

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji Material

Tahapan awal sebelum melakukan modifikasi struktur balas pada penelitian kali ini beberapa pengujian kepada material penyusun struktur balas harus dilakukan seperti uji sifat fisik dan mekanik.

4.1.1 Balas

Tahap penelitian awal dilakukan pengujian sifat fisik agregat yang akan dijadikan material pokok penyusun balas. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui karakteristik agregat kasar yang memenuhi spesifikasi. Kelas jalan rel pada penelitian ini menggunakan jalan rel kelas II. Hasil dari pengujian agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.1

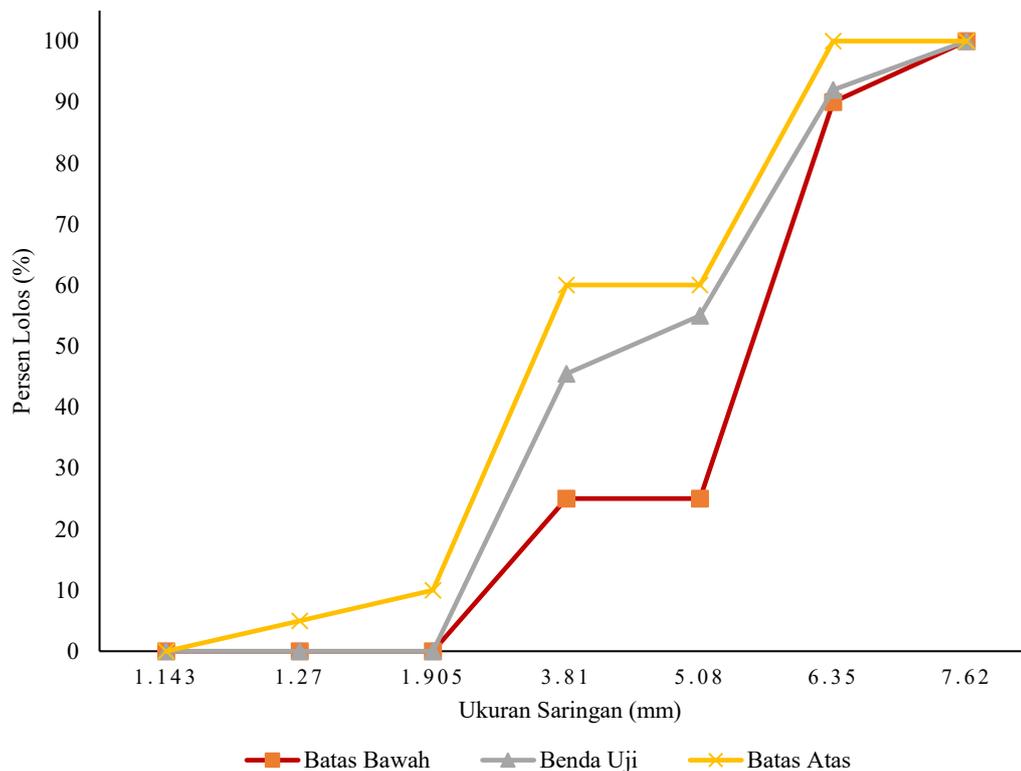
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Material Agregat.

Parameter	Hasil Rata-Rata	Spesifikasi
Berat Jenis Curah Kering	2,61	Min. 2,6
Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan	2,68	Min. 2,6
Berat Jenis Semu	2,80	Min. 2,6
Penyerapan Air	2,65	Max. 3%
Kandungan Lumpur	0,21	Max. 0,5%
Keausan	19,26	Max. 25%

Pengujian analisis saringan juga dilakukan pada material agregat kasar dalam penelitian kali ini. Pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui nilai gradasi butir dari agregat yang memenuhi spesifikasi sebagaimana yang telah dituliskan pada BAB 3. Setelah dilakukan pengujian, material agregat termasuk kedalam balas kelas 2 yang tergolong batuan granit dengan tingkat durabilitas yang tinggi. Hasil pengujian gradasi agregat dapat dilihat pada Tabel 4.2 dengan grafik distribusi pada Gambar 4.1

Tabel 4. 2 Hasil Gading Agregat

Ukuran Saringan (inch)	Berat Tertahan (gram)	Jumlah Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (%)	Kumulatif Lewat (%)	Spesifikasi
3	0	0	0	100	100
2 1/2	403,64	403,64	8	92	100-90
2	1866,84	2270,48	37	55	60-25
1 1/2	479,32	2749,80	9,5	45,5	60-25
3/4	2295,70	5045,5	45,5	0	0-10
Jumlah	5045,5		100		-



Gambar 4. 1 Gradasi Butiran Agregat Kasar

4.1.2 Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian merupakan aspal tipe penetrasi 60/70 seperti pada Gambar 4.2. Aspal yang digunakan merupakan aspal yang tersedia di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Bahan aspal ini diperoleh dari pengepul aspal yang berlokasi di

Piyungan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kondisi aspal yang telah mengalami pengujian fisik dan telah memenuhi spesifikasi. Pada penelitian ini menggunakan aspal padat yang dicairkan pada oven selama 4 jam dalam suhu 155°C.

Adapun jumlah kadar presentase penambahan aspal penetrasi 6070 dalam penelitian ini sebesar 3%. Menurut D'Angelo, dkk, (2016), penambahan kadar aspal 2-3% bertujuan sebagai bahan pengisi sekaligus perekat antara material. Hasil fisik pengujian material aspal penetrasi 60/70 yang mengacu pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Materia Aspal Penetrasi 60/70

No	Pengujian	Satuan	Hasil	Spesifikasi		Standar
				Min	Max	
1	Penetrasi	mm	66,7	60	70	SNI 2456:2011
2	Titik Lembek	°C	53	48	58	SNI 2434:2011
3	Daktalitas	cm	>100	100	-	SNI 2434:2011
4	Berat Jenis	gr/cm ³	1,01	1	-	SNI 2434:2011
5	Kehilangan Minyak	%	0,13	-	0,4	SNI 06-2440-1991

4.2 Pembahasan

Penelitian kali ini melakukan pengujian terhadap beberapa sampel benda uji, setiap benda uji memiliki campuran yang berbeda antara benda uji satu dengan lainnya seperti yang disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Sampel Benda Uji Penelitian.

No	Benda Uji	Kadar Aspal	Keterangan
1	Balas Kotor	-	BK
2	Balas Bersih	-	BB
3	Balas Kotor + Aspal 1 Lapis	3%	BK1
4	Balas Kotor + Aspal 3 Lapis	3%	BK3
5	Balas Bersih + Aspal 1 Lapis	3%	BB1
6	Balas Bersih + Aspal 3 Lapis	3%	BB3

4.2.1 Berat Benda Uji

Sebelum dilakukannya uji kuat tekan, setiap sampel mempunyai karakteristik yang beragam karena komposisi penyusun struktur balas yang berbeda-beda. Data karakteristik campuran disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Karakteristik Komponen Penyusun Balas

No	Keterangan	BK	BB	BK1	BK3	BB1	BB3	Satuan
1	Berat Box	10,655	10,655	10,250	10,250	10,250	10,655	Kg
2	Berat Agregat	36,435	36,095	38,515	37,685	37,675	37,205	Kg
3	Berat Aspal	-	-	1.155	1.130	1.130	1.116	kg
4	Kadar Aspal	-	-	3	3	3	3	%
5	Pemadatan	50	50	50	50	50	50	kali

Dapat dilihat dari Tabel 4.5 bahwa berat bunda uji balas kotor relatif lebih berat dibandingkan benda uji balas bersih baik dengan campuran aspal maupun tanpa campuran aspal. Hal ini dikarenakan balas kotor tidak melalui proses pencucian selama penelitian yang menyebabkan kandungan agregat halus (lumpur) tidak hilang dari material agregat balas kotor. Pada penelitian kali ini bertujuan mendapatkan nilai kuat tekan yang tinggi namun memiliki berat yang relatif sama dengan struktur balas konvensional tanpa campuran aspal.

4.2.2 Analisis Kuat Tekan dan Deformasi Benda Uji

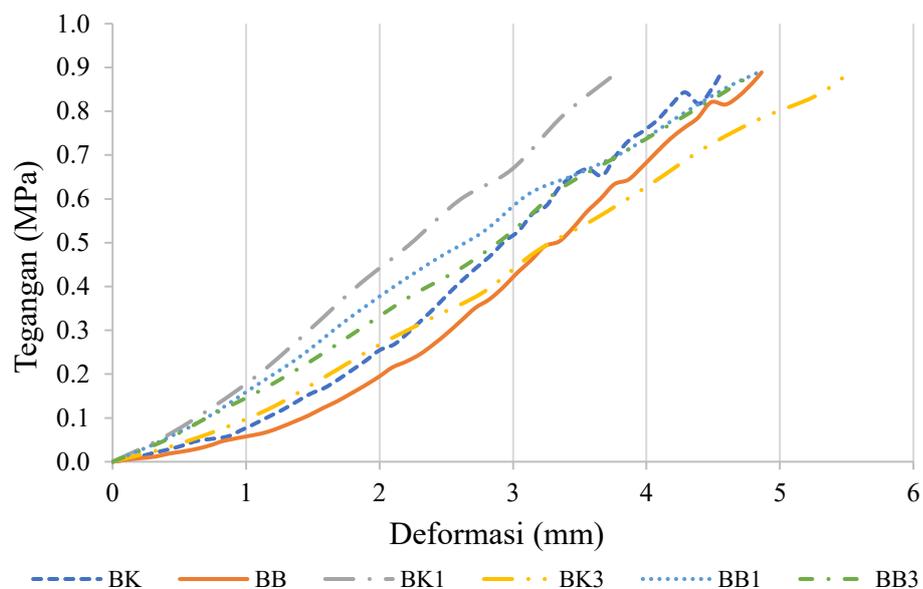
Deformasi adalah perubahan bentuk suatu benda (sampel) dari segi ukuran setelah mengalami pembebanan atau pengujian. Pada penelitian kali ini, setiap sampel benda uji dilakukan 2 kali pembebanan sebesar 4000 kg dengan asumsi menciptakan kondisi benda uji mendekati keadaan nyata lapangan. Dari pengujian yang dilakukan dengan mesin UTM didapatkan nilai kuat tekan dan deformasi vertikal pada siklus pengujian 1 dan pengujian 2 untuk tiap masing-masing benda uji. Hasil kuat tekan dan deformasi vertikal pada pengujian 1 dan pengujian 2 dapat dilihat pada Tabel 4.6 sedangkan dapat dilihat persentase perubahan deformasi pengujian I dengan pengujian II pada Tabel 4.7 dan grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.

Tabel 4. 6 Nilai Kuat Tekan dan Deformasi Benda Uji

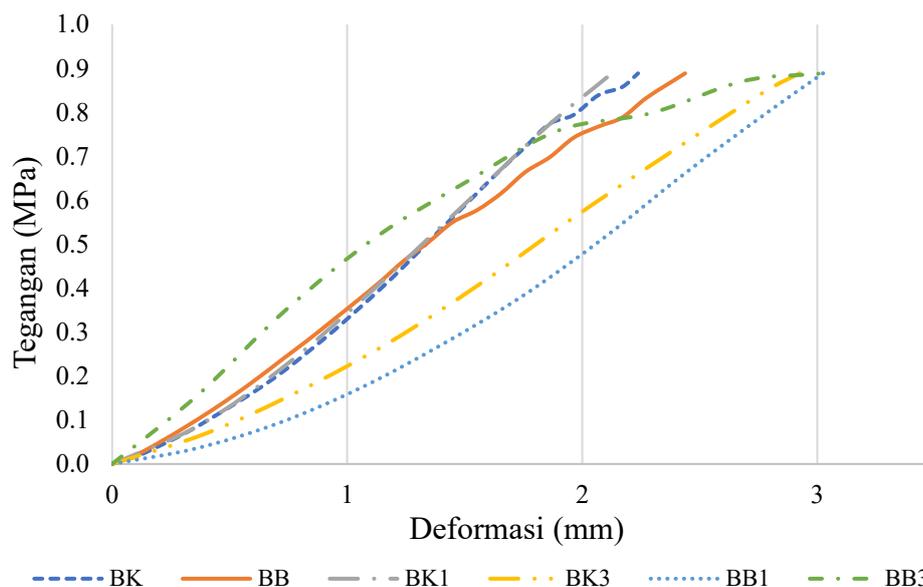
Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Deformasi I (mm)	Deformasi II (mm)
BK	0,889	4.56250	2.23750
BB	0,889	4.86250	2.43750
BK1	0,889	3.77500	2,12500
BK3	0,889	5.52500	2,92500
BB1	0,889	4.83750	3,02500
BB3	0,889	4.81250	3,01250

Tabel 4. 7 Persentase Perubahan Deformasi dari Pengujian I - Pengujian II

Benda Uji	Deformasi I (mm)	Deformasi II (mm)	Persentase Perubahan (%)
BB	4.86250	2.43750	50,95890
BK	4.56250	2.23750	49,87147
BK3	5.52500	2,92500	47,05882
BK1	3,77500	2,12500	43,70861
BB1	4,83750	3,02500	37,46770
BB3	4,81250	3,01250	37,40260



Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Tegangan dengan Deformasi Pengujian I.



Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Tegangan dengan Deformasi Pengujian II.

Dari tabel yang telah disajikan diatas dapat dilihat bahwa benda uji yang ditambahkan dengan material aspal relatif memiliki persentase perubahan deformasi (penurunan) lebih kecil yang berarti struktur balas dengan tambahan campuran aspal tidak bisa mempertahankan deformasi vertikal dengan baik dari pengujian I ke pengujian II dengan nilai deformasi yang relatif masih tinggi. Hal ini dikarenakan sifat aspal yang memiliki elastisitas yang tinggi dan menyebabkan deformasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan balas bersih maupun balas kotor non campuran.

Apabila dilihat dari nilai deformasi (penurunan) pengujian I dan pengujian II antara BK1 dengan BB1 didapatkan nilai deformasi BK1 yang lebih kecil daripada BB1. Hal ini disebabkan karena balas kotor mengandung agregat halus yang dapat menahan aspal lebih banyak pada permukaan lapisan balas dibandingkan dengan BB1. Semakin banyak kadar aspal yang tertahan pada permukaan balas maka semakin kecil deformasi (penurunan) yang terjadi saat dilakukannya uji tekan.

Sedangkan untuk nilai deformasi (penurunan) pengujian I antara BK3 dengan BB3 didapatkan nilai deformasi (penurunan) BB3 lebih kecil daripada BK3 tetapi pada pengujian II nilai deformasi (penurunan) BB3 lebih besar daripada BK3 dan persentase perubahan deformasi BB3 lebih kecil daripada BK3. Dapat dibilang bahwa BK3 memiliki kestabilan deformasi yang lebih baik dari pada BB3

karena BK3 mengandung agregat halus yang membuat tebal aspal tertahan pada 3 lapis yang mengakibatkan kecilnya deformasi pada BK3.

Apabila dilihat dari keseluruhan benda uji, BB1 dan BB3 memiliki nilai persentase perubahan deformasi (penurunan) yang hampir sama, dimana nilai deformasi (penurunan) BB1 sebesar 37,46770% dan BB3 sebesar 37,40260%. Dapat disimpulkan bahwa benda uji agregat bersih + aspal 3% yang dituangkan pada 1 lapisan (permukaan) maupun 3 lapisan (terbagi menjadi 3) memiliki nilai deformasi yang relatif sama dan konstan pada angka 37,4%.

4.2.3 Analisis Modulus Elastisitas Benda Uji

Setelah dilakukan pembebanan pada setiap benda uji maka didapatkan nilai kuat tekan dan nilai deformasi vertikal. Nilai kuat tekan dan nilai deformasi yang didapatkan kemudian di olah menjadi nilai regangan dan tegangan kemudian dioalah menjadi grafik hubungan antara tegangan dan regangan yang disebut dengan modulus elastisitas.

a. Menentukan nilai regangan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \dots\dots\dots 4.1$$

dengan,

ε = regangan (%);

ΔH = perubahan tinggi benda uji pada arloji ukur (cm);

H_0 = tinggi awal benda uji (cm).

Dengan menggunakan persamaan 4.1 diatas dapat diketahui nilai regangan dari setiap benda uji seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Nilai Regangan Benda Uji

Benda Uji	Regangan Pembebanan I (%)	Regangan Pembebanan II (%)
BK	1,5208	0,7458
BB	1,6208	0,8125
BK1	1,2583	0,7083
BK3	1,8417	0,9750
BB1	1,6125	1,0083
BK3	1,6042	1,0042

b. Menentukan nilai tegangan:

Setelah mendapatkan nilai regangan selanjutnya mencari nilai tegangan yang terjadi akibat pembebanan yang dilakukan pada tiap benda uji. Nilai tegangan yang didapat dibagi menjadi 2 yaitu tegangan hasil pengujian tahap 1 dan pengujian tahap 2.

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots 4.2$$

dengan,

σ = tegangan (kPa),

P = beban aksial (kN)

A = luas benda uji (cm²)

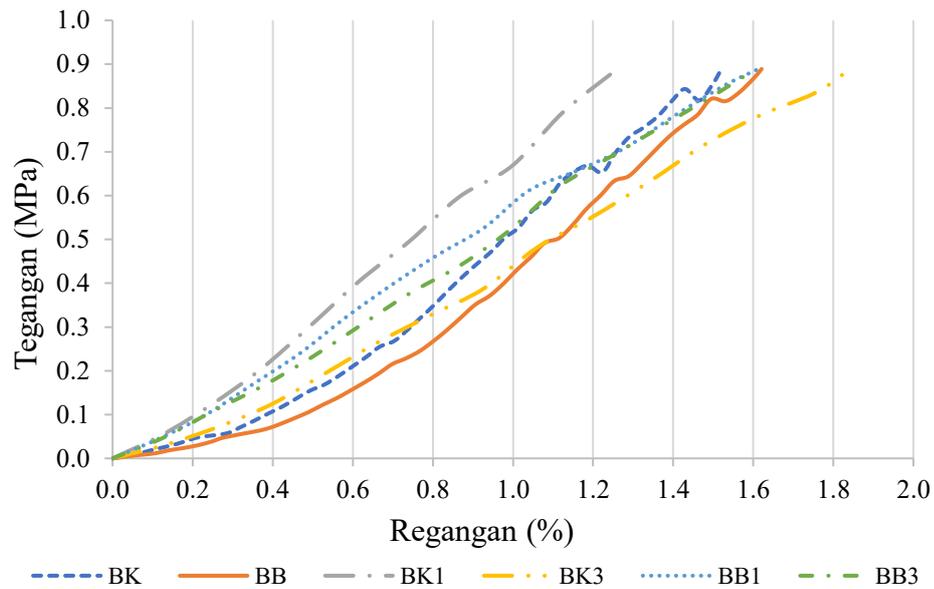
Dengan menggunakan persamaan 4.2 diatas dapat diketahui nilai tegangan dari setiap benda uji seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 9 Nilai Tegangan Benda Uji

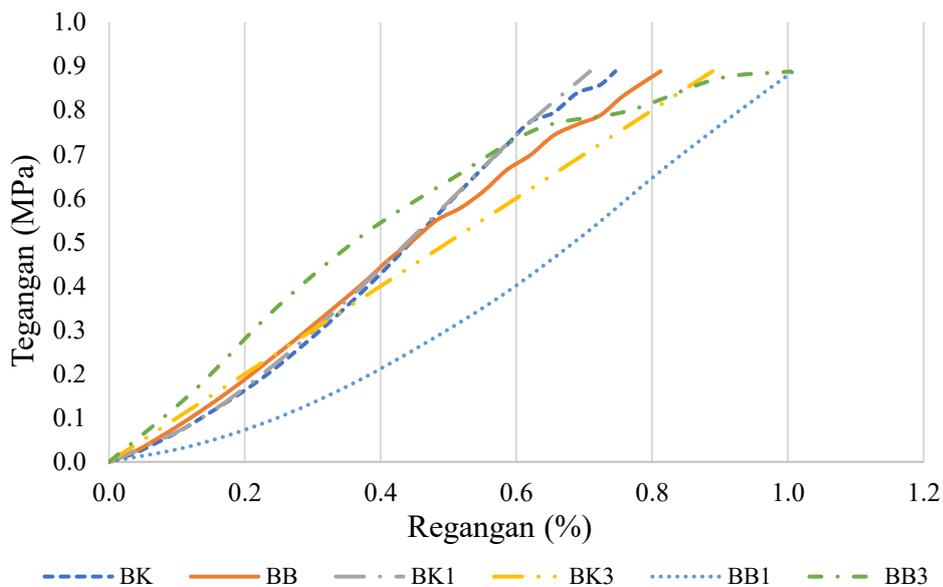
Benda Uji	Tegangan Pembebanan I (MPa)	Tegangan Pembebanan II (Mpa)
BK	0.889	0.889
BB	0.889	0.889
BK1	0.889	0.889
BK3	0.889	0.889
BB1	0.889	0.889
BK3	0.889	0.889

c. Hubungan antara nilai tegangan (σ) dan regangan (ϵ)

Setelah mendapatkan nilai regangan dan tegangan pada pembebanan I dan pembebanan II maka nilai antara regangan dan tegangan akan disajikan dalam grafik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 sebagai berikut:



Gambar 4. 4 Hubungan Antara Tegangan dengan Regangan Pembebanan I



Gambar 4. 5 Hubungan Antara Tegangan dengan Regangan Pembebanan II

d. Menentukan nilai modulus elastisitas:

Setelah mendapatkan nilai regangan dan tegangan pada pembebanan I dan pembebanan II maka nilai tersebut digunakan untuk mencari modulus elastisitas dengan menggunakan persamaan 4.3 seperti berikut

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

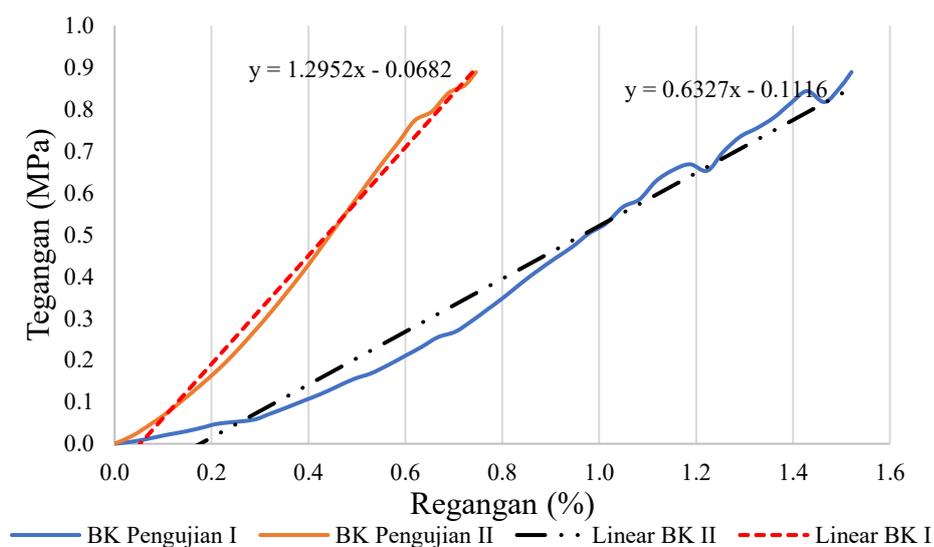
dengan,

E = modulus elastisitas (MPa);

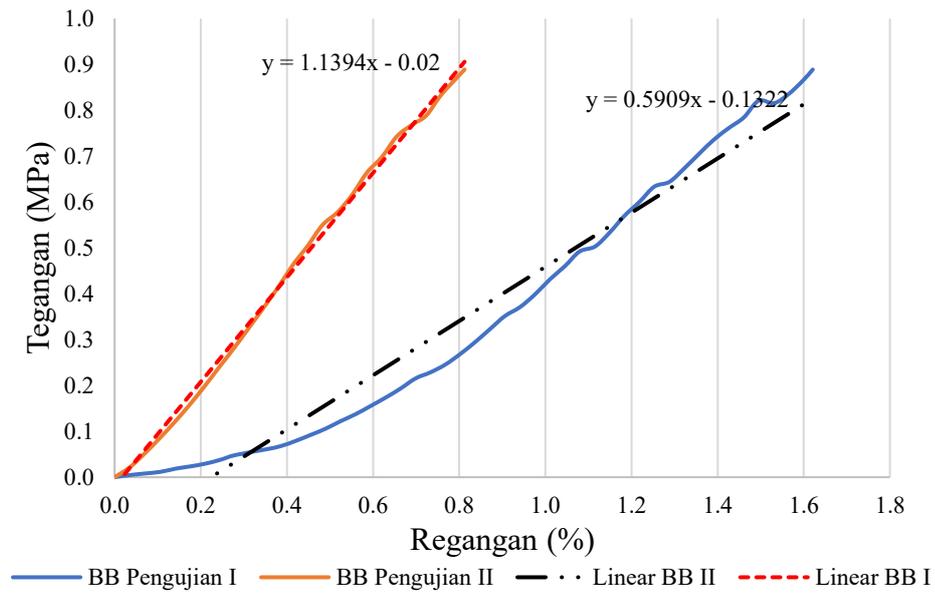
σ = tegangan leleh (kPa);

ε = regangan.

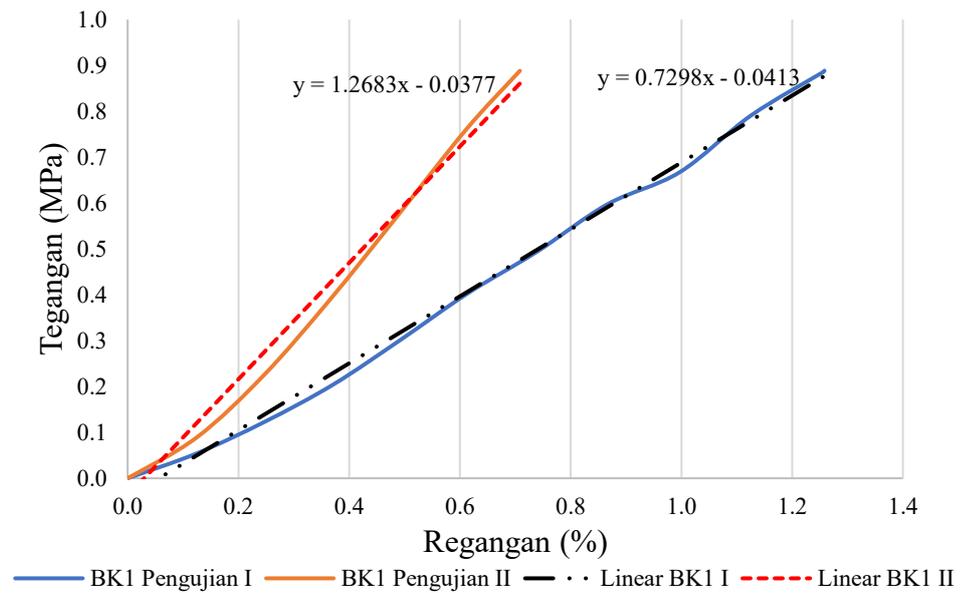
Nilai modulus elastisitas merupakan parameter untuk mengetahui kekakuan dari suatu material. Setiap sampel benda uji yang telah diuji tekan akan menghasilkan nilai tegangan dan regangan. Nilai modulus elastisitas pada tiap benda uji ditampilkan pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11. Untuk memprediksi nilai modulus elastisitas maka dilakukan pendekatan menggunakan metode penarikan garis *trendline* pada setiap perbandingan tegangan dan regangan dari hasil pengujian benda uji. Metode *trendline* ini dilakukan karena nilai tegangan dan regangan yang terjadi mampu mencapai nilai pembebanan maksimum sebesar 4000 kg dan kemungkinan setiap sampel benda uji mampu menerima beban yang lebih tinggi dari 4000 kg dan nilai regangan masih dapat bertambah. Keterbatasan dalam pemberian beban saat pengujian disebabkan oleh daya tahan yang mampu diterima oleh balas *box*. Penggunaan metode *trendline* bertujuan untuk mendapatkan kurva linier sehingga kemiringan batas linier dapat diketahui dari hubungan tegangan dan regangan yang ada. Analisis kurva linier dilakukan pada hasil pembebanan I dan pembebanan II untuk membandingkan nilai yang didapatkan setelah pengujian. Kurva linier/garis *trendline* pada tiap benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.6, Gambar 4.7, Gambar 4.8, Gambar 4.9, Gambar 4.10, dan Gambar 4.11.



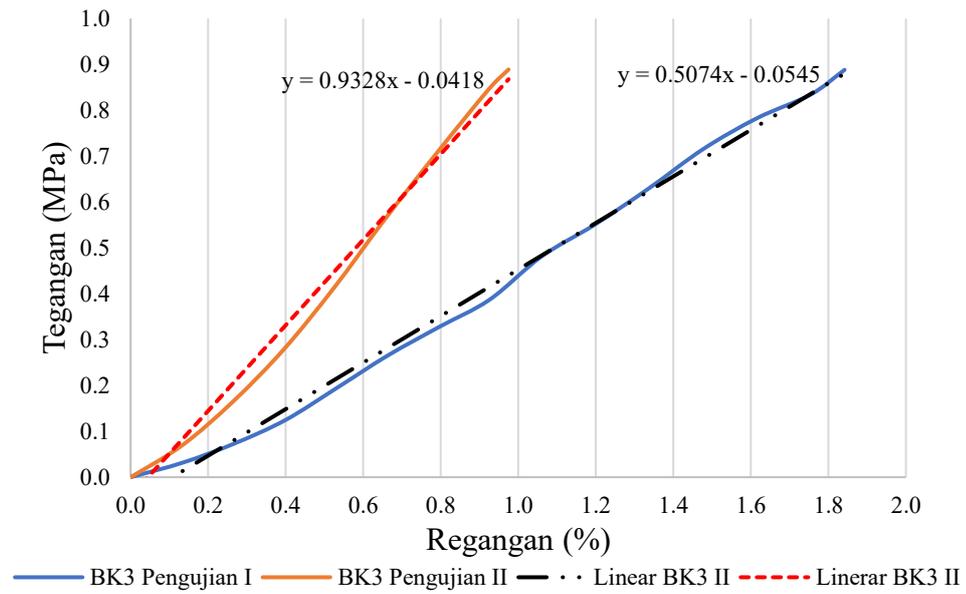
Gambar 4. 6 Garis *Trendline* Benda Uji BK Pengujian I dan Pengujian II



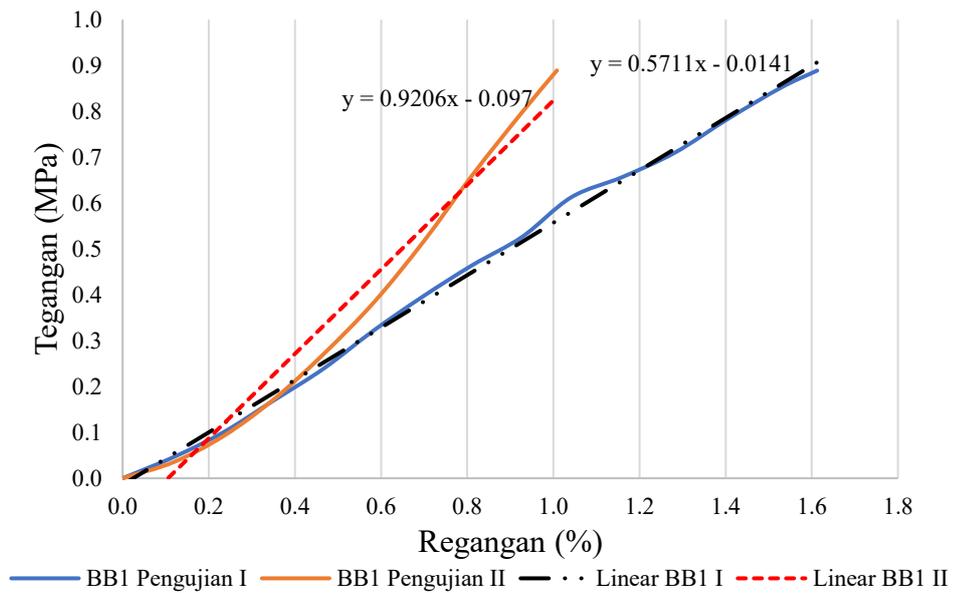
Gambar 4. 7 Garis *Trendline* Benda Uji BB Pengujian I dan Pengujian II



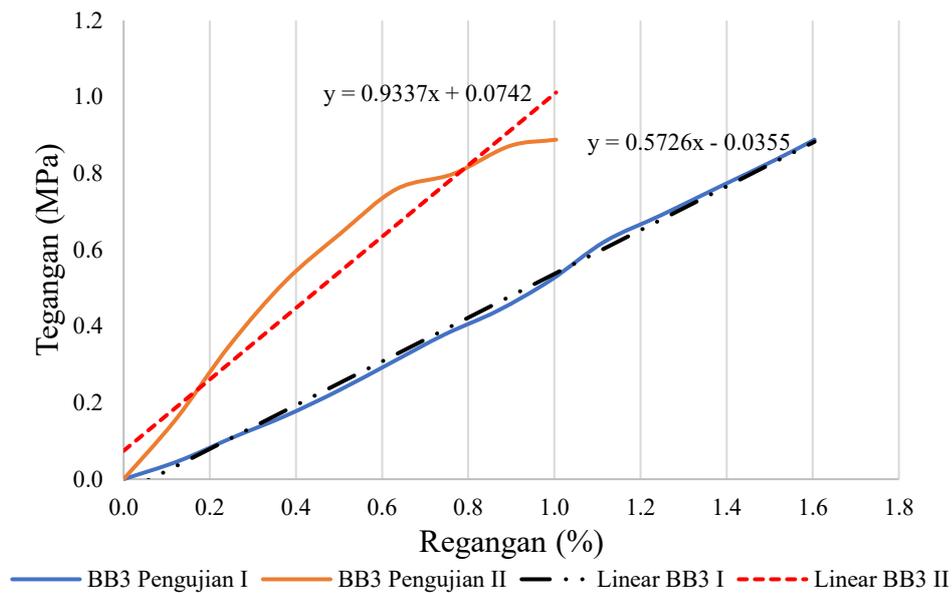
Gambar 4. 8 Garis *Trendline* Benda Uji BK1 Pengujian I dan Pengujian II



Gambar 4. 9 Garis *Trendline* Benda Uji BK3 Pengujian I dan Pengujian II



Gambar 4. 10 Garis *Trendline* Benda Uji BB1 Pengujian I dan Pengujian II



Gambar 4. 11 Garis *Trendline* Benda Uji BB3 Pengujian I dan Pengujian II

Tabel 4. 10 Nilai Modulus Elastisitas Pengujian Tahap I

Benda Uji	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
BK	0,8501	0,0152	55,9279
BB	0,8251	0,0162	50,9295
BK1	0,8782	0,0126	69,7022
BK3	0,8791	0,0184	47,7780
BB1	0,9054	0,0161	56,2342
BB3	0,8807	0,0160	55,0413

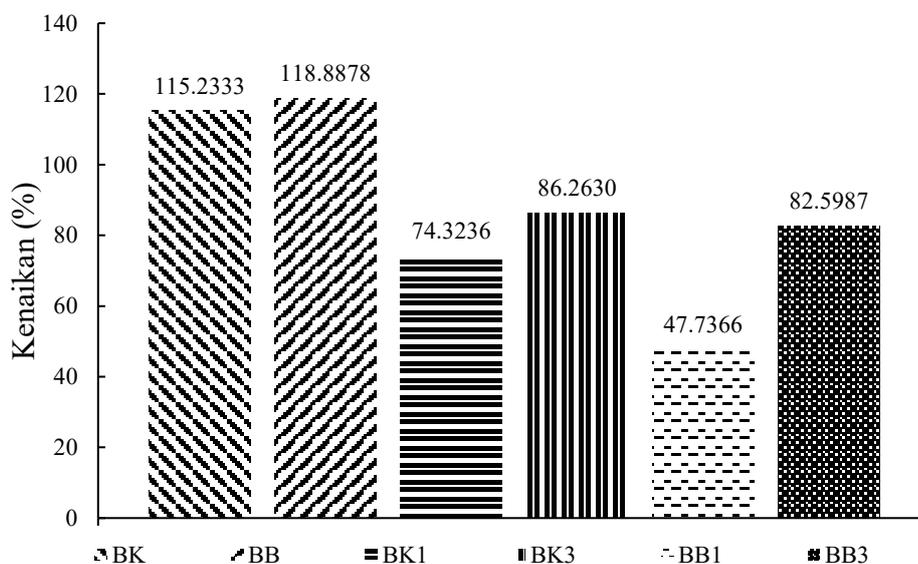
Tabel 4. 11 Nilai Modulus Elastisitas Pengujian Tahap II

Benda Uji	Tegangan (Mpa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
BK	0,8978	0,0075	120,3755
BB	0,9058	0,0081	111,4785
BK1	0,8606	0,0071	121,5074
BK3	0,8677	0,0098	88,9928
BB1	0,8972	0,0108	83,0785
BB3	1,0452	0,0104	100,5046

Setelah mendapatkan nilai modulus elastisitas menggunakan nilai regangan dan tegangan dengan metode *trendline* selanjutnya dianalisis kenaikan yang terjadi pada nilai modulus elastisitas dari pengujian I ke pengujian II. Hasil persentase kenaikan ditampilkan pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.12.

Tabel 4. 12 Hasil Persentase Kenaikan Nilai Modulus Elastisitas

Benda Uji	Modulus Elastisitas I (MPa)	Modulus Elastisitas II (MPa)	Kenaikan (%)
BK	55,9279	120,3755	115,2333
BB	50,9295	111,4785	118,8878
BK1	69,7022	121,5074	74,3236
BK3	47,7780	88,9928	86,2630
BB1	56,2342	83,0785	47,7366
BB3	55,0413	100,5046	82,5987



Gambar 4. 12 Persentase Kenaikan Nilai Modulus Elastisitas

Dari Tabel 4.10 dan Tabel 4.11 dapat dilihat bahwa nilai modulus elastisitas terendah ada pada benda uji BK3 (Pengujian I) dan BB1 (Pengujian II) dengan nilai modulus elastisitas sebesar 47,7780 MPa dan 83,0785 MPa. Sedangkan nilai modulus elastisitas tertinggi ada pada benda uji BK (Pengujian I maupun Pengujian II) dengan nilai modulus elastisitas sebesar 55,9279 MPa dan 120,3755 MPa. Adanya perbedaan nilai modulus elastisitas yang signifikan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya kurangnya nilai kepadatan (Signes, dkk. 2016).

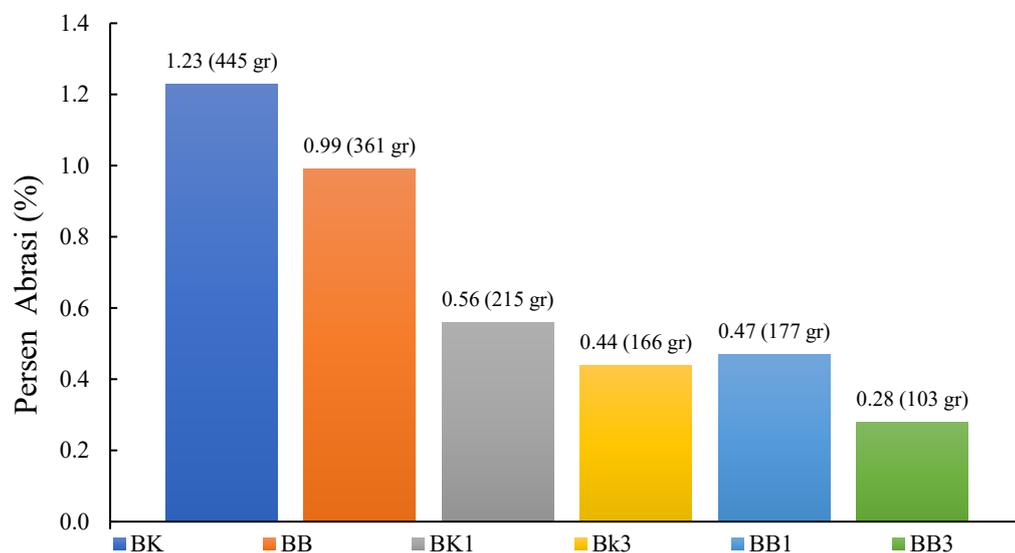
Pada Tabel 4.12 menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas pengujian II lebih tinggi daripada pengujian I. Hal ini disebabkan oleh benda uji yang semakin padat setelah dilakukannya pengujian I. Kenaikan nilai modulus elastisitas tertinggi didapatkan oleh benda uji BK dan BB karena kedua benda uji tersebut tidak mengandung aspal yang memiliki sifat elastis.

4.2.4 Analisis Abrasi Benda Uji

Nilai abrasi merupakan nilai perbandingan persentase berat dari kehancuran material dengan berat benda uji. Pada penelitian kali ini balas dengan campuran aspal diharapkan meningkatkan ketahanan material struktur balas. Besar persentase abrasi benda uji dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu persiapan material, pemadatan material selama pembuatan benda uji dan pengujian tekan yang dilakukan. Tiap benda uji memiliki nilai persentase abrasi yang berbeda-beda. Persentase abrasi benda uji yang lolos saringan nomor $\frac{3}{4}$ dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.13.

Tabel 4. 13 Nilai Agregat Hancur Lolos Saringan $\frac{3}{4}$ "

Benda Uji	Berat Lolos (gram)	Persen Abrasi (%)
BK	445	1.23
BB	361	0.99
BK1	215	0.56
BK3	166	0.44
BB1	177	0.47
BB3	103	0.28



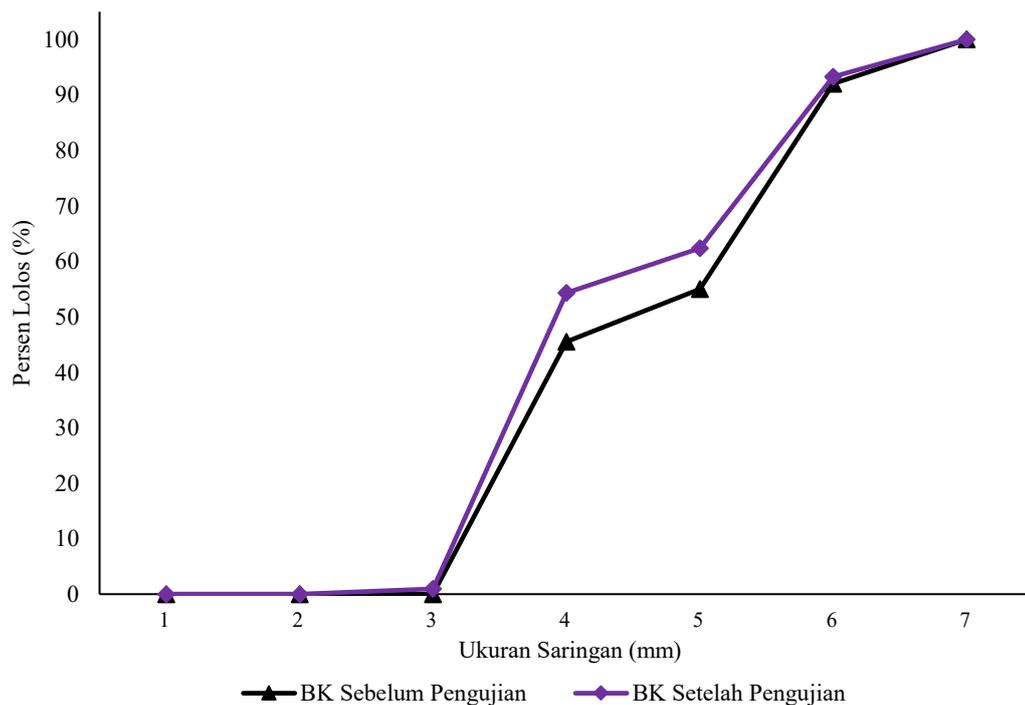
Gambar 4. 13 Nilai Agregat Hancur Lolos Saringan $\frac{3}{4}$ "

Dari Tabel 4.13 dan Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa nilai abrasi agregat tertinggi dialami oleh benda uji BK dan BB hal ini disebabkan benda uji tidak dicampur bahan tambahan aspal. Pada benda uji BK1 dan BB1 nilai abrasi yang diperoleh berada pada nilai tengah antara benda uji lainnya. Sedangkan pada benda

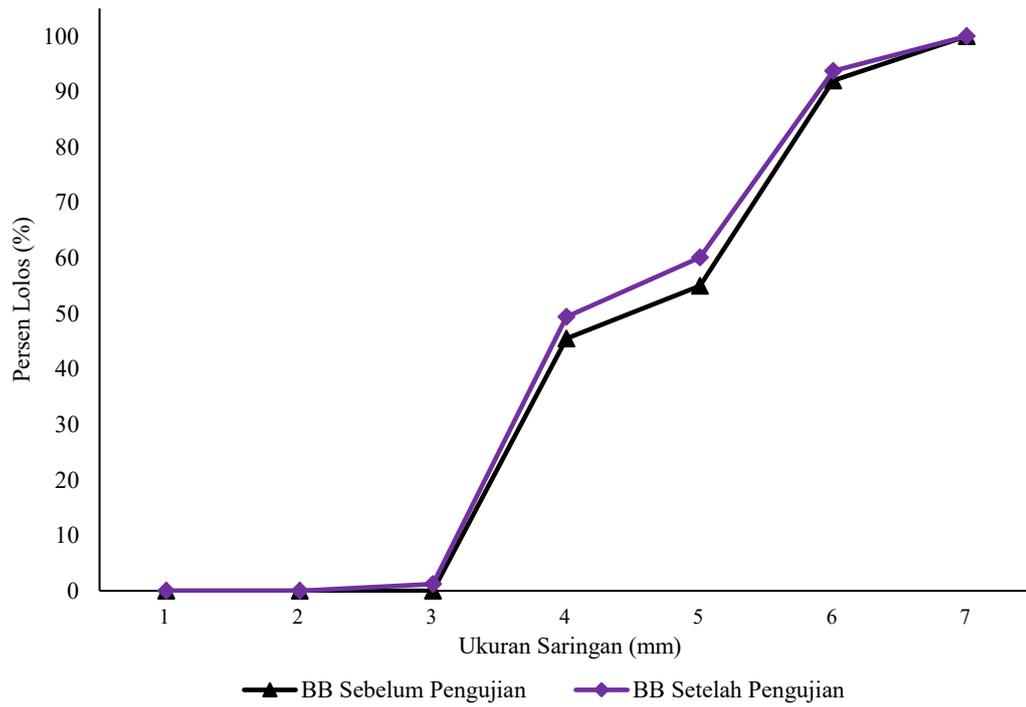
uji BK3 dan BB3 memperoleh nilai abrasi terendah. Hal ini disebabkan karena aspal memiliki peran untuk melindungi agregat dari kehancur material saat pengujian. Semakin luas persebaran aspal pada struktur balas maka semakin kecil nilai abrasi pada benda uji.

4.2.5 Karakteristik Kerusakan Benda Uji

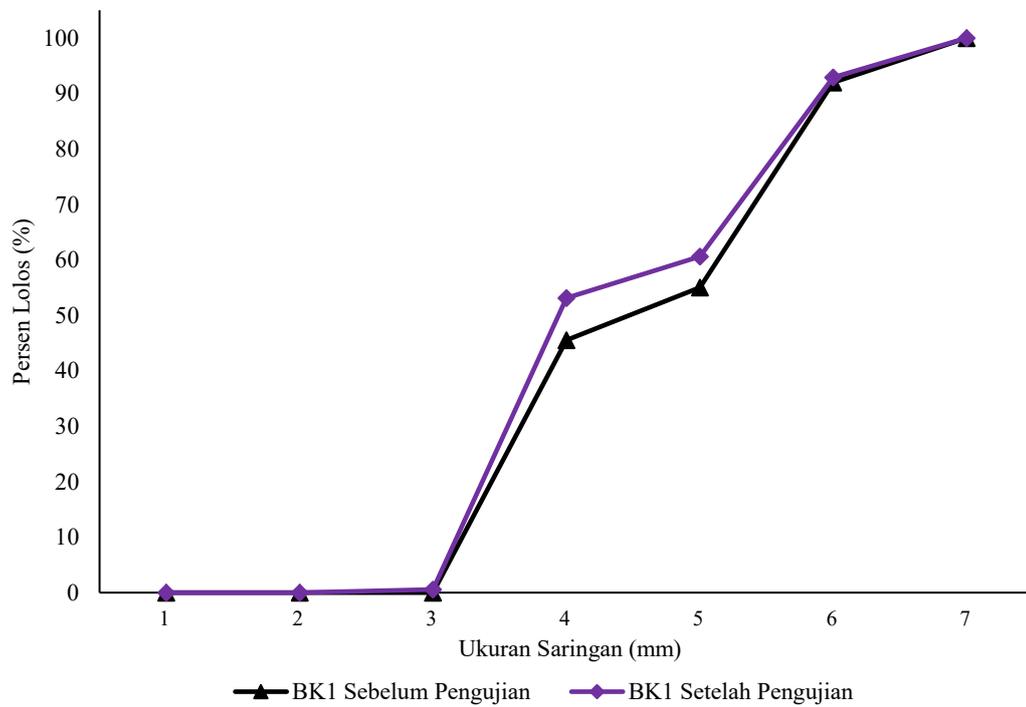
Karakteristik kerusakan benda uji yang dimaksud pada penelitian ini adalah perubahan bentuk dan ukuran agregat kasar yang disebabkan oleh uji tekan. Pada penelitian kali ini balas dengan campuran aspal diharapkan meningkatkan ketahanan material struktur balas. Besar persentase kerusakan benda uji dipengaruhi oleh pengujian tekan yang dilakukan. Nilai distribusi ukuran agregat sebelum pengujian dan setelah pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.14, Gambar 4.15, Gambar 4.16, Gambar 4.17, Gambar 4.18 dan Gambar 4.19.



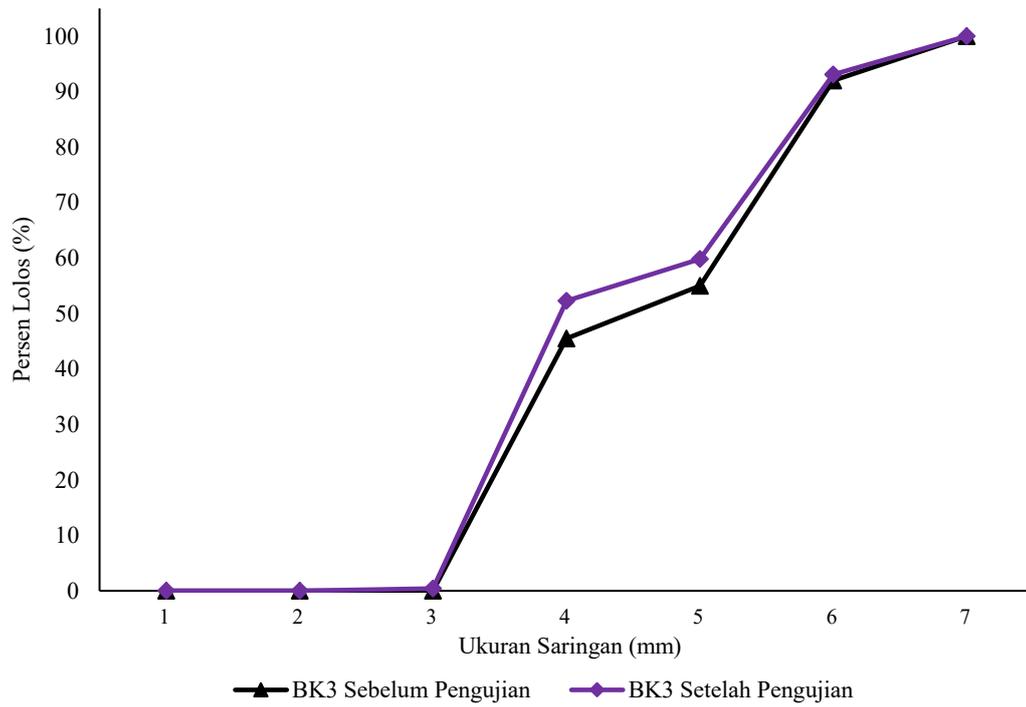
Gambar 4. 14 Grafik Distribusi Gradasi Agregat BK



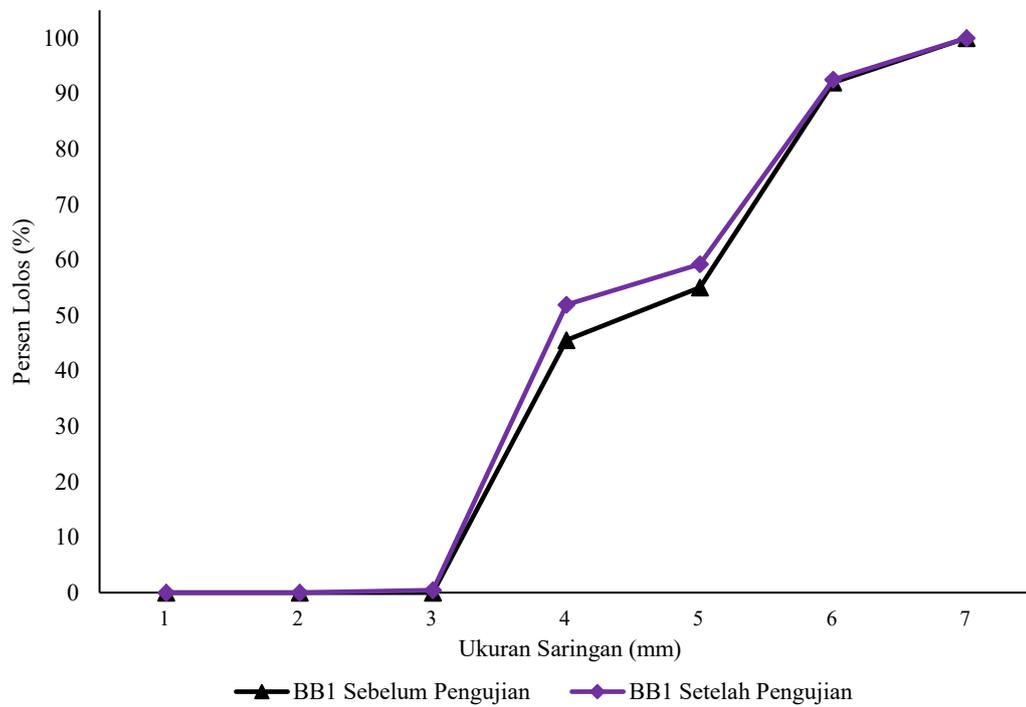
Gambar 4. 15 Grafik Distribusi Gradasi Agregat BB



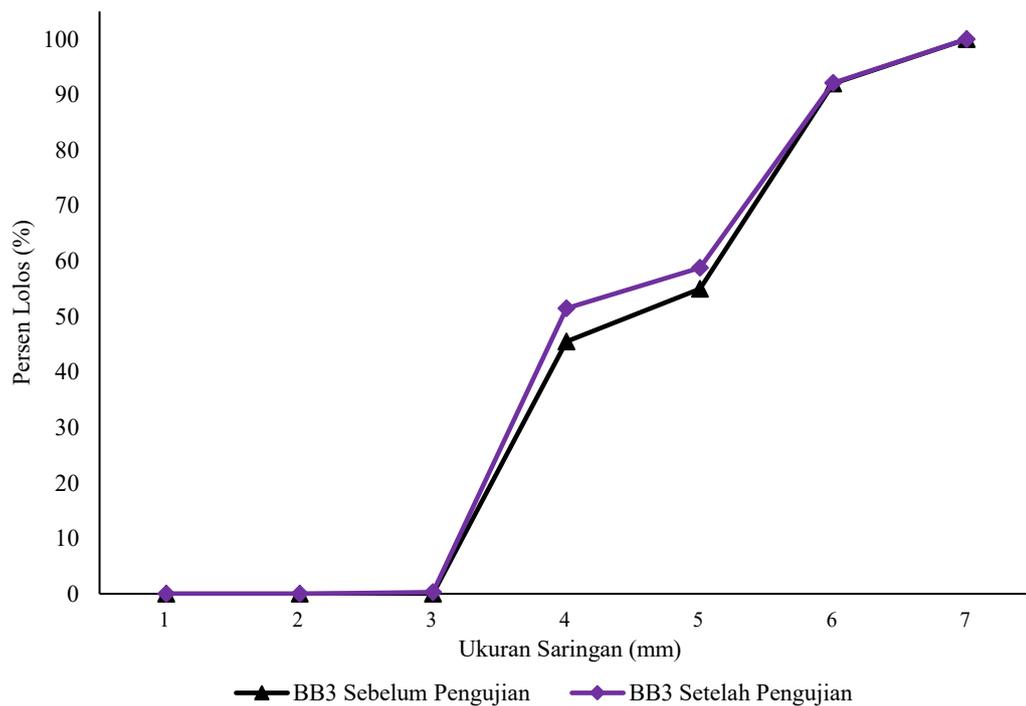
Gambar 4. 16 Grafik Distribusi Gradasi Agregat BK1



Gambar 4. 17 Grafik Distribusi Gradasi Agregat BK3



Gambar 4. 18 Grafik Distribusi Gradasi Agregat BB1



Gambar 4. 19 Grafik Distribusi Gradasi Agregat BB3

Dapat dilihat dari keseluruhan grafik diatas bahwa benda uji yang mengalami kerusakan (perubahan ukuran dan bentuk) material paling signifikan ada pada benda uji BK dan BB. Hal ini disebabkan karena benda uji BK dan BB tidak diberi bahan tambahan aspal. Sedangkan benda uji yang ditambahkan aspal memiliki kerusakan material lebih rendah dari pada benda uji *non-campuran* aspal. Campuran aspal pada modifikasi struktur balas kali ini memiliki peran yang penting untuk meminimalisir kerusakan pada material balas. Semakin merata penyebaran aspal pada struktur balas, maka semakin kecil kerusakan yang dialami oleh struktur balas saat menerima beban tertentu.