

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku dari benda uji berupa balas dengan campuran karet bekas dan campuran aspal, sehingga diperlukan pengujian sifat-sifat fisis dari bahan-bahan yang digunakan terlebih dahulu. Dengan adanya hasil dari pengujian tersebut, diharapkan kita dapat mengetahui kelayakan dari bahan-bahan yang digunakan sehingga penelitian ini bisa dilakukan secara optimal.

##### 4.1.1. Material Balas

Material balas yang digunakan pada penelitian ini terlebih dahulu dilakukan pengujian sifat-sifat fisis dengan hasil yang sudah memenuhi spesifikasi. Kelas jalan rel yang digunakan pada penelitian ini yaitu kelas II. Adapun hasil pengujian terhadap agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pengujian sifat fisis agregat

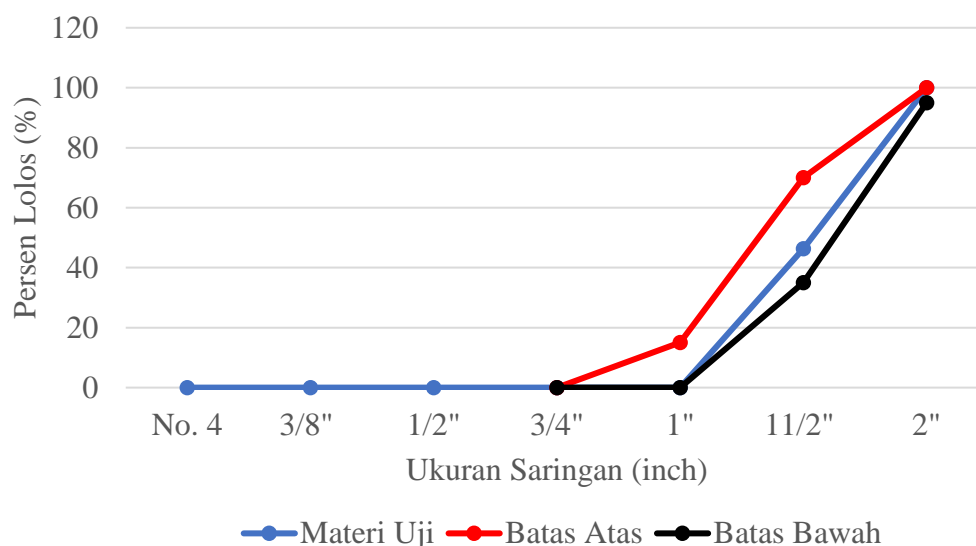
Parameter	Hasil	Spesifikasi	Satuan
Berat jenis curah kering, $S_d$	2,63	Min 2,6	-
Berat jenis jenuh kering permukaan, $S_{sd}$	2,65	Min 2,6	-
Berat jenis semu, $S_a$	2,69	Min 2,6	-
Penyerapan air, $S_w$	0.8	Max 3,0	%
Kandungan lumpur	2,2	Max 0,5	%
Keausan	17.3	Max 25	%

Pada Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian dasar yang dilakukan untuk mendapatkan material agregat yang sesuai standar spesifikasi struktur jalan rel di Indonesia yaitu berat jenis, kadar lumpur, dan keausan agregat. Untuk semua pengujian berat jenis dan penyerapan air, hasil yang didapatkan sudah memenuhi standar spesifikasi yang ada yaitu minimal 2,6 untuk berat jenis dan maksimal 3% untuk penyerapan air. Kemudian hasil uji kadar lumpur yang didapatkan tidak memenuhi standar spesifikasi yaitu maksimal 0,5%, hal ini dipengaruhi oleh kondisi agregat yang sangat kotor ketika diambil langsung dari daerah Clereng dan juga pembersihan agregat yang tidak merata. Selanjutnya pada pengujian keausan agregat didapatkan hasil yang sudah memenuhi standar spesifikasi yaitu maksimal 25%.

Pada material agregat kasar ini juga dilakukan pengujian analisis saringan. Pengujian tersebut ditujukan untuk memperoleh gradasi butir dari agregat yang memenuhi spesifikasi sesuai PD No.10 Tahun 1986. Hasil pengujian gradasi butir dari agregat dapat dilihat pada Tabel 4.2 dengan distribusi grafik seperti pada Gambar 4.1.

Tabel 4.2 Hasil pengujian analisis saringan

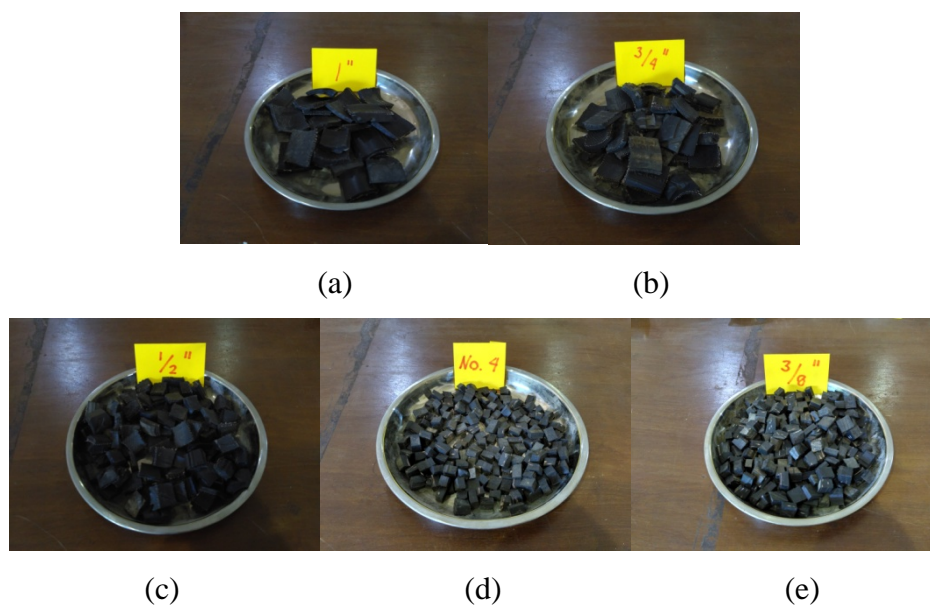
Ukuran Saringan (inch)	Massa Tertahan (gram)	Jumlah Tertahan (gram)	Persen komulatif Tertahan (%)	Persen Komulatif Lewat (gram)	Spesifikasi
3"	0	0	0	100	-
2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	0	0	0	100	100
2"	0	0	0	100	100-95
1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	2699,2	2699,2	53,7	46,3	35-70
1"	2325,9	5025,1	100	0	0-15
<sup>3</sup> / <sub>4</sub> "	0	0	0	0	-
<sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	0	0	0	0	0-5
<sup>3</sup> / <sub>8</sub> "	0	0	0	0	-
Pan	0	0	0	0	-
Jumlah	5025,1	5025,1	100	100	-



Gambar 4.1 Gradasi butiran agregat kasar

#### 4.1.2. Material Karet Bekas

Karet bekas dari ban kendaraan bermotor dipotong-potong menjadi 5 ukuran saringan, yaitu (a) 1", (b)  $\frac{3}{4}$ ", (c)  $\frac{1}{2}$ ", (d) No. 4, dan (e)  $\frac{3}{8}$ " seperti pada Gambar 4.2, sehingga karet bekas ini memiliki gradasi, sedangkan presentase yang digunakan pada penelitian ini sebesar 10%. Dilakukan 2 pengujian yaitu analisis saringan dan berat jenis. Berat benda uji dengan berat masing masing ukuran dengan sebaran analisis saringan ditampilkan pada Tabel 4.3, sedangkan pada pengujian berat jenis ditampilkan pada Tabel 4.4.



Gambar 4.2 Karet bekas dengan berbagai ukuran

Tabel 4.3 Hasil pengujian analisis saringan

Ukuran Saringan (inch)	Massa Tertahan (gram)	Jumlah Tertahan (gram)	Persen komulatif Tertahan (%)	Persen Komulatif Lewat (gram)
1 $\frac{1}{2}$ "	0	0	0	100
1"	194,1	194,1	0	95,4
$\frac{3}{4}$ "	955,5	1149,6	4,6	72,6
$\frac{1}{2}$ "	1330,6	2480,2	27,4	41,0
$\frac{3}{8}$ "	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

Tabel 4.4 Hasil pengujian berat jenis karet ban bekas

No.	Pengujian	Hasil
1	BJ Bulk	1,13
2	BJ SSD	1,14
3	BJ Semu	1,14
4	Penyerapan (%)	1,35

Pada material karet sebenarnya belum ada spesifikasi khusus yang harus digunakan untuk penelitian, namun pada penelitian ini tetap dilakukan pengujian-pengujian dasar seperti analisis saringan, berat jenis dan penyerapan air. Untuk hasil berat jenis curah kering 1,13, berat jenis jenuh kering permukaan dan berat jenis semu 1,14 dan untuk penyerapan air sebesar 1,35%.

#### 4.1.3. Material Aspal

Dalam penggunaan aspal sebagai bahan campuran balas, hal tersebut belum memiliki persyaratan khusus pada struktur jalan rel di Indonesia. Sama seperti material yang lain, aspal juga melewati tahap pemeriksaan sifat-sifat dasar yang sesuai dengan standar (SNI). Aspal yang digunakan merupakan aspal penetrasi 60/70, penambahan aspal ini dimaksudkan sebagai bahan pengikat dan pengisi antara material balas. Hasil pengujian fisis aspal penetrasi 60/70 ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian sifat-sifat dasar aspal

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Satuan
1	Penetrasi	SNI 06-2456-1991	60/70	63,4	0,1 mm
2	Titik Lembek	SNI 2434:2011	$\geq 48$	48,5	$^{\circ}\text{C}$
3	Daktalitas	SNI 2432:2011	$\geq 100$	147	cm
4	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 0,1$	1,043	-
5	Kehilangan Minyak	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$	0,39	%

Pada Tabel 4.5 menunjukkan hasil pengujian dasar yang dilakukan untuk material aspal dimana terdapat pengujian penetrasi, titik lembek, daktalitas, berat jenis dan kehilangan minyak pada aspal. Untuk hasil pada setiap pengujian sudah memenuhi standar yang ada.

## 1.2. Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap beberapa benda uji. Setiap benda uji memiliki variasi campuran yang berbeda-beda, dengan bahan campuran berupa karet bekas dan aspal. Benda uji pada penelitian ini disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Sampel penelitian

No.	Benda Uji	Tumbukan	Keterangan
1.	Balas	25 / layer	B.U 1
2.	Balas + 10% Karet Gradasi	25 / layer	B.U 2
3.	Balas + 2% Aspal	25 / layer	B.U 3

Setiap sampel mempunyai karakteristik campuran yang berbeda, dikarenakan bahan yang digunakan sebagai campuran pada tiap benda uji juga berbeda. Nilai karakteristik campuran dirangkum pada Tabel 4.7.

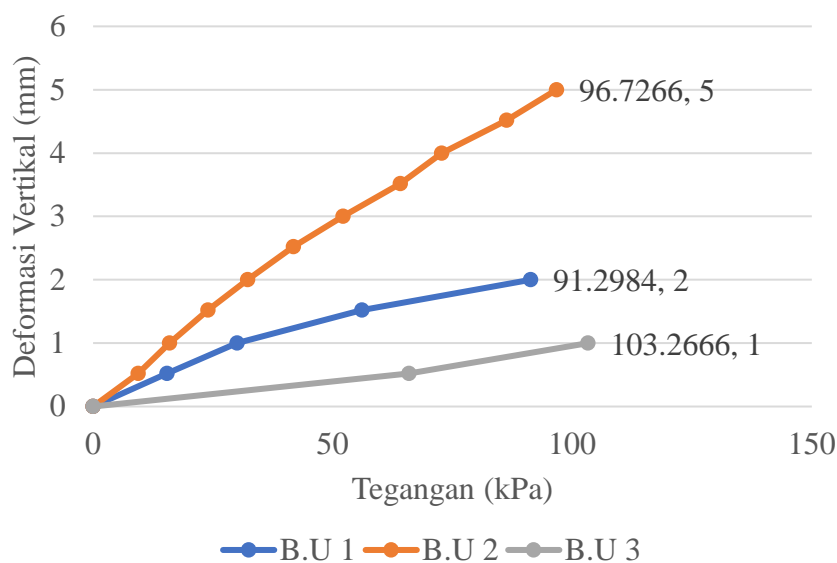
Tabel 4.7 Karakteristik campuran

No.	Jenis Pemeriksaan	B.U 1	B.U 2	B.U 3	Satuan
1	Berat Benda Uji + Box	50.005,4	49.997	47150	gr
2	Berat Box	10.200	10.200	10.250	gr
3	Berat Benda Uji	39.805,4	39.797	35.250	gr
4	Volume Box	24.000	24.000	24.000	cm <sup>3</sup>
5	Berat Vol. Benda Uji	1.7	1.7	1.5	gr/cm <sup>3</sup>
6	% Karet Bekas yang digunakan	-	10	-	%
7	% Aspal yang digunakan	-	-	2	%
8	% Balas yang digunakan	100	90	98	%
9	BJ Karet Bekas	-	1.1	-	-
10	BJ Aspal	-	-	1,06	-
11	BJ Balas	2.7	2.7	2.7	-
12	BJ Maks Teoritis	2.7	2.3	2.6	-
13	Vol. Karet Dalam Campuran	-	14.5	-	%
14	Vol. Aspal Dalam Campuran	-	-	3,71	%
15	Vol. Balas Dalam Campuran	62.4	56.1	56,1	%
16	Vol. Pori Dalam Campuran	37.6	29.3	40,2	%
17	Pemadatan	25	25	25	Tumbukan

Pada masing-masing benda uji yang telah diketahui karakteristiknya, selanjutnya dilakukan uji tekan yang menghasilkan beberapa parameter yakni *force* (gaya), *stress* (tegangan), *strain* (regangan) dan *elongation* (perubahan panjang/tinggi).

### 1.2.1. Pengaruh Terhadap Deformasi Vertikal

Deformasi adalah perubahan bentuk dari segi ukuran suatu benda uji setelah mengalami pemberian beban atau pengujian. Dalam penelitian ini deformasi didapatkan dari suatu grafik hubungan antara tegangan dan penurunan. Dari grafik ini kita dapat mengidentifikasi perubahan bentuk suatu benda uji pada tegangan tertentu. Grafik hubungan antara tegangan dan penurunan disajikan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara tegangan dan deformasi

Dari Gambar 4.3 menunjukkan bahwa pada benda uji 2 mengalami deformasi paling besar, sebesar 5 mm pada tegangan 96,7 kPa. Sedangkan untuk tegangan terbesar 103,2 kPa yang diberikan hingga mengalami deformasi sebesar 1 mm terjadi pada benda uji 3. Kemudian untuk benda uji 1 mengalami deformasi sebesar 2 mm pada tegangan 91,2 kPa.

Material karet bekas pada benda uji 2 berupa karet bergradasi menerus yang ditambahkan pada balas dapat mengisi rongga-rongga yang lebih kecil pada lapisan balas. Sehingga sifat elastisitasnya lebih tinggi yang mengakibatkan balas tersebut mengalami deformasi sebesar 5 mm dengan tegangan lebih kecil dibandingkan dengan benda uji 1 dengan material balas saja dan lebih besar jika dibandingkan dengan benda uji 3 dengan tambahan berupa aspal. Dimana aspal tersebut tidak mampu mengisi rongga-rongga dengan ukuran yang sesuai dan mengikat material balas sehingga memiliki sifat yang lebih kaku yang mengakibatkan balas tersebut

mengalami deformasi sebesar 1 mm dengan tegangan yang dialami tidak terlalu berbeda jauh dengan benda uji 2. Material karet bekas memberikan sifat elastis pada campuran, sekaligus membuktikan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sol-Sanchez dkk., (2014), bahwa penambahan material karet dalam presentase tertentu dapat meningkatkan sifat elastis dari lapisan balas.

Nilai tegangan untuk masing-masing benda uji pada nilai penurunan yang terjadi disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Nilai deformasi vertikal dan tegangan

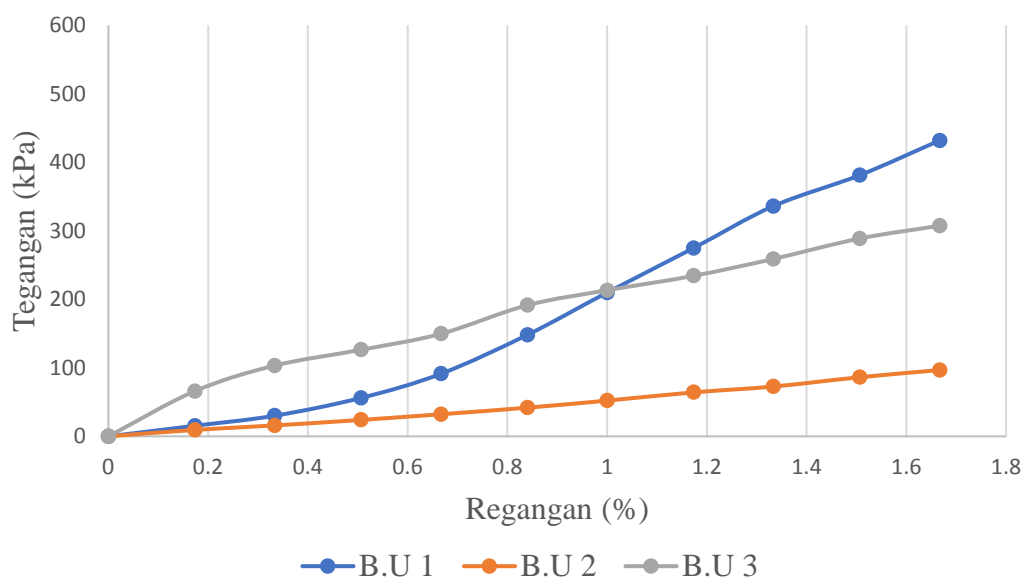
No.	Benda Uji	Deformasi (mm)	Tegangan (kPa)
1	B.U 1	2,00	91,29
2	B.U 2	5,00	96,73
3	B.U 3	1,00	103,26

### 1.2.2. Pengaruh Terhadap Modulus Elastisitas

Kekakuan dari setiap bahan dapat diketahui dengan mencari nilai modulus elastisitasnya. Modulus elastisitas yaitu ukuran kekerasan suatu bahan dan dalam aplikasi biasanya didefinisikan sebagai perbandingan tegangan yang terjadi pada sebuah benda dengan nilai regangan yang dihasilkan. Pada penelitian ini modulus elastisitas didapatkan setelah pengujian tekan selesai dan diolah menjadi grafik hubungan antara tegangan dan regangan. Untuk nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada setiap benda uji disajikan pada Tabel 4.9, dan digambarkan pada sebuah grafik pada Gambar 4.4.

Tabel 4.9 Nilai tegangan dan regangan

No.	B.U 1		B.U 2		B.U 3	
	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	9,38	0,17	65,95	0,17
1	30,08	0,33	15,92	0,33	103,26	0,33
2	56,11	0,51	23,96	0,51	126,35	0,51
3	91,29	0,67	32,27	0,67	149,66	0,67
4	148,09	0,84	41,82	0,84	191,39	0,84
5	209,86	1,00	52,16	1,00	213,20	1,00
6	274,81	1,17	64,15	1,17	234,26	1,17
7	336,05	1,33	72,72	1,33	258,95	1,33
8	381,24	1,51	86,29	1,51	288,80	1,51
9	431,83	1,67	96,72	1,67	307,38	1,67
Puncak	681,33	2,29	601,91	6,38	567,08	2,93
Akhir	679,76	2,30	575,97	6,44	544,45	2,98



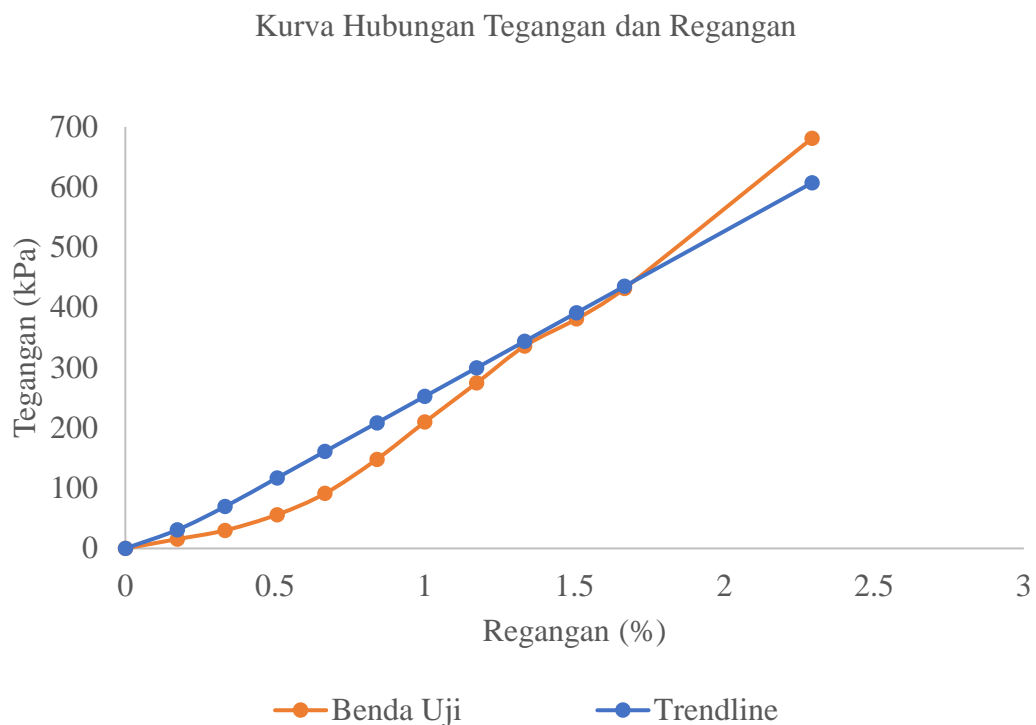
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara tegangan dan regangan

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat nilai tegangan regangan yang dihasilkan pada setiap benda uji. Pada benda uji 2 berupa material balas dan karet bergradasi, hasilnya menunjukkan bahwa nilai tegangan dan regangan lebih kecil jika dibandingkan dengan benda uji 1 berupa material balas tanpa ada campuran ataupun benda uji 3 berupa material balas dan aspal. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi



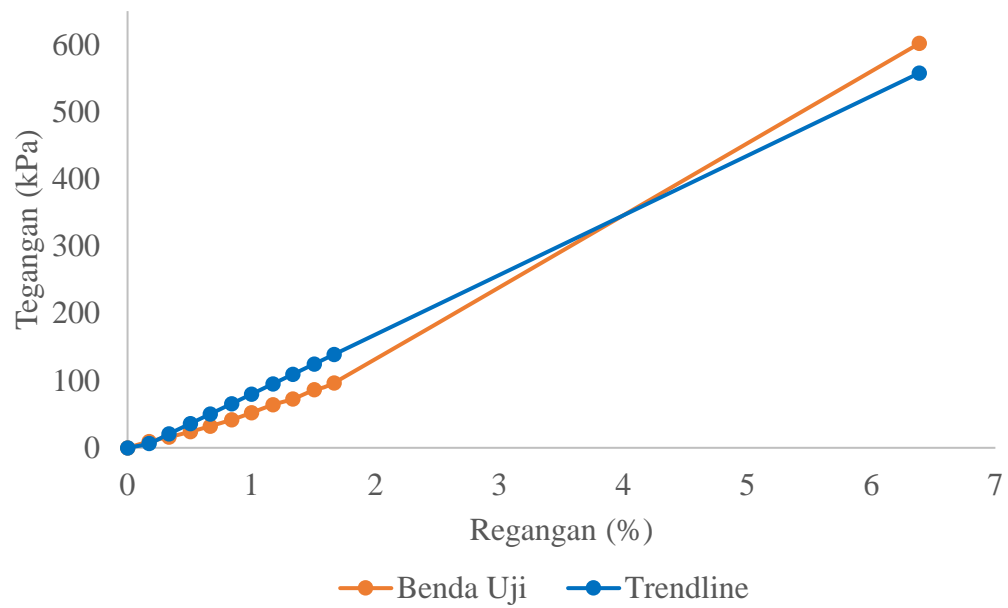
campuran material menjadi elastis, dikarenakan penambahan material karet bekas yang mengakibatkan campuran benda uji menjadi elastis.

Nilai modulus elastisitas adalah nilai suatu bahan atau material campuran pada kondisi yang elastis. Nilai tersebut diperoleh dari grafik hubungan antara tegangan dan regangan dengan bantuan *trendline* dari nilai regangan. Apabila nilai modulus elastisitas semakin tinggi, maka bahan atau material tersebut mempunyai kekakuan yang tinggi. Penggunaan lapisan yang memiliki tingkat kekakuan yang tinggi (*slab track*) akan menambah biaya untuk pengerjaan konstruksinya, namun akan mengurangi biaya perawatannya (Setiawan, 2013). Adapun nilai modulus elastisitas dengan metode *trendline* dari ke 3 benda uji disajikan pada Gambar 4.5, Gambar 4.6, dan Gambar 4.7.



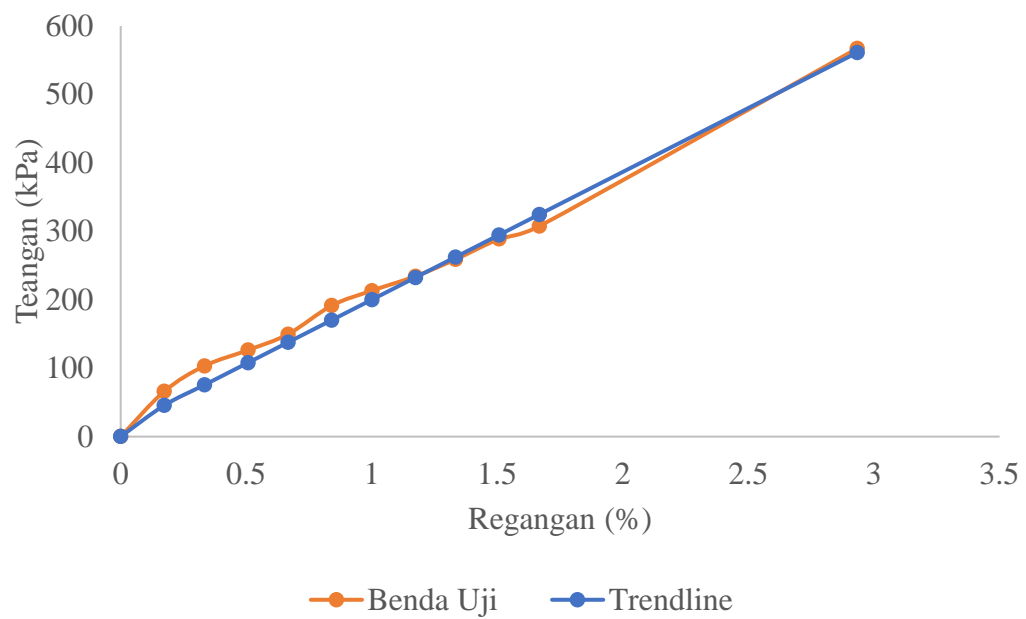
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara tegangan dan regangan pada benda uji 1

Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara tegangan dan regangan pada benda uji 2

Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan



Gambar 4.7 Grafik hubungan antara tegangan dan regangan pada benda uji 3

Dengan menggunakan *trendline* antara tegangan dan regangan pada grafik di atas, diperoleh nilai modulus elastisitas seperti pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Nilai modulus elastisitas

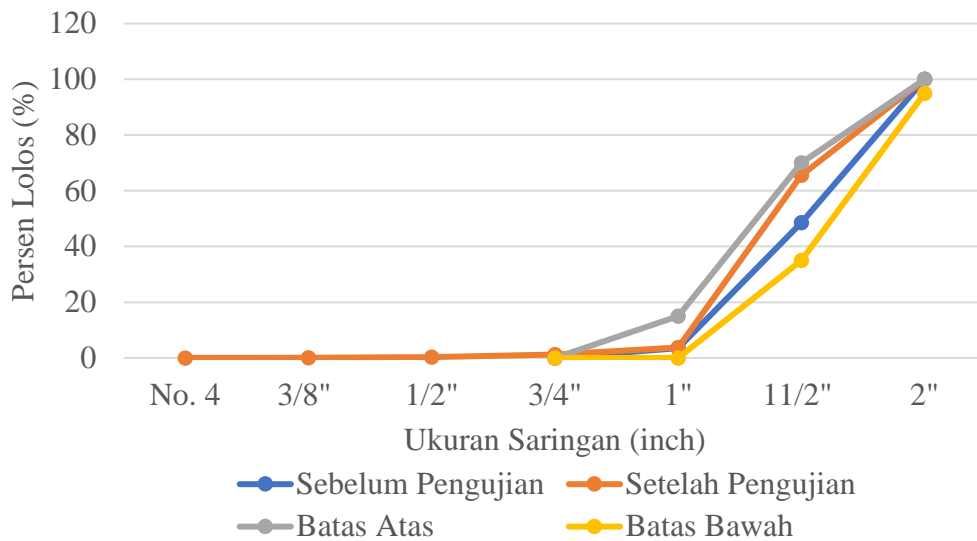
No.	Benda Uji	Tegangan (kPa)	Regangan (%)	E (kPa)	E (MPa)
1	B.U 1	607.27	2,29	26518,34	26,52
2	B.U 2	557.90	6,39	8730,92	8,73
3	B.U 3	561,10	2,93	19130,52	19,13

Pada Tabel 4.10 menunjukkan nilai modulus elastisitas dari setiap benda uji. Untuk benda uji 2 memiliki nilai modulus elastisitas paling kecil dibandingkan dengan benda uji 1 dan benda uji 2. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan karet bekas sebagai material elastis pada campuran balas menambahkan nilai elastisitas, dan mengurangi nilai kekakuan dari campuran tersebut. Seperti halnya pembahasan pada deformasi dengan penambahan karet sebagai material elastis pada benda uji 2 berupa karet bergradasi menerus mengakibatkan nilai elastisitas balas semakin meningkat dan mengurangi nilai kekakuan yang disebabkan oleh adanya pengisian rongga-rongga oleh karet tersebut. Berbeda halnya dengan benda uji 3 dengan campuran aspal dimana nilai elastisitasnya lebih kecil dan lebih kaku yang disebabkan oleh sifat aspal yaitu mengikat material balas dan adanya rongga-rongga yang tidak dapat diisi oleh aspal tersebut.

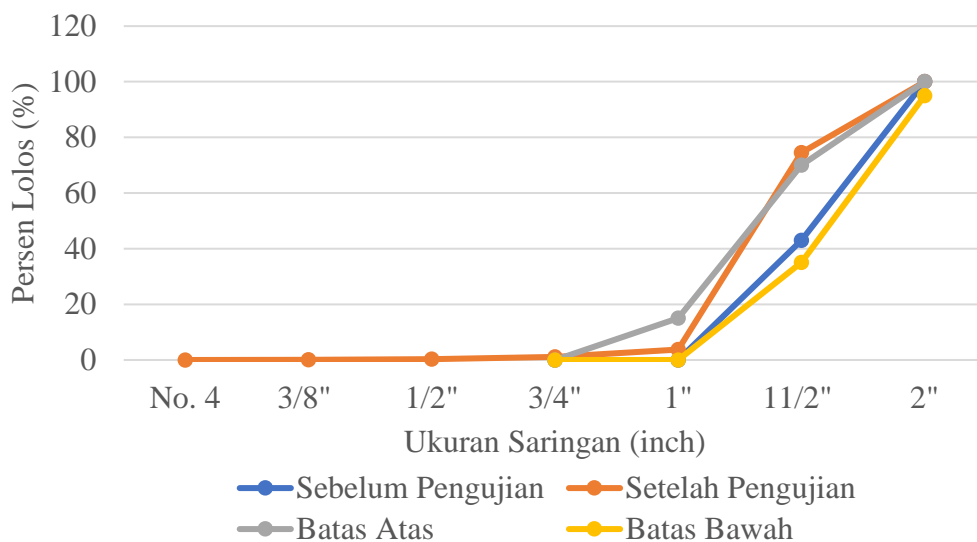
Hasil tersebut juga sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sol-Sanchez dkk. (2014), meskipun dalam penelitiannya karet yang digunakan adalah remahan karet, tidak seperti penelitian ini yang menggunakan karet bekas berupa karet bergradasi menerus pada benda uji 2. Dengan adanya hasil tersebut dapat dinyatakan bahwa semakin tinggi nilai modulus elastisitas dari suatu material maka akan semakin tinggi juga nilai kekakuannya. Kemudian Signes dkk., (2016) pada penelitiannya menunjukkan semakin kecil nilai kepadatan maka akan mempengaruhi turunnya nilai modulus elastisitas.

### 1.2.3. Pengaruh Terhadap Abrasi Material Balas

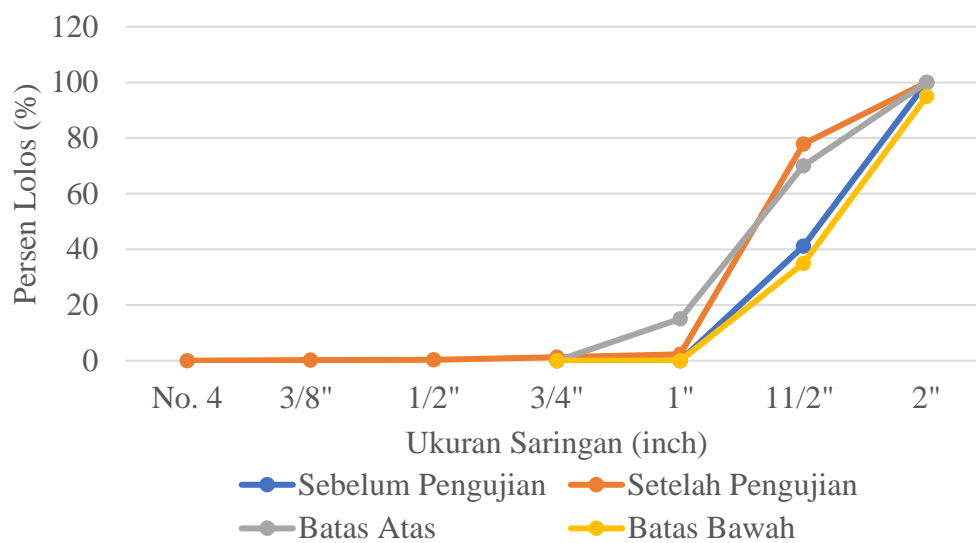
Penambahan karet bekas dan aspal pada campuran balas yang dilakukan pada penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan ketahanan dari material balas. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi ketahanan agregat pada penelitian kali ini yaitu dengan dilakukannya penumbukan sebanyak 25 kali per *layer* dan pengujian tekan pada setiap benda uji. Adapun distribusi material dari ketiga benda uji disajikan pada Gambar 4.8 untuk benda uji 1 dan seterusnya.



Gambar 4.8 Distribusi gradasi pada benda uji 1



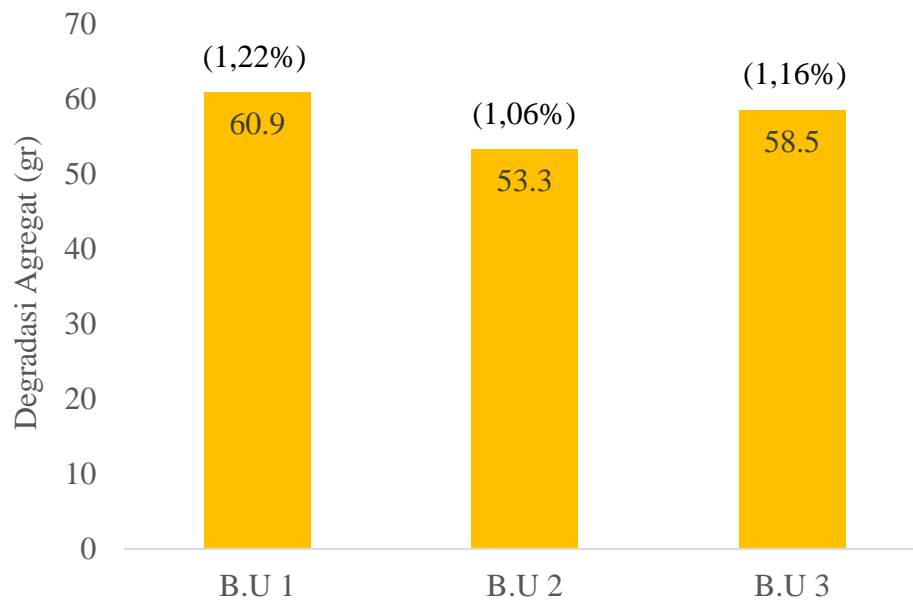
Gambar 4.9 Distribusi gradasi pada benda uji 2



Gambar 4.10 Distribusi gradasi pada benda uji 3

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa grafik distribusi gradasi material balas menunjukkan perubahan distribusi gradasi dari sebelum pengujian dan setelah pengujian. Untuk grafik pada saat sebelum pengujian, distribusi gradasi material sudah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986. Namun setelah dilakukan pengujian terhadap setiap benda uji menunjukkan perbedaan distribusi gradasi dari material yang diakibatkan oleh adanya faktor tumbukan dan pemberian beban dalam uji tekan.

Pada benda uji 1 berupa agregat tanpa campuran apapun menunjukkan angka abrasi material yang paling tinggi yang disebabkan oleh adanya gesekan atau benturan pada agregat yang pada saat mengalami tekanan yang mengakibatkan abrasi pada agregat. Berbeda halnya dengan benda uji 2 dan 3 dimana benda uji 2 mengalami abrasi agregat paling kecil disebabkan oleh adanya karet bergradasi menerus yang mampu mengisi rongga-rongga dengan lebih baik dibandingkan dengan benda uji 3 berupa aspal sebagai campurannya sehingga tidak terlalu baik untuk menahan gesekan atau benturan antar agregat pada saat pengujian berlangsung tetapi sedikit lebih baik dibandingkan dengan benda uji 1 dimana agregat mengalami benturan atau gesekan secara langsung.



Gambar 4.11 Grafik sebaran abrasi

Dari Gambar 4.11 penggunaan material elastis berupa karet bekas dan aspal dapat menurunkan nilai abrasi. Hal ini disebabkan karena adanya pengisian pori oleh karet bekas ataupun aspal pada campuran tersebut sehingga agregat tidak saling berbenturan atau bergesekan secara langsung. Dalam penelitian ini nilai abrasi dari masing-masing benda uji yaitu benda uji 1 sebesar 60,9 gr (1,22 %), benda uji 2 sebesar 53,3 gr (1,06 %), dan benda uji 3 sebesar 58,5 gr (1,16 %). Dari data abrasi tersebut maka benda uji 2 berupa campuran balas dan karet bekas bergradasi adalah campuran yang paling baik untuk mengurangi nilai dari abrasi butiran agregat.