

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemeriksaan Material Campuran

Penelitian pengaruh aspal dan gradasi dari karet ban bekas terhadap karakteristik lapisan balas, membutuhkan data kualitas uji fisik dan meakanik dari material penyusun dari modifikasi balas yang akan digunakan

4.1.1 Agregat

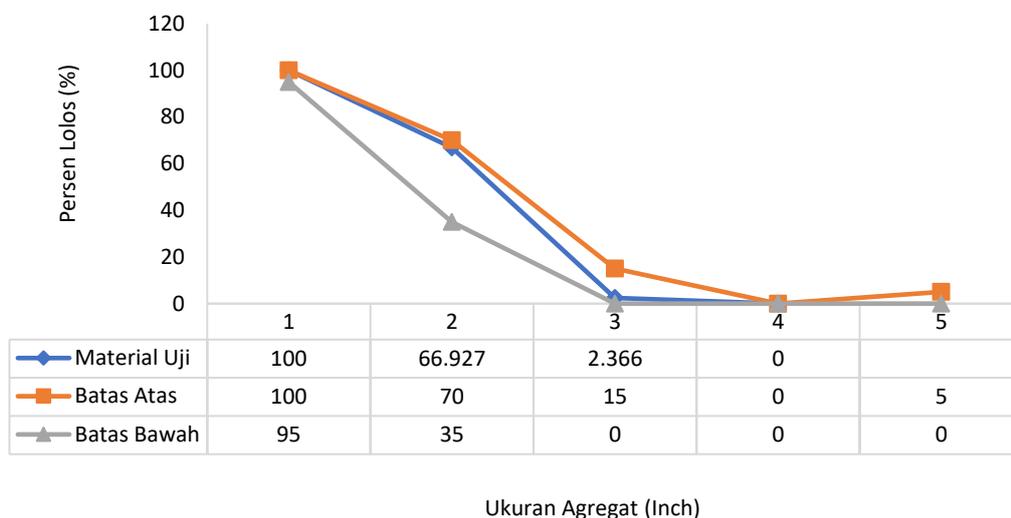
Tahapan awal dari penelitian ini adalah melakukan pemeriksaaan sifat fisis dan mekanis dari agregat. Pengujian hasil laboratorium untuk sifat-sifat agregat memenuhi karakter dari agregat sebagai penyusun lapisan balas pada struktur jalan rel di Indonesia. Hasil pengujian sifat fisis dan mekanis agregat terlihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Dasar Agregat

No	Nama Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi	Satuan	Acuan/Standar
1	Berat Jenis (BJ):				
	a. BJ Bulk	2,65	Min 2,6	-	SNI 1970:2008 dan PM No.60 Tahun 2012
	b. BJ SSD	2,67		-	
	c. BJ Semu	2,71		-	
d. Penyerapan air	0,85	Max 3,0	%		
2	Kadar Lumpur	1,7	0,5	%	SNI 3423:2008 dan PM No.60 Tahun 2012
3	Keausan Agregat	17,3	25	%	SNI 2417:2008 dan PM No.60 Tahun 2012

Selain data pengujian dasar pada agregat yang ditampilkan pada Tabel 4.1. Adapun pengujian analisis saringan untuk mengetahui distribusi ukuran agregat yang digunakan penelitian ini. Jenis batuan yang digunakan ini adalah batu andesit yang diperoleh dari Kecamatan Clereng Kabupaten Kulon Progo. berdasarkan opini yang diperoleh dari pemerintah Kabupaten Kulon Progo, jenis batuan andesit ini

memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 1138,4 kg/cm² dengan tingkat keausan rata-rata 13,5% dan berat jenis rata-rata 2,7. Ukuran agregat berdasarkan analisis saringan berkisar 2" - ³/₄" (25 mm – 60 mm). Hasil analisis saringan disajikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Distribusi Ukuran Agregat

Dari grafik distribusi ukuran agregat (Gambar 4.1) yang mengacu pada persyaratan PD.No.10 tahun 1986 masuk pada kriteria kelas jalan III dan IV, dengan layanan kecepatan kereta api yang diijinkan adalah 100 km/jam dengan tebal balas 30 cm untuk kelas jalan III dan 90 km/jam dengan tebal balas 25 cm untuk kelas jalan IV. Untuk hasil pengujian sifat-sifat agregat selengkapnya terlampir pada laporan ini (Lampiran 1).

4.1.2 Karet Ban Bekas

Untuk penggunaan karet pada struktur jalan khususnya lapisan balas belum memiliki spesifikasi khusus di Indonesia. Pemeriksaan sifat-sifat dari karet seperti nilai berat jenis dan angka penyerapan air harus tetap dilakukan guna mengetahui pengaruh karet terhadap campuran modifikasi balas. Hasil contoh uji dari karet disajikan pada Tabel 4.2 dan untuk hasil contoh uji selengkapnya terlampir pada laporan ini (Lampiran 2).

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Dasar Karet Ban bekas

No	Nama Pengujian	Hasil Pengujian	Satuan
1	Berat Jenis (BJ):		
	a. BJ Bulk	2,64	-
	b. BJ SSD	2,66	-
	c. BJ Semu	2,7	-
2	Penyerapan Air	0,85	%

4.1.3 Aspal Penetrasi 60/70

Dalam penelitian ini, Aspal penetrasi 60/70 berfungsi sebagai bahan pengikat campuran modifikasi balas. Sama seperti karet, aspal belum memiliki persyaratan khusus untuk digunakan sebagai bahan penyusun lapisan balas pada struktur jalan rel di Indonesia. Pemeriksaan sifat-sifat aspal yang sesuai dengan standar (SNI) perlu dilakukan guna mengetahui pengaruh aspal terhadap campuran. Hasil pengujian dasar pada aspal ditunjukkan pada Tabel 4.3. Untuk hasil pengujian yang lebih terperinci terlampir pada laporan ini (Lampiran 3).

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Dasar Aspal

No	Nama Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi	Satuan	Acuan/Standar
1	Penetrasi Aspal	63,4	60 – 70	0.1 mm	SNI 06-2456-1991
2	Titik Lembek	48,5	≥ 48	$^{\circ}\text{C}$	SNI 2434:2011
3	Berat Jenis	1,043	≥ 1.0	-	SNI 2441:2011
4	Daktilitas	147	≥ 100	Cm	SNI 2432:2011
5	Kehilangan Minyak	0,39	≤ 0.8	%	SNI 06-2441-1991

4.1.4 Karakteristik Campuran Modifikasi Balas

Penelitian ini memiliki tiga (3) jenis campuran yang berbeda. sebagaimana yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, penelitian modifikasi lapisan balas ini menggunakan bahan tambahan seperti aspal dan karet. Jenis-jenis campuran modifikasi balas dapat disajikan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Sampel Uji Modifikasi Balas

No	Jenis Benda Uji	Material Penyusun
1	Sampel I	Balas
2	Sampel II	Balas + Karet (10%)
3	Sampel III	Balas + Karet (10%) + Aspal (2%)

Setelah melakukan proses pencampuran benda uji, pemeriksaan karakteristik campuran dari tiga sampel perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan aspal dan karet pada modifikasi balas. Hasil pemeriksaan tiga sampel uji yang telah dilakukan tersaji pada Tabel 4.5 sebagai berikut.

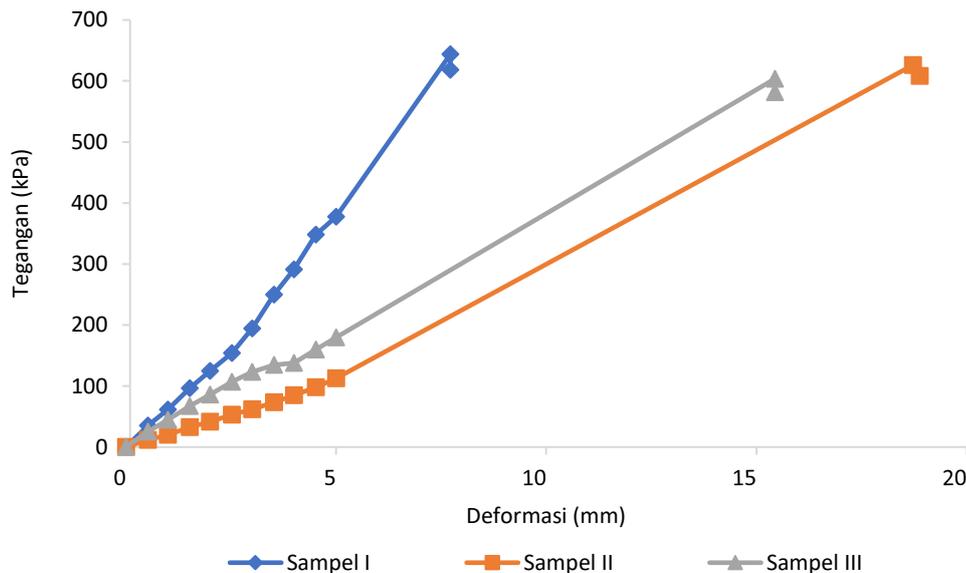
Tabel 4.5 Karakteristik Campuran Modifikasi Balas

No	Jenis Pemeriksaan	Sampel I	Sampel II	Sampel III	Satuan
1	Berat Benda Uji + <i>Box</i>	43980	43600	45500	Gr
2	Berat <i>Box</i>	10250	10200	10250	Gr
3	Berat Benda Uji	33730	33400	35250	Gr
4	Volume <i>Box</i>	24000	24000	24000	cm ³
5	Berat Vol. Benda Uji	1,405	1,392	1,469	gr/cm ³
6	% Karet	-	10	10	%
7	% Aspal	-	-	2	%
8	% Balas	100	90	88	%
9	BJ Rata-Rata Karet Bekas	-	1,14	1,14	-
10	BJ Rata-Rata Aspal	-	-	1,06	-
11	BJ Rata-Rata Balas	2,69	2,69	2,69	-
12	BJ Maks. Teoritis	2,69	2,37	2,31	-
13	Vol. Karet Dalam Campuran	-	12,21	12,88	%
14	Vol. Aspal Dalam Campuran	-	-	2,77	%
15	Vol. Balas Dalam Campuran	52,25	46,56	48,05	%
16	Vol. Pori Dalam Campuran	47,75	41,23	36,30	%
17	Pemadatan	25	25	25	Tmbkn

Dari hasil pemeriksaan tiga sampel uji yang memiliki campuran yang berbeda, menghasilkan besar volume pori (rongga dalam campuran) yang berbeda. Hal ini disebabkan karena banyaknya variabel yang digunakan dalam campuran. Semakin banyak variabel dalam campuran dengan pemadatan yang sama, maka volume pori akan semakin sedikit. Hasil pemeriksaan campuran yang terperinci terlampir dalam laporan ini (Lampiran 4).

4.2 Hasil Pemeriksaan Nilai Deformasi Vertikal Pada Modifikasi Balas

Nilai dari besarnya penurunan atau deformasi vertikal didapatkan dari pembebanan yang terjadi selama pengujian. Besarnya angka penurunan bergantung pada jenis sampel uji yang diberikan pembebanan melalui uji kuat tekan. Hasil dari perbandingan hubungan antara pembebanan dan angka penurunan benda uji tersaji pada Gambar 4.2 sebagai berikut.



Gambar 4.2 Kurva Hubungan Pembebanan dan Deformasi Vertikal

Hasil dari uji kuat tekan pada masing-masing benda uji menunjukkan nilai deformasi vertikal yang bervariasi. Untuk sampel uji I menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi sangat kecil dari sampel uji lainnya dengan nilai penurunan 5 mm pada beban 377,49 kPa. Pada sampel uji II yang ditambahkan karet 10% menghasilkan nilai deformasi vertikal yang paling besar dengan nilai 5 mm pada beban 112,52 kPa, sedangkan untuk sampel uji III yang ditambahkan karet 10% dan aspal 2% pada balas menghasilkan deformasi vertikal sebesar 5 mm dengan beban maksimal 179,326 kPa. Bahan karet yang ditambahkan pada balas menyebabkan pertambahan sifat elastis dari campuran, namun dengan ditambahkan aspal pada campuran karet bekas dan balas dapat meningkatkan kekakuan dari campuran karet bekas dan balas.

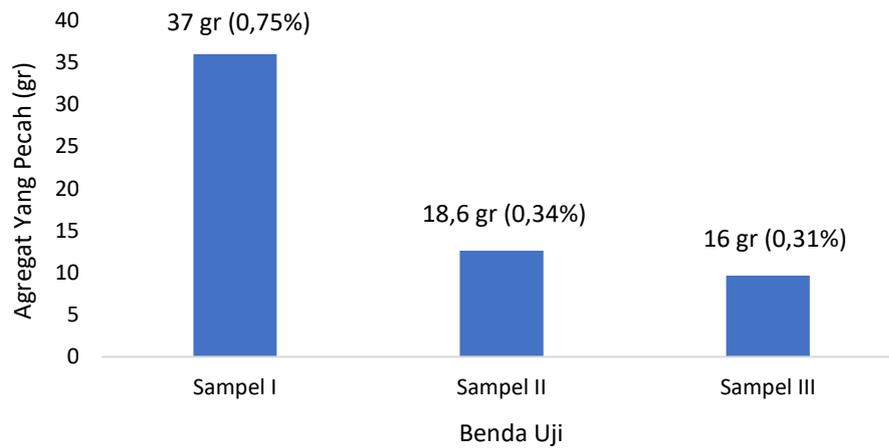
Penggunaan karet dan aspal pada modifikasi balas, menyebabkan perubahan karakteristik deformasi yang meningkat dari balas normal. Sifat elastis

yang dimiliki karet menyebabkan besarnya perubahan bentuk apabila diberi gaya seperti pada sampel II yang telah diuji kuat tekan. Hal ini juga di jelaskan pada penelitian Signes et al. (2015), penggunaan karet bekas dapat meningkatkan deformasi permanen pada lapisan balas maupun sub-balas. Penambahan aspal dapat mengururangi sifat elastis dari karet seperti pada sampel III yang menyebabkan deformasi vertikal yang dihasilkan lebih kecil dari sampel II. Dari hasil yang telah dipaparkan sebelumnya, bahwa aspal memiliki sifat yang dapat meningkatkan kekakuan dari suatu campuran. Penelitian sebelumnya tentang penggunaan bahan bitumen yang dilakukan oleh D'Angelo et al. (2017), menjelaskan bahwa penggunaan bahan bitumen akan mengurangi terjadinya deformasi pada struktur jalan rel.

Penelitian sebelumnya dengan penelitian ini memiliki kesimpulan dan hasil yang sama, yaitu penambahan karet dapat mengurangi kekakuan yang menyebabkan bmeningkatnya nilai deformasi pada benda uji. Untuk bahan bitumen dan sejenisnya, apabila dicampurkan pada campuran benda uji lain akan mengurangi nilai deformasi dan meningkatkan kekakuan.

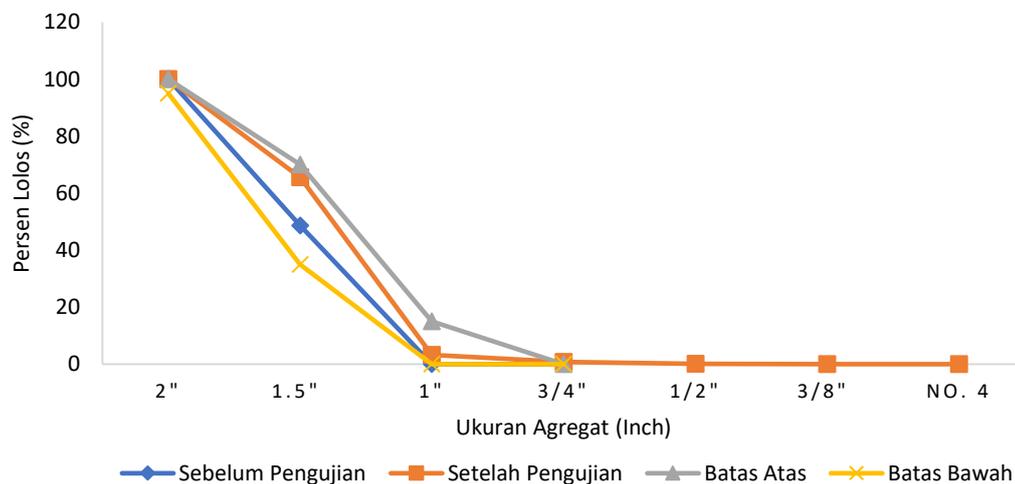
4.3 Nilai Abrasi dan Perubahan Gradasi Agregat Akibat Uji Kuat Tekan

Abrasi merupakan proses yang mengakibatkan suatu material mengalami pengikisan atau kerusakan akibat proses uji kuat tekan laboratorium yang bersifat merusak. Pengujian kuat tekan menyebabkan kerusakan material seperti pecahnya agregat sehingga kualitas dari agregat menurun. Dari tiga jenis sampel uji yang telah melalui proses uji kuat tekan menghasilkan variasi nilai abrasi material yang berbeda-beda seperti yang ada pada Gambar 4.3.

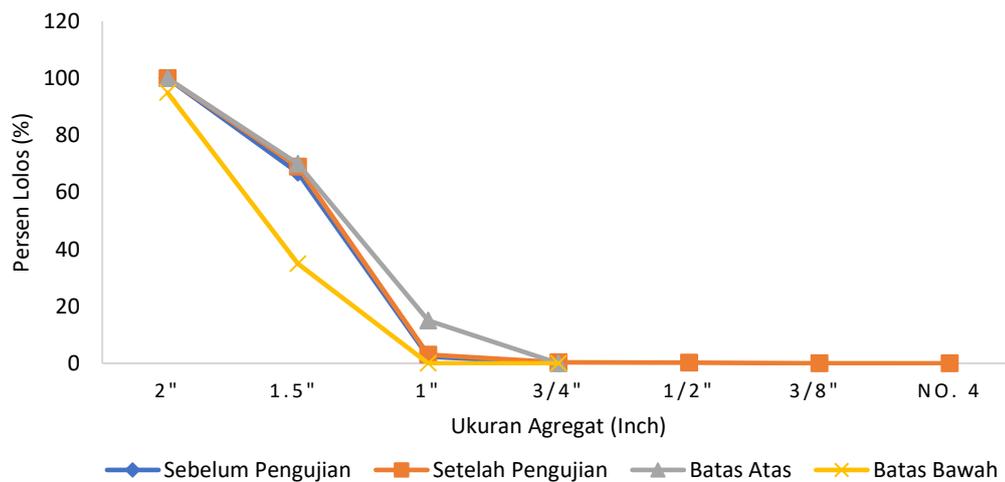


Gambar 4.3 Nilai Abrasi Material Agregat

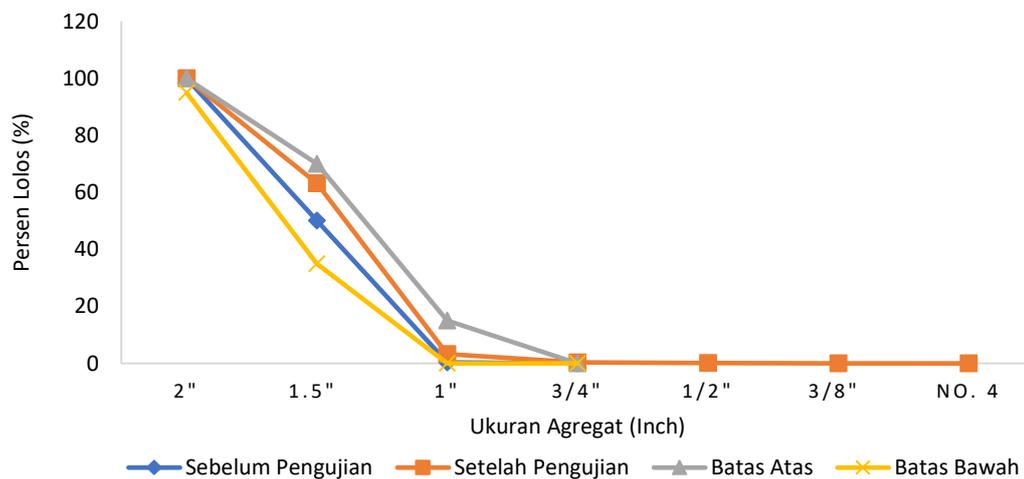
Hasil nilai abrasi diperoleh dengan melakukan pengambilan agregat sebanyak 5000 gr dari berat total masing-masing sampel uji sebelum dan sesudah uji kuat tekan. Adapun hasil pemeriksaan gradasi agregat dari tiga sampel uji akibat proses uji kuat tekan mengalami perubahan. Setelah dilakukan uji kuat tekan, distribusi ukuran agregat pada sampel I (Gambar 4.4), sampel II (Gambar 4.5), dan Sampel III (Gambar 4.6) menghasilkan variasi ukuran agregat menjadi 1¹/₂" - No.4 (4.75 mm – 38 mm).



Gambar 4.4 Gradasi Agregat Sampel I



Gambar 4.5 Gradasi Agregat Sampel II



Gambar 4.6 Gradasi Agregat Sampel III

Berdasarkan hasil nilai abrasi pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa sampel I menghasilkan nilai yang paling besar yaitu 54,4 gr (0,74%). Penambahan karet pada sampel II menghasilkan nilai abrasi yang lebih kecil sebesar 18,6 gr (0,34%), seangkan penambahan aspal dan karet pada sampel III menghasilkan nilai abrasi yang paling kecil sebesar 16 gr (0,31%). Menurunnya nilai abrasi dari sampel II dan III menunjukkan bahwa, penggunaan aspal dan karet dapat mengurangi kerusakan pada material karena sifat elastis dan menghasilkan efek durabilitas yang baik pada campuran modifikasi balas.

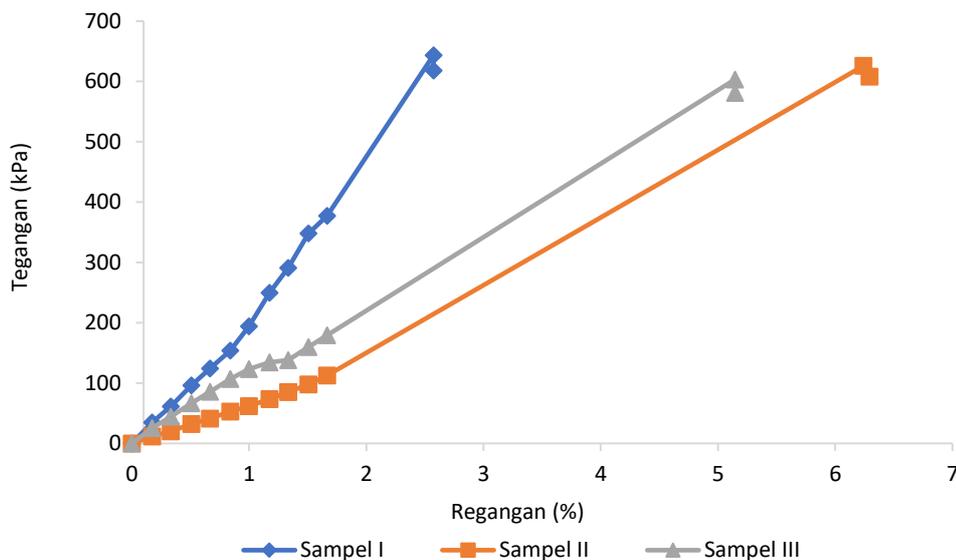
Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Sanchez et al. (2015), memperoleh hasil bahwa penambahan karet pada balas dapat mengurangi partikel balas yang pecah. Pada penggunaan bahan bitumen dan sejenisnya yang dijelaskan D'Angelo et al. (2016) dan Di Mino et al. (2012), bahwa bahan bitumen dapat mengurangi degradasi dari struktur balas maupun sub-balas. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan karet bekas dan aspal pada balas dapat mengurangi kerusakan yang terjadi dari material agregat.

4.4 Nilai Modulus Elastisitas

Hasil dari uji tekan modifikasi balas adalah besar beban yang diterima benda uji, tegangan, regangan dan deformasi vertikal. Hubungan tegangan dan regangan yang disusun sebagai kurva ini dapat menentukan nilai berupa modulus elastisitas. Data tegangan dan regangan dari uji tekan pada tiga jenis sampel ditunjukkan pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.7.

Tabel 4.6 Tegangan dan Regangan dari pengujian tekan

No	Sampel I		Sampel II		Sampel III	
	Tegangan (kPa)	Regangan (%)	Tegangan (kPa)	Regangan (%)	Tegangan (kPa)	Regangan (%)
Awal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0	15,43	0,17	11,45	0,17	25,24	0,17
1	30,08	0,33	20,14	0,33	44,31	0,33
2	56,11	0,51	32,34	0,51	66,84	0,51
3	91,30	0,67	41,33	0,67	85,80	0,67
4	148,10	0,84	53,10	0,84	106,60	0,84
5	209,87	1,00	61,70	1,00	123,25	1,00
6	274,81	1,17	73,54	1,17	134,63	1,17
7	336,06	1,33	85,09	1,33	137,90	1,33
8	381,25	1,51	98,03	1,51	159,80	1,51
9	431,84	1,67	112,52	1,67	179,33	1,67
Puncak	681,34	2,29	625,94	6,24	603,54	5,15
Akhir	679,77	2,31	608,29	6,29	581,14	5,15



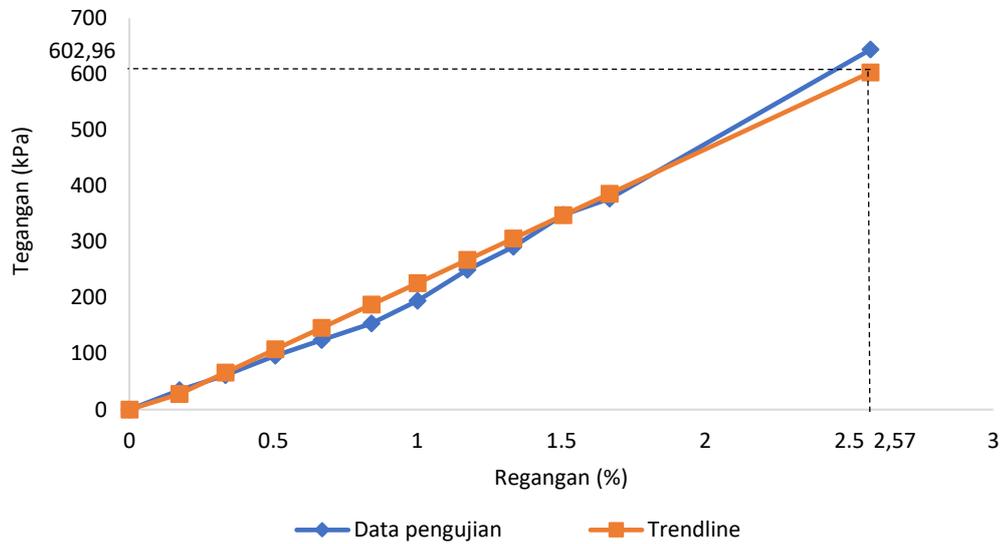
Gambar 4.7 Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan

Berdasarkan data pengujian yang ditampilkan melalui Tabel 4.6 dan Gambar 4.7 di atas, terdapat perbedaan perubahan tegangan dan regangan yang dialami oleh tiga sampel benda uji. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan Karet pada sampel II dan karet + aspal pada sampel III yang memiliki sifat elastis yang berbeda-beda, sehingga perubahan tegangan dan regangan saat proses penekanan akan berbeda sesuai dengan jenis campuran yang ada pada balas.

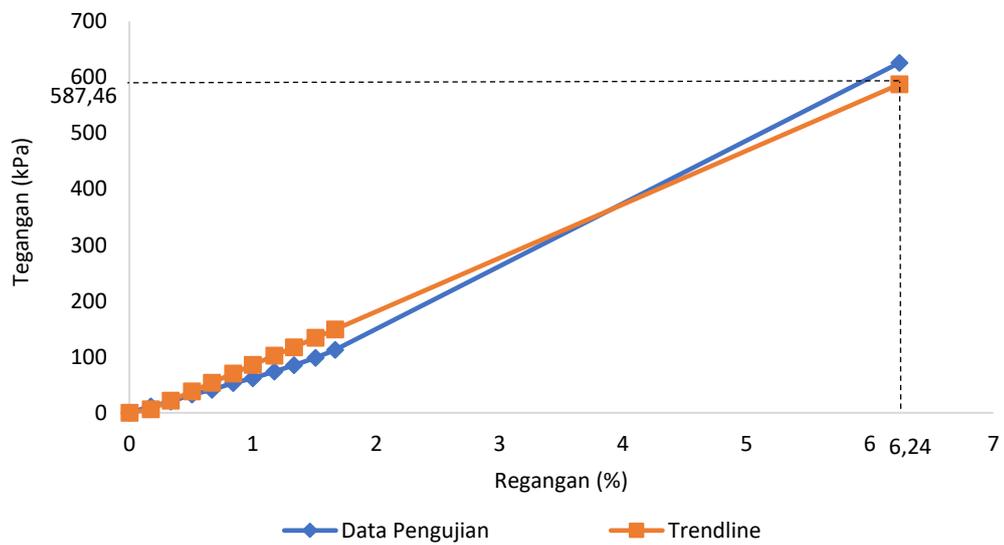
Modulus elastisitas adalah nilai untuk mengukur sifat kekerasan (*stiffnes*) atau ketahanan dari bahan/material dalam mengalami deformasi. Nilai modulus elastisitas dalam penelitian ini diperoleh dengan melakukan pendekatan atau koreksi menggunakan *trendline* dari kurva tegangan-regangan, salah satu fungsi dari *trendline* ini dapat digunakan untuk mengkonversi dari suatu bilangan ke bilangan lainnya secara linear dengan persamaan matematis yang muncul dari bilangan-bilangan non-linier. Penggunaan *trendline* ini bertujuan untuk membentuk kurva linear sehingga kemiringan batas elastis dari kurva hubungan tegangan-regangan dapat terlihat dari setiap sampel uji.

Koreksi garis eksisting dengan menggunakan *trendline*, menghasilkan tegangan leleh sebesar 602,96 kPa dan regangan leleh sebesar 2,57% pada sampel I (terlihat pada Gambar 4.8). Sampel II didapatkan tegangan leleh sebesar 587,46 kPa dan regangan leleh sebesar 6,24% (terlihat pada Gambar 4.9). dan untuk sampel

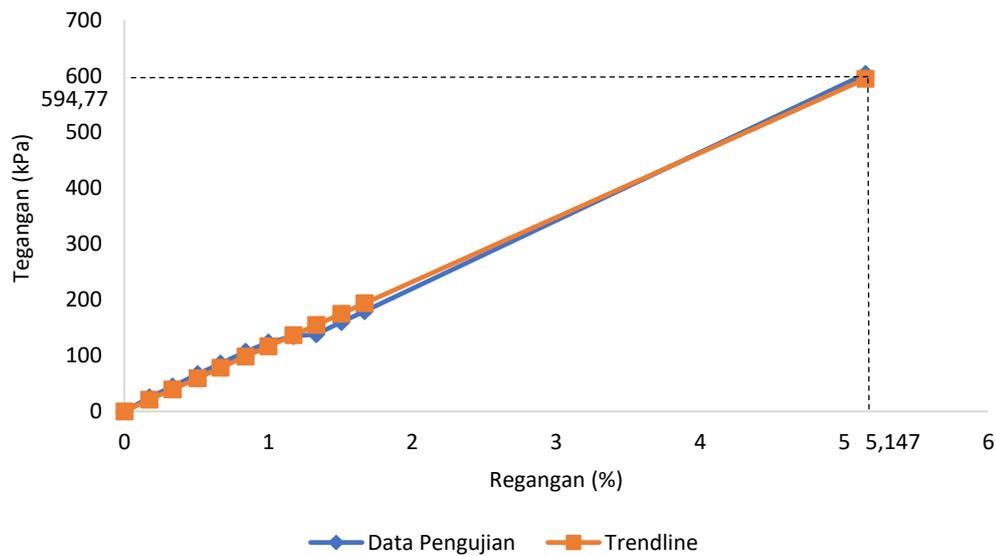
III diperoleh tegangan leleh sebesar 594,78 kPa dan regangan leleh sebesar 5,15% (terlihat pada Gambar 4.10).



Gambar 4.8 Hasil Penggunaan *Trendline* pada Sampel I



Gambar 4.9 Hasil Penggunaan *Trendline* pada Sampel II



Gambar 4.10 Hasil Penggunaan *Trendline* pada Sampel III

Dikarenakan keterbatasan dari kemampuan alat uji kuat tekan dalam membaca pertambahan tegangan dan regangan yang dialami sampel uji, menyebabkan sulitnya menentukan daerah elastis maupun daerah plastis pada kurva yang tidak terlihat jelas *slope* (kemiringan linier kurva pada tahap awal) dari hubungan tegangan dan regangan karena hanya tersedia 9 pembacaan dan penentuan beban pengujian 3000kg akibat kapasitas *box* benda uji yang tidak mampu menahan desakan dari campuran akibat proses pembebanan apabila melebihi 3000kg. Pada beban yang diberikan 3000kg menyebabkan sulitnya menentukan batas elastis dan plastis pada kurva, sehingga masih terdapat kemungkinan setiap sampel mampu menerima tegangan lebih besar dan pembacaan kurva tegangan-regangan dapat bertambah. Dengan adanya keterbatasan tersebut, kurva hubungan tegangan-regangan dikoreksi dengan menggunakan *trendline* untuk menghasilkan tegangan dan regangan elastis sehingga kurva tegangan-regangan diasumsikan dalam kondisi elastis yang linier.

Hasil dari nilai modulus elastisitas berdasarkan penggunaan *trendline* sebagai garis koreksi kurva eksisting dari tiga sampel disajikan pada Tabel 4.7 sebagai berikut.

Tabel 4.7 Nilai Modulus Elastisitas Sampel Uji

No	Benda Uji	Stress (kPa)	Strain (%)	E (kPa)	E (MPa)
1	Sampel I	602,96	2,57	23431,56	23,43
2	Sampel II	587,46	6,24	9414,44	9,41
3	Sampel III	594,78	5,15	11556,45	11,56

Nilai modulus elastisitas dari tiga sampel benda uji sangat sukar ditemukan, hal ini disebabkan karena sulitnya menentukan tegangan puncak elastis (leleh) dari kurva tegangan dan regangan. Pada Tabel 4.7 menunjukkan sampel II dengan adanya karet 10% menghasilkan nilai modulus elastisitas yang kecil dengan hasil 9,41 MPa. dibandingkan dengan balas non-modifikasi pada sampel I dengan hasil 23,43 MPa. Namun untuk hasil dari sampel III, penambahan karet sebanyak 10%, dan aspal sebanyak 2% hanya dapat meningkatkan kekakuan dari sampel II dengan nilai modulus sebesar 11,56 MPa. Namun, hasil modifikasi balas dari sampel II dan III menjelaskan bahwa nilai kekakuan material mengalami penurunan dibandingkan dengan balas non-modifikasi pada sampel I.

Penyebab dari sampel II yang mengalami penurunan tingkat kekakuan terjadi dikarenakan karet memiliki sifat elastis yang tinggi, pernyataan tersebut juga didukung dari penelitian penggunaan bahan karet dari Sanchez et al. (2014) dan Signes et al. (2016), yang menegaskan bahwa bahan karet pada agregat akan meningkatkan deformasi dan menurunkan kekakuan akibat karet tersebut. Berbeda dengan sifat aspal yang membantu mengurangi sifat elastik dari karet pada sampel III, nilai kekakuan dari sampel III lebih besar dari sampel II. Hasil tersebut dibuktikan pula pada penelitian sebelumnya oleh D'Angelo et al. (2016), yang menyatakan bahwa penambahan bitumen dapat mengurangi deformasi plastis dan meningkatkan kekakuan. Prilaku balas yang dicampur dengan bitumen salah satunya melalui nilai modulus resillien (M_r) dengan metode uji beban siklik, hasil nilai modulus yang dihasilkan 300-400 MPa untuk penambahan bitumen dan 250-350 MPa tanpa bitumen.

Dari hasil modulus elastisitas pada balas yang dicampur dengan karet bekas mengalami penurunan kekakuan dari balas normal. Penambahan aspal pada campuran balas dan karet dapat meningkatkan kekakuan dan mengurangi sifat elastis yang tinggi dari karet walaupun tidak lebih baik dari balas non-modifikasi, sehingga hasil penelitian ini memiliki kesamaan karakteristik yang dihasilkan meskipun dari pengujian yang berbeda berdasarkan penelitian sebelumnya. Namun, perlu adanya kajian lebih lanjut dari metode yang digunakan dalam menganalisis nilai modulus elastisitas pada modifikasi balas.