

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Bahan

Beberapa hasil pengujian untuk memeriksa kualitas agregat dan karet yang digunakan pada penelitian ini yang akan dijelaskan dibawah ini.

4.1.1. Pemeriksaan Agregat Balas

Hasil pemeriksaan agregat balas yang diambil dari daerah Kulon Progo, Jogjakarta diperoleh hasil yang terdapat pada Tabel 4.1 dengan mengacu pada Peraturan Bina Marga (2010) dan data selengkapnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. 1 Hasil pemeriksaan agregat kasar

No	Jenis Pemeriksaan	Spesifikasi	Hasil	Satuan
Agregat Kasar				
1.	Berat Jenis Curah Kering	$\geq 2,5$	2,63	-
2.	Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan	$\geq 2,5$	2,66	-
3.	Berat Jenis Semu	$\geq 2,5$	2,70	-
4.	Penyerapan Air	≤ 3	0,95	%
5.	Kadar Lumpur		1,88	%
6.	Keausan Agregat	≤ 40	17,66	%

Agregat yang berasal dari Kulon Progo memenuhi standar dan spesifikasi yang diisyaratkan Standar Nasional Indonesia dan spesifikasi umum Bina Marga (2010). Oleh karena itu, agregat tersebut layak dan dapat digunakan sebagai bahan untuk penelitian.

Dalam pemeriksaan agregat balas ini digunakan lima jenis sampel untuk setiap pemeriksaan (Tabel 4.2 dan Tabel 4.3), lalu diambil nilai rata-rata dari data yang didapatkan agar nilai yang diperoleh lebih teliti dan terdapat perbandingan nilai terhadap semua sampel. Namun, dalam pemeriksaan keausan material hanya digunakan tiga sampel (Tabel 4.4).

Tabel 4. 2 Berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Benda Uji	BJ Bulk	BJ SSD	BJ Semu	Penyerapan
1	2,66	2,68	2,72	0,9
2	2,63	2,65	2,69	0,8

Tabel 4.2 Lanjutan

Benda Uji	BJ Bulk	BJ SSD	BJ Semu	Penyerapan
3	2,61	2,64	2,68	1,0
4	2,66	2,68	2,71	0,7
5	2,60	2,64	2,70	1,4

Tabel 4. 3 Kadar lumpur agregat kasar

Benda Uji	Berat Awal (g)	Berat Kering Setelah Pencucian (g)	Kadar Lumpur (%)
1	4951,1	4860,8	1,8
2	4936,9	4827,2	2,2
3	4963,8	4870,3	1,9
4	4977,8	4900	1,6
5	4950,1	4857,2	1,9

Tabel 4. 4 Keausan agregat kasar

Benda Uji	Berat Awal (g)	Berat Setelah Abrasi (g)	Keausan Balas (%)
1	5019,3	4154	17,24
2	5006,4	4138,7	17,33
3	5009,7	4087	18,42

Terdapat beberapa pembahasan untuk hasil pengujian agregat kasar sebagai berikut:

a. Pemeriksaan berat jenis

Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume dari suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama. Berat jenis adalah suatu sifat yang umumnya digunakan dalam menghitung volume yang akan diisi oleh agregat dalam berbagai campuran yang mengandung agregat, termasuk beton semen, beton aspal dan campuran lain. Penentuan berat jenis disesuaikan dengan kondisi agregat diantaranya, berat jenis curah kondisi jenuh kering permukaan atau agregat dalam keadaan *saturated surface dry* (SSD) merupakan kondisi dimana agregat dalam keadaan basah yaitu penyerapannya sudah terpenuhi, adapun berat jenis curah kering oven digunakan untuk mengetahui nilai berat jenis agregat dalam keadaan kering atau diasumsikan kering. Berat jenis semu (*apparent*) yaitu kepadatan relatif dari bahan padat dan tidak termasuk pori diantara partikel yang akan terisi oleh air.

Dari hasil pengujian pemeriksaan berat jenis yang sudah dilakukan diperoleh nilai rata-rata untuk berat jenis curah kering sebesar 2,63, berat jenis jenuh kering permukaan rata-rata sebesar 2,66, dan berat jenis semu rata-rata sebesar 2,70.

b. Pemeriksaan penyerapan air

Angka penyerapan air ini digunakan untuk menghitung perubahan berat dari agregat akibat air yang diserap ke dalam pori-pori agregat dibandingkan dengan saat kondisi kering, ketika agregat tersebut sudah dianggap cukup lama kontak dengan air sehingga air sudah menyerap penuh kedalam agregat tersebut. Angka penyerapan air yang didapatkan dari hasil pengujian adalah sebesar 0,95 %.

c. Pemeriksaan kadar lumpur

Lumpur yang terdapat pada agregat sangat mempengaruhi ikatan agregat dengan bahan pengikat lain seperti semen dan aspal. Pemeriksaan ini bertujuan untuk memeriksa kadar lumpur yang terkandung pada agregat yang akan digunakan agar tidak memengaruhi campuran yang akan dibuat. Kadar lumpur yang didapatkan dari hasil pengujian pemeriksaan kadar lumpur adalah sebesar 1,88%.

d. Pemeriksaan keausan agregat

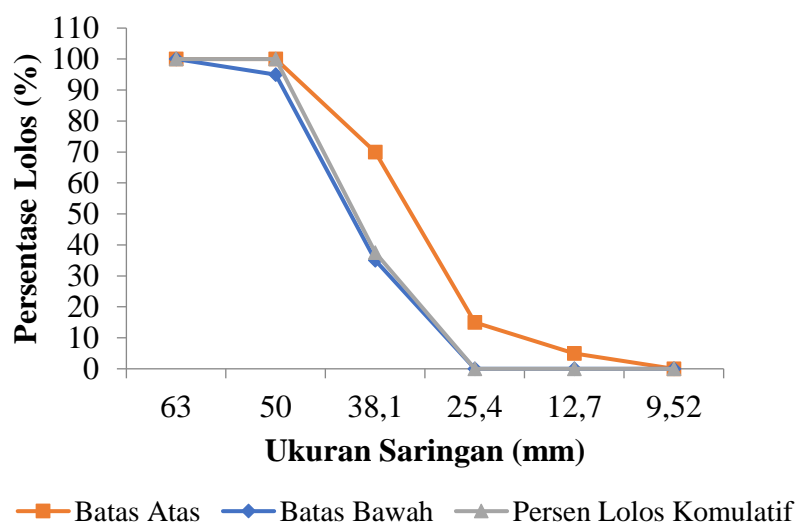
Daya tahan agregat adalah ketahanan agregat untuk tidak hancur oleh pengaruh mekanis ataupun kimia. Agregat yang digunakan dalam suatu konstruksi perkerasan harus memiliki daya tahan terhadap gradasi yang mungkin terjadi saat proses pencampuran, pemadatan, repetisi beban serta tahan terhadap desintegrasi yang menghancurkan agregat menjadi partikel yang lebih kecil akibat gaya yang ditimbulkan akibat pemadatan ataupun penimbunan. Hasil yang diperoleh dari hasil pemeriksaan dengan alat *Los Angeles* adalah sebesar 17,66%.

e. Analisis saringan

Dalam mengetahui distribusi ukuran agregat yang digunakan dalam pengujian ini menggunakan pemeriksaan analisis saringan yang ditampilkan pada Tabel 4.5. Hasil yang diperoleh dari pengujian analisis saringan menunjukkan bahwa ukuran agregat yang digunakan adalah 2” sampai 3/4” atau 25 mm sampai 60 mm (Gambar 4.1).

Tabel 4. 5 Hasil pengujian gradasi butiran

Ukuran Saringan (inch)	Massa Tertahan (gram)	Jumlah Tertahan (gram)	Persen komulatif 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

Dari semua hasil pemeriksaan yang dilakukan untuk agregat yang berasal dari Kulon Progo memiliki hasil pemeriksaan yang masuk ke dalam spesifikasi bahan yang disyaratkan oleh Bina Marga (2010).

4.2. Karakteristik Campuran

Pada penelitian ini dibuat 2 jenis pencampuran yang berbeda. Seperti yang telah dijelaskan dalam bab sebelumnya tentang metode dan bahan tambahan pada campuran dengan memasukan karet ban bekas. Jenis campuran modifikasi balas dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Sampel uji modifikasi balas

No.	Jenis Benda Uji	Material Penyusun	Gradasi Karet
1	Sampel I	Balas	-
2	Sampel II	Balas + Karet (10%)	Seragam
3	Sampel III	Balas + Karet (10%)	Menerus

Setelah dilakukan pencampuran modifikasi balas, dilakukan pemeriksaan karakteristik pada ketiga sampel ini. Pemeriksaan karakteristik balas ini meliputi berat sampel uji, volume sampel uji, volume karet pada campuran dan volume pori pada campuran tersebut. Hal ini berguna untuk mengetahui pengaruh penggunaan karet pada modifikasi balas. Hasil pemeriksaan ketiga sampel uji tersaji dalam Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Karakteristik campuran modifikasi balas

No.	Jenis Pemeriksaan	Sampel I	Sampel II	Sampel III	Satuan
1	Berat benda uji +box	48.550	45.292	44.510	gr
2	Berat box	10.200	10.200	10.200	gr
3	Berat benda uji	38.350	35.092	34.310	gr
4	Volume box	24.000	24.000	24.000	cm ³
5	Berat vol. Benda uji	1,60	1,46	1,43	gr/cm ³
6	%Karet	0	10	10	%
7	%Balas	100	90	90	%
8	BJ karet bekas	1,14	1,10	1,10	-
9	BJ balas	2,66	2,66	2,66	-
10	BJ maksimal teoritis	2,66	2,33	2,35	-
11	Vol. Karet dalam campuran	0	13,29	13,00	%
12	Vol. Balas dalam campuran	60,07	49,47	48,37	%
13	Vol. Pori dalam campuran	39,93	37,24	38,63	%
14	Pemadatan	25	25	25	tumbukan

Dari hasil pemeriksaan ketiga sampel uji yang memiliki campuran berbeda didapatkan volume pori (rongga dalam campuran) yang berbeda. Perbedaan volume rongga ini disebabkan oleh adanya penambahan variabel yaitu karet ban bekas yang

menyebabkan rongga dalam campuran berkurang. Semakin banyak variabel bahan yang ditambahkan dalam campuran, akan mengurangi rongga di dalam campuran itu dengan pemadatan yang sama.

4.3. Hasil Pengujian Tekan

Hasil dari pengujian tekan dengan menggunakan alat uji tekan (*Universal Testing Machine*) berupa nilai tegangan, regangan dan nilai penurunan akan ditampilkan dalam Tabel 4.8, Tabel 4.9, dan Tabel 4.10.

Tabel 4. 8 Hasil pengujian sampel I

No	Force (Kg)	Stress (kPa)	Strain (%)	Elong (mm)
Benda uji A				
0	160,35	19,6200	0,17333	0,52
1	281,4	34,5312	0,33333	1
2	441,75	54,1512	0,50667	1,52
3	571,35	70,0434	0,66667	2
4	706,8	86,7204	0,84000	2,52
5	891,3	109,2834	1,00000	3
6	1145,25	140,4792	1,17333	3,52
7	1335,9	163,8270	1,33333	4
8	1596,9	195,8076	1,46667	4,52
9	1731,6	209,4435	1,66667	5
Peak	2952,9	362,0871	2,57333	7,72
Break	2834,7	347,5683	2,57333	7,72
Benda uji B				
0	70,8	8,7309	0,17333	0,52
1	138	16,9713	0,33333	1
2	257,4	31,6863	0,50667	1,52
3	418,8	51,4044	0,66667	2
4	678,35	83,2869	0,84000	2,52
5	962,7	118,0143	1,00000	3
6	1280,5	154,6056	1,17333	3,52
7	1541,55	189,0387	1,33333	4
8	1748385	214,4466	1,50667	4,52
9	1980,9	242,8956	1,66667	5
Peak	3125,4	383,2767	2,29333	6,88
Break	3118,2	362,7738	2,90667	6,92

Tabel 4. 9 Hasil pengujian sampel II

No	Force (Kg)	Stress (kPa)	Strain (%)	Elong (mm)
Benda uji A				
0	89,25	10,9872	0,17333	0,52
1	171	20,9934	0,33333	1
2	276,6	33,9426	0,50667	1,52
3	390,3	47,8728	0,66667	2
4	522,3	64,0593	0,84000	2,52
5	602,7	73,8693	1,00000	3
6	728,7	89,3691	1,17333	3,52
7	863,85	105,9480	1,33333	4
8	964,2	118,2105	1,50667	4,52
9	1063,95	130,4730	1,66667	5
Peak	1098,15	134,6913	1,70667	5,12
Break	1066,5	130,7673	1,72000	5,16
Benda uji B				
0	67,65	8,3385	0,17333	0,52
1	125,25	15,4017	0,33333	1
2	200,1	24,5250	0,50667	1,52
3	284,7	34,9236	0,66667	2
4	397,35	48,7557	0,84000	2,52
5	521,25	63,9612	1,00000	3
6	683,7	83,8755	1,17333	3,52
7	855,15	104,8689	1,33333	4
8	1057,35	129,6882	1,50667	4,52
9	1252,2	153,5265	1,66667	5
Peak	2373,75	291,0627	3,10667	9,32
Break	2359,8	289,3950	2,94667	8,84

Tabel 4. 10 Hasil pengujian sampel III

No	Force (Kg)	Stress (kPa)	Strain (%)	Elong (mm)
Benda uji A				
0	43,05	5,2974	0,17333	0,52
1	73,05	8,9271	0,33333	1
2	109,95	13,4397	0,50667	1,52
3	148,05	18,1485	0,66667	2
4	191,85	23,5440	0,84000	2,52
5	239,70	29,4300	1,00000	3
6	294,30	36,1008	1,17333	3,52
7	333,60	40,9077	1,33333	4
8	395,85	48,5595	1,50667	4,52
9	443,70	54,4455	1,66667	5
Peak	2791,05	338,5431	6,38887	6,04
Break	2642,1	324,0243	6,44000	6,08

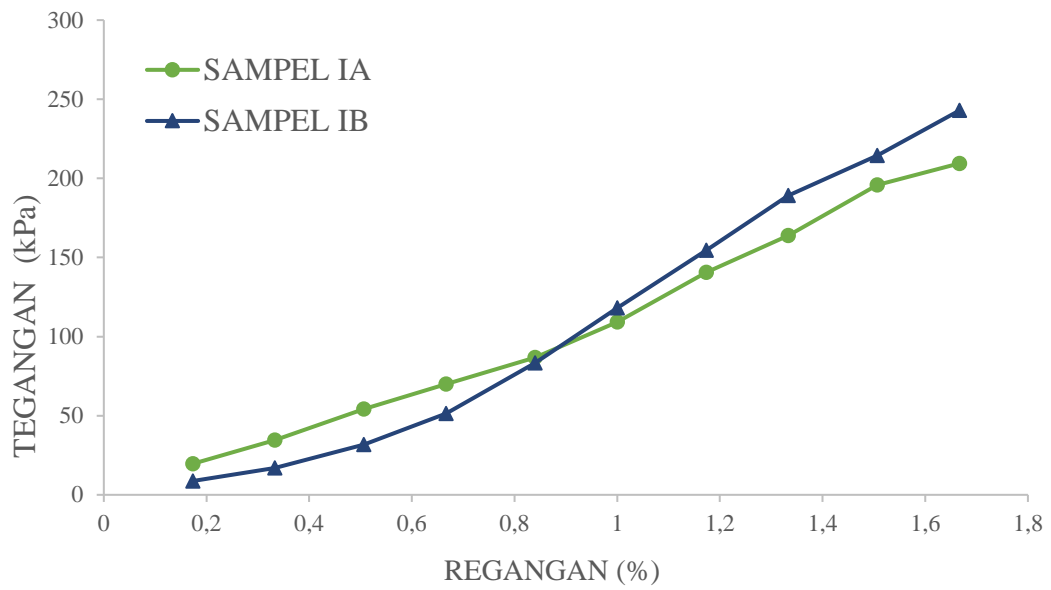
Tabel 4.11 Lanjutan

No	<i>Force (Kg)</i>	<i>Stress (kPa)</i>	<i>Strain (%)</i>	<i>Elong (mm)</i>
Benda uji B				
0	29,10	3,5316	0,17333	0,52
1	47,70	5,8860	0,33333	1
2	69,30	8,5347	0,50667	1,52
3	91,80	11,2815	0,66667	2
4	116,40	14,3226	0,84000	2,52
5	139,05	17,0694	1,00000	3
6	169,20	20,7972	1,17333	3,52
7	201,15	24,6231	1,33333	4
8	236,25	28,9395	1,50667	4,52
9	273	33,4521	1,66667	5
Peak	354,75	43,4583	2,01333	6,04
Break	339,60	41,6925	2,02667	6,08

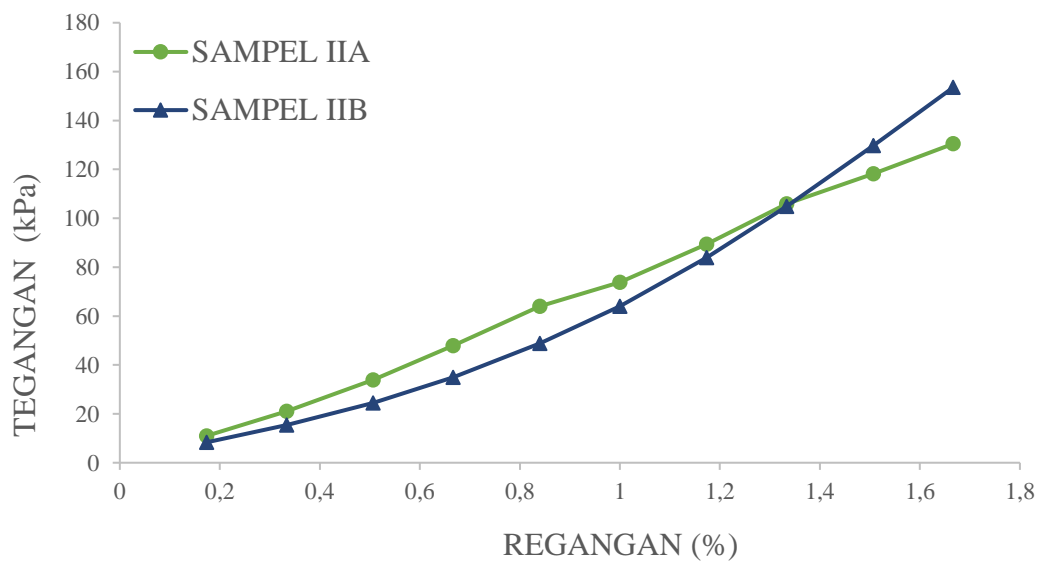
Berdasarkan data pengujian diatas, terdapat perbedaan pada nilai tegangan, regangan dan deformasi yang dialami oleh ketiga sampel tersebut. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan karet ban bekas yang mengurangi nilai kekakuan pada balas. Sifat elastis yang diberikan oleh karet ban bekas inilah yang menyebabkan perbedaan angka yang diperoleh dalam hasil pengujian, juga gradasi dari karet ban bekas sangat berpengaruh pada volume pori yang ada dalam campuran.

4.4. Nilai Modulus Elastisitas

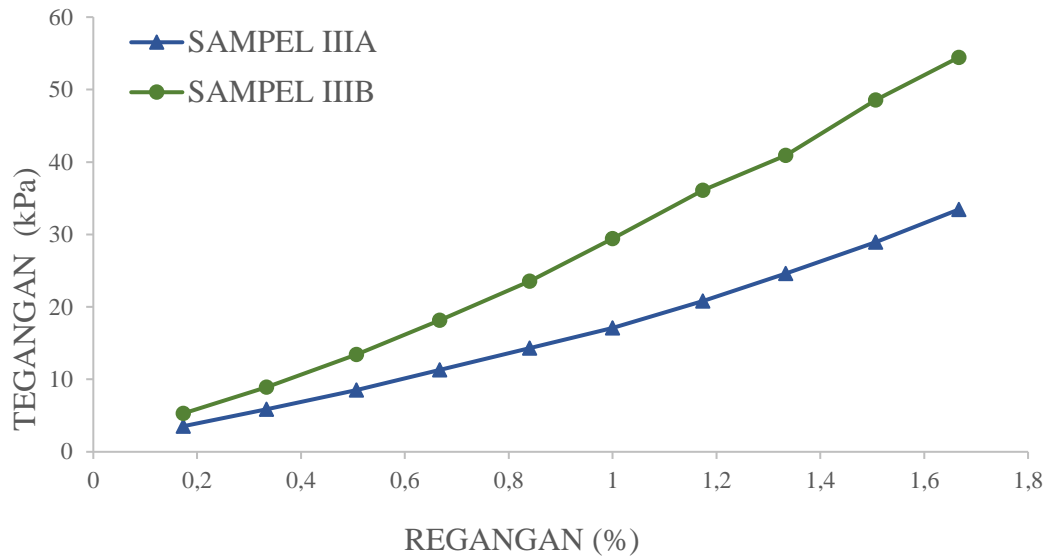
Nilai yang didapatkan dari hasil pengujian tekan berupa besar beban, tegangan, regangan dan penurunan seperti yang sudah ditampilkan pada Tabel 4.8. Selanjutnya dilakukan analisis dengan menggunakan kurva hubungan tegangan dan regangan untuk memperoleh besar nilai modulus elastisitas dari sampel yang sudah dibuat. Kurva yang dihasilkan dibagi menjadi kurva untuk sampel I (lihat Gambar 4.2), sampel II (lihat Gambar 4.3), dan sampel III (lihat Gambar 4.4) juga kurva gabungan untuk semua sampel pada Gambar 4.5.



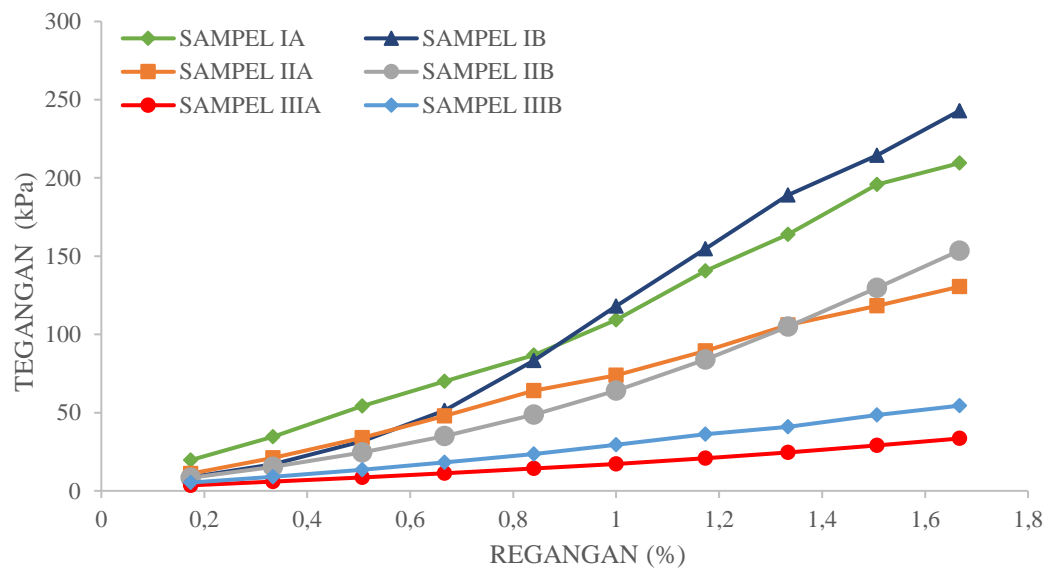
Gambar 4. 2 Kurva hubungan tegangan dan regangan sampel I



Gambar 4. 3 Kurva hubungan tegangan dan regangan sampel II



Gambar 4. 4 Kurva hubungan tegangan dan regangan sampel III

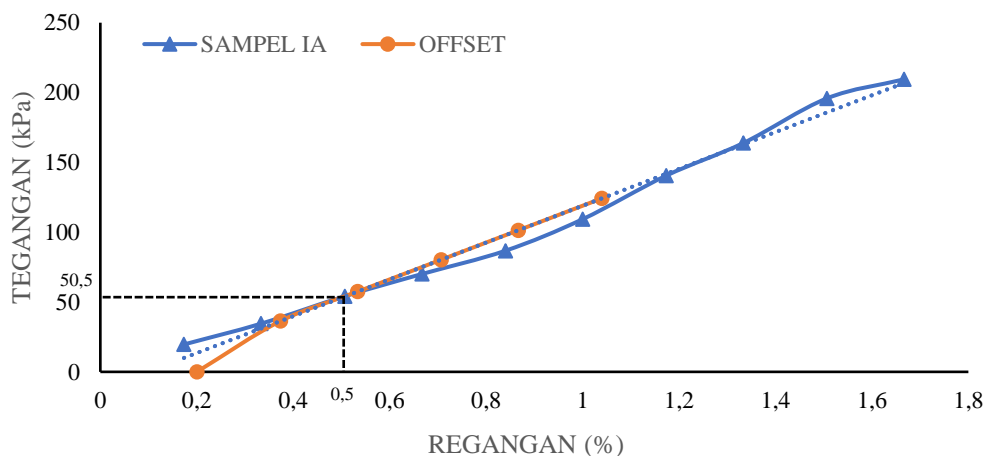


Gambar 4. 5 Kurva hubungan tegangan dan regangan setiap sampel

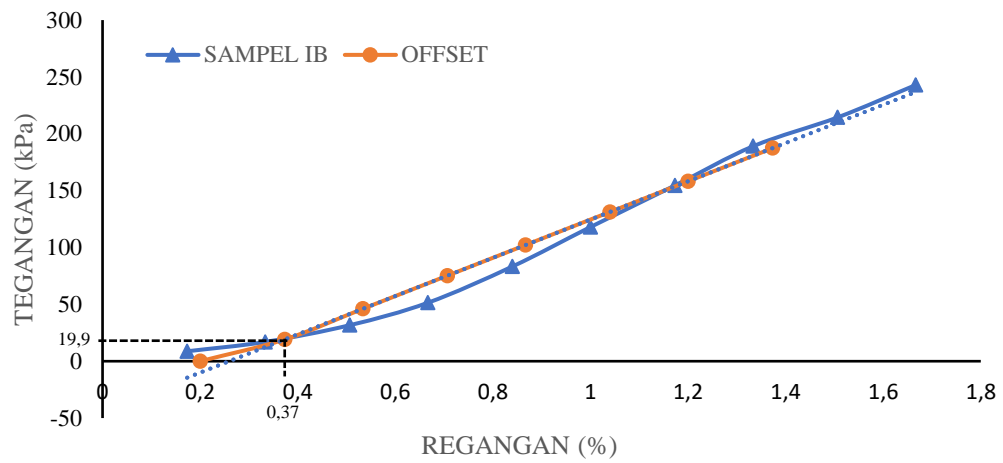
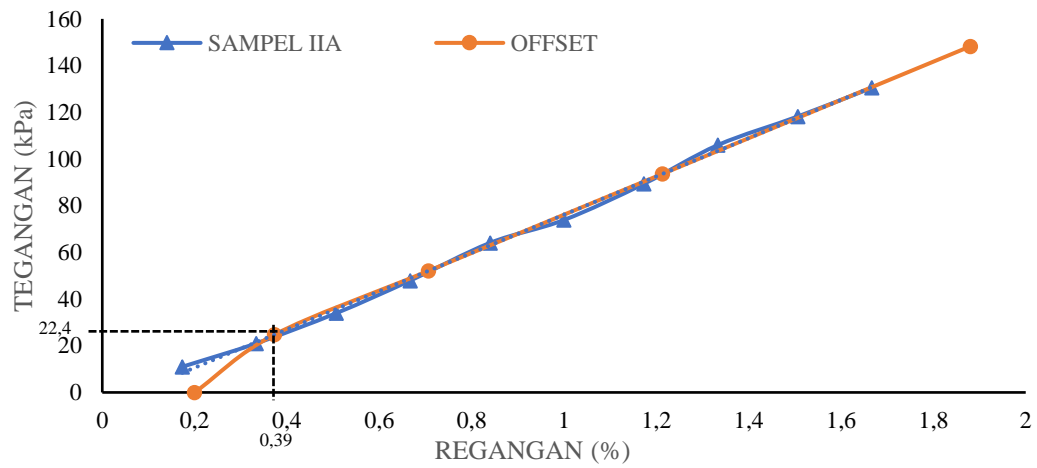
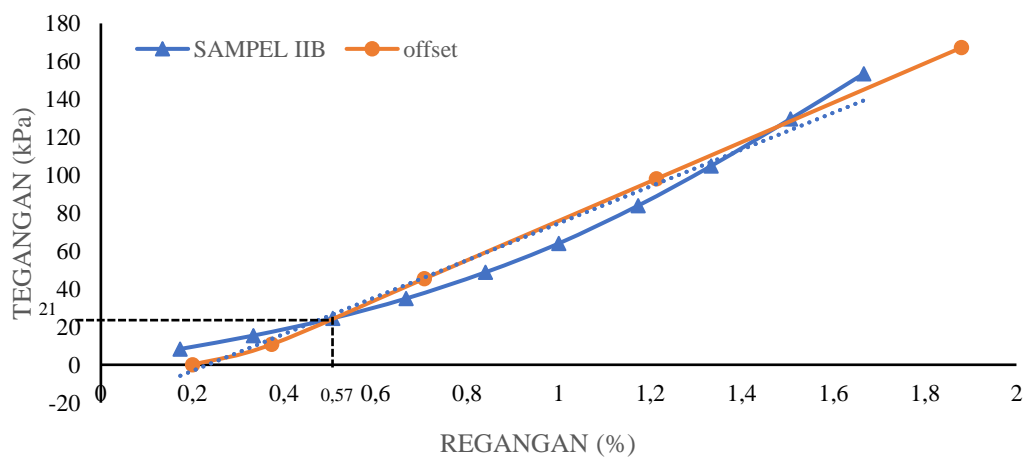
Dari Gambar 4.5 dapat dilihat nilai tegangan dan regangan yang dihasilkan oleh sampel IA dan IB atau sampel tanpa penambahan karet. Tegangan yang dapat ditumpu oleh sampel ini dibandingkan dengan sampel lain dengan nilai regangan yang sama adalah paling besar. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa penambahan karet dapat membuat campuran balas lebih kaku dibandingkan dengan campuran balas dengan penambahan karet. Dapat dilihat pada sampel II dan sampel III yang

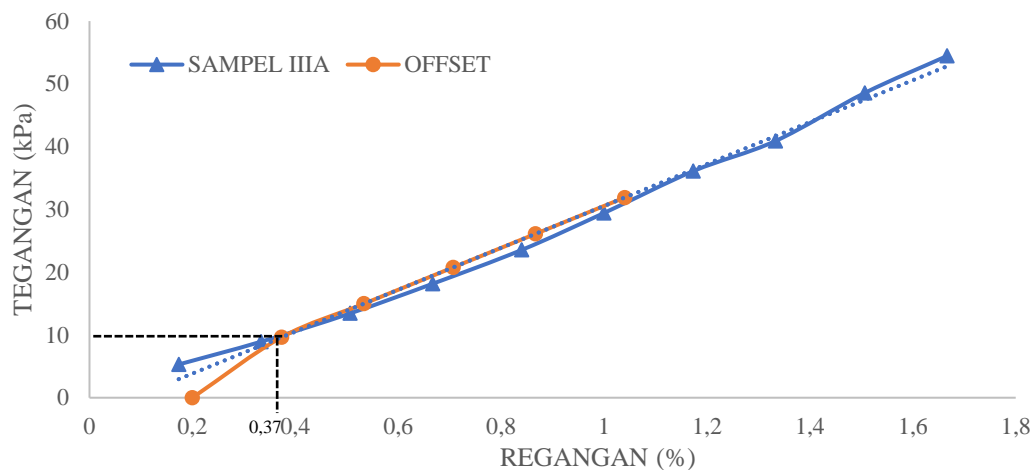
mendapatkan tambahan karet pada campurannya menyebabkan nilai tegangan menjadi lebih kecil. Hal ini dikarenakan kedua sampel tersebut memiliki perilaku yang lebih elastis.

Tegangan dan regangan yang sudah diidentifikasi pada masing-masing sampel selanjutnya dianalisis parameter yang menunjukkan tingkat kekakuannya dengan nilai modulus elastisitas. Nilai modulus elastisitas merupakan nilai suatu bahan pada kondisi elastis. Nilai modulus elastisitas dapat diperoleh menggunakan pendekatan grafik hubungan tegangan dan regangan dengan garis *offset* sebesar 2% dari nilai regangan. Tingginya nilai modulus elastisitas yang diperoleh, maka menunjukkan bahwa sifat sampel tersebut semakin kaku. Menurut Zakeri dan Mosayebi (2016) tingkat kekauan dari lapisan balas dapat berbeda pada setiap lapisannya, kekauan terbesar terdapat pada bagian bawah lapisan dan bagian yang lentur terdapat pada bagian atas. Jika diaplikasikan pada jalur balas sebenarnya, tingkat kekakuan yang tinggi, mempengaruhi bertambahnya beban dinamis yang diijinkan (D,Angelo et al., 2016). Sebaliknya menurut Setiawan et al. (2013) penggunaannya akan menambah biaya konstruksi yang tidak sedikit atau relatif lebih mahal.

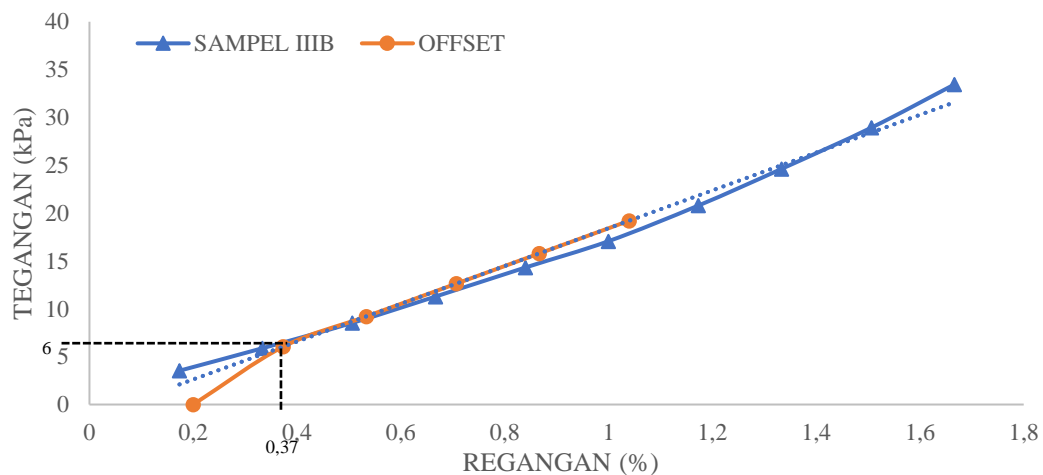


Gambar 4. 6 Penarikan garis *offset* pada grafik sampel IA

Gambar 4. 7 Penarikan garis *offset* pada grafik sampel IBGambar 4. 8 Penarikan garis *offset* pada grafik sampel IIAGambar 4. 9 Penarikan garis *offset* pada grafik sampel IIB



Gambar 4. 10 Penarikan garis *offset* pada grafik sampel IIIA



Gambar 4. 11 Penarikan garis *offset* pada grafik sampel IIIB

Dari hasil penarikan garis *offset* sebesar 2% pada grafik hubungan tegangan dan regangan masing-masing sampel diperoleh nilai modulus elastisitas pada titik perpotongan antara garis asli dan garis *offset* yang dapat dilihat pada Tabel 4.11 dibawah ini:

Tabel 4. 11 Nilai modulus elastisitas pada masing-masing sampel

No	Benda Uji	Stress (kPa)	Strain (%)	E (kPa)	E (MPa)
1	Sampel IA	50,50	0,50	10.100	10,10
2	Sampel IB	19,90	0,37	5.378,37	5,38
3	Sampel IIA	22,40	0,39	5.743,58	5,74
4	Sampel IIB	21	0,57	3.684,21	3,68
5	Sampel IIIA	10	0,37	2.702,70	2,70
6	Sampel IIIB	6	0,37	1.621,62	1,62

Nilai modulus elastisitas dari keenam sampel ini sukar ditentukan dikarenakan sulitnya menentukan tegangan leleh (puncak elastis) dari kurva tegangan dan regangan yang didapatkan. Untuk menghitung nilai modulus elastisitas dari setiap sampel dilakukan dengan metode offset seperti yang telah disebutkan diatas. Ditunjukkan dalam Tabel 4.11 nilai modulus elastisitas terbesar pada hasil pengujian sampel IA tanpa ada bahan tambah berupa karet dalam campuran tersebut. Namun pada pengujian kedua dengan sampel yang sama, dapat dilihat bahwa mengalami penurunan dikarenakan benda uji sudah mengalami pembebanan sebelumnya. Perbedaan nilai modulus elastisitas pada sampel II dan III dengan gradasi karet yang berbeda pula dapat dilihat bahwa sampel II dengan gradasi seragam memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih besar dibandingkan dengan sampel III dengan gradasi menerus.

Tabel 4.11 menunjukkan penurunan modulus elastisitas dari setiap sampel. Sampel IA memiliki nilai modulus elastisitas 10,10 MPa, lalu nilai modulus elastisitas sampel IB memiliki nilai 5,38 MPa yang menunjukkan bahwa pada pengujian tekan kedua mengalami penurunan sebesar 46,73%. Begitupun pada sampel II yang awalnya memiliki nilai modulus elastisitas 5,74 MPa dan setelah pembebanan kedua menjadi 3,68 MPa yang menunjukkan penurunan sebesar 35,86%. Pada sampel IIIA di dapatkan nilai modulus elastisitas sebesar 2,70 MPa, dan pada sampel IIIB nilai modulus elastisitas menjadi 1,62 MPa sehingga penurunan yang terjadi sebesar 40%. Jadi sampel II yaitu balas dengan modifikasi penambahan karet ban bekas 10% dengan ukuran mengalami penurunan nilai modulus elastisitas terkecil di bandingkan dengan sampel I yang merupakan balas tanpa modifikasi dan sampel III yang merupakan balas dengan penambahan 10% karet ban bekas dengan gradasi menerus.

Penambahan karet pada campuran balas dapat mengurangi nilai kekakuan dari balas sehingga menyebabkan penurunan nilai modulus elastisitasnya. Karet memiliki sifat elastis yang tinggi sehingga mempengaruhi kekakuan campuran balas, pernyataan tersebut diperkuat dengan penelitian sebelumnya oleh Sanchez et al. (2014) dan Signes et al. (2016), dalam penelitiannya mereka menegaskan bahwa bahan karet yang elastis dapat meningkatkan deformasi dan menurunkan kekakuan.

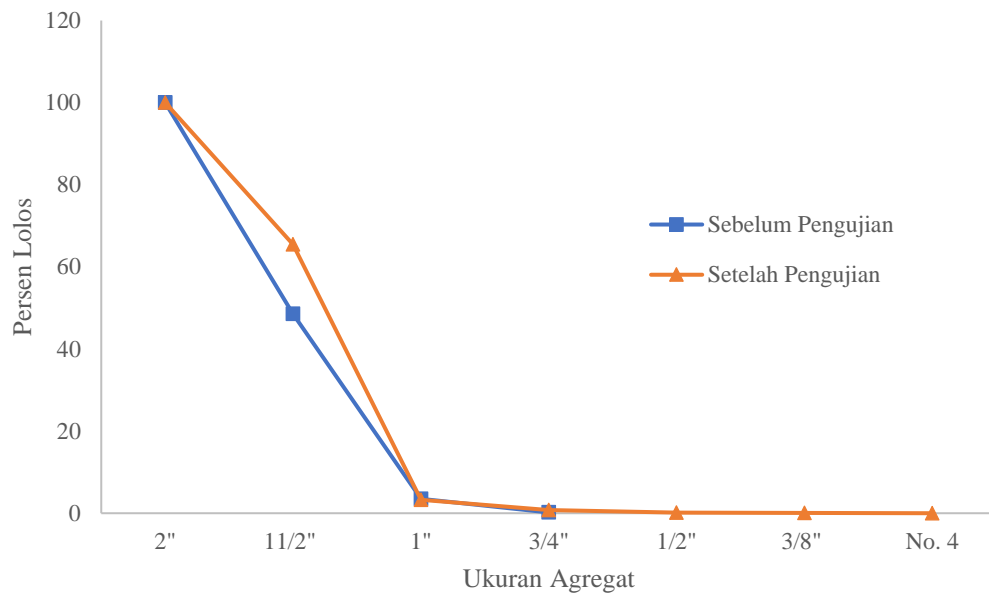
Nilai modulus elastisitas pada balas karet dengan gradasi seragam lebih besar dibandingkan balas karet dengan gradasi menerus. Balas karet dengan gradasi menerus memiliki ukuran karet yang berbeda-beda, akibatnya persebaran karet pada permukaan lapisan menjadi tidak teratur dan dapat tertutup sepenuhnya oleh karet. Oleh karena itu, balas dengan penambahan karet ban bekas dengan gradasi menerus atau berbeda ukuran menjadi lebih elastis dibandingkan dengan dengan balas yang ditambahkan 10% karet ban bekas dengan gradasi seragam atau berukuran sama.

Penurunan nilai kepadatan ini bukan hanya dipengaruhi oleh sifat elastis yang dimiliki oleh karet ban bekas yang digunakan, tapi juga disebabkan oleh pola pemadatan dengan cara manual. Penambahan karet pada campuran menimbulkan pantulan pada alat tumbuk sehingga penumbukkan menjadi kurang maksimal. Kurangnya nilai kepadatan inilah yang juga mempengaruhi turunnya nilai modulus elastisitas (Signes et al., 2016).

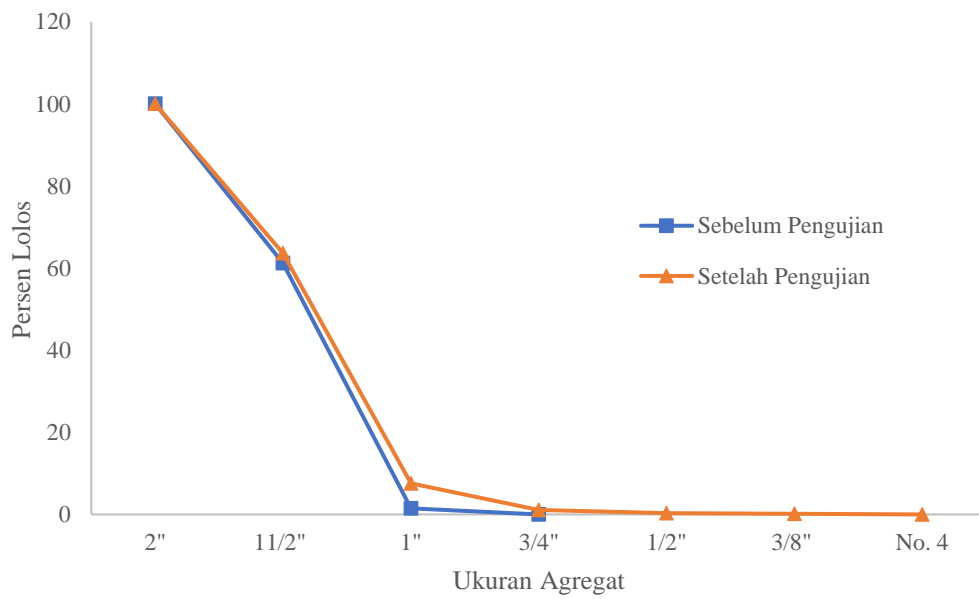
4.5. Nilai Abrasi

Hasil pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai abrasi material menunjukkan abrasi yang terjadi pada campuran dengan modifikasi karet menurun dari campuran sebelumnya yang belum mengalami modifikasi atau hanya balas saja. Besar nilai abrasi ini menurun dengan adanya penambahan karet yang memiliki sifat elastis yang mengakibatkan berkurangnya gesekan antar agregat.

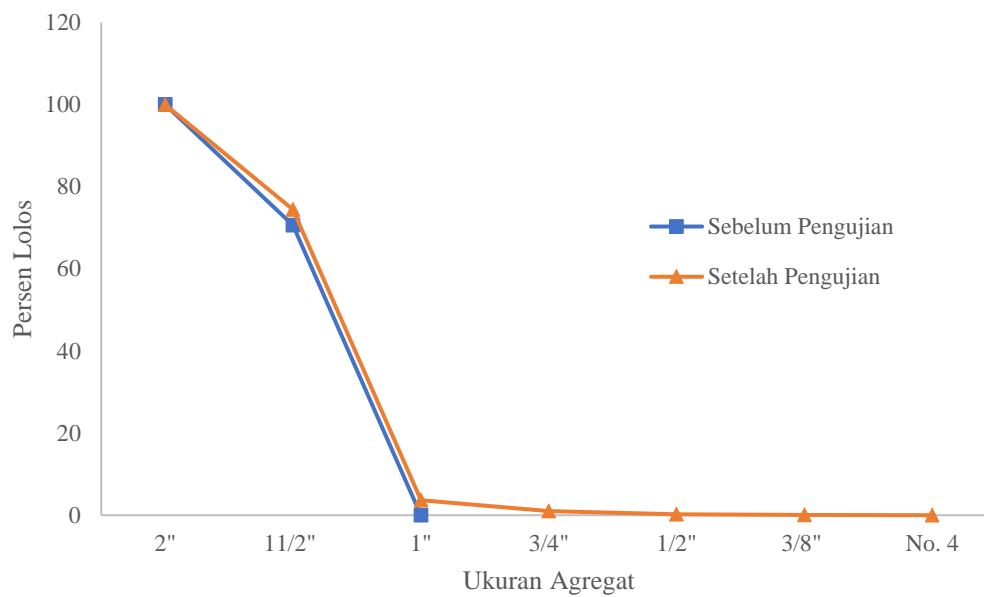
Besar dan kecilnya nilai abrasi yang terjadi pada sampel uji merupakan perbandingan antara gradasi butir agregat sebelum pengujian (mendapatkan pembebanan) dan sesudah pengujian. Untuk masing-masing sampel terdapat hasil yang bervariasi sesuai dengan material, bentuk dan ukuran penambahnya. Hasil dari pemeriksaan gradasi agregat sebelum dan sesudah pengujian ditampilkan pada grafik gradasi butir. Untuk sampel I dapat dilihat pada Gambar 4.12, sampel II pada Gambar 4.13 dan untuk sampel III pada Gambar 4.14



Gambar 4. 12 Gradasi agregat sampel I

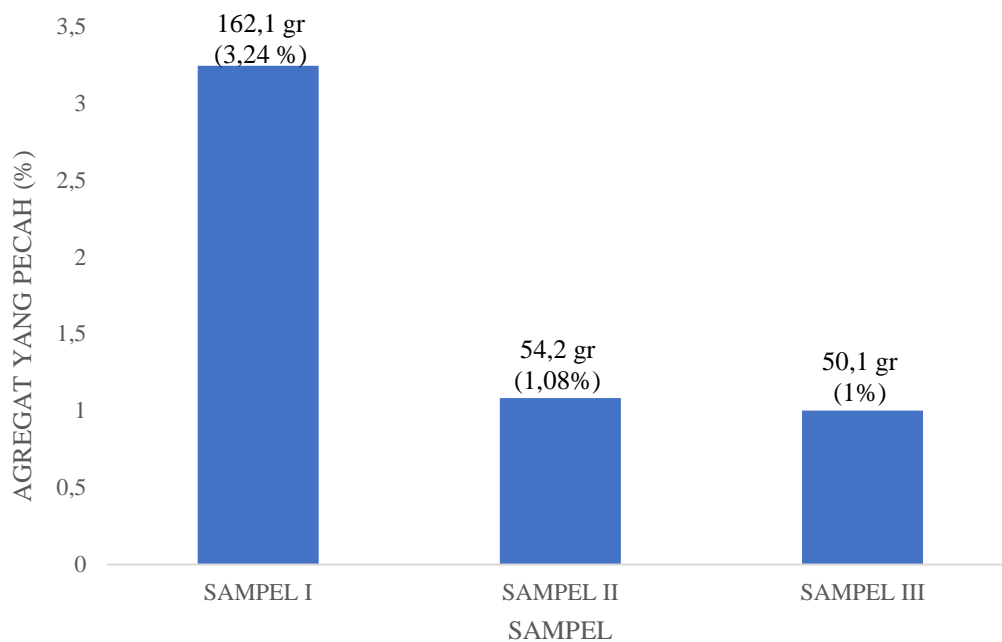


Gambar 4. 13 Gradasi agregat sampel II



Gambar 4. 14 Gradasi agregat sampel III

Dari keempat grafik diatas menunjukkan perubahan pada distribusi ukuran agregat setelah dilakukan pengujian. Perubahan ukuran butir agregat tersebut dikarenakan adanya perilaku pembebanan pada saat pembuatan sampel uji yaitu pemadatan dengan cara manual langsung ke permukaan balasnya dan pembebanan saat pengujian dengan menggunakan UTM. Balas dinyatakan terabrasi apabila material yang digunakan pecah atau bahkan hancur. Melalui analisis saringan, dapat dilihat perubahan ukuran butir agregat tersebut menjadi lebih kecil dikarenakan butiran tersebut lolos saringan $\frac{3}{4}$ " atau berukuran lebih kecil dari 25,4 mm. Masing-masing sampel memiliki nilai abrasi yang berbeda tergantung dengan modifikasi yang diberikan (lihat Gambar 4.15).



Gambar 4. 15 Nilai abrasi

Jika dilihat pada Gambar 4.15 dapat diambil hasil bahwa modifikasi balas dengan penambahan karet ban bekas dapat mengurangi jumlah agregat yang mengalami abrasi atau pecah saat mengalami pemadatan atau penekanan. Hal tersebut menjadi alasan meningkatnya ketahanan dari campuran balas dengan modifikasi penambahan karet ban bekas. Berbeda dengan balas asli atau tanpa modifikasi, nilai abrasi balas modifikasi dengan karet lebih kecil karena adanya pengurangan gesekan atau kontak antar agregat dan digantikan dengan kontak dari agregat ke karet yang ditambahkan. Kerusakan yang terjadi pada agregat pun sangat berkurang pada sampel dengan penambahan karet, namun antara modifikasi balas karet dengan karet satu ukuran atau gradasi seragam dengan karet yang berbeda ukuran atau gradasi menerus pun berbeda.

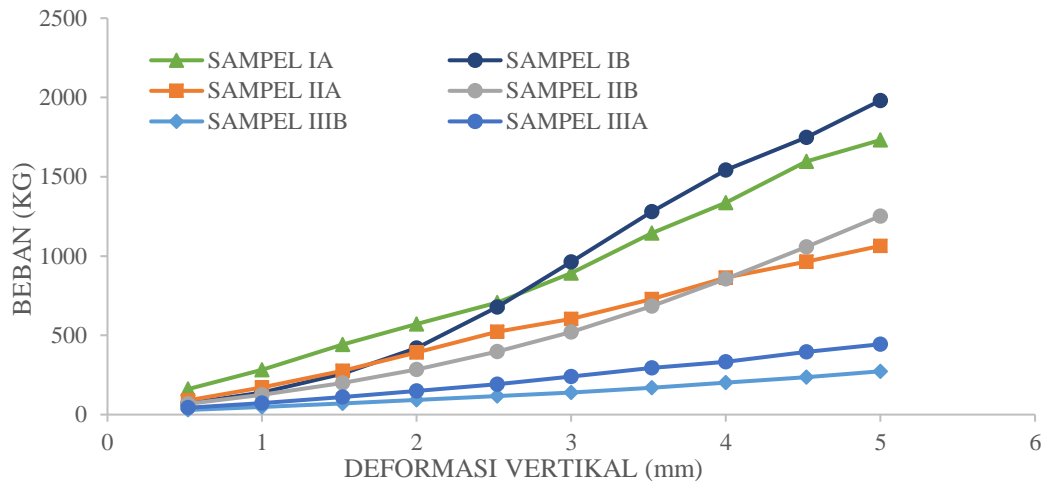
Karet ban bekas dapat dengan mudah mengisi rongga atau pori yang ada didalam campuran benda uji, dengan begitu modifikasi balas dan karet dengan gradasi menerus dapat mengurangi kerusakan material balas lebih besar dibandingkan dengan modifikasi balas dan karet dengan gradasi seragam. Sanchez et al., (2015) pada penelitiannya menambahkan bahwa karet dengan ukuran yang lebih kecil dapat mengisi rongga dengan baik sehingga dapat mengurangi kekakuan yang mengakibatkan gesekan antar agregat.

Dalam penelitian ini didapatkan hasil didapatkan kerusakan agregat sampel II lebih besar dibandingkan dengan sampel III. Perbedaan yang didapatkan sangat tipis yaitu antara 1,08% pada ukuran seragam dan 1% pada gradasi menerus. Hal ini disebabkan karena pada sampel III ukuran karet yang digunakan beragam, sehingga penyebaran dari karet ban bekas tersebut menjadi lebih baik, maka dari itu rongga-rongga yang ada dalam campuran menjadi berkurang dan menyebabkan gesekan antar partikel agregat menjadi berkurang. Sebaliknya, balas tanpa modifikasi mengalami kerusakan tertinggi yaitu 3,24 % karena tingkat gesekan antar material yang tinggi sehingga terjadi proses penghancuran saat pemadatan dan pengujian tekan.

Degradasi yang terjadi pada lapisan balas merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi umur layan dari lapisan balas serta stabilitas dari lapisan balas itu sendiri. Dalam penelitiannya, Indrarnatna et al. (2017) mengatakan bahwa balas modifikasi dapat meminimalisir kerusakan materialnya dengan sangat baik, karena gerak dari material balas menjadi terbatas dengan adanya bahan tambah sehingga dapat mengurangi gesekan antar partikelnya. Penambahan karet bekas dapat mengurangi benturan material sehingga durabilitas material meningkat, dan degradasi material menurun (D'Angelo et al., 2016). Indrarnatna et al., (2014) dan Nimbalkar et al., (2012) menambahkan penggunaan *shock mat* pada lapisan balas dapat mengurangi degradasi, kebisingan dan getaran.

5.6. Deformasi Vertikal

Nilai deformasi vertikal didapatkan dari hasil pengujian berupa pembebanan dan penurunan yang terjadi pada benda uji. Data yang digunakan adalah penurunan maksimal dan pembebanan maksimal. Nilai deformasi akan ditampilkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Kurva hubungan beban dengan deformasi vertikal

Hasil pengujian menunjukkan nilai yang bervariasi. Material balas tanpa campuran menunjukkan beban yang dapat ditahan lebih besar dibandingkan dengan balas balas modifikasi. Pada nilai deformasi vertikal yang sama pada deformasi vertikal 5 mm terjadi pembebanan terbesar dengan nilai 1980,9 Kg pada sampel I yang merupakan balas tanpa modifikasi. Nilai beban terendah pada sampel III yang merupakan balas modifikasi dengan deformasi vertikal 5 mm hanya mampu menahan beban sebesar 443,7 Kg. Material elastis berupa karet yang ditambahkan pada modifikasi campuran balas menyebabkan peningkatan sifat elastis dari campuran. Sehingga dengan penurunan yang sama misal 5 mm, beban yang dapat diterima oleh balas dengan modifikasi lebih kecil dibandingkan dengan campuran tanpa modifikasi.

Nilai deformasi vertikal campuran balas dengan penambahan karet ban bekas merupakan yang tertinggi dibandingkan dengan deformasi vertikal pada campuran balas tanpa modifikasi. Sifat elastis yang dimiliki karet menyebabkan besarnya perubahan bentuk apabila diberi gaya seperti pada sampel II dan III, hal ini dikuatkan oleh penelitian Signes et al., (2015), dimana disebutkan bahwa penggunaan karet bekas dapat meningkatkan deformasi permanen pada lapisan balas.

Secara keseluruhan, penggunaan karet ban bekas sangat banyak kegunaannya dalam dunia konstruksi. Penggunaan ban bekas ini dapat mengurangi limbah ban bekas itu sendiri dan dapat mengurangi penggunaan bahan alami seperti

agregat. Dalam jurnalnya Farhan et al., (2015) menyebutkan bahwa penggunaan karet ban bekas pada konstruksi perkerasan sangat berguna untuk mengurangi limbah, mengurangi kecenderungan *cracking* dan meningkatkan performa dari campuran tersebut. Namun, perkembangan yang sedang dilakukan sekarang adalah pencampuran karet dengan bahan aspal untuk meningkatkan kualitas dari campuran balas, campuran aspal dan karet bekas merupakan salah satu solusi untuk meningkatkan kekuatan dari jalan rel (Soto dan Mino, 2018). D'Angelo et al., (2016) menyatakan bahwa penambahan bitumen dan karet dapat mengurangi deformasi plastis dan meningkatkan kekakuan pada struktur balas.