

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Material Balas

Pada penelitian tahap awal dilakukan pengujian sifat fisis dan mekanis material balas. Pengujian ini untuk mengetahui karakter material balas yang ada di daerah Kulon Progo yang digunakan untuk penelitian. Hasil penelitian terhadap material balas seperti pada Tabel 4. 1.

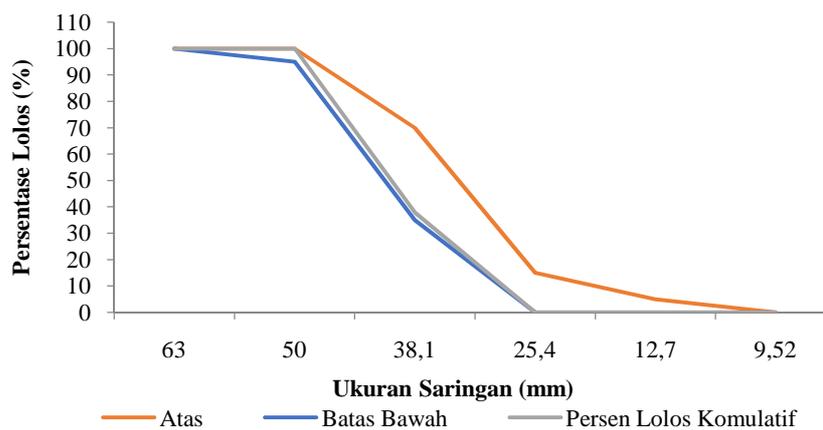
Tabel 4. 1 Hasil pengujian sifat agregat balas

Parameter	Hasil
Berat jenis curah kering, S_d	2,61
Berat jenis jenuh kering permukaan, S_s	2,64
Berat jenis semu, S_a	2,68
Penyerapan air, S_w	1.0 %
Kandungan lumpur	1.9 %
Keausan	18.42%

Selain pengujian fisik terdapat pula pengujian analisis saringan yang berfungsi untuk menentukan gradasi butiran Hasil pengujian gradasi butir dari material balas dapat 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 (gr)	Jumlah tertahan (gr)	Persen komulatif tertahan (%)	Persen komulatif Lewat (gr)	Spek
3"	0,0	0,0	0,0	100,0	-
2 ¹ / ₂ "	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
2"	0,0	0,0	0,0	100,0	100-95
1 ¹ / ₂ "	3102,5	3102,5	62,1	37,9	35-70
1"	1889,5	4992,0	100,0	0,0	0-15
³ / ₄ "	0,0	0,0	0,0	0,0	-
¹ / ₂ "	0,0	0,0	0,0	0,0	0-5
³ / ₈ "	0,0	0,0	0,0	0,0	-
Jumlah	4992,0	4992,0	100,0	100,0	-



Gambar 4. 1 Gradasi butiran material balas

4.1.2. Potongan Karet Ban Bekas

Potongan karet ban bekas adalah material elastis yang akan digunakan untuk mengurangi kekakuan yang terdapat pada material balas. Pada potongan karet ban bekas ini dilakukan 3 pengujian yaitu pengujian berat jenis, penyerapan air dan pengujian analisis saringan tertahan 3/8 inch atau sama dengan 9,52 mm. Adapun hasil pengujian berat jenis dan penyerapannya terdapat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil pengujian berat jenis karet

Parameter	Hasil
Berat jenis curah kering, S_d	1.13
Berat jenis jenuh kering permukaan, S_s	1.15
Berat jenis semu, S_a	1.15
Berat Jenis Rata Rata	1.14
Penyerapan air, S_w	1.5 %

4.1.3. Aspal Penetrasi 60/70

Penggunaan aspal pada penelitian ini adalah sebagai bahan perekat material balas dan material elastis potongan karet ban bekas. Aspal yang digunakan pada penelitian ini merupakan aspal penetrasi 60/70. Pengujian sifat fisis pada aspal dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Hasil pengujian fisis dapat di lihat pada Tabel 4. 4.

Tabel 4. 4 Hasil pengujian sifat aspal

Parameter	Hasil
Berat Jenis	1.03 gr/cm ³
Kehilangan minyak	0.402 %
Penetrasi	62 mm
Titik Lembek	52°C
Daktilitas	147 Cm

1.2. Pembahasan Penelitian

Pada pengujian kuat tekan yang perlu diperhatikan disetiap benda uji yaitu harus mengetahui setiap karakteristik campurannya, karena bahan-bahan yang terdapat di dalam benda uji satu dan lainnya berbeda-beda. Nilai karakteristik campuran benda uji masing-masing dirangkum pada Tabel 4. 5.

Tabel 4. 5 Karakteristik campuran

No	Jenis Pemeriksaan	BU I	BU II	BU III	BU IV	Satuan
Berat Benda Uji +						
1	Box	49.200	45.100	47.500	48.300	Gr
2	Berat Box	10.250	10.200	10.250	10.250	Gr
3	Berat Benda Uji	38.950	34.900	37.250	38.050	Gr
4	Volume Box	24.000	24.000	24.000	24.000	cm ³
5	Berat Vol. Benda Uji	1,623	1,454	1,552	1,585	gr/cm ³
6	% Karet Bekas	-	10		10	%
7	% Aspal	-	-	3	3	%
8	% Balas	100	90	97	87	%
9	BJ Karet Bekas	-	1,14	1,14	1,14	-
10	BJ Aspal	-	-	1,03	1,03	-
11	BJ Balas	2,64	2,64	2,64	2,64	-
12	BJ Maks Teoritis	2,69	2,37	2,52	2,24	-
13	Vol. Karet	-	12,21	0,00	13,91	%
14	Vol. Aspal	-	-	4,52	4,62	%
15	Vol. Balas	52,25	46,56	57,03	52,25	%
16	Vol. Pori	47,75	41,23	38,45	29,23	%
17	Pemadatan	50	50	50	50	Tmbkn

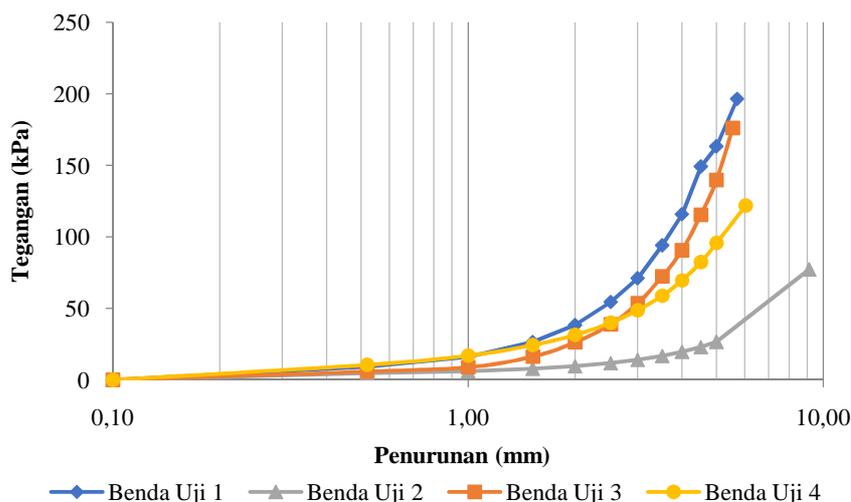
Penelitian terhadap karakteristik campuran dilakukan untuk mengetahui setiap volume bahan yang mengisi sebuah *ballast box* dan untuk mengidentifikasi volume rongga pada setiap campuran. Semakin banyak bahan yang dicampurkan pada balas modifikasi seperti potongan karet ban bekas dan aspal, maka semakin kecil volume rongganya karena aspal dan keret mampu mengisi rongga-rongga yang terbentuk diantara material balas. Benda uji yang sudah siap diuji kemudian diletakkan pada mesin pengujian kuat tekan UTM. Hasil pengujian kuat tekan akan menghasilkan empat parameter tersebut yakni, *force* (gaya), *stress* (tegangan), *strain* (regangan) dan *elongation* (perubahan panjang). Dari masing-masing parameter tersebut diolah untuk mencari deformasi, gradasi dan abrasi serta kekakuan.

4.2.1. Pengaruh balas dengan campuran terhadap deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk ukuran dari suatu benda uji setelah mengalami pengujian, perubahan bentuk yang dimaksud yaitu perubahan tinggi benda uji setelah dilakukan pengujian tekan vertikal. Nilai deformasi benda uji pada penelitian ini didapatkan dari grafik hubungan antara penurunan dan pembebanan. Adapun hasil deformasi dapat di lihat pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.2.

Tabel 4. 6 Nilai deformasi vertikal

No	Benda Uji	Tegangan maksimal (kPa)	Deformasi maksimal (mm)
1	Benda Uji 1	196,59	5,72
2	Benda Uji 2	77,27	9,12
3	Benda Uji 3	176,29	5,56
4	Benda Uji 4	121,97	6,04



Gambar 4. 2 Grafik hubungan penurunan dan tegangan

Dari Tabel 4. 6 dan grafik pada Gambar 4. 2 dapat dilihat bahwa benda uji 2 yakni modifikasi material balas dan potongan karet ban bekas mempunyai nilai deformasi paling besar yaitu sebesar 9,12 mm, dengan tegangan sebesar 77,27 kPa, nilai tersebut meningkat sebanyak 83,71% dari benda uji ke 1 dapat di lihat pada Tabel 4. 7. Penambahan potongan karet ban bekas sebanyak 10% dari berat total sangat berpengaruh terhadap sifat benda uji ke 2 karena material elastis yang disebabkan oleh potongan karet ban bekas dapat mengisi setiap rongga pada setiap sisi balas. Pada penelitian Sanchez dkk. (2014) dan Farhan dkk (2015)

menyatakan bahwa penambahan *crumb rubber* dapat meningkatkan durabilitas, namun penggunaannya secara berlebihan justru membuat benda uji menjadi tidak stabil.

Sedangkan, pada Benda uji ke 3 yaitu modifikasi balas dan aspal penetrasi 60/70 menghasilkan nilai deformasi yang lebih kecil yaitu 14,41% dibandingkan dengan benda uji ke 2 dapat di lihat pada Tabel 4. 7, hal ini dibuktikan pada Tabel 4.5 dan grafik pada Gambar 4. 2 yang mengalami kenaikan pada sumbu Y namun tidak mengalami pelebaran pada sumbu X. Perilaku aspal yang ditambahkan pada lapisan balas ditujukan sebagai bahan pengikat pada setiap materialnya, sekaligus membuktikan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh D'Angelo dkk. (2016), bahwa penambahan material aspal yang memiliki sifat emulsi dapat meningkatkan kemampuan untuk meredam energi dengan cara memodifikasi kekakuan dan juga dapat mengurangi deformasi pada lapisan balas secara vertikal karena dipengaruhi oleh prosentase dan kekentalan aspal tersebut.

Keadaan yang sama juga ditunjukkan pada benda uji ke 4 dimana penambahan aspal pada modifikasi balas dan potongan karet ban bekas menghasilkan nilai deformasi sebesar 41,39% dapat di lihat pada Tabel 4. 7, nilai tersebut lebih rendah dibandingkan benda uji ke 2. Sedangkan nilai deformasi pada benda uji ke 4 bisa lebih tinggi dibandingkan benda uji ke 3 karena adanya potongan karet ban bekas di di dalamnya. Jadi dapat dilihat pada benda uji ke 4 bahwasannya tegangan yang berada pada sumbu Y menurun dibandingkan benda uji ke 3 penurunan penurunan pada sumbu X cenderung melebar dibandingkan benda uji ke 2, dikarenakan penambahan potongan karet ban bekas.

Tabel 4. 7 Nilai deformasi vertikal pada penurunan 5 mm

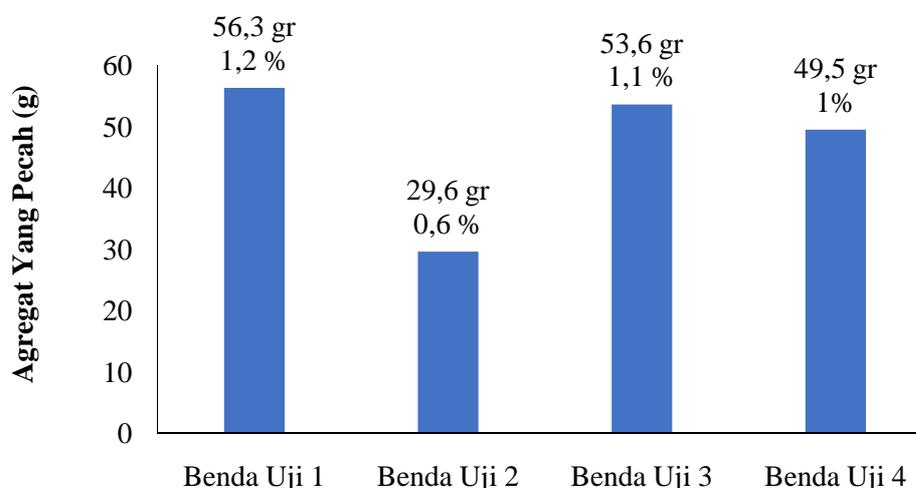
No.	Benda Uji	Penurunan (mm)	Tegangan (kPa)	% Penurunan
1.	Benda Uji 1	5	163,369	0 %
2.	Benda Uji 2	5	26,618	83,71 %
3.	Benda Uji 3	5	139,825	14,41 %
4.	Benda Uji 4	5	95,746	41,39 %

4.2.2 Pengaruh balas dengan campuran terhadap abrasi

Nilai abrasi didapat dari material balas sebelum pengujian dan setelah pengujian. Material yang digunakan untuk pengujian abrasi sebanyak ± 5 kg atau sama dengan 5000 gram dari total keseluruhan benda uji. Modifikasi material balas bertujuan untuk meningkatkan ketahanan terhadap kekakuan tinggi, yang berakibat keausan pada material balas dengan umur penggunaan material pendek. Uji ketahanan diawali pada tahap persiapan yaitu pemadatan sebanyak 50 kali tumbukan pada setiap sepertiga lapisannya, kemudian pada tahap selanjutnya diuji menggunakan alat kuat tekan vertikal. Dari langkah persiapan hingga pengujian adalah faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan distribusi gradasi pada material balas. Sehingga, secara tidak langsung dapat mengidentifikasi banyaknya abrasi yang dihasilkan. Adapun distribusi gradasi sebelum dan sesudah pengujian ditampilkan pada Tabel 4. 8 dan diagrambatang yang terdapat pada Gambar 4.3, masing-masing benda uji mempunyai nilai abrasi yang berbeda-beda terutama pada balas modifikasi.

Tabel 4. 8 Abrasi sesudah dan sebelum pengujian

No	Benda uji	Berat Total	Berat Abrasi	Persen Abrasi
1	Benda Uji 1	5095,7	56,3	1,20%
2	Benda Uji 2	5004	29,6	0,60%
3	Benda Uji 3	5040	53,6	1,10%
4	Benda Uji 4	5114,9	49,5	1%



Gambar 4. 3 Distribusi gradasi benda uji sesudah pengujian

Apabila diperhatikan pada Tabel 4. 8 dan diagram pada Gambar 4.3 dapat ditarik suatu hasil bahwa secara keseluruhan, balas modifikasi dapat meminimalisir abrasi. Nilai abrasi paling kecil terdapat pada modifikasi balas dan potongan karet ban bekas yaitu sebanyak 29,6 gr atau sebanyak 0,6% dari total material yang diuji dan mengalami penurunan abrasi sebanyak 47,5% dari benda uji ke 1 dapat di lihat pada Tabel 4. 9. Dari data hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa penambahan potongan karet ban bekas dan aspal dapat melindungi material balas karena aspal memiliki sifat yang mengikat ketika sudah memadat, sekaligus membuktikan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Soto dkk. (2017) jika aspal berbaur dengan agregat alami maka aspal akan menjadikan agregat tersebut lebih terikat satu dengan yang lainnya. Penelitian terdahulu oleh Indrarnatna dkk. (2017) menyatakan bahwa balas modifikasi mempunyai kemampuan baik dalam meminimalisir kerusakan pada material balas, karena pergerakan yang terjadi pada material balas menjadi lebih sedikit atau terbatas, sehingga mengurangi gesekan antar partikelnya.

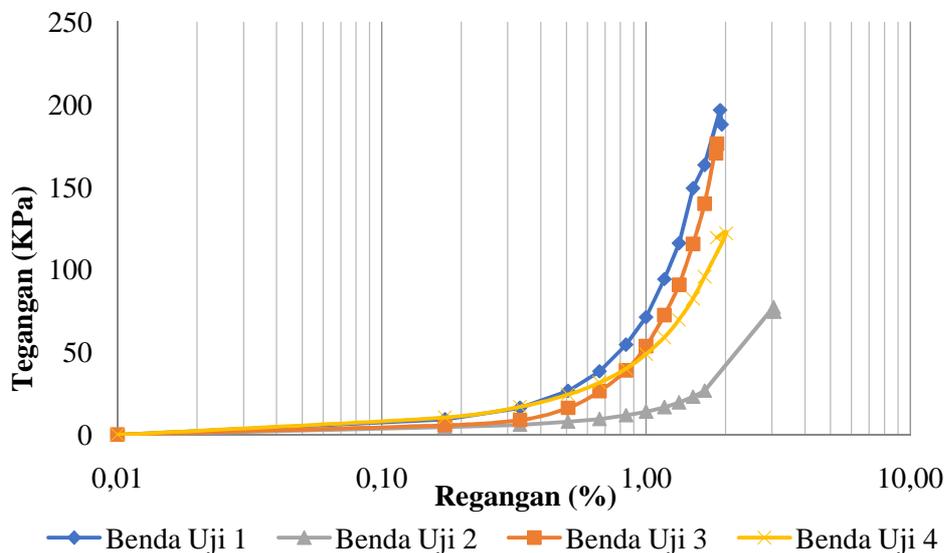
Tabel 4. 9 Persen abrasi

No	Benda uji	Berat Total	Berat Abrasi	Persen Abrasi
1	Benda Uji 1	5095,7	56,3	0,0%
2	Benda Uji 2	5004	29,6	47,5%
3	Benda Uji 3	5040	53,6	5,0%
4	Benda Uji 4	5114,9	49,5	12,1%

4.2.2. Pengaruh balas dengan campuran terhadap modulus elastisitas

Kekakuan suatu bahan dapat diketahui dengan mencari nilai modulus elastisitasnya. Modulus elastisitas (E) merupakan besaran yang menggambarkan tingkat elastisitas suatu bahan dan dihasilkan antara dua hubungan yaitu tegangan / *stress* (σ) dan regangan / *strain* (ϵ) (Ointu dkk., 2013). Nilai modulus elastisitas dalam penelitian ini diperoleh dengan melakukan pendekatan atau koreksi menggunakan *trendline* dari kurva tegangan dan 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 dan

regangan dapat terlihat dari setiap sampel uji. Pada pengujian ini modulus elastisitas diperoleh dari 4 jenis campuran yang berbeda – beda. Adapun grafik tegangan regangan terdapat pada Gambar 4. 4.



Gambar 4. 4 Grafik hubungan tegangan dan regangan setiap benda uji

Semakin tinggi nilai modulus elastisitas yang dihasilkan, menunjukkan sifat benda uji tersebut semakin kaku (Soleman, 2005). Disisi lain, jika diaplikasikan pada keadaan jalur balas yang sebenarnya, tingkat kekakuan yang tinggi, mempengaruhi bertambahnya beban dinamis yang diijinkan (D'Angelo dkk., 2016), bisa ditambahkan dengan aspal yang dapat mengurangi pengaruh beban dinamik berdasarkan nilai modulus kekakuan (Mino dkk., 2012) akan tetapi penggunaannya akan menambah biaya konstruksi yang tidak sedikit, atau bahkan relatif mahal (Setiawan dkk., 2013). Nilai modulus elastisitas pada setiap benda uji disajikan dalam Tabel 4. 10.

Tabel 4. 10 Nilai modulus elastisitas

No	Benda Uji	Stress (kPa)	Strain (%)	E (kPa)
1	Benda Uji 1	149,276	1,507	9907,644
2	Benda Uji 2	6,082	0,333	1824,678
3	Benda Uji 3	115,562	1,507	7670,014
4	Benda Uji 4	16,939	0,333	5082,088

Pada balas modifikasi, nilai tegangan paling tinggi terdapat pada benda uji ke 3 yaitu modifikasi balas dan aspal. Hal ini menunjukkan bahwa pencampuran aspal pada suatu benda uji membuat sifat kaku dan kuat. Kekompakan pada benda uji ke 3 didukung juga dengan adanya pemadatan secara manual sebelum dituangkan aspal. Pada benda uji ke 4 kembali menegaskan bahwa aspal mempunyai kemampuan untuk meningkatkan kekakuan suatu bahan dan memungkinkan mengurangi keretakan dari balas seperti pada penelitian Lee dkk. (2014). Akan tetapi pada benda uji ke 4 yakni balas modifikasi karet dan aspal menunjukkan perilaku yang lebih elastis dari benda uji ke 3, dikarenakan adanya potongan karet ban bekas di dalam modifikasi ini. Selain itu penggunaan potongan karet ban bekas pada lapisan balas 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). Menurut Soto dkk. (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.

Berbeda dengan benda uji ke 2 yang mempunyai nilai tegangan yang rendah yaitu sebesar 6,08 kPa dengan regangan sebesar 0,3%. Keadaan ini menunjukkan benda uji ke 2 yang mempunyai perilaku elastis disebabkan oleh modifikasi balas dan potongan karet ban bekas. Pada benda uji ke 2, nilai modulus menurun secara signifikan. Bukan hanya fakta tentang penggunaan karet sebagai agregat elastis yang menjadikan sampel menjadi lebih lentur, namun nilai kepadatan akan mempengaruhi kondisi perilaku balas ketika diberikan pembebanan yang juga merupakan faktor utama yang mempengaruhi besarnya nilai regangan (Abadi dkk., 2016). Jadi 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).