

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Pengujian laboratorium untuk meneliti perilaku modulus elastisitas terhadap balas modifikasi menghasilkan data berdasarkan bahan pencampurnya. Untuk mengetahui kelayakan bahan campuran balas dilakukan pengujian fisik aspal dan karet ban bekas, agar menghasilkan suatu perbaikan pada lapisan balas yang diinginkan.

1. Balas

Balas merupakan agregat kasar sebagai pendukung yang kokoh pada jalur rel kereta api. Pengujian fisik dilakukan pada material ini untuk mengetahui kelayakan pemakaiannya sebagai bahan utama dalam penelitian. Hasil pengujian fisik dirangkum pada Tabel 4.1.

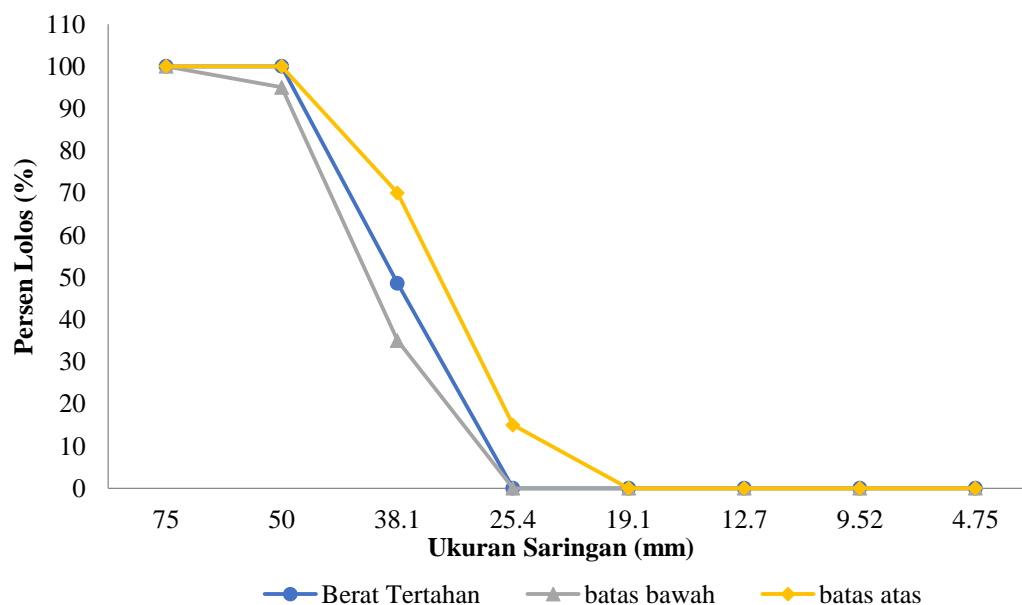
Tabel 4.1 Hasil pengujian fisik balas

No.	Variabel	Nilai	Spesifikasi	Sumber
1.	Berat Jenis			
	Berat Jenis Bulk	2,63	Min. 2,6	
	Berat Jenis SSD	2,66	Min. 2,6	PM No. 60
	Berat Jenis Semu	2,70	Min. 2,6	Tahun 2012
	Penyerapan Agregat	0,95 %	Max. 3%	
2.	Kadar Lumpur	1,8 %	Max. 0,5%	
3.	Keausan Agregat	17.7 %	Max. 25%	

Selain pengujian fisik terhadap kelayakan material dalam penggunaannya, dilakukan pengujian analisis saringan untuk mengetahui distribusi gradasinya. Dalam penelitian ini ukuran balas yang digunakan berkisar antara 25-60 mm sebagaimana telah ditetapkan pada Peraturan Menteri No.60 Tahun 2012. Distribusi ukuran balas tersaji pada Tabel 4.2 dan secara visual, ditampilkan pada grafik Gambar 4.1.

Tabel 4.2 Distribusi material balas

Ukuran saringan (inch)	massa tertahan (gr)	Jumlah tertahan (gr)	Persen komulatif tertahan (%)	Persen komulatif Lewat (gr)	spek
3"	0	0	0	100	-
2 $\frac{1}{2}$ "	0	0	0	100	100
2"	0	0	0	100	100-95
1 $\frac{1}{2}$ "	3131	3131	62.45885615	37.54114385	35-70
1"	1881.9	5012.9	100	0	0-15
$\frac{3}{4}$ "	0	0	0	0	-
$\frac{1}{2}$ "	0	0	0	0	0-5
$\frac{3}{8}$ "	0	0	0	0	-
Pan	0	5012.9	100	100	
Jumlah	5012.9				



Gambar 4.1 Grafik distribusi balas

Pada Gambar 4.1 gradasi balas yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986. Distribusi gradasi balas tidak lebih dari batas atas dan batas bawah serta tepat berada pada pertengahan batas tersebut. hal ini ini menunjukkan bahwa ukuran material balas yang digunakan tidak boleh melebihi ataupun lebih kecil dari ukuran yang ditetapkan.

2. Aspal

Infrastruktur kereta api di Indonesia tidak mempunyai spesifikasi khusus untuk aspal. Namun penggunaan aspal sebagai bahan perekat antar balas terbukti dapat memperbaiki keadaan lapisan balas menjadi semakin stabil (D'Angelo et al. 2016). Pengujian fisik aspal pada tahap persiapan benda uji dilakukan untuk mengetahui kelayakan penggunaan aspal penetrasi 60/70. Hasil pengujian fisik aspal disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengujian fisik aspal

No.	Variabel	Nilai	Spesifikasi	Sumber
1.	Berat Jenis	1,05	Min. 1,0	SNI 06-2488-1991
2.	Penetrasi	63,6	60 - 79	SNI 06-2456-1992
3.	Titik Lembek	49 °C	50 - 58	SNI 06-2434-1991
4.	Daktilitas	147	Min. 100	SNI 06-2434-1991
5.	Kehilangan Minyak	0,397 %	Maks. 0,8	SNI 06-2441-1991

3. Karet ban bekas

Karet ban bekas belum mempunyai persyaratan pengujian secara khusus pada infrastruktur kereta api. Untuk itu, pada karet ban bekas dilakukan dua jenis pengujian, pengujian berat jenis dan analisis saringan. Adapun hasil pengujian berat jenis dan penyerapan karet bekas tersaji pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil pengujian dasar berat jenis karet ban bekas

No.	Nama Pengujian	Hasil
1	Berat Jenis	
	a. BJ Bulk	2,64
	b. BJ SSD	2,66
	c. BJ Semu	2,7
2	Penyerapan karet	0,85 %

4.2. Pembahasan

Penelitian ini melakukan pengujian terhadap beberapa sampel, dimana setiap sampel tersebut mempunyai campuran yang berbeda-beda. Dengan menggunakan bahan sebagai bahan utamanya dan aspal serta karet bekas sebagai bahan campurannya. Sampel penelitian disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Sampel penelitian

No.	Nama Sampel	Campuran
1.	Sampel 1 (S.1)	Balas
2.	Sampel 2 (S.2)	Balas + Aspal
3.	Sampel 3 (S.3)	Balas + Karet
4.	Sampel 4 (S.4)	Balas + Aspal + Karet

Sebelum pengujian kuat tekan dilakukan, yang perlu diperhatikan pada setiap sampel adalah mengetahui setiap karakteristik campurannya, karena bahan yang digunakan pada empat sampel tersebut berbeda-beda. Nilai-nilai karakteristik campuran pada masing-masing benda uji dirangkum pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4.6 Karakteristik campuran sampel 1 dan sampel 2

No.	Pemeriksaan	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
1	Berat Benda Uji + Box	43980	47150	gr
2	Berat Box	10250	10250	gr
3	Berat Benda Uji	33730	36900	gr
4	Volume Box	24000	24000	cm ³
5	Berat Vol. Benda Uji	1,41	1,54	gr/cm ³
6	% Karet Bekas yang digunakan	-	-	%
7	% Aspal	-	2	%
8	% Balas yang digunakan	100	98,00	%
9	BJ Karet Bekas	-	1,14	-
10	BJ Aspal	-	1,06	-
11	BJ Balas	2,66	2,66	-
12	BJ Maks Teoritis	2,66	2,58	-
13	Vol. Karet Bekas Dalam Campuran	-	-	%
14	Vol. Aspal Dalam Campuran	-	2,90	%
15	Vol. Balas Dalam Campuran	52,84	56,64	%
16	Vol. Pori Dalam Campuran	47,16	40,45	%
17	Pemadatan	25	25	Tmbkn

Tabel 4. 7 Karakteristik campuran sampel 3 dan sampel 4

No.	Pemeriksaan	Sampel 3	Sampel 4	Satuan
1	Berat Benda Uji + Box	43600	45800	gr
2	Berat Box	10200	10250	gr
3	Berat Benda Uji	33400	35550	gr
4	Volume Box	24000	24000	cm ³
5	Berat Vol. Benda Uji	1,39	1,48	gr/cm ³
6	% Karet Bekas yang digunakan	10	10	%
7	% Aspal	-	2	%
8	% Balas yang digunakan	90	88	%
9	BJ Karet Bekas	1,14	1,14	-
10	BJ Aspal	-	1,06	-
11	BJ Balas	2,66	2,66	-
12	BJ Maks Teoritis	2,35	2,29	-
13	Vol. Karet Bekas Dalam Campuran	12,21	12,99	%
14	Vol. Aspal Dalam Campuran	-	2,79	%
15	Vol. Balas Dalam Campuran	47,09	49,00	%
16	Vol. Pori Dalam Campuran	40,71	35,21	%
17	Pemadatan	25	25	Tmbkn

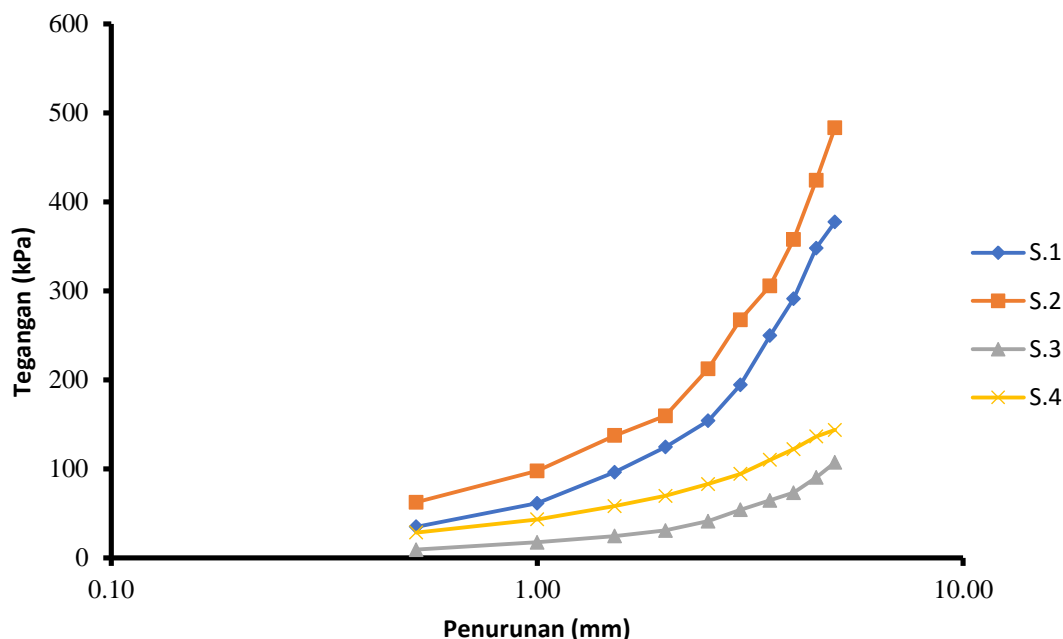
Penelitian terhadap karakteristik campuran dilakukan untuk mengetahui setiap volume bahan yang mengisi sebuah *ballast box*. Dalam hal ini juga diperlukan untuk mengidentifikasi volume rongga pada setiap campuran. Semakin banyak bahan yang dicampurkan pada balas modifikasi, maka semakin kecil volume rongganya. Karena bahan campuran seperti karet ban bekas dan aspal ditujukan untuk mengisi rongga-rongga tersebut.

Masing-masing sampel yang telah diketahui karakteristiknya, kemudian diletakkan pada mesin pengujian kuat tekan UTM yang akan menghasilkan empat parameter. Dari masing-masing parameter tersebut diolah untuk mencari deformasi, gradasi dan abrasi serta kekakuan. Empat parameter tersebut yakni, *force* (gaya), *Stress* (tegangan), *strain* (regangan) dan *elongation* (perubahan panjang). Adapun data parameter dari masing-masing sampel disajikan pada lampiran 1.

1. Pengaruh balas modifikasi terhadap deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk posisi dan ukuran dari suatu sampel setelah mengalami pengujian. Dari definisi tersebut, dapat dimaksudkan sebagai perubahan tinggi suatu sampel setelah diberikan

pembebanan. Pada penelitian ini, nilai deformasi pada setiap sampel didapatkan dari suatu grafik hubungan penurunan dan pembebanan. Dimana dari grafik tersebut dapat diidentifikasi perubahan tinggi suatu sampel pada pembebanan tertentu. Grafik hubungan penurunan dan pembebanan disajikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik hubungan penurunan dan pembebanan

Dari Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa sampel 3 yakni modifikasi balas dan karet mempunyai nilai defromasi paling besar, namun beban yang menumpu pada sampel tersebut tidak terlalu tinggi. Penambahan karet sebanyak 10% dari berat total sangat berpengaruh terhadap sifat sampel 3. Hal ini disebabkan oleh peran karet ban bekas dengan ukuran 9,52 mm atau tertahan saringan 3/8" yang mengisi setiap rongga pada setiap sisi balas. Pada penelitian Sanchez et al. (2014) menyatakan bahwa penggunaan karet memang dilakukan agar sampel mempunyai sifat elastis, namun penggunaannya secara berlebihan justru membuat sampel menjadi tidak stabil.

Sebaliknya, minimnya nilai deformasi dihasilkan pada sampel 2, dengan menunjukkan perilaku yang kuat. Hal ini dibuktikan dengan grafik pada Gambar 4.2 bahwa penurunan pada sumbu Y lebih tinggi, namun grafik regangan pada sumbu X tidak melebar. Artinya, sampel tersebut tidak

mudah mengalami deformasi meskipun ditempa beban yang tinggi sekalipun. Perilaku aspal yang ditambahkan pada balas memang ditujukan sebahai pengikat pada setiap materialnya. Saat penuangan, aspal berbentuk cair dan ketika telah bercampur dengan material balas, perilakunya mengeras dan kaku.

Keadaan yang sama juga ditunjukkan pada sampel 4, dimana penambahan aspal membuat grafik pembebanan pada sumbu Y menjadi lebih tinggi, artinya semakin kuat sampel tersebut dalam menahan beban, sehingga nilai deformasi yang dihasilkan tidak terlalu besar. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh D'Angelo et al. (2017) memaparkan bahwa sifat emulsi pada aspal memang diketahui dapat menurunkan nilai deformasi, karena dipengaruhi pada segi besarnya kadar aspal yang dituang serta kekenatalannya.

Adapun nilai maksimum pembebanan masing-masing sampel pada nilai penurunan yang sama, tersaji pada Tabel 4.8.

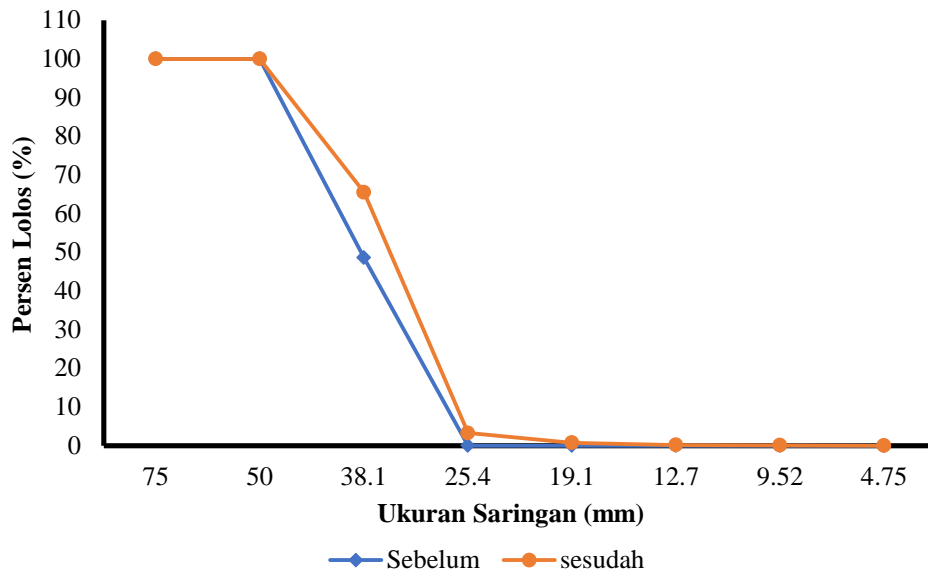
Tabel 4.8 Nilai beban maksimal setiap sampel pada nilai penurunan yang sama

No.	Benda Uji	Penurunan (mm)	Pembebanan (kg/mm)
1.	Sampel 1	5,00	1731,6
2.	Sampel 2	5,00	2217,45
3.	Sampel 3	5,00	491,85
4.	Sampel 4	5,00	659,55

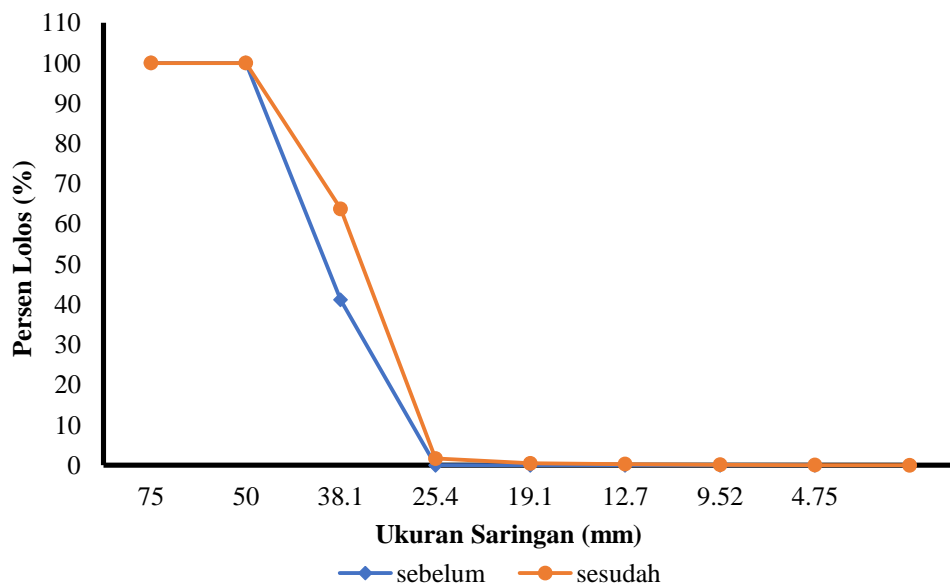
2. Pengaruh balas modifikasi terhadap gradasi dan abrasi

Balas modifikasi ditujukan untuk meningkatkan ketahanan. Uji ketahanan diawali pada tahap persiapan. Sampel diberikan perlakuan pemadatan sebanyak 25 kali tumbukan pada setiap sepertiga lapisannya. Jika semua bahan yang tercampur telah memenuhi *ballast box*, maka sampel siap untuk diuji dengan menggunakan mesin kuat tekan. Beberapa langkah-langkah persiapan hingga pengujian adalah faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan distribusi gradasi pada sampel tersebut. Sehingga, secara tidak langsung dapat mengidentifikasi banyaknya abrasi yang dihasilkan. Adapun distribusi gradasi pada sampel 1 saat sebelum dan

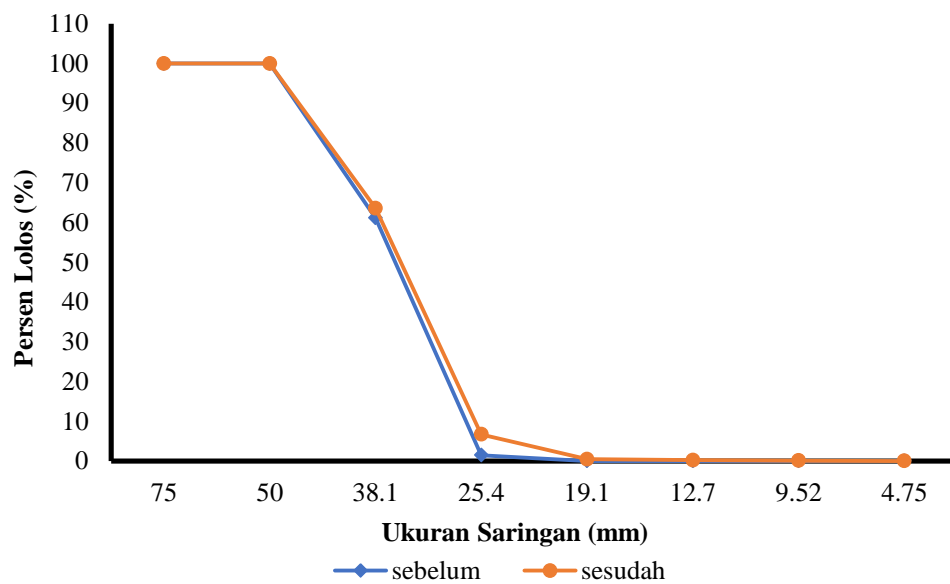
sesudah pengujian ditampilkan pada Gambar 4.3, sampel 2 pada Gambar 4.4, sampel 3 pada Gambar 4.5 dan sampel 4 pada Gambar 4.6.



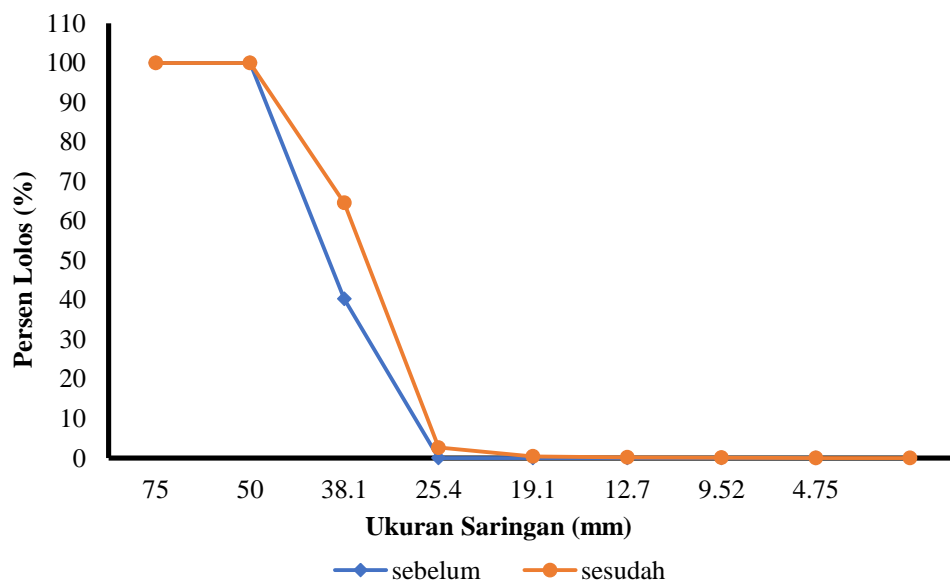
Gambar 4.3 Distribusi gradasi sampel 1 sebelum dan sesudah pengujian



Gambar 4.4 Distribusi gradasi sampel 2 sebelum dan sesudah pengujian



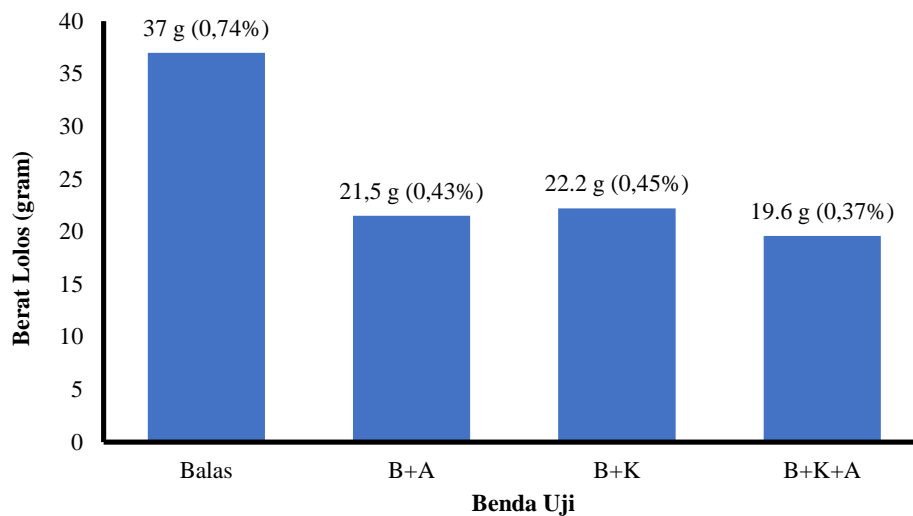
Gambar 4.5 Distribusi gradasi sampel 3 sebelum dan sesudah pengujian



Gambar 4.6 Distribusi gradasi sampel 4 sebelum dan sesudah pengujian

Pada Gambar diatas (Gambar 4.3, Gambar 4.4, Gambar 4.5 dan Gambar 4.6) menunjukkan perubahan distribusi gradasi setelah dan sebelum pengujian. Grafik distribusi gradasi sebellum pengujian memperlihatkan bahwa ukuran balas yang digunakan memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Peraturan Dinas no.10 tahun 1989 yakni berukuran 2” - 3/4”. Namun berbeda keadaannya setelah mengalami berbagai tahap pengujian. Ukuran balas terabrasi dikarenakan faktor tumbukan dan faktor tekan saat pengujian. Masing-masing sampel mempunyai nilai abrasi yang berbeda-

beda terutama pada balas modifikasi. Hal ini terangkum dan disajikan pada diagram batang Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Abrasi material pada masing-masing sampel

Apabila diperhatikan pada Gambar 4.7 dapat ditarik suatu hasil bahwa secara keseluruhan, balas modifikasi dapat meminimalisir abrasi. Nilai abrasi pada masing-masing sampel dapat dirangkum sebagai berikut, Sampel 1 = 37 gram; Sampel 2 = 21,5 gram; Sampel 3 = 22,2 gram; dan Sampel 4 = 19,6 gram. Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa kerusakan yang terjadi pada balas modifikasi jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan balas biasa. Hal ini disebabkan oleh banyaknya kontak yang terjadi antara agregat pada saat dikenai beban. Namun dengan penambahan material seperti karet ban bekas dan aspal, kontak antar agregat menjadi berkurang karena posisinya banyak tergantikan oleh material yang lain seperti aspal dan karet ban bekas.

Penelitian terdahulu oleh Indrarnatna et al. (2017) menyatakan bahwa balas modifikasi mempunyai kemampuan yang baik dalam meminimalisir kerusakan pada materialnya, karena pergerakan material balas menjadi lebih terbatas, sehingga mengurangi gesekan antar partikelnya.

3. Pengaruh balas modifikasi terhadap modulus elastisitas

Kekakuan suatu bahan dapat diketahui dengan mencari nilai modulus elastisitasnya. Setiap sampel yang telah diuji kuat tekan, menghasilkan parameter tegangan dan regangan yang telah terekam selama pengujian pada

mesin kuat tekan. Pada mesin tersebut tegangan disebutkan sebagai *stress* dan regangan sebagai *strain*. Adapun data nilai tegangan dan regangan pada setiap sampel disajikan pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 serta digambarkan pada sebuah grafik pada Gambar 4.8

Tabel 4.9 Data nilai tegangan dan regangan sampel 1 dan 2

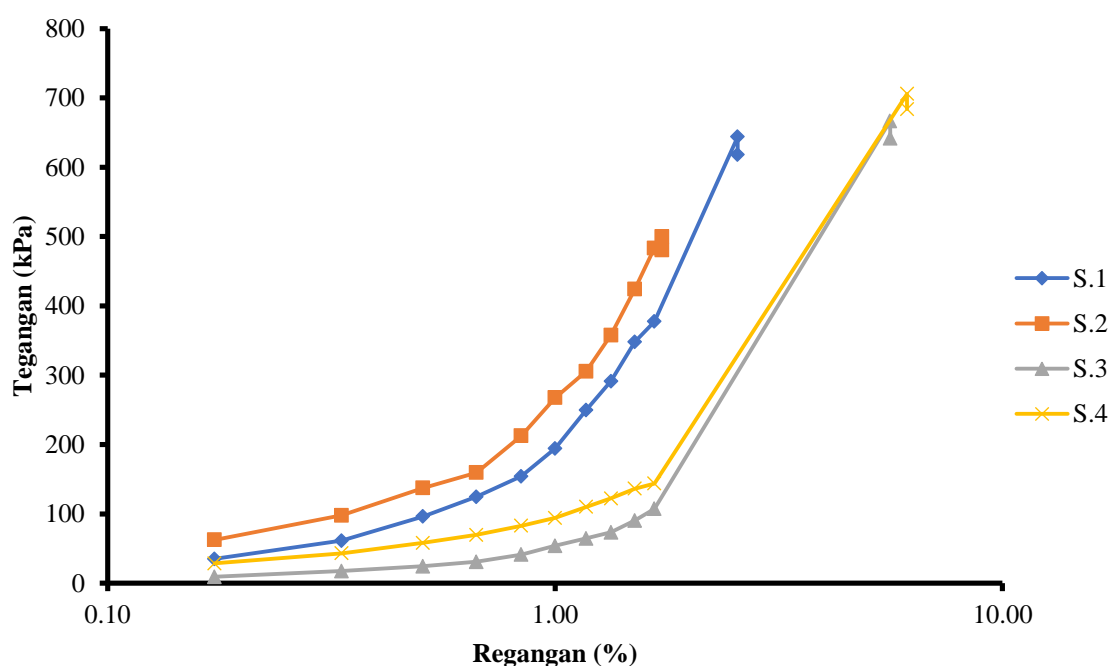
No.	Sampel 1		Sampel 2	
	Tegangan (kPa)	Regangan (%)	Tegangan (kPa)	Regangan (%)
Awal	0.00	0.00	0.00	0.00
0	34.96	0.17	62.52	0.17
1	61.35	0.33	97.81	0.33
2	96.30	0.51	137.44	0.51
3	124.55	0.67	159.54	0.67
4	154.08	0.84	212.52	0.84
5	194.30	1.00	267.49	1.00
6	249.66	1.17	305.71	1.17
7	291.23	1.33	357.77	1.33
8	348.12	1.51	424.22	1.51
9	377.49	1.67	483.40	1.67
Puncak	643.73	2.56	500.11	1.73
Akhir	617.96	2.56	480.56	1.73

Tabel 4.10 Data nilai tegangan dan regangan sampel 3 dan sampel 4

No.	Sampel 3		Sampel 4	
	Tegangan (kPa)	Regangan (%)	Tegangan (kPa)	Regangan (%)
Awal	0.00	0.00	0.00	0.00
0	9.25	0.17	28.55	0.17
1	17.49	0.33	43.20	0.33
2	24.46	0.51	58.11	0.51
3	30.80	0.67	69.62	0.67

Tabel 4.10 (Lanjutan)

4	41.23	0.84	82.96	0.84
5	53.96	1.00	94.27	1.00
6	64.71	1.17	110.20	1.17
7	73.31	1.33	122.23	1.33
8	90.45	1.51	136.33	1.51
9	107.22	1.67	143.78	1.67
Puncak	666.43	5.60	705.67	6.12
Akhir	641.84	5.61	683.89	6.12



Gambar 4.8 Grafik hubungan tegangan dan regangan setiap sampel

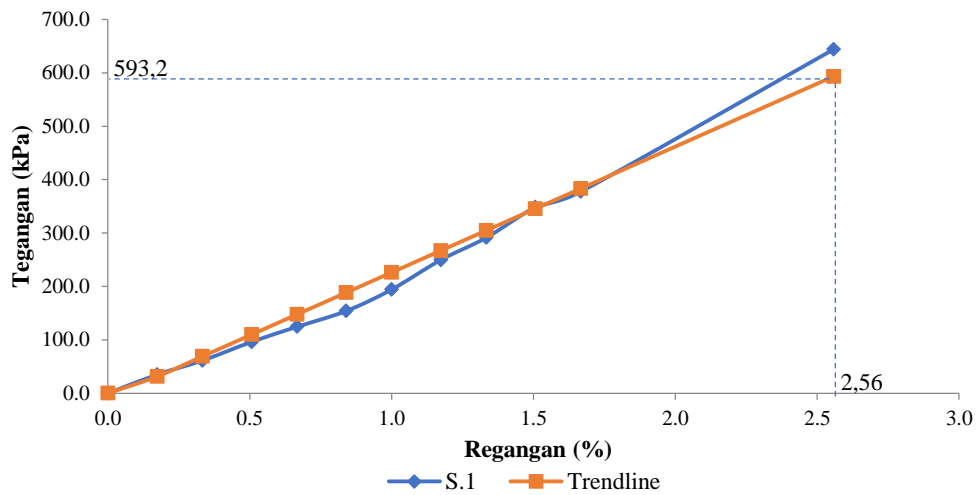
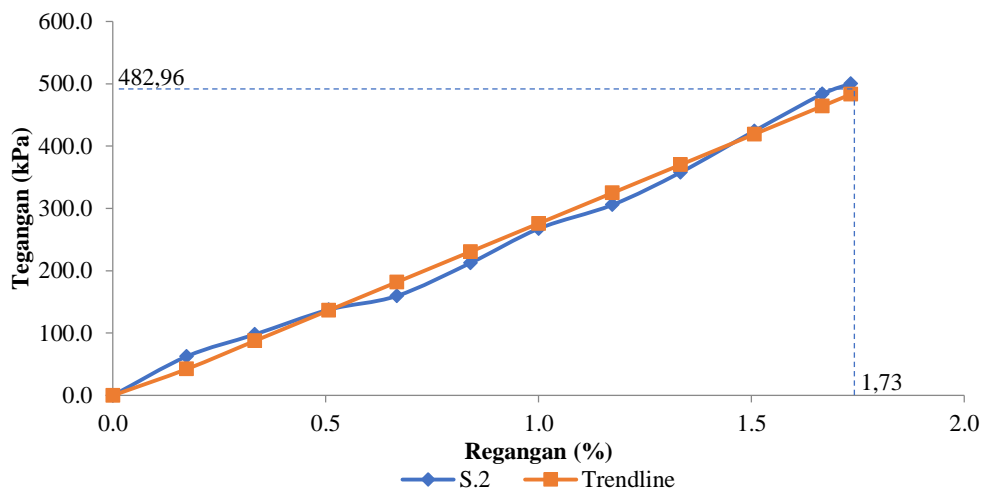
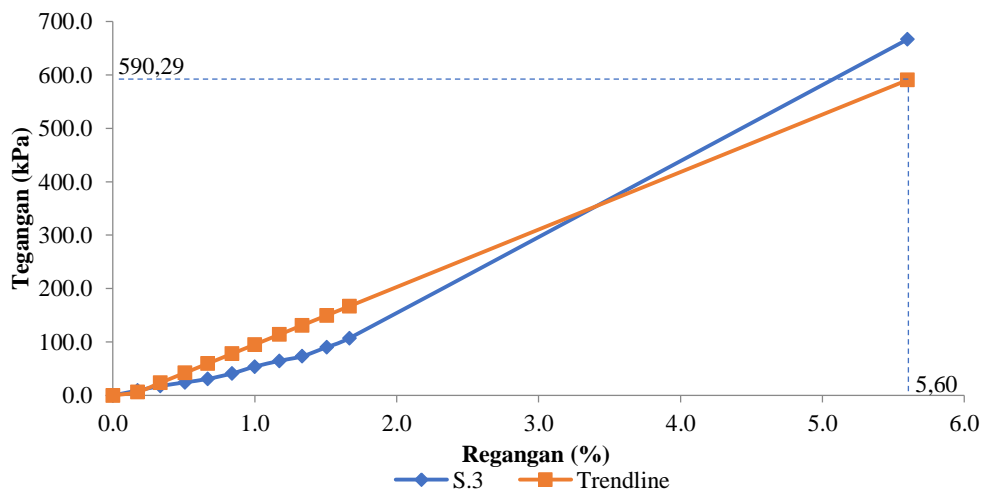
Dari Gambar 4.8 dapat dilihat nilai tegangan dan regangan yang dihasilkan pada sampel 2 yakni balas modifikasi aspal. Tegangan yang dapat ditumpu pada sampel ini mempunyai nilai paling tinggi dengan nilai regangan yang rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pencampuran aspal pada suatu sampel membuat sifat kaku dan kuat.

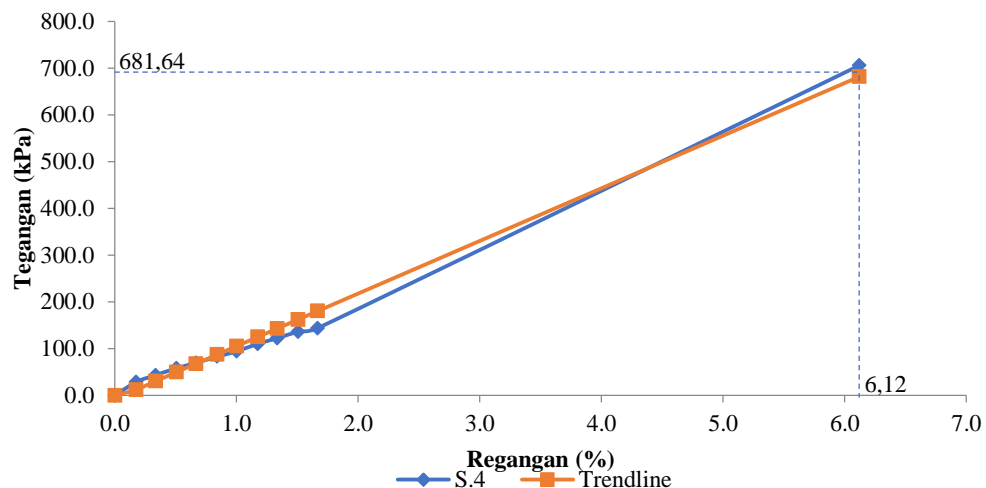
Berbeda dengan sampel 3 yang menggambarkan nilai tegangan yang rendah serta nilai regangan yang tinggi. Keadaan seperti ini menunjukkan perilaku sampel 3 yang elastis. Kondisi elastis disebabkan modifikasinya menggunakan karet ban bekas. Buruknya nilai kepadatan yang dimiliki juga

merupakan faktor utama yang mempengaruhi besarnya nilai regangan. Pada sampel 4, yakni balas modifikasi karet dan aspal menunjukkan perilaku yang lebih baik. Penambahan aspal kembali membuktikan dapat meningkatkan kekakuan dengan menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dan regangan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan sampel 3.

Tegangan dan regangan telah diidentifikasi pada masing-masing sampel. Parameter yang menunjukkan tingkat kekakuan adalah dengan nilai modulus elastisitas (E). Modulus elastisitas merupakan nilai suatu bahan pada kondisi elastis. Nilai tersebut didapatkan dari perbaikan garis menggunakan *trendline*. Hal ini dilakukan karena pembebanan sebanyak 3 Ton pada setiap sampel, menghasilkan nilai tegangan dan regangan yang semakin tinggi, dan masih memungkinkan untuk sampel menerima beban yang lebih besar. Namun terkendala pada *ballast box* yang tidak mampu menerima desakan dari agregat, apabila ditambahkan beban melebihi 3 Ton. Serta data yang diperoleh dari hasil pengujian kuat tekan, saat digambarkan pada sebuah grafik setiap sampelnya, sulit untuk menentukan kondisi plastis dan elastis. Untuk itu, metode perbaikan garis *trendline* digunakan untuk asumsi sampel masih dalam keadaan elastis hingga tegangan dan regangan puncak.

Perbandingan nilai tegangan dan regangan menghasilkan nilai modulus elastisitas. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas yang dihasilkan, menunjukkan sifat suatu sampel tersebut semakin kaku. Disisi lain, jika diaplikasikan pada keadaan jalur balas yang sebenarnya, tingkat kekakuan yang tinggi, mempengaruhi bertambahnya beban dinamis yang diijinkan (D'Angelo et al., 2016), akan tetapi penggunaannya akan menambah biaya konstruksi yang tidak sedikit, atau bahkan relatif mahal (Setiawan, dkk., 2013).

Gambar 4.9. Penarikan garis *offset* 2% pada sampel 1Gambar 4.10 Penarikan garis *offset* 2% pada sampel 2Gambar 4.11 Penarikan garis *offset* 2% pada sampel 3



Gambar 4.12 Penarikan garis *offset* 2% pada sampel 4

Nilai modulus elastisitas yang pada setiap sampel, disajikan dalam sebuah tabel 4.11.

Tabel 4.11 Nilai modulus elastisitas pada masing-masing sampel

No.	Nama Sampel	Tegangan (kPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (kPa)
1.	Sampel 1	593,20	2,56	23.196
2.	Sampel 2	482,96	1,73	27.87
3.	Sampel 3	590,29	5,60	10.541
4.	Sampel 4	681,64	6,12	11.138

Pada Tabel 4.11 menunjukkan nilai modulus elastisitas tertinggi dihasilkan pada balas modifikasi sampel 2 dimana aspal difungsikan sebagai bahan pengikat antar agregat, sehingga sampel menjadi lebih kaku. Nilai modulus pada sampel 2 menegaskan bahwa aspal mempunyai kemampuan untuk meningkatkan kekakuan pada balas. D'Angelo et al., (2016) pada penelitiannya memaparkan kemampuan balas yang dimodifikasi menggunakan aspal dapat meningkatkan nilai modulus resilien dengan menggunakan metode triaksial. Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan dua metode kuat tekan maupun triaksial, yang menghasilkan nilai modulus resilien ataupun modulus elastisitas pada balas modifikasi aspal meningkat jika dibandingkan dengan campuran balas biasa atau sampel 1.

Hal yang sama terjadi pada sampel 4, dimana aspal dicampurkan pada balas modifikasi karet ban bekas. Nilai modulus elastisitas yang dihasilkan

lebih tinggi jika dibandingkan dengan sampel 3 yang hanya menggunakan karet saja.

Soto et al., (2017) memaparkan dalam penelitian terdahulu yang meninjau kandungan aspal, yakni sifat fisik berupa viskoelastik serta sifat kimiawi yaitu kalsium karbonat. Keduanya sangat berpengaruh terhadap kelekatan aspal jika berbaur dengan agregat alami, sehingga dipastikan balas akan menjadi lebih kompak dan dapat menyebarkan tegangan dengan merata.

Sebaliknya pada sampel 3, nilai modulus menurun secara signifikan pada balas modifikasi karet ban bekas. Sanchez et al., (2015) meninjau modulus kekakuan dalam penelitiannya menggunakan balas modifikasi karet ban bekas, yang hasilnya membuktikan penurunan nilai modulus disebabkan oleh karet ban bekas yang berperan sebagai agregat elastis. Bukan hanya fakta tentang penggunaan karet sebagai agregat elastis yang menjadikan sampel menjadi lebih lentur, namun ketika proses pemadatan dengan tumbukan manual, sampel cenderung memantul sehingga tidak benar-benar memiliki kepadatan yang baik. Kurangnya nilai kepadatan inilah yang mempengaruhi turunnya nilai modulus elastisitas (Signes et al., 2016)