

Dampak Penambahan Campuran Aspal Penetrasi 60/70 Sebanyak 3% pada 1 Lapisan dan 3 Lapisan Struktur Balas

Impact of Addition of Asphalt Penetration Mix 60/70 as much as 3% in 1 Layer and 3 Layers of Ballast Structure

Bobby Ariyanto, Dian Setiawan M

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Penambahan material aspal diharapkan mampu meningkatkan umur layanan dan meminimalis biaya perawatan dari struktur balas konvensional. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui berat benda uji + aspal 3%, kuat tekan, deformasi vertikal, nilai modulus elastisitas, nilai abrasi dan kerusakan benda uji setelah pembebanan. Metode yang digunakan adalah metode uji tekan sedangkan untuk benda uji yang digunakan terdiri dari balas kotor, balas bersih, balas kotor + aspal 3% 1 lapisan, balas kotor + aspal 3% 3 lapisan, balas bersih + aspal 3% 1 lapisan, balas bersih + aspal 3% 3 lapisan. Benda uji dimodelkan dengan kubus berukuran 0,4 x 0,3 x 0,2 m. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan aspal dapat meningkatkan nilai deformasi dan menurunkan nilai modulus elastisitas. Tetapi adanya aspal sebagai bahan pengikat dapat meminimalisir nilai abrasi dan kerusakan pada material penyusun lapisan balas.

Kata-kata kunci: Balas Aspal, Modifikasi Balas, Uji Tekan, Balas Kotor, Balas Bersih.

Abstract. The addition of asphalt material is expected to increase service life and minimize maintenance costs from conventional ballast structures. The purpose of this study was to determine the weight of test material + asphalt 3%, compressive strength, vertical deformation, elastic modulus, abrasion value and damage to the test specimen after loading. The method used was the compressive test method while for the test object used consists of dirty ballast, clean ballast, dirty ballast + 3% asphalt 1 layer, dirty ballast + 3% asphalt 3 layers, clean ballast + 3% asphalt 1 layer, clean ballast + 3% asphalt 3 layers. The test objects were modeled with a cube measuring 0.4 x 0.3 x 0.2 m. The test results show that the addition of asphalt can increase the deformation value and can reduce the modulus of elasticity. However the presence of asphalt as a binding material can minimize the value of abrasion and damage to the reciprocating constituent material.

Keywords: Ballast Asphalt, Modification Ballast, Press Test, Dirty Ballast, Clean Ballast.

1. Pendahuluan

Menurut Dwiatmoko (2018) kereta api adalah moda transportasi masa yang dapat mengangkut masyarakat dan barang/muatan dalam waktu bersamaan dengan sekala yang cukup besar. Indonesia masih menggunakan jenis jalan rel konvensional (*full ballasted track*), hal inilah yang menyebabkan transportasi kereta api di Indonesia tertinggal jauh dengan beberapa negara-negara lain dibelahan dunia yang sudah berkembang lebih maju dari negara Indonesia. Karena menggunakan jenis jalan rel konvensional maka kebutuhan untuk anggaran pemelihara dan perawatan cukup tinggi dan memiliki layanan yang dapat dikategorikan berumur pendek. Penggunaan bahan tambahan material aspal ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas struktur balas rel kereta api konvensional dalam

mengurangi degradasi material agregat dan memperoleh umur layanan struktur balas yang lebih panjang sehingga dapat meminimalisir pengeluaran biaya perawatan infrastruktur jalan rel kereta api konvensional di Indonesia.

Material yang menjadi bahan tambahan pada penelitian kali ini adalah material aspal (D'Andrea dkk., 2012) Menurut Alvarez dkk, (2018), aspal dengan penetrasi 60/70 memiliki nilai substansi yang relative tinggi untuk digunakan sebagai perkerasan sebuah struktural dan cukup mudah ditemukan di Indonesia. Selain cukup mudah ditemukan, menurut (Asgharzadeh dkk., (2018) penggunaan campuran aspal memiliki peran positif terhadap daya dukung, stabilitas dan meningkatkan peredam getaran pada struktur jalan rel sehingga dapat menjadi alternatif material tambah untuk meningkatkan

stabilitas struktur lapisan balas. Aspal dalam struktur lapisan balas dapat meningkatkan stabilitas dan meminimalisir biaya perawatan pada jalan rel (Setiawan dan Rosyidi, 2018a). Penambahan aspal merupakan salah satu cara yang cukup murah untuk peningkatan kualitas struktur lapisan balas (D'Angelo dkk, 2017).

Lapisan balas adalah sistem dari rangkaian kereta api konvensional dimana lapisan balas memberikan dukungan struktural terhadap tekanan dinamis yang diberikan dari jalannya kereta api (Indraratna, dkk, 2017). Balas terdiri dari material seragam bergradasi yang menciptakan struktur pori yang cukup besar untuk memfasilitasi drainase pada jalan rel kereta api (Indraratna, dkk, 2012). Dengan demikian, konsep akhir dari distribusi beban ini adalah menyalurkan tegangan dari beban kereta api kepada tanah dasar tanpa menimbulkan perubahan bentuk permanen pada tanah (Rosyidi, 2015). Seperti yang dikatakan Bouraima, dkk, (2017) yang memaparkan bahwa lapisan balas dengan dasar aspal dapat mengurangi tekanan dan mendistribusikan beban dengan baik dari kereta yang bergerak di atasnya. Lapisan aspal pada struktur balas dapat meningkatkan kualitas dan umur yang lebih lama serta meminimalisir biaya untuk perawatan pada lintasan jalan rel kereta (Rose dan Souleyrette, 2014). Penggunaan bahan tambahan material aspal ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas struktur balas rel kereta api konvensional dalam mengurangi degradasi material agregat dan menjadi solusi dari masalah yang terkait dengan layanan hidup dan pemeliharaan struktur balas (Setiawan dan Rosyidi, 2018a).

Penulis memaparkan beberapa penelitian terdahulu sebagai berikut:

1. Kaya (2004), melakukan penelitian mengenai struktur balas menggunakan material berupa batuan kapur dan batuan basal dalam kondisi jenuh air. Alat eksperimental utama yang digunakan dalam penyelidikan ini adalah kerangka pemuatan Wykeham-Farrance 5-Ton dengan sel triaksial yang mampu menguji spesimen dengan diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Hasil menunjukkan bahwa campuran penambahan material lain berdampak pada penurunan kekuatan balas. Pada pengujian ini apabila kondisi material jenuh air dapat mengakibatkan rapuhnya material dikarenakan berkurangnya kepadatan balas.
2. D'Angelo, dkk, (2016), melakukan penelitian balas bersih dan balas kotor dengan campuran aspal emulsi 2%-3% dari

total benda uji. Dalam penelitian ini, cetakan yang digunakan berbentuk *silinder* yang memiliki ukuran tinggi 150 mm dan diameter 150 mm. Beban yang diterapkan pada penelitian ini adalah 200 kPa dan 300 kPa menggunakan alat uji *NU loading frame* yang terdapat pada *UK materials testing laboratories*. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil peningkatan ketahanan balas terhadap deformasi vertikal dan meningkatkan kekakuan struktur balas.

3. D'Angelo, dkk, (2016) pada penelitian lainnya melakukan penelitian mengenai beberapa material aspal dari *United Kingdom* yaitu aspal emulsi N1, N2 dan Ri. Alat yang digunakan dalam pengujian ini berupa *box* cetakan yang memiliki ukuran 1000 mm × 1000mm × 400 mm dengan perbandingan 3 jenis aspal yang telah diuji pada alat PUMA (*Presicion Unbound Material Analyser*) menunjukkan bahwa aspal emulsi R1 merupakan campuran yang paling optimal karena memenuhi kekentalan dan pemerataan yang cepat apabila sudah dituangkan.
4. Sol-Sánchez dkk (2015), melakukan penelitian penambahan campuran aspal sebagai dasar dari struktur sub-balas yang dicetak pada *box* cetak berukuran panjang 750 mm × 500 mm × 440 mm dengan memberikan beban sebesar statis 20 kPa, 50 kPa, 100 kPa dan beban dinamis sebesar 150 kPa dengan frekuensi 4 Hz yang menggunakan tes *triaxial*. Penambahan lapisan aspal (*bituminous*) pada sub-balas dapat meningkatkan kekakuan dan mengurangi tekanan yang diterima dari kereta api.

Perbedaan dengan penelitian kali ini terdapat pada lapisan aspal, dimana penelitian sebelumnya menggunakan lapisan aspal pada dasar struktur balas sedangkan penelitian kali ini menggunakan lapisan aspal pada material balas tersebut dengan cara menuangkan aspal cair pada beberapa lapisan yang telah ditentukan. Pada penelitian kali ini, benda uji disusun pada *box* cetakan dengan dimensi 0,4 m × 0,2 m × 0,3 m berupa campuran balas (balas bersih dan balas kotor) dan aspal yang akan diberikan beban sebesar 4000 kg menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*).

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tambahan material aspal penetrasi 60/70 sebanyak 3% pada struktur lapisan balas bersih dan balas kotor pada 1 lapis dan 3 lapis terhadap berat benda uji, kuat

tekan, deformasi vertikal, nilai modulus elastisitas, abrasi dan karakteristik kerusakan (ukuran gradasi material balas).

2. Landasan Teori

Struktur Lapisan Balas

Struktur lapisan balas pada jalan rel berfungsi sebagai penerus beban kereta api yang diterima dari bantalan menuju tanah dasae dengan distribusi beban merata. Bahan material penyusun balas ini adalah batu pecah (agregat) dengan ukuran bergradasi yang dihamparkan dan dipadatkan bersamaan dengan lapisan sub-balas hingga membentuk struktur yang padat di atas tanah dasar yang sebelumnya telah dipadatkan. Pengujian material agregat yang dilakukan mengacu pada SNI (Standar Nasional Indonesia), tahapan pengujian untuk memperoleh spesifikasi agregat balas yaitu:

1. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat.
Menurut BSN tahun 2008a, berat jenis dan penyerapan air pada agregat merupakan pengujian untuk memperoleh nilai berat jenis curah kering, nilai berat jenis januh kering permukaan, dilai berat jenis semu dan nilai penyerapan air.
2. Pengujian Kadar Lumpur.
Menurut Badan Standar Nasional (BSN) tahun 1996, identifikasi kandungan kadar lumpur bertujuan untuk memdapatkan banyaknya nilai butiran lempung yang menggumpal serta mudah pecah yang melekat pada agregat benda uji.
3. Keausan Agregat Balas (*Los Angeles*).
Menurut BSN (2008b), keausan material agregat dengan mesin *Los Angeles* merupakan pengujian untuk memperoleh ketahanan suatu agregat terhadap keausan yang dapat dilihat dengan perbandingan antara berat benda uji aus terhadap berat semula dalam persen.

Aspal

Aspal memiliki sifat pengikat yang dapat mengikatan antara aspal dan agregat, selain itu aspal juga dapat berfungsi sebagai pengisi rongga antara butir agregat dan mengisi pori-pori agregat. Pada suhu 25°C aspal dalam keadaan stabil, pada suhu 25°C - 60°C aspal mulai mencair, dan pada suhu kurang dari 25°C aspal akan memadat. Mengingat belum adanya spesifikasi khusus aspal untuk campuran struktur lapisan balas pada sistem kereta api di Indonesia, maka aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal campuran perkerasan di jalan raya penetrasi 60/70. Pengujian material agregat yang

dilakukan mengacu pada SNI (Standar Nasional Indonesia). Berikut persyaratan aspal penetrasi 60/70 terdapat dalam Tabel 1

Tabel 1. Persyaratan Aspal Penetrasi 60/70

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil	Satuan
Penetrasi pada suhu 25°C	SNI 2432:2011	60-70	0,1 mm
Titik lembek	SNI 2434:2011	≥ 48	°C
Daktalitas pada suhu 25°C	SNI 06-2432-1991	≥ 100	Cm
Berat Jenis	SNI 2441:2011	0,1	-
Kehilangan berat minyak dan Aspal	SNI 06-2440-1991	≤ 0,8	%

Dari Tabel 1 aspal harus dilakukan beberapa rangkaian pengujian sebelum menggunakan aspal tersebut, sebagai berikut:

1. Berat jenis aspal
Berdasarkan pada BSN (2011a), pengujian berat jenis merupakan perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada tempratur tertentu (25°C atau 15,6°C). Massa aspal yang dimasukkan ke dalam piknometer harus lebih dari 4 gram.
2. Penetrasi aspal
Menurut BSN (2011b), pengujian penetrasi bertujuan untuk menentukan penetrasi bahan-bahan bitumen keras atau lunak pada suhu 25°C dengan beban 100 gram selama 5 detik dengan alat penetrometer. Pembacaan jarum pada arloji penetrasi dinyatakan dengan satuan 0,1 mm. Untuk aspal penetrasi 60/70 yang digunakan dalam penelitian ini, disyaratkan berada pada rentang nilai 60 – 70 untuk aspal murni.
3. Titik lembek aspal
Berdasarkan pada BSN (2011c), titik lembek merupakan pengujian dimana bola baja dengan suhu tertentu mendorong aspal dalam cincin sampai ke plat dasar sejauh 2,54 mm dengan kecepatan pemanasan suhu 5°C per menit dengan cara *ring and ball*. Titik lembek aspal penetrasi 60/70 minimal 48°C dan untuk aspal modifikasi minimal 54°C.
4. Daktalitas
Berdasarkan pada BSN (1991b), daktalitas aspal merupakan metode pengujian untuk mengetahui konsistensi dari aspal. Pengujian ini dilakukan pada suhu 25°C dengan meletakkan cetakan yang sudah berisi aspal pada mesin uji daktalitas dengan mengatur kecepatan penarikan 5 cm per menit.

Stabilisasi Lapisan Balas

Kondisi material balas sangatlah beragam, bahan yang digunakan pun tidak selalu memuaskan apabila digunakan sebagai lapisan balas. Menurut Sanches dkk (2014), terdapat beberapa alternatif yang mungkin dapat dilakukan dalam peningkatan stabilitas material balas sebagai berikut:

1. Memilih material yang baik dan memenuhi spesifikasi serta melakukan perawatan secara rutin.
2. Mengganti partikel balas yang memiliki ukuran seragam dengan partikel yang memiliki ukuran bervariasi dengan tujuan agar meminimalisir rongga-rongga yang terdapat pada susunan balas.
3. Menambahkan material dalam susunan balas atau memodifikasi lapisan balas sehingga susunan balas menjadi lebih baik.

Stabilisasi memiliki arti memperbaiki sifat asli dari struktur lapisan balas yang bertujuan menciptakan struktur balas yang lebih baik dan memiliki usia keawetan yang lebih lama. Stabilisasi struktur balas dapat terdiri dari gabungan beberapa pekerjaan yang dibedakan menjadi dua sebagai berikut:

1. Stabilisasi Mekanis

Menurut Soedarmo (1993), stabilitas mekanis adalah penambahan metode dengan menggunakan berbagai macam peralatan mekanis, seperti peledakan, *roller poulder*, pembekuan, tekanan statis pemanasan dan lain-lain. Pada penelitian yang dilakukan D'Angelo dkk, (2016), metode pemadatan yang digunakan yaitu menggunakan pemadatan manual dan *vibrator hammer*, sedangkan pada penelitian kali ini menggunakan pemadatan manual yang bertujuan agar mendapatkan hasil lapisan balas yang lebih rapat dan mengurangi rongga pada lapisan balas.

2. Stabilisasi dengan Bahan Tambahan

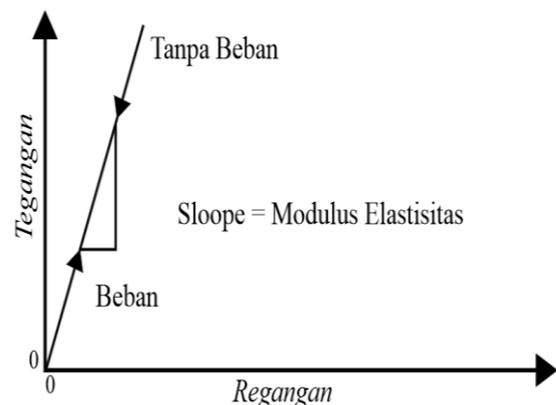
Pada penelitian terdahulu penambahan beberapa alternatif bahan tambahan yang bertujuan meningkatkan kualitas lapisan balas telah banyak dilakukan. Penambahan berupa material aspal, material karet, material batuan basal, material batuan kapur dan *steel-lag* yang diharapkan dapat meningkatkan umur balas dan menekan biaya perawatan pun telah banyak dilakukan.

Deformasi Vertikal

Pemeriksaan deformasi vertikal pada penelitian ini didapatkan berdasarkan nilai penurunan yang terjadi akibat uji pembebanan. Nilai deformasi ini menunjukkan tingkat kekakuan dari campuran dan dapat menjadi parameter untuk menentukan tebal dari struktur balas yang telah dikerjakan.

Modulus Elastisitas

Pengujian menggunakan alat UTM merupakan pengujian untuk mendapatkan parameter antara lain seperti nilai deformasi, tegangan (σ), regangan (ϵ) serta nilai modulus elastisitas (E). Untuk pengujian kuat tekan pada penelitian ini berlandaskan pada SNI 03-1974:1990 (BSN, 1990) tentang tata cara pengujian tekan beton. Dengan hasil akhir yang diperoleh berupa data tegangan dan regangan, kemudian data diolah dalam bentuk grafik guna menentukan nilai modulus elastisitas. Nilai modulus elastisitas merupakan tingkat kekerasan dari suatu bahan (benda uji). Semakin tinggi nilai modulus elastisitas maka benda uji dikategorikan semakin kaku/keras. Secara eksperimental, nilai modulus elastisitas dapat ditentukan dari perhitungan berdasarkan rumus empiris atau pengukuran kemiringan (*slope*) kurva regangan-tegangan yang didapatkan dari uji tekan. Berdasarkan teori elastisitas, kemiringan kurva pada tahap awal atau pada jangkauan proporsional elastis menggambarkan suatu modulus elastis dari bahan tersebut.



Gambar 1. Skematik Diagram Tegangan – Regangan (Sehonanda, dkk, 2013)

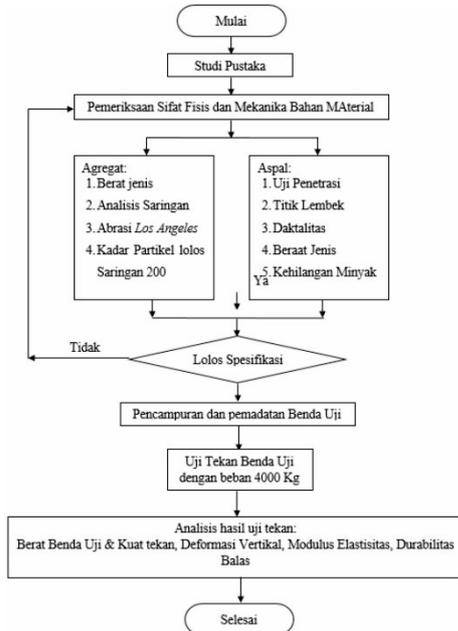
Analisis Abrasi Agregat

Untuk mendapatkan nilai abrasi material pada benda uji adalah dengan cara melakukan perbandingan antara jumlah sebaran material agregat yang pecah/hancur setelah uji tekan

selesai dengan sebelum uji tekan. Metode yang dilakukan berupa penyaringan agregat yang lolos saringan ¾” dari balas yang digunakan saat uji tekan.

3. Metode Penelitian

Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Tahap Penelitian

Pada penelitian ini terdapat 2 sampel benda uji balas murni tanpa campuran dan 4 sampel benda uji balas campuran dengan bahan material aspal penetrasi 60/70 sebanyak 3% untuk membandingkan karakteristik antar keduanya pada saat diberikan beban vertikal. Pengujian kuat tekan pada benda uji dimaksudkan guna mendapatkan hubungan antara regangan dan tegangan yang terjadi untuk mengetahui tingkat kekakuan berdasarkan nilai modulus elastisitas.

Studi Pustaka

Tahap pertama kali yang dilakukan adalah studi pustaka terhadap penelitian yang akan dilakukan, seperti mempelajari/menyelidiki penelitian-penelitian sebelumnya dari mulai metode, hasil dan kesimpulan yang akan disesuaikan serta dijadikan bahan acuan pada penelitian ini. Tahap kedua menyusun langkah dan metode penelitian yang baik dan benar serta mengambil data-data sekunder yang dapat membantu dalam penelitian ini

Persiapan dan Pemeriksaan Benda Uji

1. Pemeriksaan agregat kasar

Pemeriksaan agregat balas pada pengujian ini mengacu kepada Peraturan Dinas No.10 Tahun 1986, SNI (Standar Nasional Indonesia) Peraturan Menteri No.60 Tahun 2012. Kriteria dan Spesifikasi material agregat harus memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan sebelum dilakukannya modifikasi dengan campuran bahan lainnya (aspal) untuk menghasilkan data yang valid serta sesuai dengan standar yang ada.

2. Pemeriksaan aspal

Pada penelitian kali ini aspal yang digunakan adalah aspal dengan nilai penetrasi 60/70. Pengujian sifat-sifat fisis dan mekanis juga perlu dilakukan walaupun tidak ada acuan khusus dalam penggunaan sebagai campuran bahan pada struktur jalan rel kereta api konvensional di Indonesia.

Pencampuran Benda Uji

Bahan-bahan yang telah disiapkan, selanjutnya dilakukan pencampuran benda uji secara manual dengan perbandingan material yang telah ditentukan berdasarkan data sekunder maupun primer. Benda uji pada penelitian kali ini terdiri dari dua jenis benda uji yaitu, balas murni tanpa campuran (balas kotor dan bersih) dan balas + aspal 3% (balas kotor dan balas bersih) 1 Lapisan dan 3 Lapisan.

Pemadatan Benda Uji

Pemadatan memiliki peran penting dalam meningkatkan daya tahan material balas hingga 38% dan kemampuan lapisan balast untuk menahan beban hingga 70% (Setiawan, dan Rosyidi, 2018b). Pemadatan dilakukan menggunakan alat penumbuk manual dengan beban 4,5 Kilogram, diameter alas permukaan ± 10 cm dan tinggi jatuh ± 46 cm yang dilakukan sebanyak 50 kali pada 1 titik (tengah) dan diberi landas berupa plat besi setebal 6mm dengan dimensi 19cm × 29 cm. Pemadatan ini dilakukan perlapis pada setiap 10 cm yang bertujuan agar campuran memiliki kepadatan yang maksimal.

Uji Tekan

Proses uji tekan ini dilakukan dengan menggunakan alat UTM (Universal Testing Machine), dengan mengatur beban maksimal yang diterima dan luasan beban yang disalurkan pada permukaan benda uji. Hasil yang didapat dari uji tekan ini adalah besar gaya pembebanan, nilai deformasi (perubahan bentuk), regangan (ϵ) dan tegangan (σ). Berdasarkan data regangan dan tegangan ini dianalisis menjadi nilai modulus elastisitas (E) dari masing-masing benda uji

dengan komposisi material yang berbeda untuk dibandingkan hasilnya.

Analisis Nilai Abrasi

Abrasi agregat adalah agregat yang mengalami perubahan ukuran (lolos saringan $\frac{3}{4}$ "') setelah dilakukan uji tekan. Analisis abrasi agregat ini dilakukan dengan menggunakan metode analisis saringan. Pengujian ini dilakukan dengan cara menimbang agregat yang lolos saringan .

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

a. Hasil Uji Material

1. Agregat kasar

Tahap penelitian awal dilakukan pengujian sifat fisik agregat yang akan dijadikan material pokok penyusun balas. Pada penelitian ini menggunakan jalan rel kelas II. Hasil dari pengujian agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat

Parameter	Hasil		Spesifikasi
	Rata-Rata	Rata-Rata	
Berat Jenis Curah Kering	2,61	2,61	Min. 2,6
Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan	2,68	2,68	Min. 2,6
Berat Jenis Semu	2,80	2,80	Min. 2,6
Penyerapan Air	2,65	2,65	Max. 3%
Kandungan Lumpur	0,21	0,21	Max. 0,5%
Keausan	19,26	19,26	Max. 25%

2. Aspal

Jumlah kadar presentase penambahan aspal penetrasi 6070 dalam penelitian ini sebesar 3%. Menurut D'Angelo, dkk, (2016), penambahan kadar aspal 2-3% bertujuan sebagai bahan pengisi sekaligus perekat antara material. Hasil fisik pengujian material aspal penetrasi 60/70 yang mengacu pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Aspal

No	Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi	
				Min	Max
1	Penetrasi	Mm	66,7	60	70
2	Titik Lembek	°C	53	48	58
3	Daktalitas	Cm	>100	100	-

No	Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi	
				Min	Max
4	Berat Jenis	gr/cm ³	1,01	1	-
5	Kehilangan Minyak	%	0,13	-	0,4

b. Berta Benda Uji

Berat bunda uji balas kotor relatif lebih berat dibandingkan benda uji balas bersih baik dengan campuran aspal maupun tanpa campuran aspal. Hal ini dikarenakan balas kotor tidak melalui proses pencucian selama penelitian yang menyebabkan kandungan agregat halus (lumpur) tidak hilang dari material agregat balas kotor. Pada penelitian kali ini bertujuan mendapatkan nilai kuat tekan yang tinggi namun memiliki berat yang relatif sama dengan struktur balas konvensional tanpa campuran aspal.

c. Analisis Kuat Tekan dan Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk suatu benda (sampel) dari segi ukuran setelah mengalami pembebanan atau pengujian. Pada penelitian kali ini, setiap sampel benda uji dilakukan 2 kali pembebanan sebesar 4000 kg dengan asumsi menciptakan kondisi benda uji mendekati keadaan nyata lapangan. Dari pengujian yang dilakukan dengan mesin UTM didapatkan nilai kuat tekan dan deformasi vertikal pada siklus pengujian 1 dan pengujian 2 untuk tiap masing-masing benda uji. Hasil kuat tekan dan deformasi vertikal pada pengujian 1 dan pengujian 2 dapat dilihat pada Tabel 4 sedangkan untuk persentase perubahan deformasi pengujian I dengan pengujian II pada Tabel 5 dan grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

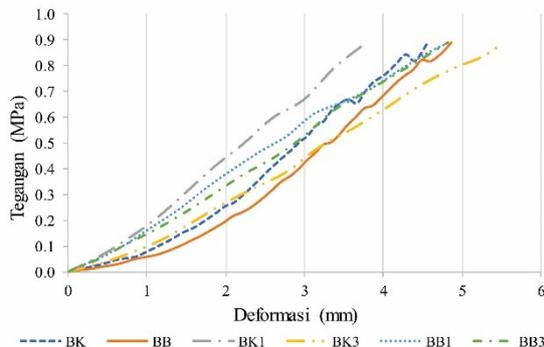
Tabel 4. Nilai Kuat Tekan dan Deformasi

Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Deformasi I (mm)	Deformasi II (mm)
BK	0,889	4.56250	2.23750
BB	0,889	4.86250	2.43750
BK1	0,889	3.77500	2,12500
BK3	0,889	5.52500	2,92500
BB1	0,889	4.83750	3,02500
BB3	0,889	4.81250	3,01250

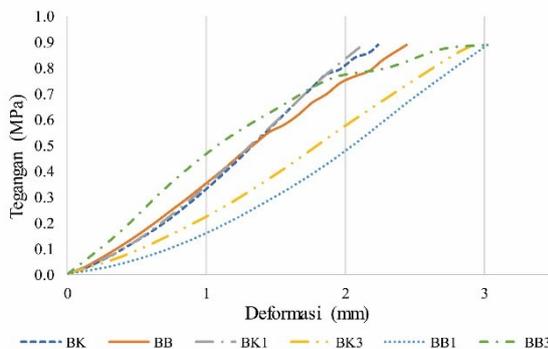
Tabel 5 Persentase Perubahan Deformasi Pengujian I - Pengujian II

Benda Uji	Deformasi I (mm)	Deformasi II (mm)	Persentase Perubahan (%)
BB	4.86250	2.43750	50,95890
BK	4.56250	2.23750	49,87147
BK3	5,52500	2,92500	47,05882

Benda Uji	Deformasi I (mm)	Deformasi II (mm)	Persentase Perubahan (%)
BK1	3,77500	2,12500	43,70861
BB1	4,83750	3,02500	37,46770
BB3	4,81250	3,01250	37,40260



Gambar 3. Grafik Hubungan Tegangan dengan Deformasi Pengujian I



Gambar 4. Grafik Hubungan Tegangan dengan Deformasi Pengujian II.

Dari tabel yang telah disajikan diatas dapat dilihat bahwa benda uji yang ditambahkan dengan material aspal relatif memiliki persentase perubahan deformasi (penurunan) lebih kecil yang berarti struktur balas dengan tambahan campuran aspal tidak bisa mempertahankan deformasi vertikal dengan baik dari pengujian I ke pengujian II dengan nilai deformasi yang relatif masih tinggi. Hal ini dikarenakan sifat aspal yang memiliki elastisitas yang tinggi dan menyebabkan deformasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan balas bersih maupun balas kotor non campuran.

Apabila dilihat dari nilai deformasi (penurunan) pengujian I dan pengujian II antara BK1 dengan BB1 didapatkan nilai deformasi BK1 yang lebih kecil daripada BB1. Hal ini disebabkan karena balas kotor mengandung agregat halus yang dapat menahan aspal lebih banyak pada permukaan lapisan balas dibandingkan dengan BB1. Semakin banyak kadar aspal yang tertahan pada permukaan balas

maka semakin kecil deformasi (penurunan) yang terjadi saat dilakukannya uji tekan.

Sedangkan untuk nilai deformasi (penurunan) pengujian I antara BK3 dengan BB3 didapatkan nilai deformasi (penurunan) BB3 lebih kecil daripada BK3 tetapi pada pengujian II nilai deformasi (penurunan) BB3 lebih besar daripada BK3 dan persentase perubahan deformasi BB3 lebih kecil daripada BK3. Dapat dibilang bahwa BK3 memiliki kestabilan deformasi yang lebih baik dari pada BB3 karena BK3 mengandung agregat halus yang membuat tebal aspal tertahan pada 3 lapisan yang mengakibatkan kecilnya deformasi pada BK3.

Apabila dilihat dari keseluruhan benda uji, BB1 dan BB3 memiliki nilai persentase perubahan deformasi (penurunan) yang hampir sama, dimana nilai deformasi (penurunan) BB1 sebesar 37,46770% dan BB3 sebesar 37,40260%. Dapat disimpulkan bahwa benda uji agregat bersih + aspal 3% yang dituangkan pada 1 lapisan (permukaan) maupun 3 lapisan (terbagi menjadi 3) memiliki nilai deformasi yang relatif sama dan konstan pada angka 37,4%.

d. Analisis Modulus Elastisitas

Setelah dilakukan pembebanan pada setiap benda uji maka didapatkan nilai kuat tekan dan nilai deformasi vertikal. Nila kuat tekan dan nilai deformasi yang didapatkan kemudian di olah menjadi nilai regangan dan tegangan kemudian dioalah menjadi grafik hubungan antara tegangan dan regangan.

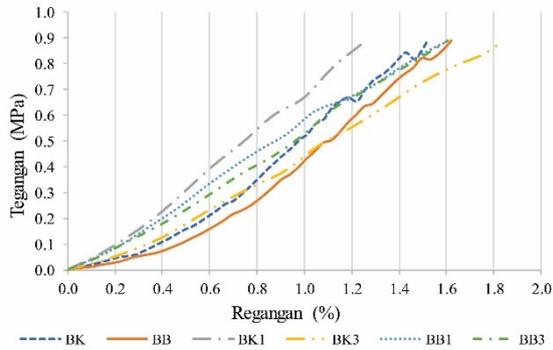
Tabel 6. Nilai Regangan Benda Uji

Benda Uji	Regangan Pembebanan I (%)	Regangan Pembebanan II (%)
BK	1,5208	0,7458
BB	1,6208	0,8125
BK1	1,2583	0,7083
BK3	1,8417	0,9750
BB1	1,6125	1,0083
BK3	1,6042	1,0042

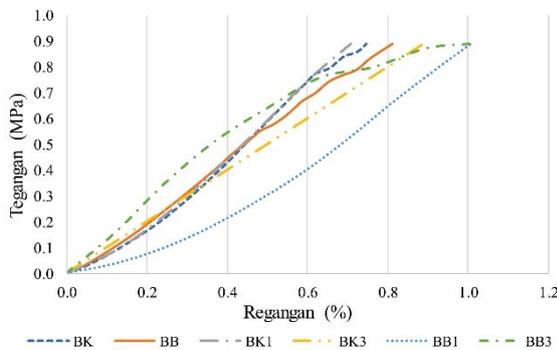
Tabel 7. Nilai Tegangan Benda Uji

Benda Uji	Tegangan Pembebanan I (MPa)	Tegangan Pembebanan II (Mpa)
BK	0,889	0,889
BB	0,889	0,889
BK1	0,889	0,889
BK3	0,889	0,889
BB1	0,889	0,889
BK3	0,889	0,889

Setelah mendapatkan nilai regangan dan tegangan pada pembebanan I dan pembebanan II maka nilai antara regangan dan tegangan akan disajikan dalam grafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 sebagai berikut:



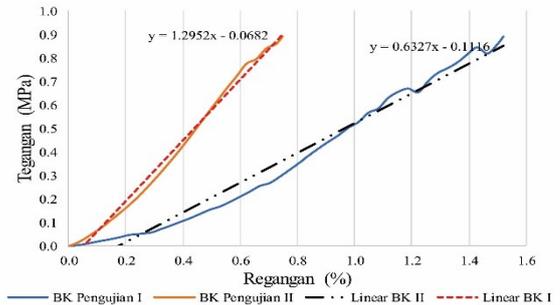
Gambar 5. Hubungan Antara Tegangan dengan Regangan Pembebanan I



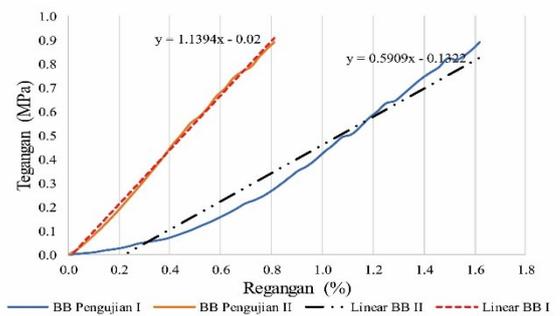
Gambar 6. Hubungan Antara Tegangan dengan Regangan Pembebanan II

Nilai modulus elastisitas merupakan parameter untuk mengetahui kekakuan dari suatu material. Setiap sampel benda uji yang telah diuji tekan akan menghasilkan nilai tegangan dan regangan. Nilai modulus elastisitas pada tiap benda uji ditampilkan pada Tabel 8 dan Tabel 9. Untuk memprediksi nilai modulus elastisitas maka dilakukan pendekatan menggunakan metode penarikan garis trendline pada setiap perbandingan tegangan dan regangan dari hasil pengujian benda uji. Metode *trendline* ini dilakukan karena nilai tegangan dan regangan yang terjadi mampu mencapai nilai pembebanan maksimum sebesar 4000 kg dan kemungkinan setiap sampel benda uji mampu menerima beban yang lebih tinggi dari 4000 kg dan nilai regangan masih dapat bertambah. Keterbatasan dalam pemberian beban saat pengujian disebabkan oleh daya tahan yang mampu diterima oleh balok. Penggunaan metode *trendline* bertujuan untuk mendapatkan kurva linier sehingga kemiringan batas linier dapat diketahui dari hubungan tegangan dan regangan yang ada. Analisis kurva linier dilakukan pada hasil pembebanan I dan

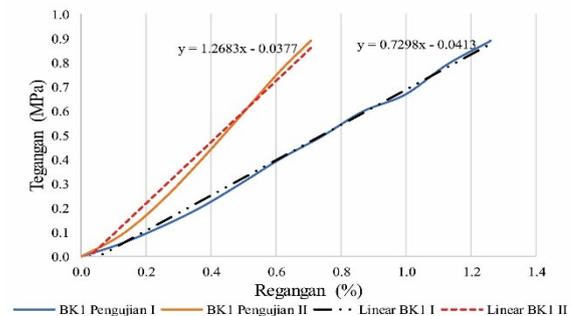
pembebanan II untuk membandingkan nilai yang didapatkan setelah pengujian. Kurva linier/garis *trendline* pada tiap benda uji dapat dilihat pada Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10, Gambar 4.11, dan Gambar 4.12.



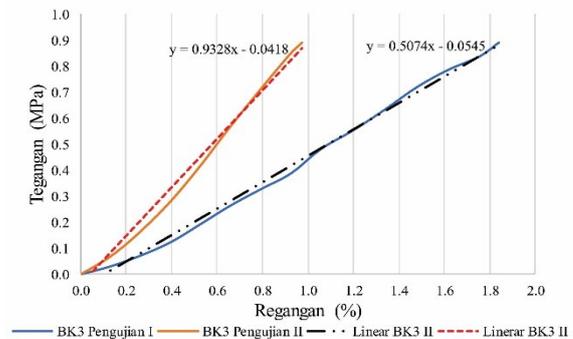
Gambar 7. Garis *Trendline* Benda Uji BK Pengujian I dan Pengujian II



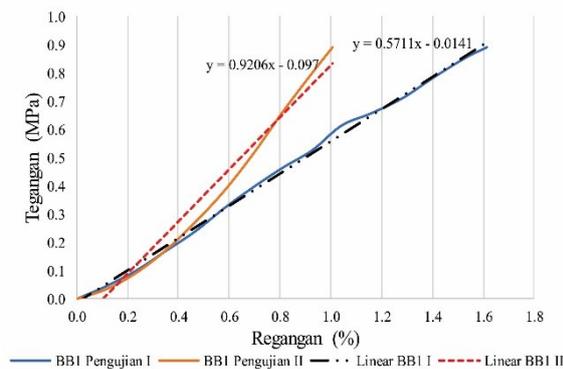
Gambar 8. Garis *Trendline* Benda Uji BB Pengujian I dan Pengujian II



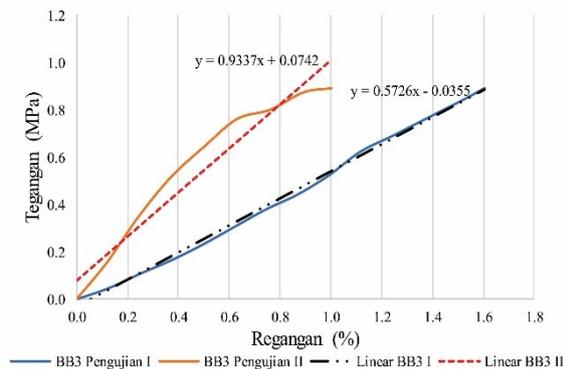
Gambar 9. Garis *Trendline* Benda Uji BK1 Pengujian I dan Pengujian II



Gambar 10. Garis *Trendline* Benda Uji BK3 Pengujian I dan Pengujian II



Gambar 11. Garis *Trendline* Benda Uji BB1 Pengujian I dan Pengujian II



Gambar 12. Garis *Trendline* Benda Uji BB3 Pengujian I dan Pengujian II

Tabel 8. Nilai Modulus Elastisitas Tahap I

Benda Uji	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
BK	0,8501	0,0152	55,9279
BB	0,8251	0,0162	50,9295
BK1	0,8782	0,0126	69,7022
BK3	0,8791	0,0184	47,7780
BB1	0,9054	0,0161	56,2342
BB3	0,8807	0,0160	55,0413

Tabel 9. Nilai Modulus Elastisitas Tahap II

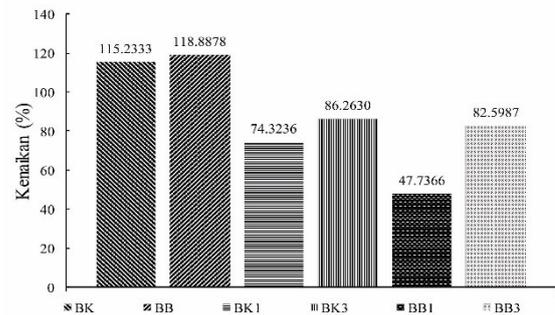
Benda Uji	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
BK	0,8978	0,0075	120,3755
BB	0,9058	0,0081	111,4785
BK1	0,8606	0,0071	121,5074
BK3	0,8677	0,0098	88,9928
BB1	0,8972	0,0108	83,0785
BB3	1,0452	0,0104	100,5046

Setelah mendapatkan nilai modulus elastisitas menggunakan nilai regangan dan tegangan dengan metode *trendline* selanjutnya dianalisis kenaikan yang terjadi pada nilai modulus elastisitas dari pengujian I ke pengujian

II. Hasil persentase kenaikan ditampilkan pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.13.

Tabel 10. Hasil Persentase Kenaikan Nilai Modulus Elastisitas

Benda Uji	Modulus Elastisitas I (MPa)	Modulus Elastisitas II (MPa)	Kenaikan (%)
BK	55,9279	120,3755	115,2333
BB	50,9295	111,4785	118,8878
BK1	69,7022	121,5074	74,3236
BK3	47,7780	88,9928	86,2630
BB1	56,2342	83,0785	47,7366
BB3	55,0413	100,5046	82,5987



Gambar 13. Persentase Kenaikan Nilai Modulus Elastisitas

Dari Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa nilai modulus elastisitas terendah ada pada benda uji BK3 (Pengujian I) dan BB1 (Pengujian II) dengan nilai modulus elastisitas sebesar 47,7780 MPa dan 83,0785 MPa. Sedangkan nilai modulus elastisitas tertinggi ada pada benda uji BK (Pengujian I maupun Pengujian II) dengan nilai modulus elastisitas sebesar 55,9279 MPa dan 120,3755 MPa. Adanya perbedaan nilai modulus elastisitas yang signifikan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya kurangnya nilai kepadatan (Signes, dkk. 2016).

Pada Tabel 4.10 menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas pengujian II lebih tinggi daripada pengujian I. Hal ini disebabkan oleh benda uji yang semakin padat setelah dilakukannya pengujian I. Kenaikan nilai modulus elastisitas tertinggi didapatkan oleh benda uji BK dan BB karena kedua benda uji tersebut tidak mengandung aspal yang memiliki sifat elastis.

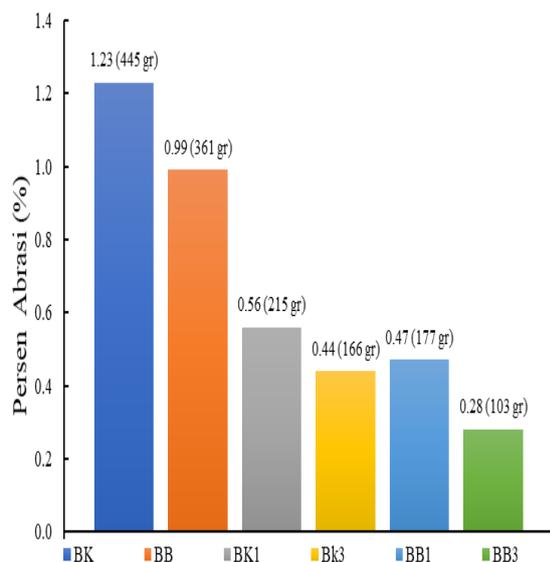
e. Analisis Nilai Abrasi

Nilai abrasi merupakan nilai perbandingan persentase berat dari kehancuran material dengan berat benda uji. Pada penelitian kali ini balas dengan campuran aspal diharapkan meningkatkan ketahanan material struktur balas.

Besar persentase abrasi benda uji dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu persiapan material, pemadatan material selama pembuatan benda uji dan pengujian tekan yang dilakukan. Tiap benda uji memiliki nilai persentase abrasi yang berbeda-beda. Persentase abrasi benda uji yang lolos saringan nomor 3/4 dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.14.

Tabel 4.11 Nilai Agregat Hancur Lolos Saringan 3/4''

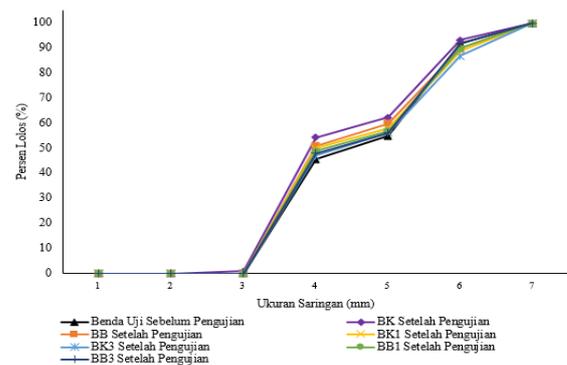
Benda Uji	Berat Lolos (gram)	Persen Abrasi (%)
BK	445	1.23
BB	361	0.99
BK1	215	0.56
BK3	166	0.44
BB1	177	0.47
BB3	103	0.28



Gambar 14. Nilai Agregat Hancur Lolos Saringan 3/4''

f. Karakteristik Kerusakan

Dapat dilihat dari keseluruhan grafik diatas bahwa benda uji yang mengalami kerusakan (perubahan ukuran dan bentuk) material paling signifikan ada pada benda uji BK dan BB. Hal ini disebabkan karena benda uji BK dan BB tidak diberi bahan tambahan aspal. Sedangkan benda uji yang ditambahkan aspal memiliki kerusakan material lebih rendah dari pada benda uji non-campuran aspal. Campuran aspal pada modifikasi struktur balas kali ini memiliki peran yang penting untuk meminimalisir kerusakan pada material balas. Semakin merata penyebaran aspal pada struktur balas, maka semakin kecil kerusakan yang dialami oleh struktur balas saat menerima beban tertentu.



Gambar 15. Grafik Distribusi Gradasi Agregat Sebelum dan Sesudah Pengujian

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian kali ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan material aspal pada penelitian ini mengakibatkan turunnya kemampuan struktur balas untuk mempertahankan nilai deformasi. Dimana dapat dilihat pada Tabel 4.7 bahwa nilai persentase perubahan deformasi (penurunan) balas campuran aspal berada dibawah nilai balas non-campuran. Hal ini dikarenakan aspal yang mengisi rongga-rongga struktur balas memiliki sifat yang elastis. Namun apabila struktur balas menggunakan agregat bersih + aspal 3% yang dituangkan pada 1 lapisan (permukaan) maupun 3 lapisan (terbagi menjadi 3) akan didapatkan nilai deformasi yang relatif sama dan konstan seperti yang diperoleh benda uji BK dan BB dengan angka 37,4%.
2. Bahan agregat kotor + aspal 3% memiliki nilai modulus elastisitas lebih tinggi daripada agregat bersih + aspal 3%. Namun nilai modulus elastisitas aspal yang dituangkan pada 3 lapisan memiliki nilai lebih tinggi daripada yang dituangkan pada 1 lapisan dipermukaan. Semakin merata tersebarnya material aspal maka semakin tinggi nilai modulus elastisitasnya.
3. Penggunaan material aspal dapat mengurangi nilai abrasi dari struktur balas sebesar 59,5% dikarenakan sifat aspal yang mengikat antar agregat kasar dan meredam gaya gesek yang terjadi. Aspal juga dapat mengurangi kehancuran (perubahan bentuk agregat) agregat kasar saat terjadinya pembebanan.
4. Kenaikan modulus elastisitas dari pengujian I ke pengujian II tertinggi didapatkan oleh benda uji BK3 sebesar 86,2630 Mpa dikarenakan perserabaran aspal yang merata pada setiap lapisan dan terendah didapatkan oleh BB1 sebesar 47,7366 MPa dikarenakan

aspal menumpuk pada permukaan yang mengakibatkan turunnya nilai modulus elastisitas. Selain itu proses pemadatan sangat berpengaruh pada hasil modulus elastisitas yang akan didapatkan setelah pengujian.

6. Saran

Adapun beberapa saran yang diangkat dari penelitian ini ialah:

- a. Perlu adanya kajian mengenai pemodelan struktur lapisan balas berdasarkan kondisi nyata dilapangan.
- b. Perlu adanya kajian mendalam mengenai metode yang baik dan benar saat dilakukannya pemadatan benda uji terkait energi pemadatan, jumlah tumbukan, tinggi jatuh alat pemadatan dan pola jatuh pemadatan.
- c. Perlu adanya kajian lebih mendalam mengenai besarnya kadar aspal yang optimal digunakan sebagai bahan tambahan.
- d. Perlu adanya kajian mengenai metode yang akurat saat melakukan penuangan aspal pada struktur lapisan balas.
- e. Perlu adanya penelitian mengenai jarak waktu penuangan aspal, pengerasan aspal hingga pengujian.

7. Daftar Pustaka

- Alvarez, A. E., Espinosa, L. V., Caro, S., Rueda, E. J., Aguiar, J. P., dan Loria, L. G., 2018, Differences in Asphalt Binder Variability Quantified through Traditional and Advanced Laboratory Testing. *Construction and Building Materials*, 176, 500–508. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.046>
- Asgharzadeh, S. M., Sadeghi, J., Peivast, P., dan Pedram, M., 2018, Fatigue Properties of Crumb Rubber Asphalt Mixtures Used in Railways. *Construction and Building Materials*, 184, 248–257. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.189>
- Bouraima, M. B., Yang, E., dan Qiu, Y., 2017, Mechanics Calculation of Asphalt Concrete Track-substructure Layer and Comparisons. *American Journal of Engineering Research*, (67), 2320–2847. Retrieved from www.ajer.org
- BSN, 1990, SNI 03-1974-1990 *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 1991, SNI 06-2440-1991 *Metode Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal dengan Cara A*. Badan Standardisasi Nasional Jakarta.
- BSN, 1991, SNI 06-2432-1991 *Metode Pengujian Daktilitas Bahan-Bahan Aspal*. Badan Standardisasi Nasional Jakarta.
- BSN, 1996, SNI 03-4142-1996 *Metode Pengujian Gumpalan Lempung dan Butir-Butir Mudah Pecah dalam Agregat*. Jakarta.
- BSN, 2008a, SNI 1969-2008 *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar*. Badan Standardisasi Nasional Jakarta.
- BSN, 2008b, SNI 2417:2008 *Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles*. Badan Standardisasi Nasional Jakarta.
- BSN, 2011a, SNI 2441-2011 *Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras*. Badan Standardisasi Nasional Jakarta.
- BSN, 2011b, SNI 2432-2011 *Cara Uji Penetrasi Aspal*. Badan Standardisasi Nasional Jakarta.
- BSN, 2011c, SNI 2434-2011 *Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola (Ring and Ball)*. Badan Standardisasi Nasional Jakarta.
- D'Andrea, A., Loprencipe, G., dan Xhixha, E., 2012, Vibration Induced by Rail Traffic: Evaluation of Attenuation Properties in a Bituminous Sub-ballast Layer. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 53(November 2015), 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.877>
- D'Angelo, G., Lo Presti, D., dan Thom, N. H., 2017, Optimisation of Bitumen Emulsion Properties for Ballast Stabilisation. *Materiales de Construcción*, 67(327), 124. <https://doi.org/10.3989/mc.2017.04416>
- D'Angelo, G., Thom, N. H., dan Lo Presti, D., 2016, Bitumen Stabilized Ballast: a Potential Solution for Railway Track-Bed. *Construction and Building Materials*, 124, 118–126. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.067>
- Dwiatmoko, H., 2018, Peran perkeretaapian dalam menunjang sistem logistik nasional. *Jurnal Transportasi*, 18(2), 87–96.
- Indraratna, B., Neville, T., Tennakoon, N., Rujikiatkamjorn, C., dan Nimbalkar, S., 2012, The Role of Ballast-Fouling

- Characteristics on the Drainage Capacity of Rail Substructure. *Geotechnical Testing Journal*, 35(4), 104107. <https://doi.org/10.1520/gtj104107>
- Indraratna, B., Ngo, N. T., dan Rujikiatkamjorn, C., 2017, Improved Performance of Ballasted Rail Tracks Using Plastics and Rubber Inclusions. *Procedia Engineering*, 189, 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.033>
- Kaya, M., 2004, *A Study on The Stress-Strain Behavior of Railroad Ballast Materials by Use of Parallel Gradation Technique*. (June). Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.200490137/abstract>
- Rose, J. G., dan Souleyrette, R. R., 2014, Hot-Mix Asphalt (Bituminous) Railway Trackbeds: In-Track Tests, Evaluations, and Performances -- A Global Perspective. *Sustainability, Eco-Efficiency, and Conservation in Transportation Infrastructure Asset Management*, CRC Press 2014, 667–681. <https://doi.org/10.1201/b16730-98>
- Rosyidi, S. A. P, 2015, *Rekayasa Jalan Kereta Api*. Yogyakarta: LP3M Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Sehonanda, O., Ointu, B. M. M., Tamboto, W. J., dan Pandelege, R. R, 2013, Kajian Uji Laboratorium Nilai Modulus Elastisitas Struktur Sederhana. *Jurnal Sipil Statik*, 1(12), 797–800.
- Setiawan, D. M., dan Rosyidi, S. A. P, 2018a, Vertical Deformation and Ballast Abrasion Characteristics of Asphalt-Scrap Rubber Track Bed. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(6), 2479-2484. <http://doi.org/10.18517/ijaseit.8.6.7411>
- Setiawan, D. M., dan Rosyidi, S. A. P, 2018b, The Role of Compaction and Scrap Rubber Size against The Performance of Ballast Layer. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 13(December 2018), 1275–1286. <http://doi.org/10.18517/ijaseit.8.6.7411>
- Soedarmo, Djatmiko, G., Purnomo, S. J. E., 1993, *Mekanika Tanah 1*. Malang: Kanisius.
- Sol-Sánchez, M., Pirozzolo, L., Moreno-Navarro, F., dan Rubio-Gámez, M. C., 2015, Advanced Characterisation of Bituminous Sub-Ballast for its Application in Railway Tracks: The Influence of Temperature. *Construction and Building Materials*, 101(December 2015), 338–346. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.102>