

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Pengujian laboratorium untuk meneliti perilaku dari material balas dengan campuran menghasilkan data berdasarkan bahan pencampurannya. Untuk mengetahui kelayakan bahan yang akan dijadikan campuran balas dilakukan pengujian fisik dari balas, aspal, dan karet bekas, agar dapat menghasilkan hasil yang optimal.

4.1.1. Balas

Tahapan penelitian awal dilakukan pengujian terhadap sifat fisis agregat kasar yang akan dijadikan sebagai material balas. Pengujian tersebut untuk memperoleh karakter agregat kasar yang memenuhi spesifikasi. Kelas jalan rel yang digunakan pada penelitian ini adalah jalan rel kelas II. Hasil pengujian terhadap agregat kasar seperti terlihat pada Tabel 4.1.

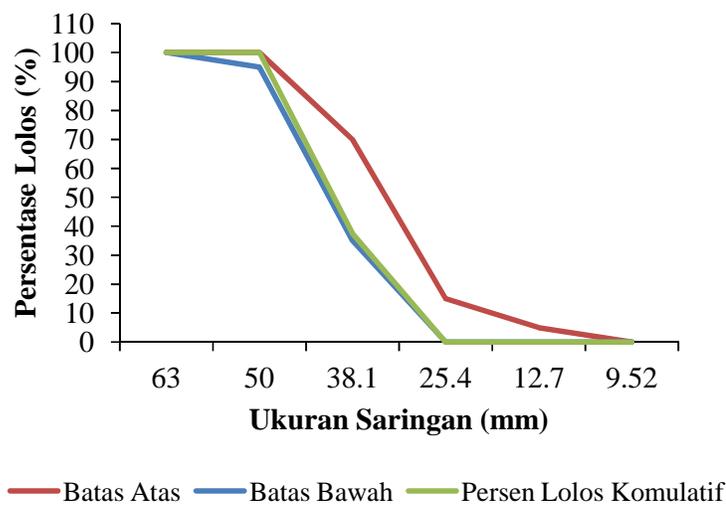
Tabel 4.1 Hasil pengujian dasar agregat kasar

Parameter	Hasil	Spesifikasi
Berat jenis curah kering, S_d	2,65	Min. 2,6
Berat jenis jenuh kering permukaan, S_s	2,67	Min. 2,6
Berat jenis semu, S_a	2,7	Min. 2,6
Penyerapan air, S_w	0.8%	Max. 3 %
Kandungan lumpur	1.8%	Max. 0,5 %
Keausan	17.7%	Max. 25 %

Pada material agregat kasar ini juga dilakukan pengujian analisis saringan. Pengujian tersebut ditujukan untuk memperoleh gradasi butir dari agregat yang memenuhi spesifikasi sebagaimana yang telah dijelaskan pada BAB 3. Dengan pengujian yang telah dilakukan, material agregat kasar termasuk pada material balas kelas 2 yang tergolong batuan granit dengan durabilitas yang tinggi. Hasil pengujian gradasi butir dari agregat seperti dilihat pada Tabel 4.2 dengan distribusi grafik seperti pada Gambar 4.1.

Tabel 4.2 Hasil pengujian gradasi butiran.

Ukuran Saringan (inch)	Massa Tertahan (gram)	Jumlah Tertahan (gram)	Persen kumulatif Tertahan (%)	Persen Komulatif Lewat (gram)	Spesifikasi
3"	0	0	0	100	-
2 ¹ / ₂ "	0	0	0	100	100
2"	0	0	0	100	100-95
1 ¹ / ₂ "	3131	3131	62,5	37,5	35-70
1"	1881,9	5012,9	100	0	0-15
³ / ₄ "	0	0	0	0	-
¹ / ₂ "	0	0	0	0	0-5
³ / ₈ "	0	0	0	0	-
Pan	0	0	0	0	-
Jumlah	5012,9	5012,9	100	100	-



Gambar 4.1 Gradasi butiran agregat kasar

4.1.2. Aspal

Aspal yang digunakan merupakan aspal penetrasi 60/70 seperti pada Gambar 4.2. Aspal yang digunakan merupakan aspal yang biasa dipakai untuk bahan perkerasan jalan yang sudah tersedia di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Kondisi aspal yang telah

mengalami pengujian fisik dan telah memenuhi spesifikasi, memanaskan aspal pada oven selama 4 jam dalam suhu 155 °C.



Gambar 4.2 Aspal

Adapun jumlah persentase penambahan aspal dalam penelitian ini sebesar 2-3 %. Menurut D'Angelo dkk. (2012) persentase penambahan aspal 2-3 % ini dimaksudkan sebagai bahan pengikat dan pengisi antara material balas karet dan persentase aspal untuk stabilisasi pada campuran dingin (*cold mix*). Hasil pengujian fisis aspal pen. 60/70 yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengujian dasar aspal pen. 60/70

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil rata-rata	Spesifikasi		Standar
				Min	Mak	
1	Penetrasi	0,1 mm	63,6	60	70	SNI 06-2456-1991
2	Titik Lembek	°C	59,9	48	58	SNI 2434:2011
3	Daktilitas	cm	>100	100	-	SNI 2432:2011
4	Berat Jenis	gr/cm ³	1,05	1,0	-	SNI 2441:2011
5	Kehilangan minyak	% berat	0.39	-	0,4	SNI 06-2440-1991

4.1.3. Karet Bekas

Bahan elastis yang digunakan adalah karet bekas dari roda kendaraan bermotor dengan cara memotongnya menjadi 5 ukuran saringan, yaitu 1", ¾", ½", No. 4, dan 3/8" seperti pada Gambar 4.3. Sehingga karet bekas ini memiliki gradasi, persentase yang digunakan sebesar 10%. Pada karet ban bekas ini dilakukan 2 pengujian yaitu analisis saringan dan berat jenis. Berat benda uji

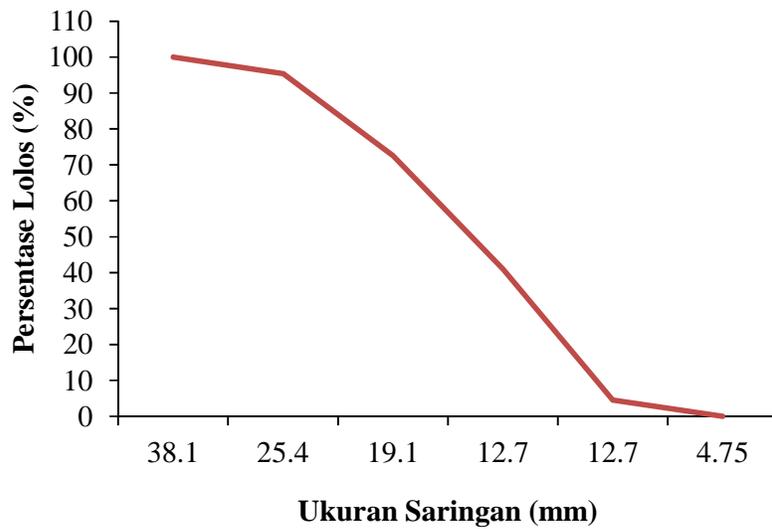
dengan berat masing masing ukuran dengan sebaran analisis saringan ditampilkan pada Tabel 4.4 dan dapat dinyatakan dalam bentuk grafik seperti Gambar 4.4 sedangkan pada pengujian berat jenis ditampilkan pada Tabel 4.5.



Gambar 4.3 Karet bekas dengan berbagai ukuran

Tabel 4. 4 Hasil pengujian analisis saringan karet bekas

Ukuran Saringan (inch)	Massa Tertahan (gram)	Jumlah Tertahan (gram)	Persen komulatif Tertahan (%)	Persen Komulatif Lewat (gram)
1 1/2"	0	0	0	100
1"	194,1	194,1	0	95.4
3/4"	955,5	1149.6	4.6	72.6
1/2"	1330,6	2480.2	27.4	41.0
3/8"	1530,2	4010.4	59.0	4.5
No. 4	190,4	4200.8	95.5	0
Pan	0	0	100	0
Jumlah	4200.8	4200.8	100	100



Gambar 4.4 Grafik gradasi karet bekas

Tabel 4.5 Hasil pengujian dasar berat jenis karet ban bekas

No.	Pengujian	Hasil
1	Berat jenis	
	BJ Bulk	2,64
	BJ SSD	2,66
	BJ Semu	2,7
2	Penyerapan	0.85 %

4.2. Pembahasan

Penelitian ini melakukan pengujian terhadap beberapa benda uji, pada setiap benda uji memiliki campuran yang berbeda-beda. Dengan menggunakan bahan campuran berupa karet bekas dan aspal. Benda uji penelitian disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Sampel penelitian

No.	Benda Uji	Keterangan
1.	Balas	Benda Uji 1
2.	Balas + Karet	Benda Uji 2
3.	Balas + Aspal	Benda Uji 3
4.	Balas+ Karet + Aspal	Benda Uji 4

Sebelum dilakukan pengujian tekan, setiap sampel mempunyai karakteristik campuran dikarenakan bahan yang digunakan sebagai campuran pada tiap sampel berbeda. Nilai karakteristik campuran dirangkum pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Karakteristik campuran

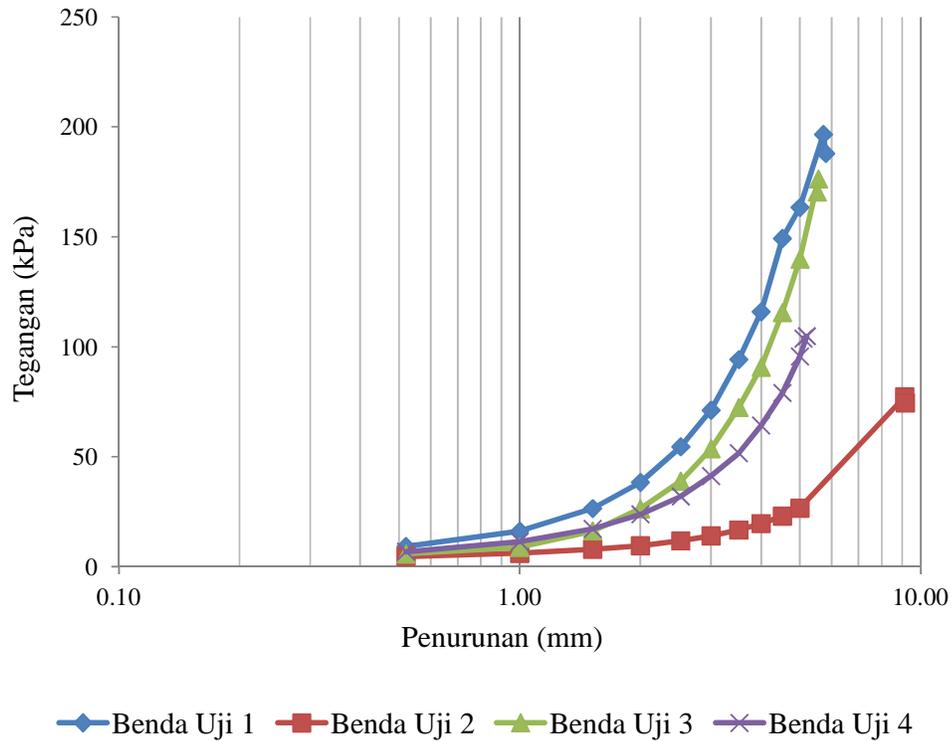
No.	Jenis Pemeriksaan	Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 3	Benda Uji 4	Satuan
1	Berat Benda Uji + Box	48400	44650	46100	48300	gr
2	Berat Box	10250	10200	10250	10250	gr
3	Berat Benda Uji	38150	34450	35850	38050	gr
4	Volume Box	24000	24000	24000	24000	cm ³
5	Berat Vol. Benda Uji	1.590	1.435	1.494	1.585	gr/cm ³
6	% Karet Bekas yang digunakan	-	10	10	10	%
7	% Aspal	-	-	3	3	%
8	% Balas yang digunakan	100	90	87	87	%
9	BJ Karet Bekas	-	1.14	1.14	1.14	-
10	BJ Aspal	-	-	1.06	1.06	-
11	BJ Balas	2.69	2.69	2.69	2.69	-
12	BJ Maks Teoritis	2.69	2.37	2.28	2.28	-
13	Vol. Karet Dalam Campuran	-	12.21	13.10	13.91	%
14	Vol. Aspal Dalam Campuran	-	-	4.23	4.49	%
15	Vol. Balas Dalam Campuran	52.25	46.56	48.31	51.28	%
16	Vol. Pori Dalam Campuran	47.75	41.23	34.36	30.33	%
17	Pemadatan	50	50	50	50	Tumbukan

Pada masing masing sampel yang telah diketahui karakteristiknya, kemudian diletakkan pada mesin uji tekan yang akan menghasilkan beberapa parameter yakni *force* (gaya), *stress* (tegangan), *strain* (regangan), dan *elongation* (perubahan panjang / dalam tinggi).

4.2.1. Pengaruh balas dengan campuran terhadap deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk dari segi ukuran dari suatu sampel setelah mengalami pemberian beban atau pengujian. Pada pengujian kali ini nilai deformasi pada setiap sampel didapatkan dari suatu grafik hubungan antara

tegangan dan penurunan, dalam grafik ini juga dapat diidentifikasi perubahan tinggi suatu sampel pada pembebanan tertentu. Grafik hubungan antara tegangan dan penurunan disajikan pada Gambar 4.5, sedangkan nilai penurunan maksimal disajikan pada Tabel 4.8.



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara pembebanan dan penurunan

Tabel 4.8 Nilai penurunan maksimal

Benda Uji	Penurunan (mm)	Tegangan (kPa)
1	5,72	196,60
2	9,12	77,27
3	5,56	176,29
4	5,20	104,80

Dari Gambar 4.5 dan Tabel 4.8 dapat diketahui bahwa benda uji 2 yakni campuran balas dengan karet ban mempunyai nilai deformasi yang paling tinggi walaupun tegangan yang bekerja pada sampel tersebut relatif rendah. Penambahan material karet bekas sebanyak 10 % dari berat total sangat berpengaruh terhadap nilai deformasi pada benda uji 2. Pada dasarnya material karet bekas memberikan

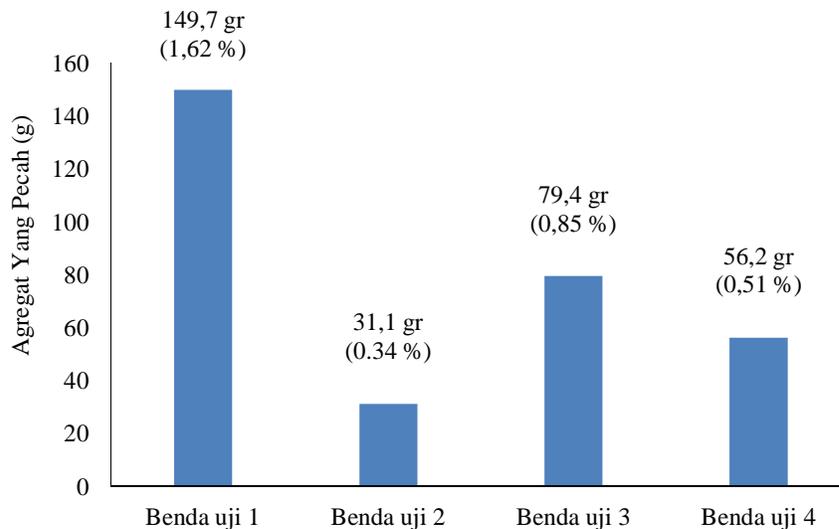
sifat elastis pada campuran, hal ini sekaligus membuktikan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sanchez dkk. (2014), bahwa penambahan material karet dalam persentase tertentu dapat meingkatkan sifat elastis dari lapisan balas.

Sebaliknya, pada benda uji 3 mengalami penurunan nilai deformasi dibandingkan dengan benda uji 2, perilaku aspal yang ditambahkan pada lapisan balas ditujukan sebagai bahan pengikat pada setiap materialnya, sekaligus membuktikan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh D'Angelo dkk. (2017), bahwa penambahan material aspal yang memiliki sifat emulsi dapat menurunkan nilai deformasi karena dipengaruhi oleh persentase dan kekentalan aspal tersebut.

Keadaan yang sama juga ditunjukkan pada benda uji 4 dimana penambahan aspal dan karet bekas menjadikan campuran memiliki sifat elastis yang terikat sehingga dapat mencegah penurunan deformasi yang signifikan.

4.2.2. Pengaruh balas dengan campuran terhadap gradasi

Pada penelitian balas dengan penambahan campuran ini diharapkan meningkatkan ketahanan material balas. Faktor yang mempengaruhi ketahanan agregat pada penelitian kali ini adalah dengan diperlakukannya penumbukan 50 kali per layer dan pengujian tekan pada sampel. Distribusi material tiap sampel disajikan pada Lampiran, adapun persen agregat yang mengalami kerusakan dibawah saringan nomor $\frac{3}{4}$ " disajikan pada Gambar 4.6.

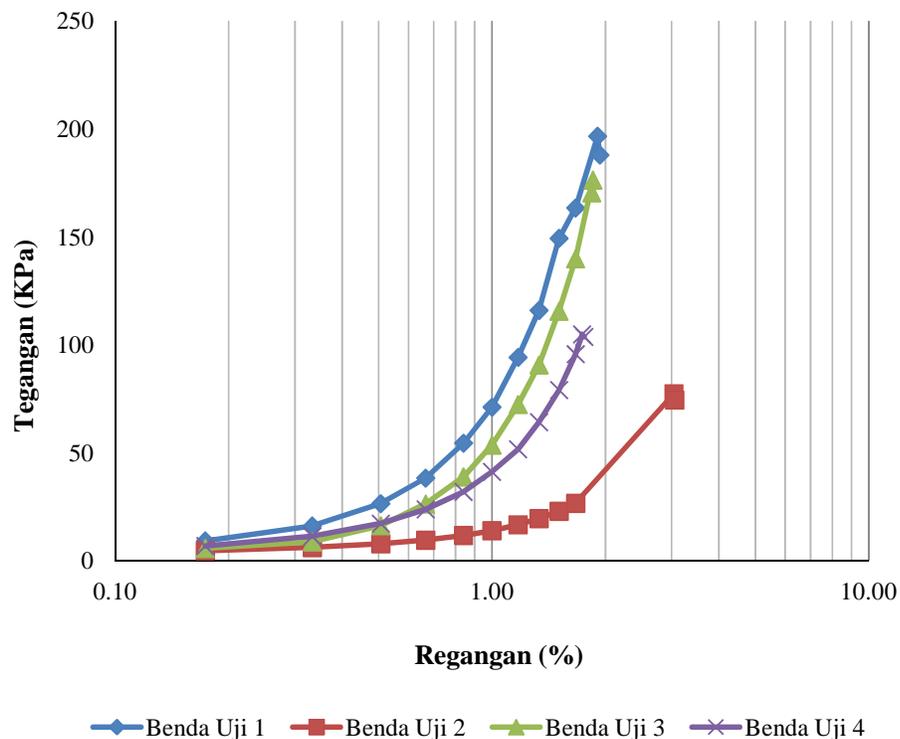


Gambar 4.6 Grafik sebaran agregat terabrasi

Pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa secara keseluruhan material balas yang ditambahkan material karet bekas, aspal, maupun keduanya dapat meminimalisir angka abrasi material. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa penambahan material karet bekas dan aspal dapat melindungi material balas dari kerusakan akibat adanya kontak yang terjadi antara material pada saat pembebanan terjadi.

4.2.3. Pengaruh balas dengan campuran terhadap modulus elastisitas

Setiap benda uji yang telah melalui pengujian tekan akan menghasilkan nilai tegangan dan regangan. Nilai tegangan dan regangan yang didapatkan kemudian di olah menjadi grafik hubungan antar tanganan regangan yang selanjutnya dapat disebut dengan modulus elastisitas. Adapun nilai tegangan regangan pada setiap benda uji disajikan dalam sebuah grafik pada Gambar 4.7.



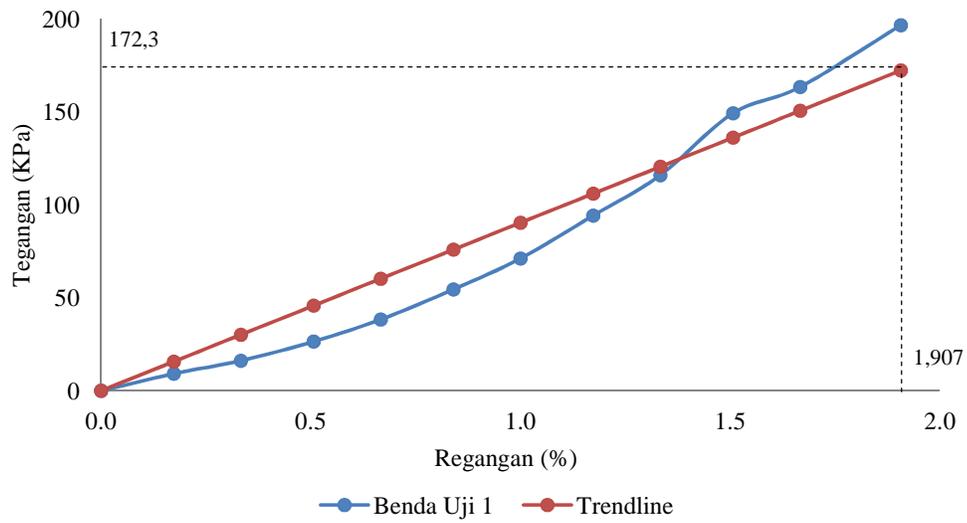
Gambar 4.7 Grafik hubungan antara tegangan dan regangan

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat nilai tegangan regangan yang dihasilkan pada tiap sampel. Pada benda uji 3 hasil menunjukkan bahwa nilai tegangan dan regangan cenderung stabil jika dibandingkan dengan material balas tanpa

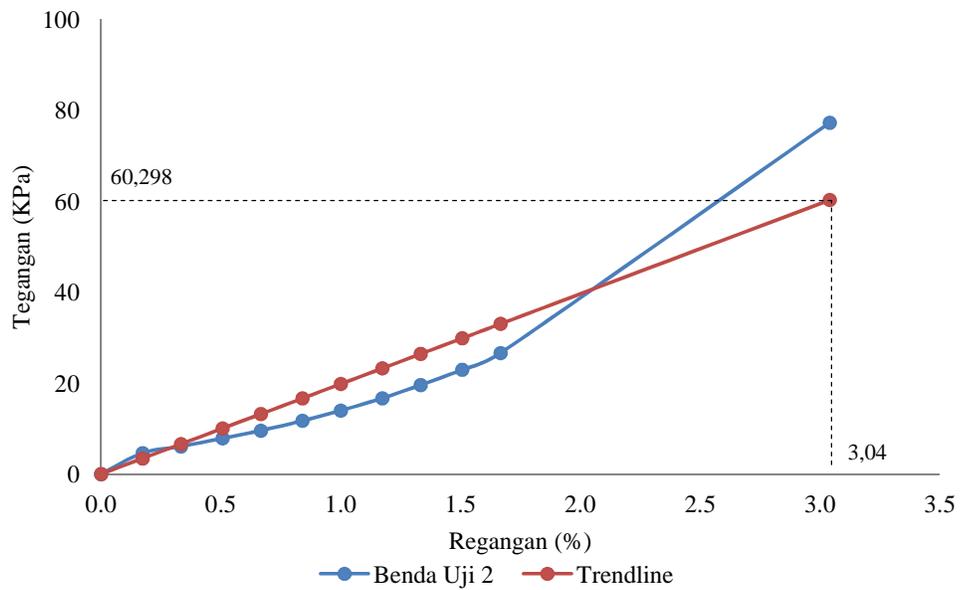
campuran. Penggunaan aspal penetrasi 60/70 memiliki nilai substansi yang cukup tinggi untuk digunakan sebagai perkerasan struktural (Alvarez dkk., 2018). Hal ini juga menunjukkan bahwa material yang dicampurkan dengan aspal memiliki sifat kaku dan kuat.

Berbeda halnya dengan benda uji 2 yang menunjukkan nilai tegangan yang rendah dan nilai regangan yang tinggi. Perilaku ini menunjukkan kondisi campuran material yang elastis, penambahan material karet bekas menjadi faktor utama yang mengakibatkan campuran sampel menjadi elastis. Sedangkan pada benda uji 4 menunjukkan perilaku lebih baik dibanding benda uji 2. Penambahan aspal dan karet bekas membuat campuran benda uji memiliki kekakuan dan elastisitas. Penambahan material karet mengakibatkan menurunnya kekakuan dari struktur balas (Farhan dkk. 2015), kelebihan penambahan karet dapat meningkatkan durabilitas namun dapat menurunkan tingkat kekakuan lapisan balas apabila proporsi yang digunakan melebihi takaran optimalnya. Selain penggunaan karet pada lapisan balas, penggunaan material elastik ini juga digunakan pada struktur bantalan untuk mengurangi keretakan sebesar 80-100% pada bantalan rel akibat distribusi beban yang besar dari rel (Hameed dan Shashikala, 2016).

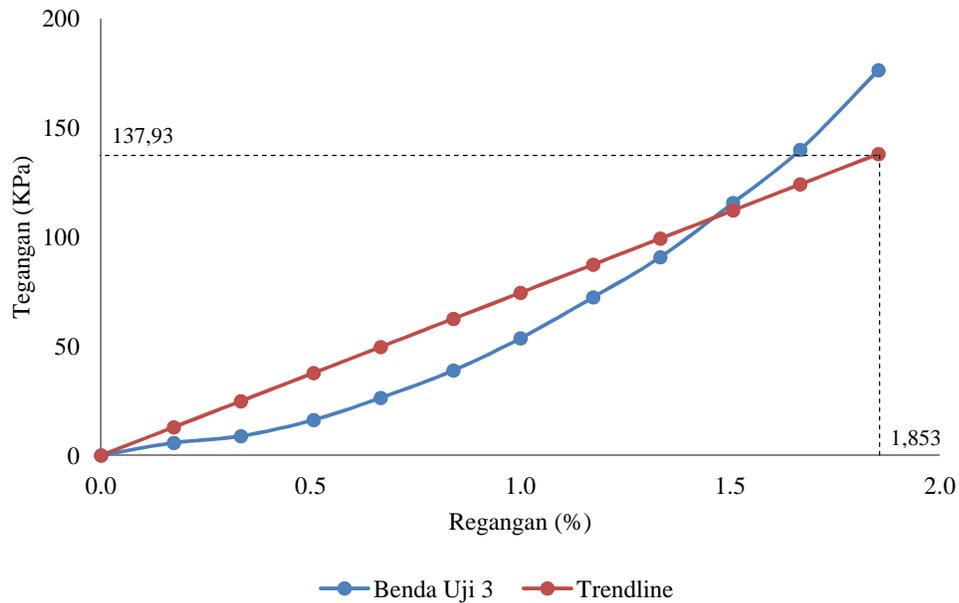
Nilai modulus elastisitas didapatkan dari perbaikan menggunakan *trendline*, hal ini dilakukan karena pembebanan yang dilakukan pada setiap sampel menghasilkan nilai tegangan-regangan yang semakin tinggi dan masih memungkinkan untuk sampel menerima beban yang lebih besar. Namun, kendala dari *box* balas yang tidak mampu menerima beban lebih dari 3 Ton, serta data yang diperoleh dari hasil pengujian kuat tekan cenderung sulit untuk mengetahui kondisi plastis dan elastisnya sehingga digunakannya metode perbaikan menggunakan garis *trendline*. Disisi lain, penggunaan *trendline* ini bertujuan untuk membentuk kurva linear sehingga kemiringan batas elastis dari kurva hubungan tegangan-regangan dapat terlihat dari setiap sampel uji. Hasil penarikan garis *trendline* disajikan pada Gambar dibawah ini.



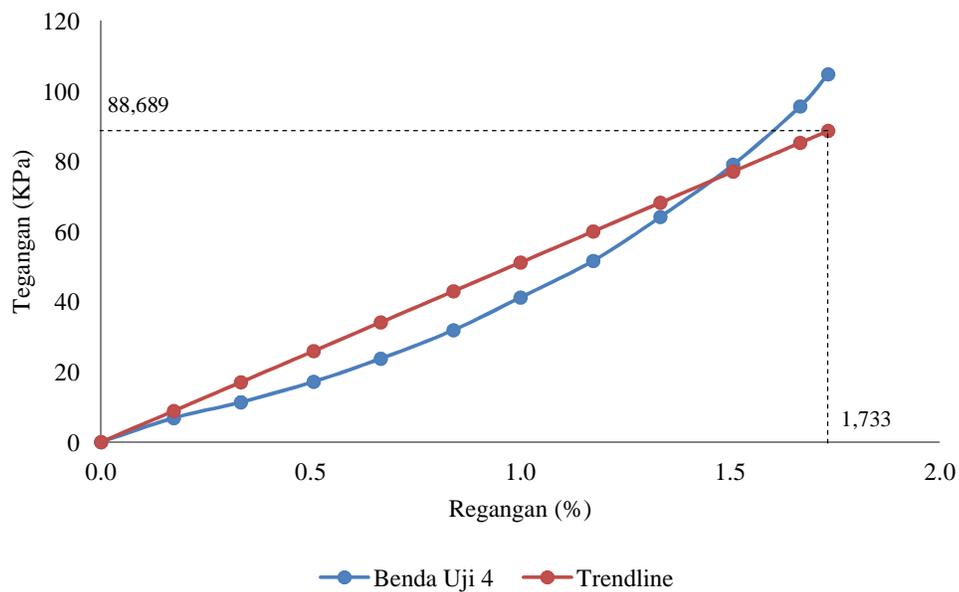
Gambar 4.8 Hasil penarikan garis *trendline* pada benda uji 1



Gambar 4.9 Hasil penarikan garis *trendline* pada benda uji 2



Gambar 4.10 Hasil penarikan garis *trendline* pada benda uji 3



Gambar 4. 11 Hasil penarikan garis *trendline* pada benda uji 4

Nilai modulus elastisitas merupakan nilai suatu bahan atau material pada kondisi yang elastis. Nilai tersebut didapatkan dari hasil pengujian, yang digunakan adalah tarikan garis *trendline*. Apabila nilai modulus elastisitas semakin tinggi maka menunjukkan bahan atau material tersebut mempunyai kekakuan yang tinggi. Apabila diaplikasikan pada jalan rel, tingkat kekakuan yang

tinggi mempengaruhi bertambahnya beban dinamis (D'Angelo dkk., 2016). Penggunaan lapisan yang memiliki tingkat kekakuan yang tinggi (*slab track*) juga menambah biaya untuk pengerjaan konstruksinya namun akan mengurangi biaya perawatannya (Setiawan dkk., 2013). Nilai modulus elastisitas disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Nilai modulus elastisitas pada masing-masing benda uji

Benda Uji	Tegangan (kPa)	Regangan (%)	E (kPa)	E (MPa)
1	172,30	1,91	9035,13	9,04
2	60,30	3,04	1983,49	1,98
3	137,93	1,85	7443,60	7,44
4	88,69	1,73	5116,68	5,12

Pada Tabel 4.9 menunjukkan nilai modulus elastisitas terendah ditunjukkan pada balas dengan campuran karet bekas pada benda uji 2 yaitu sebesar 1,98 MPa, dengan adanya karet bekas menjadikan campuran material ini memiliki sifat elastis namun menurut Signes dkk., (2016), kurangnya nilai kepadatan mempengaruhi turunnya nilai modulus elastisitas. Pada benda uji 4 menunjukkan nilai yang cukup baik dibandingkan dengan benda uji 2 yaitu sebesar 7,44 MPa, adanya penambahan aspal dan karet bekas meningkatkan nilai modulus elastisitas dikarenakan campuran memiliki kepadatan yang cukup.

Sebaliknya pada benda uji 3, nilai modulus elastisitas cenderung mengalami peningkatan dibanding pada benda uji 2 karena aspal memiliki sifat yang mengikat ketika sudah memadat. Menurut Lee dkk. (2014), campuran aspal dengan kombinasi material *crumb rubber* menunjukkan nilai kekakuan yang tinggi, pada saat temperatur standar berdasarkan *modulus dinamic* dan campuran antara aspal dan *crumb rubber* campuran ini mengurangi kemungkinan keretakan dari balas.