

# Pengaruh Aspal dan Gradasi Karet Ban Bekas Terhadap Nilai Modulus Elastisitas Lapisan Balas Terstabilisasi

*The effect Asphalt and Waste Tires Rubber Gradation on Elastic Modulus for Ballast Layer Stabilized*

**Fariz Fadhillah, Sri Atmaja P.Rosyidi, Dian Setiawan M.**

*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**Abstrak.** Struktur jalan rel di Indonesia sebagian besar masih menggunakan jalur kereta api konvensional. Umur layanan yang pendek dari lapisan balas berdampak pada tingginya biaya konstruksi dan pemeliharaan jalur kereta api. Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu adanya upaya untuk meningkatkan kualitas dari struktur jalan rel. Melalui penelitian ini, pemanfaatan karet bekas dan aspal diharapkan dapat meningkatkan durabilitas dan umur layanan serta mengurangi biaya konstruksi dan pemeliharaan struktur jalur kereta api. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik campuran melalui nilai deformasi vertikal, abrasi agregat, dan modulus elastisitas. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji tekan, sedangkan spesimen sampel benda uji terdiri dari balas (sampel I) yang dibandingkan dengan modifikasi balas dengan campuran karet bekas 10% (sampel II) dan modifikasi balas dengan campuran karet bekas 10% dan aspal 2% (sampel III). Hasil penelitian menunjukkan bahwa deformasi vertikal terbesar terjadi pada sampel II sebesar 5 mm pada beban 112,5 kPa. Selanjutnya nilai abrasi yang terkecil terjadi pada sampel III sebesar 16 gr (0,31%). Selain itu, modulus elastisitas tertinggi terjadi pada sampel I sebesar 23,43 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa, modifikasi yang telah dilakukan menyebabkan tingkat kekakuan semakin menurun.

Kata kunci: abrasi agregat, deformasi vertikal, durabilitas, modulus elastisitas.

**Abstract.** Railway structures in Indonesia are mostly using conventional rail track. The short of service life of the ballast layer, leading to the high construction and maintenance cost of the rail track. Based on this issue, there needs to be an effort to improve the quality of the rail track structure. Through this research, utilization of scrap rubber and bitumen is expected to increase the durability, service life and to reduce the construction and maintenance cost of the rail track structure. The purpose of this study is to analyze the characteristic of the ballast mixture through the values of vertical deformation, aggregate abrasion, and elastic modulus. The method used in this research was the compressive test, while the sample specimen consisted of ballast (sample I) that compared with ballast modification with 10% scrap rubber mixture (sample II) and ballast modification with 10% scrap rubber and 2% bitumen (sample III). The research result showed that the largest vertical deformation occurred on sample II by 5 mm at the load of 112.5 kPa. Furthermore, the smallest abrasion value occurred on sample III by 16 gr (0.31%). Additionally, the highest elastic modulus occurred on sample I by 18.67 MPa. The result showed, that ballast modification in this research lead to stiffness decreased.

Keywords: aggregate abrasion, durability, elastic modulus, vertical deformation.

## 1. Pendahuluan

Sebagian besar di Indonesia menggunakan jenis jalan rel konvensional, kebutuhan perawatan dan pemeliharaan dari jalan rel tersebut membutuhkan biaya yang sangat besar terkait dengan umur layanan yang sangat singkat (Setiawan et al., 2013). Penggunaan bahan material karet ban bekas dan aspal ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas dari struktur balas terhadap degradasi material dan meningkatkan umur layanan dari lapisan balas, sehingga dapat menekan

kebutuhan perawatan infrastruktur jalan rel kereta api di Indonesia.

Pemanfaatan limbah dari ban kendaraan yang tak terpakai merupakan salah satu solusi untuk mengurangi pemakaian dari agregat alam yang juga berfungsi sebagai peningkatan durabilitas dari struktur jalan rel (Sanchez et al., 2015). Signes et al. (2016), melakukan penelitian karakteristik lapisan balas dengan uji triaxial siklik untuk mendapatkan nilai modulus resilien ( $M_r$ ) dari campuran balas bahan karet.

Farhan et al. (2015), menegaskan bahwa penggunaan karet (*crumb rubber*) dapat meningkatkan duarabilitas namun dapat menurunkan tingkat kekakuan lapisan balas. Menurut Asgharzadeh et al. (2018), penggunaan campuran aspal dan karet memiliki peran positif terhadap daya dukung, stabilitas, dan yang utama adalah meningkatkan peredaman getaran pada struktur jalan rel. Penggunaan dari *crumb rubber* yang optimal untuk campuran lapisan balas adalah 10% karena pengaruh sifat elastis yang dimiliki *crumb rubber*, sehingga apabila pemakaian terlalu banyak akan menurunkan sifat kaku dari lapisan balas (Sanchez et al., 2014).

Selain pemanfaatan limbah karet, menurut D'Angelo et al. (2016) dan Giunta et al. (2018), penggunaan bahan bitumen kini juga dimanfaatkan sebagai modifikasi lapisan balas. Penggunaan bahan bitumen sebanyak 2-3% yang dikombinasikan dengan bitumen ini diuji dengan menggunakan beban dinamik untuk mengetahui karakteristik campuran balas, Kemudian kombinasi bitumen tersebut dianalisis lebih lanjut terkait penilaian umur layanan dan biaya perawatan. Sebagai pengganti aspal emulsi, Penggunaan aspal penetrasi 60/70 memiliki nilai substansi yang cukup tinggi untuk digunakan sebagai perkerasana struktural (Alvarez et al., 2018). Pengembangan penelitian D'Angelo et al. (2017), melakukan evaluasi untuk mengoptimalkan penggunaan bitumen berdasarkan nilai modulus resilien ( $M_r$ ), *flowability indeks* dan energi yang hilang dalam meningkatkan kualitas dari balas. Penelitian pencampuran antara bahan bitumen dan bahan karet dari Lee et al. (2014), menyimpulkan bahwa campuran tersebut dapat mengurangi degradasi dan meredam getaran akibat beban lalu lintas kereta api dengan baik.

Penggunaan aspal dan karet pada modifikasi balas, perlu dianalisis tingkat kekakuannya. Menurut Wiyono et al. (2012) dan Schonanda et al. (2013) Salah satu parameter tingkat kekakuan adalah nilai modulus elastisitas berdasarkan kemiringan (*slope*) linier dari kurva hubungan tegangan-regangan aksial dalam deformasi elastis. Dengan demikian, kombinasi balas dengan bahan karet dan aspal ini dapat dijadikan solusi untuk meningkatkan umur layanan dari lapisan

balas, dan mengurangi peneluaran biaya untuk pemeliharaan berkala dari struktur jalan rel di Indonesia.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik dari modifikasi campuran balas dengan material tambahan karet dan aspal melalui uji kuat tekan. Parameter pengujian ini adalah nilai deformasi vertikal akibat pembebanan, abrasi agregat dan modulus elastisitas dari lapisan balas.

## 2. Metode Penelitian

### **Bahan**

#### **Balas**

Balas yang digunakan adalah agregat jenis andesit yang berasal dari Clereng, Kulon Progo, D.I.Yogyakarta. Adapun sifat-sifat fisik dari agregat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Uji Fisik Material Agregat

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Berat Jenis (BJ):		
	a. BJ Bulk	2,65	-
	b. BJ SSD	2,67	-
	c. BJ Semu	2,71	-
2	Penyerapan air	0,85	%
3	Kadar Lumpur	1,6	%
4	Keausan Agregat	17,33	%

Ukuran butir dari balas yang digunakan adalah  $2'' - \frac{3}{4}''$  berdasarkan persyaratan gradasi untuk material balas dari Peraturan Dinas Nomor 10 tahun 1986 (PD N0.10 tahun 1986) material ini termasuk dalam kelas jalan III.

#### **Karet ban bekas kendaraan**

Material limbah dari karet ban kendaraan bermotor yang digunakan pada penelitian ini dimodifikasi menjadi ukuran butir antara  $1'' - \text{No.4}$  yang difungsikan sebagai material elastik pengganti balas. Material ini diperoleh dari bengkel-bengkel kendaraan bermotor yang berlokasi di Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul, D.I.Yogyakarta. Untuk penggunaan material limbah karet ban ini adalah 10% berdasarkan penelitian-penelitian Internasional terdahulu. Karet yang

digunakan pada penelitian ini memiliki karakter seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Uji Fisik Karet

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Berat Jenis (BJ) :		
	a. BJ Bulk	2,64	-
	b. BJ SSD	2,66	-
	c. BJ Semu	2,7	-
2	Penyerapan air	0,85	%

### Aspal

Penggunaan aspal pada penelitian ini adalah tipe aspal penetrasi 60/70 dalam bentuk aspal padat yang akan dicairkan melalui pemanasan. Bahan aspal ini diperoleh dari penyimpanan aspal yang berlokasi di Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, D.I.Yogyakarta. Persentase aspal yang digunakan sebanyak 2% berdasarkan penelitian-penelitian internasional terdahulu dan teliti saat ini. Aspal yang digunakan pada penelitian ini memiliki kriteria seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Uji Fisik Agregat

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Penetrasi Aspal	64,8	0,1 mm
2	Titik Lembek	49	°C
3	Berat Jenis	1,029	-
4	Daktalitas	147	Cm
5	Kehilangan Minyak	0,39	%

### Prosedur Pengujian Kuat Tekan

Sebelum dilakukan proses uji kuat tekan yang terkekang oleh cetakan, langkah awal yang dilakukan pada penelitian ini adalah melakukan proses pencampuran benda uji. Benda uji dibuat dengan ukuran 40 cm x 20 cm x 30 cm di dalam cetakan balas (*Ballast Box*). Proses pencampuran disertai dengan proses pemadatan secara manual dengan alat penumbuk yang memiliki beban 4,5 kg, diameter 6 cm dan tinggi jatuh 20 cm. Proses pencampuran langsung di dalam *box* dan memadatkannya setiap 1/3 layer dari tinggi *box* dengan jumlah pukulan sebanyak 25x/layer.

Pada benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah tiga jenis sampel uji

dengan campuran yang berbeda-beda. Jenis sampel yang pertama (I) adalah balas tanpa campuran. Sampel yang kedua (II) terdiri dari balas + karet 10%, dan untuk sampel yang ketiga (III) adalah balas + karet 10% + aspal 2%. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan alat *Micro-Computer Universal Testing Machine (UTM)*, dengan luas plat beban berukuran 30 cm x 15 cm. Kondisi benda uji tertahan oleh cetakan pada disisi samping dari benda uji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Uji Tekan Dengan Alat *UTM*.

Hasil nilai tegangan dan regangan dari setiap sampel uji dibandingkan dalam bentuk kurva hubungan tegangan dan regangan. Jumlah karet yang digunakan adalah 10% dari berat total benda uji dan aspal sebanyak 2% dari berat total benda uji. Nilai modulus elastisitas ( $E$ ) didapatkan dari nilai tegangan leleh dan regangan leleh melalui koreksi kurva menggunakan *trendline* linier. Nilai modulus elastisitas dihitung menggunakan persamaan 1.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1)$$

Dengan  $\sigma$  adalah tegangan leleh dan  $\epsilon$  adalah regangan leleh.

### Prosedur Pemeriksaan Deformasi Vertikal

Pemeriksaan deformasi vertikal ini diperoleh berdasarkan angka penurunan benda uji yang terjadi akibat proses pembebanan vertikal yang diberikan pada benda uji. Nilai deformasi ini menunjukkan tingkat kekakuan campuran dan dapat menjadi parameter untuk

menentukan tebal dari lapisan balas yang akan digunakan.

### Prosedur Pengujian Abrasi Agregat

Untuk mengetahui nilai abrasi material agregat pada campuran adalah berdasarkan keausan yang terjadi akibat proses uji kuat tekan dan dilanjutkan dengan melakukan perbandingan jumlah material agregat yang hancur/pecah setelah uji kuat tekan selesai dilakukan. Perbandingan dilakukan dengan pengambilan sampel material sebanyak 5000 gr dari berat total campuran sebelum dan sesudah uji kuat tekan dari masing-masing jenis campuran.

Sampel yang telah dibandingkan dengan menggunakan analisis saringan dengan ukuran 2" - No.4, kemudian digambarkan dengan grafik persentase ukuran butir agregat. Perhitungan abrasi material dihitung dari material yang memiliki ukuran butir agregat yang lolos saringan  $3/4$ " dari balas yang digunakan saat dilakukan uji tekan.

## 3. Hasil Dan Pembahasan

### Karakteristik Campuran

Setiap sampel uji memiliki karakteristik campuran yang berbeda yang disebabkan adanya perbedaan jenis material penyusun dari campuran. Dari tiga jenis sampel uji memiliki karakteristik campuran yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Karakteristik Campuran

No	Parameter	S I	S II	S II
1	Berat Vol (gr/cm <sup>3</sup> )	1,4	1,39	1,47
2	Vol. Karet (%)	-	12,2	12,9
3	Vol. Aspal (%)	-	-	2,77
4	Vol. Balas (%)	52,25	46,5	48,1
5	Vol. Pori (%)	47,75	41,2	36,3

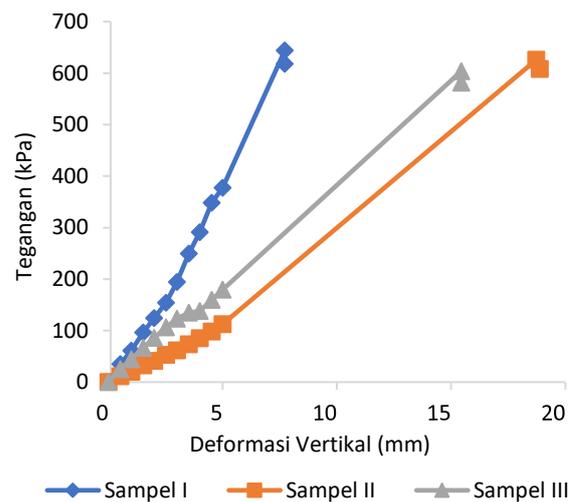
### Deformasi Vertikal

Besarnya angka penurunan bergantung pada jenis benda uji yang diberikan pembebanan melalui uji tekan. Hasil dari perbandingan antara pembebanan dan angka

penurunan benda uji tersaji pada Tabel 5 dan Gambar 2 sebagai berikut.

Tabel 5 Nilai Deformasi Benda Uji Pada Beban Maksimal

Sampel	Beban (kPa)	Deformasi (mm)
Sampel I	377,49	5
Sampel II	112,52	5
Sampel III	179,33	5

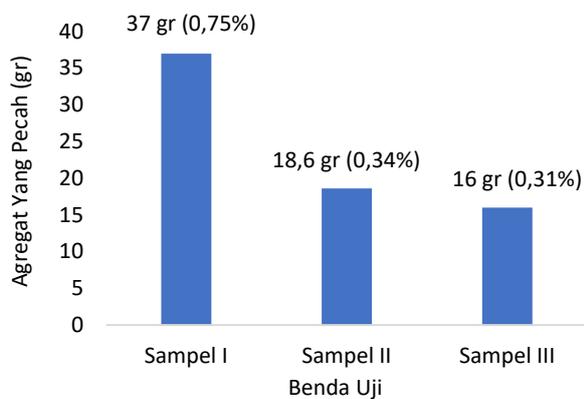


Gambar 2 Grafik Tegangan dan Deformasi Vertikal

Dari hasil pengujian tekan pada deformasi yang sama sebesar 5 mm, menghasilkan tegangan 377,49 kPa pada sampel I, 112,52 kPa pada sampel II, dan 179,33 kPa pada sampel III. Sifat dari material karet dapat menurunkan tingkat kekakuan dari balas, dan bahan aspal memiliki fungsi untuk mengurangi sifat elastis yang mempengaruhi campuran balas.

### Abrasi Material Agregat

Nilai abrasi material agregat diperoleh melalui pengujian tekan yang menyebabkan kerusakan material seperti pecahnya agregat atau mengalami pengikisan (aus) akibat proses pengujian kuat tekan, sehingga kualitas dari agregat mengalami penurunan. Jenis benda uji yang telah melalui proses uji tekan menghasilkan variasi tingkat abrasi material agregat yang berbeda-beda seperti yang pada Gambar 3.



Gambar 3 Degradasi Material Agregat

Seperti yang ditunjukkan pada diagram Degradasi Material Agregat sebelumnya (Gambar 3), penambahan karet akan menurunkan nilai degradasi dari balas dengan hasil 37 gr, menjadi 18,6 gr dengan penambahan karet sebanyak 10%. Apabila campuran balas dan karet tersebut ditambahkan dengan aspal sebanyak 2%, maka nilai degradasi yang dihasilkan menjadi angka abrasi yang terkecil sebesar 16 gr. Dengan hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan material karet dan aspal akan mengurangi nilai abrasi (keausan) agregat dari lapisan balas.

### Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas diperoleh berdasarkan data pengujian tekan yang diolah dalam bentuk kurva tegangan dan regangan dengan menggunakan koreksi kurva menggunakan *trendline*. Sulitnya menentukan daerah elastis maupun daerah plastis pada kurva yang tidak terlihat jelas *slope* (kemiringan linier kurva pada tahap awal) dari hubungan tegangan dan regangan karena hanya tersedia 9 pembacaan dan penentuan beban pengujian 3000kg Pada beban yang diberikan 3000kg menyebabkan sulitnya menentukan batas elastis dan plastis pada kurva, sehingga masih terdapat kemungkinan setiap sampel mampu menerima tegangan lebih besar dan pembacaan kurva tegangan-regangan dapat bertambah. Dengan adanya keterbatasan tersebut, kurva hubungan tegangan-regangan dikoreksi dengan menggunakan *trendline* untuk menghasilkan tegangan dan regangan elastis sehingga kurva tegangan-regangan diasumsikan dalam kondisi elastis yang linier. Nilai modulus elastisitas yang diperoleh menghasilkan nilai yang berbeda-beda, hal ini disebabkan karena sifat

bahan dari campuran yang juga berbeda tingkat keelastisannya. Hasil nilai modulus elastisitas dari tiga jenis sampel campuran ditunjukkan pada Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6 Nilai Modulus Elastisitas Benda Uji

Benda Uji	Tegangan (kPa)	Regangan (%)	E (MPa)
Sampel I	602,96	2,57	23,43
Sampel II	587,46	6,24	9,41
Sampel III	594,78	5,15	11,56

Hasil nilai modulus elastisitas (Tabel 3) pada penelitian ini menunjukkan bahwa campuran balas dan karet sebanyak 10% pada sampel II dapat mengakibatkan kekakuan material menurun dengan hasil 9,41 MPa dibandingkan dengan balas tanpa campuran dengan hasil 23,43 MPa. Namun jenis campuran pada sampel III, penambahan karet sebanyak 10% dan aspal sebanyak 2% pada balas dapat meningkatkan kekakuan dari sampel II dengan campuran balas dan karet 10% dengan nilai modulus sebesar 11,56 MPa.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil bahwa:

1. Pada deformasi sebesar 5 mm dari tiga sampel uji, sampel I dapat menerima tegangan sebesar 377,48 kPa, sampel II 112,52 kPa, dan sampel III 179,33 kPa. Sehingga dengan hasil tersebut, sampel II menghasilkan nilai deformasi yang terbesar dibanding sampel I dan III. hal ini menunjukkan bahwa karet menurunkan tingkat kekakuan dari lapisan balas.
2. Penggunaan karet sebanyak 10% pada modifikasi balas, akan mengurangi nilai abrasi dari lapisan balas. Pada sampel III, penambahan karet dan aspal menyebabkan penurunan nilai abrasi yang paling besar dari lapisan balas (0,31%) dibandingkan dengan balas tanpa modifikasi pada sampel I (0,74%). Maka, dari hasil pemeriksaan abrasi dari masing-masing jenis sampel uji, dapat disimpulkan bahwa penambahan material karet dan aspal dapat mengurangi tingkat abrasi dari material agregat pada lapisan balas.

3. Berdasarkan nilai modulus elastisitas yang diperoleh, Penambahan karet sebanyak 10% pada sampel II menyebabkan turunnya nilai modulus elastisitas dari lapisan balas (9,41 MPa). Apabila campuran dari balas dan karet dikombinasikan dengan aspal sebanyak 2% pada sampel III, maka nilai modulus elastisitas dari campuran akan berkurang (11,56 MPa). Namun, tingkat kekakuan dari modifikasi balas dengan campuran karet dan aspal masih di bawah dari balas tanpa campuran pada sampel I (23,43 MPa).

#### 4. Daftar Pustaka

- Alvarez, A. E., Espinosa, L. V., Caro, S., Rueda, E. J., Aguiar, J. P., & Loria, L. G. (2018). Differences in Asphalt Binder Variability Quantified Through Traditional and Advanced Laboratory Testing. *Construction and Building Materials*, 176, 500-508.
- Asgharzadeh, S. M., Sadeghi, J., Peivast, P., & Pedram, M. (2018). Fatigue Properties of Crumb Rubber Asphalt Mixtures Used in Railways. *Construction and Building Materials*, 184, 248-257.
- D'Angelo, G., Thom, N., & Presti, D. L. (2016). Bitumen Stabilized Ballast: A potential Solution for Railwaytrack-bed. *Construction and Building Materials*, 124, 118-126.
- D'Angelo, G., Presti, D. L., & Thom, N. (2017). Optimisation of Bitumen Emulsion Properties for Ballast Stabilisation. *Materiales De Construcción*, 67(327), 124-133.
- Farhan, A. H., Dawson, A. R., Thom, N. H., Adam, S., & Smith, M. J. (2015). Flexural Characteristics of Rubberized Cement-Stabilized Crushed Aggregate for Pavement Structure. *Materials & Design*, 88, 897-905.
- Giunta, M., Bressi, S., & D'Angelo, G. (2018). Life Cycle Cost Assessment of Bitumen Stabilised Ballast: A Novel Maintenance Strategy for Railway Track-bed. *Construction and Building Materials*, 172, 751-759.
- Lee, S. H., Lee, J. W., Park, D. W., & Vo, H. V. (2014). Evaluation of Asphalt Concrete Mixture for Railway Track. *Construction and Building Materials*, 73, 13-18.
- Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986 tentang *Peraturan Perencanaan Konstruksi Jalan Rel*.
- Sánchez, M. S., Navarro, F. M., & Gámez, M. C. R. (2014). The Use of Deconstructed Tires as Elastic Elements in Railway Tracks. *Materials*, 7, 5903-5919.
- Sánchez, M.S., Thom, N. H., Navarro, F. M., Gámez, M. C. R., & Airey, G. D. (2015). A study into the use of crumb rubber in railway ballast. *Construction and Building Materials*, 75, 19-24.
- Sehonanda, O., Ointu, B. M., Tamboto, W. J., & Pandaleke, R. R. (2013). Kajian Uji Laboratorium Nilai Modulus Elastisitas Bata Merah Dalam Sumbangan Kekakuan Pada Struktur Sederhana. *Jurnal Sipil Statik*, 1(12), 797-800.
- Setiawan, D. M., Muthohar, I., & Ghataora, G. (2013). Conventional and Unconventional Railway Track for Railways on Soft Ground in Indonesia (Case Study: Rantau Prapat - Duri Railways Development). Proceeding of The 16th FSTPT International Symposium, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 1-3 November 2013, 610-620.
- Signes, C. H., Hernandez, P. M., Roca, J. G., de la Torre, M. E., & Franco, R. I. (2016). An Evaluation of the Resilient Modulus and Permanent Deformation of Unbound Mixtures of Granular Materials and Rubber Particles from Scrap Tyres to Be Used in Subballast Layer. *Transportation Research Procedia*. 18, 384 – 391.
- Wiyono, A. W. W., Setiawan, A., & Nurhidayat, N. (2012). Pengaruh Suhu terhadap Modulus Elastisitas dan Angka Poisson Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC) dengan Kapur sebagai Filler. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Transportasi*, 2(2), 105-114.