

Perilaku Mekanis Struktur Lapisan Balas Konvensional dengan Modifikasi 4% Aspal Penetrasi 60/70

Mechanical Behaviour of Conventional Ballast Structure with 4% of 60/70 Penetration Asphalt

Bayu Nur Abadi, Dian Setiawan M

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Kerusakan dan mahalnya biaya perawatan jalan rel merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi di Indonesia. Penambahan modifikasi kadar aspal pada lapisan balas diharapkan mampu meningkatkan kualitas pelayanan dan perawatan pada lapisan balas. Hal ini diharapkan dapat diterapkan di Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat mekanis balas berupa nilai deformasi, modulus elastisitas dan abrasi lapisan balas modifikasi. Metode yang digunakan adalah metode uji tekan menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*) dengan benda uji berbentuk balok dengan dimensi 400 x 200 x 300 mm. Benda uji yang digunakan adalah balas bersih dan kotor tanpa campuran, balas bersih dan kotor dengan modifikasi campuran kadar aspal 4% pada 1 lapis dan 3 lapis. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan aspal mampu mereduksi deformasi dan meningkatkan nilai modulus elastisitas balas terutama pada benda uji balas modifikasi aspal 4 % 3 Lapis. Dengan penambahan aspal nilai abrasi material juga semakin kecil sehingga dapat meminimalisir kerusakan lapisan balas karena lapisan aspal dapat mengisi rongga dan melindungi material penyusun lapisan balas.

Kata kunci: aspal, lapisan balas, uji tekan, deformasi vertikal, abrasi, modulus elastisitas

Abstract. Breakage dan high cost of railroad maintenance are problems faced in Indonesian railways. The addition of asphalt level modification in the ballast layer is expected to be able to improve the quality of service dan maintenance of the ballst layer. The purpose of this study was to determine the mechanical properties of the ballast-asphalt layer in the form of deformation values, modulus of elasticity dan reciprocal modification abrasion. The study used compressive test method by UTM (*Universal Testing Machine*) with a beam-shaped object with dimensions 400 x 200 x 300 mm. The test material was fresh dan fouled ballast without mixture, fresh dan fouled ballast with modified mixture 4% asphalt content in 1 layer dan 3 layers. From the test results show that the addition of bitumen was able to reduce deformation dan increase the modulus of elasticity of ballast especially in asphalt modification 4% 3 layers. With the addition of asphalt the value of abrasion material was also getting smaller so that it can minimize the damage to the ballast layer because the asphalt layer can fill the cavity dan protect the recipient layer material.

Keywords: asphalt, ballast layer, compression test, vertical deformation, abrasion, modulus of elasticity.

1. Pendahuluan

Transportasi kereta Indonesia masih menggunakan jalan rel konvensional (ballasted track) sebagai penghubung antar daerah baik dengan rute pelayanan pendek-jauh. Transportasi jalan rel memiliki lebih banyak kelebihan dibanding dengan moda transportasi darat lainnya seperti jalan. Transportasi jalan rel memiliki daya angkut yang sangat besar baik untuk penumpang maupun logistik, penggunaan lahan yang lebih sedikit, tingkat kecelakaan yang sangat rendah dan biaya transportasi yang lebih

murah serta mengurangi kemacetan akibat kendaraan pribadi. Selain memiliki kelebihan tersebut terdapat beberapa permasalahan pada transportasi jalan rel di Indonesia yaitu, masih banyaknya perlintasan sebidang, sistem drainase jalan rel yang kurang baik, kecepatan kereta yang tidak sesuai dengan kelas jalannya dan kelebihan muatan (overload) sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada jalan rel serta biaya maintenance jalan rel yang mahal. Kerusakan jalan rel dapat menyebabkan usia pelayanan jalan rel

berkurang dan menurunkan daya angkut jalan rel.

Lapisan struktur balas jalan kereta dapat mengalami penurunan kinerja mekanis dan geometri karena menerima beban dinamis secara terus menerus (D'Angelo dkk, 2016). Dalam penelitiannya (D'Angelo dkk, 2016) mengatakan bahwa aspal merupakan salah satu solusi potensial yang dapat digunakan untuk mereduksi kerusakan dan meningkatkan kinerja lapisan balas. Terdapat beberapa cara dalam peningkatan kinerja balas yaitu menambahkan *Hot Mix Admixture (HMA)* ke lapisan subbalas untuk mendukung lapisan balas semakin kuat, menambahkan *Hot Mix Admixture (HMA)* pada lapisan balas dan sub balas mampu meningkatkan stabilitas, selain itu terdapat material lain yang dapat digunakan untuk stabilisasi lapisan balas maupun sub-balas yaitu menggunakan *polyurethane* atau biasa disebut dengan *polyurethane stabilized ballast (PSB)* (Keene, 2014)

Campuran *Styrene-Butadine-Styrene (SBS)* dan campuran aspal yang mengandung karet (*Crumb Rubber Modified*) menghasilkan kinerja yang lebih baik daripada aspal PG64-22. Bahan elastis seperti karet mampu mengurangi kerusakan dan meredam getaran dari pembebanan serta kekakuan vertikal yang baik (Sol-Sánchez, dkk, 2015). Nick Thom dkk (2017) melakukan penelitian untuk meningkatkan kinerja lapisan balas menggunakan *Bitumen Stabilized Ballast (BSB)*. Kadar aspal yang digunakan adalah 2% dan 3%. Selanjutnya dilakukan evaluasi dari beberapa parameter yang dicari melalui *flowability test* dan pengujian tekan menggunakan alat *Precision Unbound Material Analyzer (PUMA)*.

Dalam penelitiannya (Setiawan dan Rosyidi., 2018) melakukan modifikasi pada lapisan balas menggunakan potongan karet bergradasi dan seragam dengan variasi tumbukan 25 dan 50 kali penambahan potongan karet dapat meningkatkan durabilitas lapisan balas sebesar 38% dengan peningkatan nilai modulus elastisitas sebesar 3% dan 6%.

Setiawan dan Rosyidi (2018) menambahkan material potongan karet dan aspal sebanyak 3% untuk meningkatkan kualitas lapisan balas. penambahan aspal dapat meminimalkan nilai deformasi vertikal sebesar

14% dan dapat mengurangi abarasi material sebesar 80%. Penambahan aspal dan karet bergradasi benar-benar efektif dalam meningkatkan daya tahan material.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku mekanis lapisan balas dengan modifikasi kadar aspal 4% pada 1 lapis dan 3 lapis pemadatan berupa berat benda uji, deformasi vertikal yang terjadi akibat pengujian tekan, nilai modulus elastisitas, dan abrasi material.

2. Landasan Teori

Pada penelitian ini terdapat beberapa teori dan standar yang digunakan oleh peneliti dalam melakukan penelitian yang mengacu pada SNI maupun jurnal-jurnal penelitian terkait.

Struktur Lapisan Balas (Agregat Kasar)

Lapisan balas adalah komponen utama dalam konstruksi jalan rel konvensional. Menurut Rosyidi (2016), lapisan balas adalah lapisan yang terletak diatas tanah dasar yang memiliki fungsi sebagai penyalur beban dari bantalan menuju lapisan subbalas dengan pola distribusi yang lebih merata. Lapisan balas tersusun atas batuan pecah berukuran 20-60 mm yang dihamparkan dan dipadatkan diatas permukaan tanah dasar bersama lapisan subbalas. Dalam penelitian ini material balas diuji sifat-sifat fisis dan mekanisnya yang mengacu pada SNI (Stdanar Nasional Indonesia. Pengujian material balas yang dilakukan akan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Material Balas

No Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil
1 Berat Jenis dan penyerapan agregat	SNI 1969:2008	2,61
2 Analisis Gradasi	SNI ASTM C136:2012	memenuhi
3 Abrasi Los Angeles	SNI 2417:2008	19,26%
4 Kdanungan Lumpur	SNI 4141:2014	0,2 %

Aspal

Aspal merupakan material pengikat yang memiliki sifat padat sampai semi padat pada suhu ruang (20-30 °C) dan menjadi lunak atau cair jika dipanaskan (bersifat

termoplastis). Aspal dapat berfungsi sebagai pengikat dan pengisi rongga antar butir agregat. Pada suhu 25°C molekul aspal dalam keadaan stabil, pada suhu 25°C - 60°C aspal mulai melunak, dan pada suhu kurang dari 25°C aspal akan membeku. Sebelum menggunakan aspal sebagai bahan tambahan dalam penelitian ini dilakukan pengujian sifat-sifat fisis aspal pen 60/70 yang akan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Persyaratan Aspal Penetrasi 60/70

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil	Satuan
1	Penetrasi	SNI 2432:2011	60-70	0,1 mm
2	Titik lembek	SNI 2434:2011	≥ 48	°C
3	Daktilitas	SNI 06-2432-1991	≥ 100	Cm
4	Berat Jenis	SNI 2441:2011	0,1	-
5	Kehilangan berat minyak dan Aspal	SNI 06-2440-1991	≤ 0,8	%

Deformasi Vertikal

Kuat tekan adalah besarnya beban yang berpengaruh terhadap suatu benda berdasarkan luasan penampang yang terpengaruh oleh beban tersebut. Perhitungan kuat tekan dilakukan berdasarkan pengujian tekan beton (BSN,2011). Deformasi vertikal merupakan perubahan bentuk suatu benda karena terdapat gaya yang berpengaruh secara vertikal kepada benda tersebut. Nilai defromasi vertikal didapatkan dari nilai penurunan benda uji karena mengalami pembebanan. Dari nilai deformasi vertikal bisa menunjukkan sifat mekanis suatu bahan yaitu tingkat kekakuan bahan.

Modulus Elastisitas

Untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas diperlukan nilai tegangan dan regangan melalui pengujian tekan menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*) akan didapatkan parameter yang selanjutnya akan dianalisa untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas menggunakan persamaan :

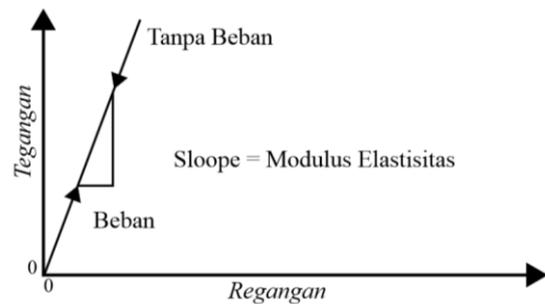
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

dengan,

E = modulus elastisitas (MPa);

σ = tegangan leleh (kPa);

ϵ = regangan (%).



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

Stabilisasi Lapisan Balas

Stabilisasi dilakukan untuk memadatkan benda uji sehingga rongga yang ada atau tersisa dapat terisi dengan material balas dan menjaga kestabilan lapisan struktur balas. Stabilisasi dilakukan dengan dua cara yaitu :

1. Stabilisasi mekanis

Stabilisasi mekanis menggunakan penumbuk manual yang biasa digunakan untuk memadatkan *hot mix asphalt* pada pengujian marshal.

Stabilisasi secara mekanis juga dapat dilakukan dengan cara

2. Stabilisasi menggunakan bahan tambah

Stabilisasi menggunakan bahan tambah dapat menggunakan beberapa macam bahan yaitu bahan yang bersifat kohesif ataupun pencampuran dengan bahan kimia seperti semen, kapur maupun menggunakan aspal sebagai pengikat antara agregat

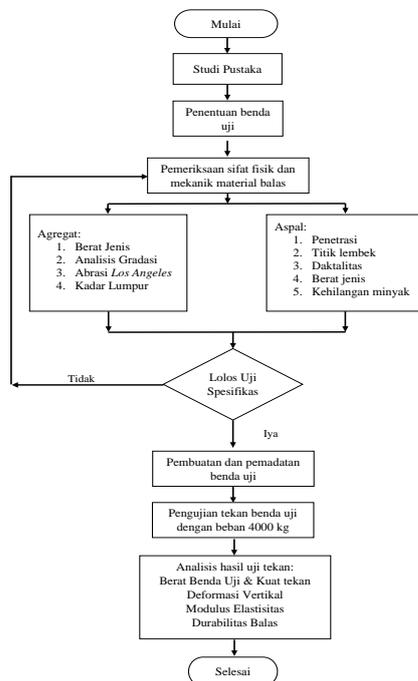
Analisis Abrasi Agregat

Abrasi material balas dapat dinilai melalui kehancuran material penyusun balas akibat beban yang diterima. Untuk mengetahui nilai abrasi suatu campuran benda uji dilakukan pengujian dengan perbandingan sebaran gradasi material agregat sebelum dilakukan pengujian dengan agregat yang telah dilakukan pengujian (Rubio-Gómez dkk., 2014).

Pengujian dilakukan dengan melakukan Pengujian dilakukan dengan menggunakan analisis gradasi yang di gambarkan melalui

grafik persentase agregat. Perhitungan kerusakan dihitung berdasarkan berat material yang rusak dengan ukuran lolos saringan $\frac{3}{4}$ ".

3. Metode Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan sesuai dengan diagram alir yaitu persiapan material balas dan aspal, pencampuran material, pemadatan material, pengujian tekan material, analisis hasil pengujian tekan dan hasil abrasi. Benda uji yang dipersiapkan akan ditampilkan pada table 3.

Table 3. Benda Uji

No	Benda Uji	Tumbukan	Kadar Aspal	Kode
1	BB	50/Layer	-	BB
2	BK	50/Layer	-	BK
3	BB+ Aspal 1 Lapis	50/Layer	4%	BB1
4	BB + Aspal 3 Lapis	50/Layer	4%	BB3
5	BK+ Aspal 1 Lapis	50/Layer	4%	BK1
6	BK+ Aspal 3 Lapis	50/Layer	4%	BK3

Persiapan dan Pembuatan Benda Uji

Pemeriksaan agregat balas pada pengujian ini mengacu kepada Peraturan Dinas No.10 Tahun 1986, SNI (Stdanar 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 stdanar ydan ada.

Persyaratan pemeriksaan material tambahan aspal 60/70 diatur dengan persyaratan yang telah ditetapkan oleh SNI.

Setelah semua material dipersiapkan maka selanjutnya menyiapkan balas *box* dengan ukuran 400 x 200 x 300 mm.

Pemadatan Material dan Penuangan Aspal

Pemadatan material dilakukan pada tiap lapisan balas setebal 10 cm dengan jumlah tumbukan sebanyak 50 kali per-layer. Pemadatan dilakukan menggunakan penumbuk mekanis dengan penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata yang berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (BSN, 1991). Proses pemadatan akan ditampilkan pada Gambar.3.



Gambar 3. Penumbukan Benda Uji

Untuk penuangan aspal dilakukan pada 2 kondisi yaitu penuangan pada hasil pemadatan layer ke 3 dan pada layer 1,2 dan 3 dengan kadar aspal sebanyak 4% dari berat benda uji. Proses penuangan aspal akan ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Penuangan Aspal

Pengujian Tekan

Setelah semua benda uji siap selanjutnya dilakukan pengujian tekan dengan alat UTM (*Universal Testing Machine*) dengan pembebanan 4000 kg dan dilakukan 2 kali pengujian tekan yang selanjutnya akan diolah untuk mendapatkan nilai deformasi vertikal dan modulus elastisitas.



Gambar 5. Pengujian Tekan Benda Uji

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 $\frac{3}{4}$. Material abrasi akan ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Material Abrasi Lolos Saringan No $\frac{3}{4}$ "

4. Hasil dan Pembahasan

Berat Benda Uji

Setiap benda uji memiliki karakteristik berat yang berbeda yang dipengaruhi oleh berbagai macam hal. Berat benda uji akan ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Benda Uji

No	Benda Uji	Berat (kg)	Kadar Aspal
1	BB	36,825	-
2	BK	37,845	-
3	BB + Aspal 1 Lapis	36,441	4%
4	BB + Aspal 3 Lapis	36,505	4%
5	BK + Aspal 1 Lapis	37,485	4%
6	BK + Aspal 3 Lapis	37,559	4%

Berat benda uji balas bersih relatif memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan dengan berat benda uji balas kotor baik tanpa tambahan aspal maupun menggunakan tambahan aspal. Benda uji BB memiliki berat sebesar 36,825 kg dan benda uji BK berat 37,854 kg, dan berturut-turut BB 4% 1 Lapis seberat 36,441 kg dan BK 4% 1 Lapis 37,485 kg, berat benda uji BB 4% 3 Lapis 36,505 dan BK 4% 3 Lapis 37,559 kg. Berat benda uji BB tanpa maupun dengan tambahan aspal 4% memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan dengan benda uji BK tanpa maupun dengan tambahan aspal 4%. Hal ini disebabkan oleh benda uji BB melalui proses pencucian dan benda uji BK tidak melalui proses pencucian. Sehingga menyebabkan BK lebih berat karena terdapat kandungan lumpur yang masih melekat pada material balas.

Deformasi Vertikal

Deformasi vertikal merupakan perubahan bentuk suatu material akibat diberikannya suatu gaya secara vertikal. Nilai deformasi vertikal dari pengujian tahap 1 dan tahap 2 akan ditampilkan pada Tabel 5. Dan Tabel 6. untuk persentase perubahan nilai deformasi.

Tabel 5. Nilai Deformasi Pengujian 1 dan 2

Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Deformasi I (mm)	Deformasi II (mm)
BK	0,889	4.8625	2.4375
BB	0,889	4.5625	2.2375
BB1	0,889	3.7375	1.9375
BB3	0,889	5.6125	2.3625
BK1	0,889	4.5875	3.6875
BK3	0,889	4.4	1.7625

Tabel 6. Persentase Perubahan Nilai Deformasi Vertikal

Benda Uji	Deformasi I (mm)	Deformasi II (mm)	Persentase Perubahan (%)
BK 3	4.4	1.7625	-59.9431
BB 3	5.6125	2.3625	-57.9064
BK	4.5625	2.2375	-50.9589
BB	4.8625	2.4375	-49.8714
BB1	3.7375	1.9375	-48.1605
BK1	4.5875	3.6875	-19.6185

Benda uji yang memiliki nilai perbedaan nilai deformasi yang besar adalah BK 4% 3 Lapis dengan nilai deformasi pada pengujian 1 sebesar 4.4 mm dan pada pengujian tahap 2 mengalami penurunan sebesar 1.7625 mm dengan persentase penurunan terkecil dibandingkan dengan benda uji yang lain sebesar 59.9431 % hal ini disebabkan oleh persebaran aspal yang lebih baik dibandingkan dengan benda uji tanpa aspal maupun dengan aspal pada 1 lapis. Persebaran aspal yang merata pada tiap lapis pemadatan dengan efektif mampu menstabilkan penurunan lapisan balas, hal ini sesuai dengan sifat aspal yang dapat mengikat material, mengisi rongga yang ada pada tiap lapis sehingga penurunan yang terjadi tidak terlalu signifikan. Hal tersebut didukung dengan hasil pengujian pada benda uji BB 4% 3 lapis yang mengalami deformasi pada pengujian 1 sebesar 5.6125 mm dan pada pengujian 2 sebesar 2.3625 mm dengan persentase perubahan sebesar 57.9064%.

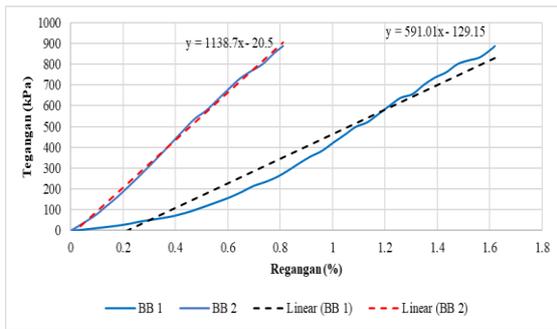
Pada balas bersih dan balas kotor memiliki nilai penurunan lebih besar dibandingkan dengan benda uji BK 4% 3 lapis dan BB 4% 3 lapis dengan persentase nilai penurunan sebesar 4.8625 mm pada pengujian 1 dan 2.4375 mm pada pengujian 2 dengan persentase penurunan yang terjadi sebesar 49.8714%. sedangkan pada balas kotor mengalami penurunan pada pengujian 1

sebesar 4.5625 mm dan 2.2375 mm pada pengujian ke 2 dengan nilai persentase penurunan sebesar 50.9589%. Nilai penurunan ini lebih besar dibandingkan dengan benda uji BK 4% 3 lapis dan BB 4% 3 lapis karena balas tidak diberi bahan stabilisasi tambahan yaitu aspal, hal ini tentu saja mengakibatkan material mengalami pergerakan yang lebih bebas dan kurang stabil.

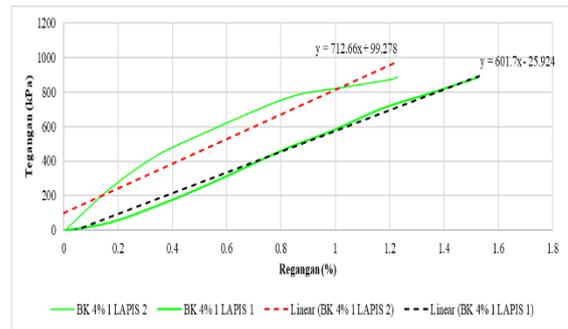
Benda uji BB 4% 1 lapis mengalami deformasi sebesar nilai 3.7375 mm pada pengujian 1 dan 1.9375 mm pada pengujian 2 dengan nilai persentase penurunan 48.1605 %. BK 4% 1 lapis mengalami deformasi dengan 4.5875 mm pada pengujian tahap 1 dan 3.6875 mm pada pengujian tahap 2 dengan persentase penurunan sebesar 19.6185%. Benda uji BB 4% 1 lapis dan BK 4% 1 lapis memiliki persentase penurunan lebih kecil karena tebal aspal pada benda uji dengan aspal 1 lapis terlalu tebal serta menumpuk pada lapisan paling atas sehingga menyebabkan penyebaran aspal yang kurang merata ke seluruh lapisan. Pada benda uji BK 4% 1 lapis mengalami persentase penurunan yang sangat signifikan hal ini disebabkan oleh perlakuan benda uji yang kurang tepat yaitu penuangan aspal dengan jumlah cukup banyak dengan menggunakan 1 teko penuang hal ini dikarenakan waktu penuangan lebih lama dan aspal menjadi lebih padat karena durasi penuangan sehingga menyebabkan aspal tidak menyebar dan mengisi rongga secara efektif.

Hasil Analisis Modulus Elastisitas

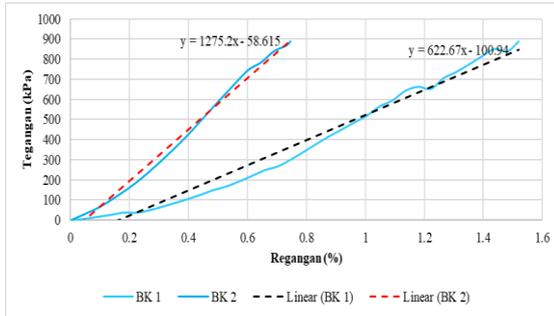
Nilai modulus elastisitas merupakan salah satu parameter untuk menentukan kekakuan suatu material. Setiap sampel yang telah diuji tekan akan menghasilkan nilai tegangan dan regangan yang dianalisis. Hubungan tegangan dan regangan pada tiap benda uji akan ditampilkan pada Gambar 7, 8, 9, 10, 11, 12 dan nilai modulus elastisitas akan ditampilkan pada Tabel 7, 8, dan 9.



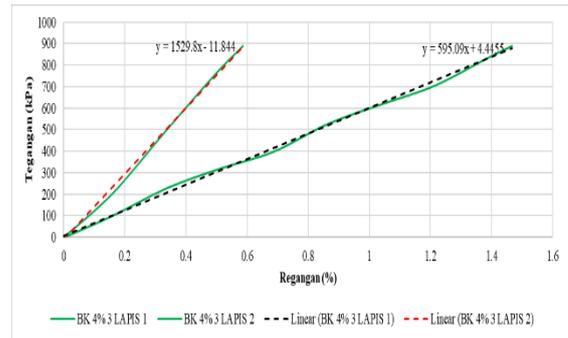
Gambar 7. Hasil Garis Trendline Pada Benda Uji BB dari Hasil Pengujian Tahap 1 dan 2



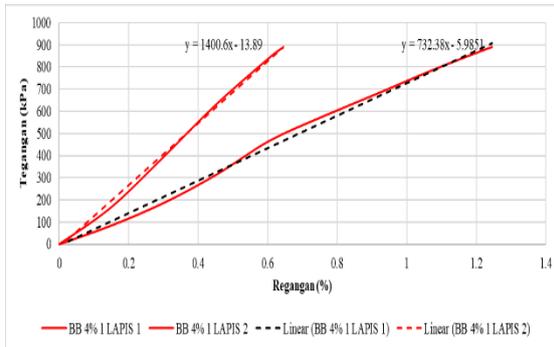
Gambar 11. Hasil Garis Trendline pada Benda Uji BK 4% 1 Lapis dari Hasil Pengujian Tahap 1 dan 2



Gambar 8. Hasil Garis Trendline pada Benda Uji BK dari Hasil Pengujian Tahap 1 dan 2



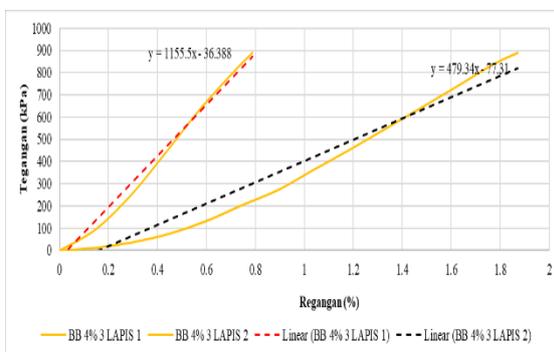
Gambar 12. Hasil Garis Trendline pada Benda Uji BK 4% 3 Lapis dari Hasil Pengujian Tahap 1 dan 2



Gambar 9. Hasil Garis Trendline pada Benda Uji BB 4% 1 Lapis dari Hasil Pengujian Tahap 1 dan 2

Tabel 7. Nilai Modulus Elastisitas Pengujian 1

Benda Uji	Tegangan 1 (σ) (KPa)	Regangan 1 (ϵ) (%)	Modulus Elastisitas (Mpa)
BK	828.7787	1.6208	51.1329
BB	906.8706	1.5208	59.6299
BB1	906.4383	1.2458	72.7576
BB3	819.4552	1.8708	43.8017
BK1	894.1755	1.5291	58.4747
BK3	877.2441	1.4667	59.8122



Gambar 10. Hasil Garis Trendline pada Benda Uji BB 4% 3 Lapis dari Hasil Pengujian Tahap 1 dan 2

Tabel 8. Nilai Modulus Elastisitas Pengujian 1

Benda Uji	Tegangan 2 (σ) (KPa)	Regangan 2 (ϵ) (%)	Modulus Elastisitas (Mpa)
BK	904.6937	0.8125	111.3469
BB	892.4716	0.7458	119.661
BB1	890.6641	0.6458	137.9092
BB3	873.5682	0.7875	110.9293
BK1	975.2559	1.2291	79.3428
BK3	886.9135	0.5875	150.964

Tabel 9. Persentase Kenaikan Nilai Modulus Elastisitas

Benda Uji	Modulus Elastisitas 1 (MPa)	Modulus Elastisitas 2 (MPa)	Kenaikan (%)
BK	51.1329	111.3469	+117.7597
BB	59.6299	119.661	+100.6728
BB1	72.7576	137.9092	+89.5461
BB3	43.8017	110.9293	+153.2534
BK1	58.4747	79.3428	+35.6873
BK3	59.8122	150.964	+152.3966

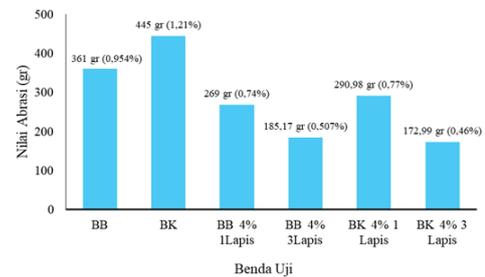
Nilai modulus elastisitas diatas merupakan hasil pendekatan yang dilakukan menggunakan kurva linier/*trendline*. Dari nilai diatas didapatkan persentase kenaikan nilai modulus elastisitas terbesar pada benda uji BB 4% 3 lapis sebesar dan BK 4% 3 lapis. Persebaran aspal yang merata pada tiap lapis pemadatan dengan efektif mampu menstabilkan penurunan lapisan balas, hal ini sesuai dengan sifat aspal yang dapat mengikat material, mengisi rongga yang ada pada tiap lapis sehingga penurunan yang terjadi tidak terlalu signifikan dan menyebabkan kekakuan dari benda uji tersebut memiliki nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan benda uji Balas tanpa aspal maupun benda uji Balas dengan modifikasi aspal 4% pada 1 lapis.

Sedangkan pada benda uji BB 4% 1 Lapis dan BK 4% 1 lapis memiliki penambahan nilai modulus elastisitas yang paling kecil hal ini disebabkan oleh persebaran aspal yang kurang merata dan material pada lapisan pemadatan ke 2 dan ke-3 tidak terselimuti oleh aspal. Selain itu kesalahan dalam proses penuangan aspal sangat mempengaruhi regangan yang terjadi akibat uji tekan. Dan seharusnya nilai modulus elastisitas pada benda uji modifikasi pada 1 lapis secara teoritis memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas benda uji Balas tanpa tambahan aspal. Peningkatan nilai modulus elastisitas disebabkan oleh hasil pengujian tekan pada pengujian ke-1 sehingga pada pengujian ke-2 benda uji memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih tinggi karena memiliki tingkat kepadatan yang lebih tinggi sehingga kekakuan benda uji meningkat.

Hasil Analisis Abrasi Benda Uji

Nilai abrasi merupakan nilai perbandingan persentase berat dari kehancuran material dengan berat benda uji. Besar persentase

abrasi benda uji dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu persiapan material, pemadatan material selama pembuatan benda uji dan pengujian tekan yang dilakukan. Nilai hasil abrasi material akan ditampilkan pada Gambar 13.



Gambar 13 . Persentase Nilai Abrasi Benda Uji

Nilai abrasi tertinggi dialami oleh benda uji BB dan BK hal ini disebabkan benda uji tidak menggunakan bahan tambahan aspal yang dapat melindungi material dari abrasi akibat pemadatan maupun pengujian tekan. Sedangkan pada benda uji BB 4% 1 Lapis dan BK 4% 1 Lapis memiliki nilai abrasi yang lebih kecil dari benda uji tanpa aspal namun lebih besar dibandingkan dengan abrasi BB 4% 3 Lapis dan BK 4% 3 Lapis. Meskipun penambahan aspal mampu mengurangi nilai abrasi pada kedua benda uji tersebut namun persebaran aspal yang berada pada 1 lapis hanya mampu melindungi sebagian material pada lapis pertama saja. Sedangkan pada benda uji BB 4% 3 Lapis dan BK 4% 3 Lapis memiliki nilai abrasi paling sedikit karena persebaran aspal yang lebih merata pada 3 lapisan sehingga banyak material yang terlindungi dari abrasi akibat penumbukan maupun pengujian tekan.

5. Kesimpulan

Kesimpulan dari pengujian dan analisis hasil pengujian adalah sebagai berikut :

- Berat benda uji dipengaruhi oleh pemadatan dan keadaan benda uji yang digunakan yaitu balas bersih dan balas kotor. Dimana berat benda uji balas kotor secara konstan memiliki berat yang lebih tinggi dibandingkan dengan balas bersih karena pada balas kotor masih terdapat kandungan lumpur pada bagian permukaan material, sedangkan balas bersih telah melalui proses pencucian sehingga berat benda uji berkurang.

- b. Dengan adanya penambahan aspal sebanyak 4% mampu meningkatkan kemampuan balas dalam menahan deformasi vertikal. Dari keseluruhan benda uji Balas Bersih maupun Kotor dengan kadar aspal 4% pada 3 lapis memiliki persentase nilai penurunan yang lebih besar yaitu 59,94% dan 57,9%.
- c. Selaras dengan kesimpulan sebelumnya nilai modulus elastisitas terbesar dialami oleh benda uji Balas Kotor 4% 3 lapis dengan nilai pada pengujian-1 59.81 MPa dan nilai modulus elastisitas sebesar 150,9 MPa dengan nilai kenaikan sebesar 152.39%. Penambahan aspal pada 3 lapis pemadatan mampu mengikat material sehingga memiliki stabilitas yang tinggi dan hasil pengujian-2 menyebabkan peningkatan nilai modulus elastisitas karena rongga yang tersisa pada pengujian-1 telah mampat karena terisi oleh pergerakan material pengujian 1.
- d. Secara keseluruhan penambahan aspal mampu mengurangi kerusakan pada lapisan balas karena material terlindungi oleh lapisan aspal yang tersebar pada 1 lapis dan 3 lapis. Dapat dilihat pada gambar 4.13 nilai abrasi Balas non modifikasi memiliki persentase abrasi yang lebih tinggi yaitu BB 0,945% dan BK 1,21% dibandingkan dengan balas modifikasi yaitu BB dan BK 4% 1 lapis, 0,74% dan 0,77%. Sedangkan nilai abrasi terkecil dialami oleh benda uji BB 4% 3 Lapis sebesar 0,507% dan BK 4% 3 Lapis sebesar 0,46%.

6. Daftar Pustaka

- BSN, 1990, SNI 03-1974-1990 *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Stdanardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 1991a, SNI 06-2440-1991 *Metode Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal dengan Cara A*. Badan Stdanardisasi Nasional Jakarta.
- BSN, 1991b, SNI 06-2432-1991 *Metode Pengujian Daktilitas Bahan-Bahan Aspal*. Badan Stdanardisasi 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 Stdanardisasi Nasional Jakarta.
- BSN, 2008b, SNI 2417:2008 *Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles*. Badan Stdanardisasi Nasional Jakarta.
- BSN, 2011a, SNI 2441-2011 *Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras*. Badan Stdanardisasi Nasional Jakarta.
- BSN, 2011b, SNI 2432-2011 *Cara Uji Penetrasi Aspal*. Badan Stdanardisasi Nasional Jakarta.
- BSN, 2011c, SNI 2434-2011 *Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola (Ring dan Ball)*. Badan Stdanardisasi Nasional Jakarta.
- D'Angelo, G., Bressi, S., Giunta, M., Presti, D. L., dan Thom, N., 2018, Novel Performance-Based Technique for Predicting Maintenance Strategy of Bitumen Stabilised Ballast, *Construction dan Building Materials*, 161, 1-8.
- D'Angelo, G., Presti, D. L., dan Thom, N., 2017, Optimisation of Bitumen Emulsion Properties for Ballast Stabilisation. *Materiales de Construcción*, 67(327), 124.
- D'Angelo, G., Thom, N. dan Lo Presti, D., 2016, Bitumen Stabilized Ballast: A Potential Solution for Railway Track-Bed, *Construction dan Building Materials*, 124, 118-126.
- Sol-Sánchez, M., Thom, N. H., Moreno-Navarro, F., Rubio-Gamez, M. C., dan Airey, G. D., 2015, A Study Into the Use of Crumb Rubber in Railway Ballast. *Construction dan Building Materials*, 75, 19-24.
- Sehondana, O., Ointu, B. M., Tamboto, W. J., dan Pdanaleke, R. R., 2013, Kajian Uji Laboratorium Nilai Modulus Elastisitas Bata Merah Dalam Sumbangan Kekakuan Pada Struktur Sederhana, *Jurnal Sipil Statik*, 1(12).
- Setiawan, D. M., 2018, Worldwide Hot Mix Asphalt Layer Application and Scrap Rubber dan Bitumen Emulsion Studies on Railway Track-Bed, *Semesta Teknika*, 21(2), 166-177.
- Setiawan, D. M. dan Rosyidi, S. A. P., 2018, The Role of Compaction and Scrap

- Rubber Size Against the Performance of Ballast Layer, 9(13), pp. 1275–1286. Available at: <http://www.iaeme.com/ijciyet/issues.asp?JType=IJCIETdanVType=9danIType=13http://www.iaeme.com/ijciyet/issues.asp?JType=IJCIETdanVType=9danIT>.
- Setiawan, D. M., dan Rosyidi, S. A. P., 2018, Vertical Deformation dan Ballast Abrasion Characteristics of Asphalt-Scrap Rubber Track Bed, *International Journal on Advanced Science, Engineering dan Information Technology*, 8(6), 2479-2484.
- Sol-Sánchez, M., Moreno-Navarro, F., dan Rubio-Gámez, M. C., (2014), The Use of Deconstructed Tires as Elastic Elements in Railway Tracks, *Materials*, 7(8), pp. 5903–5919. doi: 10.3390/ma7085903.
- Keene, A., Tinjum, J. M., dan Edil, T. B., 2014, Mechanical Properties of Polyurethane-Stabilized Ballast, *Geotechnical Engineering Journal*, 45(1), 66-73.
- Rosyidi, S. A. P., 2016. *Rekayasa Jalan Kereta Api*. Yogyakarta: LP3M-UMY 2016.