil sehingga penurunan yang terjadi akan lebih kecil dibandingkan dengan balas baru. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar ketebalan lapisan balas yang ada maka penurunan yang terjadi akan semakin besar.

## KESIMPULAN

Petak jalan Yogyakarta – Patukan memiliki tonase tahunan sebesar 13.569.724,08 ton/tahun yang berarti memiliki kelas jalan II menurut PM 60 Tahun 2012. Dari data pengukuran yang dilakukan di lapangan ketebalan balas di bawah bantalan di 5 titik sampel masih mengalami kekurangan karena besarnya tidak sesuai spesifikasi teknis untuk ketebalan kelas jalan II yaitu 30 cm dan dapat disimpulkan jika balas mengalami kekurangan. Petak jalan ini setiap tahunnya menerima pembebanan siklik (jumlah siklus beban) sebesar 22.191.238,26 siklus dari semua lokomotif yang melintas. Kemudian, dari perhitungan estimasi penurunan lapisan balas terjadi penurunan terbesar di KM 538 + 700 s/d 538 + 800 jalur hilir dan KM 539 + 200 s/d 539 + 300 jalur hulu dengan besar penurunan 3,08 cm per tahunnya. Selain itu, didapatkan grafik untuk mempermudah prediksi besar penurunan balas akibat per 10 juta ton/tahun tonase tahunan antara balas dalam kondisi ketebalan standar (baru) belum menerima masa layan dengan kondisi eksisting pengukuran di lapangan. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan jika semakin besar ketebalan lapisan balas yang ada maka penurunan yang terjadi akan semakin besar.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada segenap civitas akademika Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun khususnya di program studi Teknologi Bangunan dan Jalur Perkeretaapian yang telah mendukung dalam proses penelitian dan penyusunan jurnal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Direksi PT. Kereta Api Indonesia (Persero). 2016. Peraturan Dinas 10A tentang Perawatan Jalan Rel dengan Lebar 1067 mm. Bandung: Direksi PT. Kereta Api Indonesia (Persero).
- Hartanto, S. (2015). *Struktur Jalan Rel Kereta Api*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Li, D., Hyslip, J., Sussman, T. dan Chrismer, S. 2016. *Railway Geotechnics*. United States of America: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2007. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian. Jakarta: Kementerian Perhubungan.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2012. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM. 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. Jakarta: Kementerian Perhubungan.

- Prativi, A. *Pembebanan Jalan Rel [PowerPoint slides]*, Politeknik Perkeretaapian Indonesia
- Prativi, A. *Penurunan Tanah Akibat Beban Siklik [PowerPoint slides]*, Politeknik Perkeretaapian Indonesia
- Prawoto, P. K. *Perawatan Bangunan dan Jalur Perkeretaapian 1. Menghitung Passing Tonage dan Menentukan Kelas Jalan Rel [PowerPoint slides]*.
- Priharanto, R. *Aspek Hukum Pengujian Jalur Dan Bangunan Kereta Api Serta Spesifikasi Teknis Jalur Dan Bangunan Kereta Api [PowerPoint slides]*.
- Rosyidi, S.A.P. 2016. *Rekayasa Jalan Rel Kereta Api Tinjauan Struktur Kereta Api*. Yogyakarta: Lembaga Penelitian, Publikasi & Pengabdian Masyarakat (LP3M).
- Selig, E. T. dan Waters, J. M. 1994. *Track Geotechnology and Substructure Management*. England: Railway Geotechnical Consultant Derby.