

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Balas

- a. Berat jenis dan persen penyerapan material balas.

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat pada penelitian ini menggunakan SNI 1969-2008. Data hasil pengujian akan ditampilkan pada table 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

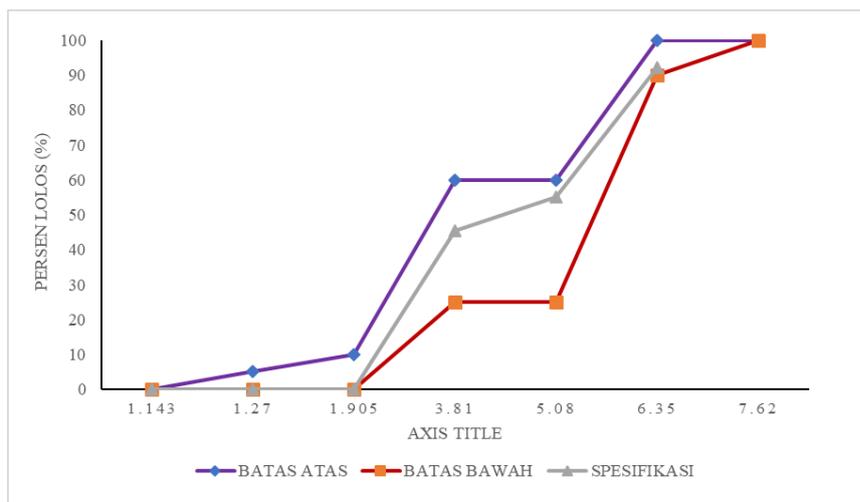
Parameter	Hasil	Spesifikasi
Berat jenis curah kering	2,61	Min 2,6
Berat jenis jenuh kering permukaan	2,68	Min 2,6
Berat jenis semu	2,80	Min 2,6
Penyerapan air	2,65	Maks 3%

- b. Analisis gradasi material balas

Hasil pengujian gradasi material balas akan ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil analisis dan persyaratan gradasi

Ukuran Saringan (inch)	Massa Tertahan (gram)	Jumlah Tertahan (gram)	Komulatif Tertahan (%)	Komulatif Lewat (%)	Spesifikasi
3	0	0	0	100	100
2 1/2	403.64	403.64	8	92	90-100
2	1866.835	2270.475	37	55	25-60
1 1/2	479.3225	2749.7975	9.5	45.5	25-60
1	0	2749.7975	0		-
3/4	2295.7025	5045,5	45.5	0	0-10
1/2			0	0	0-5
Pan					-
Jumlah	5045,5				-



Gambar 4.1 Grafik gradasi agregat

c. Keausan material balas (Abrasi *Los Angeles*)

Nilai keausan didapatkan dari perbandingan berat total benda uji dengan berat material yang hancur karena mesin Los Angeles dalam satuan persen (%), pada penelitian ini pengujian dilakukan pada gradasi F dengan berat material 1" dan 1^{1/2}", 5000 ± 50 kg. Hasil keausan material balas ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil keausan agregat dan persyaratannya

Parameter	Hasil	Spesifikasi
Nilai keausan agregat	19,26%	Maks 25%

d. Kadar lumpur material balas

Kandungan kadar lumpur yang telah diuji dan didapatkan akan ditampilkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil pengujian sifat fisis agregat kasar

Parameter	Hasil	Spesifikasi
Kandungan kadar lumpur	0,2 %	Maks 0,5 %

Material balas yang kotor memiliki kandungan lumpur sebanyak 1,7%. Sehingga penggunaan material balas untuk benda uji balas bersih harus melalui proses pencucian terlebih dahulu supaya memenuhi spesifikasi.

4.1.2. Aspal Penetrasi 60/70

Dalam penelitian ini menggunakan bahan tambah aspal penetrasi 60/70 yang berfungsi sebagai pengikat material balas dengan kadar aspal yang digunakan adalah 4% dari berat benda uji. Pengujian sifat fisis dan mekanis aspal penetrasi 60/70 dilakukan untuk mengetahui kondisi aspal yang akan digunakan pada penelitian. Pengujian dilakukan berdasarkan peraturan BSN (Badan Standarisasi Nasional). Hasil pengujian sifat-sifat fisis dan mekanis aspal akan ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Aspal Penetrasi 60/70

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Satuan	Persyaratan
1	Berat jenis aspal	1,01	$\geq 1,0$	-	SNI 2441-2011
2	Penetrasi	66,7	60-70	0.1 mm	SNI 2456-2011
3	Titik lembek	53	≥ 48	C	SNI 2434-2011
4	Kehilangan minyak	0,13	$\leq 0,8$	%	SNI 06-2441-1991
5	Daktalitas	>100	≥ 100	cm	SNI 2432-2011

4.2. Pembahasan

4.2.1. Berat Benda Uji

Dalam penelitian ini benda uji memiliki karakteristik yang berbeda-beda, karakteristik benda uji akan ditampilkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Karakteristik Benda Uji

Parameter	BB	BK	BB1	BB3	BK1	BK3	Satuan
Berat benda uji + box	47,505	48,545	47,132	47,205	47,710	48,249	kg
Berat benda uji	36,825	37,845	36,441	36,505	37,485	37,559	kg
Berat balas box	10,650	10,700	10,700	10,700	10,225	10,650	kg
Kadar Aspal			4	4	4	4	%
Pemadatan	50	50	50	50	50	50	Tumbukan/ ayer
Lapisan Aspal			1	3	1	3	Lapis

Dari Tabel 4.6 karakteristik benda uji dapat dianalisis bahwa berat benda uji balas bersih relatif memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan dengan berat benda uji balas kotor baik tanpa tambahan aspal maupun menggunakan tambahan aspal. Benda uji BB memiliki berat sebesar 36,825 kg dan benda uji BK berat 37,854 kg, dan berturut-turut BB 4% 1 Lapis seberat 36,441 kg dan BK 4% 1 Lapis 37,485 kg, berat benda uji BB 4% 3 Lapis 36,505 dan BK 4% 3 Lapis 37,559 kg. Berat benda uji BB tanpa maupun dengan tambahan aspal 4% memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan dengan benda uji BK tanpa maupun dengan tambahan aspal 4%. Hal ini disebabkan oleh benda uji BB melalui proses pencucian dan benda uji BK tidak melalui proses pencucian. Sehingga menyebabkan BK lebih berat karena terdapat kandungan lumpur yang masih melekat pada material balas.

4.2.2. Analisis Kuat Tekan dan Deformasi Vertikal

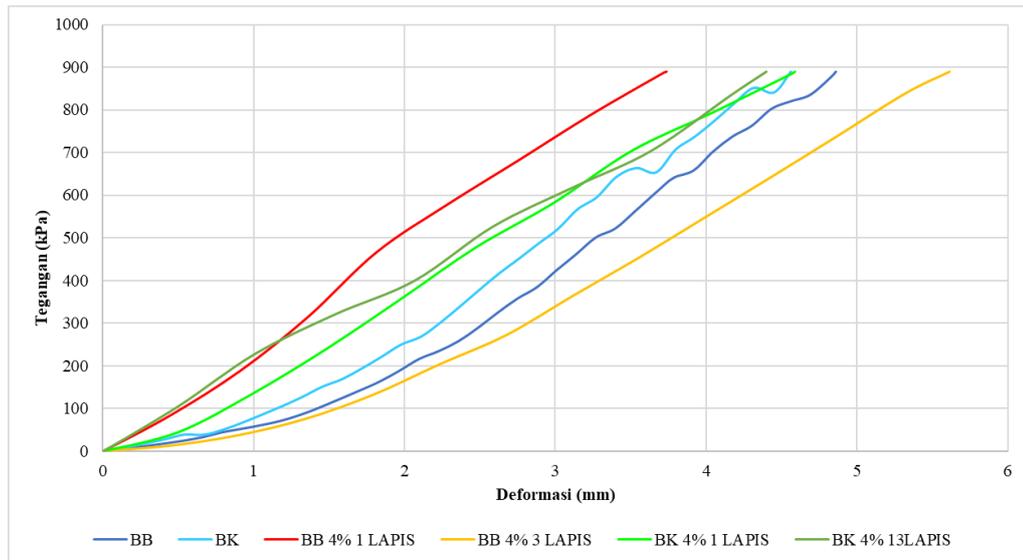
Pengujian kuat tekan dilakukan sebanyak 2 kali. Pengujian pertama dan kedua menggunakan pembebanan maksimal 4000 kg. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih sesuai dengan keadaan lapangan. Dari pengujian didapatkan nilai gaya tekan dan deformasi vertikal dengan siklus pengujian 1 dan pengujian 2 untuk tiap masing-masing benda uji.

a. Deformasi pengujian tahap 1 dan tahap 2

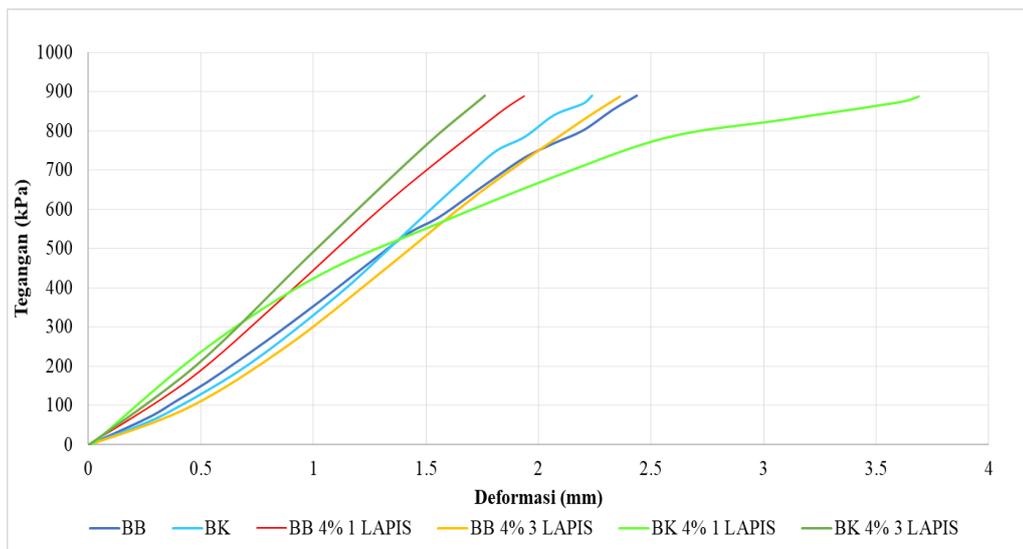
Hasil kuat tekan dan deformasi vertikal pada tahap 1 dan 2 akan ditampilkan pada Tabel 4.7, dan Gambar grafik hasil pengujian akan ditampilkan pada 4.2 dan 4.3.

Tabel 4.7 Nilai Kuat Tekan dan Deformasi Vertikal Pengujian Tahap 1 dan 2

Benda uji	Kuat Tekan (KPa)	Deformasi Vertikal 1 (mm)	Deformasi Vertikal 1 (mm)
Balas Bersih	889	4.8625	2.4375
Balas Kotor	889	4.5625	2.2375
BB + Aspal 4% 1 Lapis	889	3.7375	1.9375
BB + Aspal 4% 3 Lapis	889	5.6125	2.3625
BK + Aspal 4% 1 Lapis	889	4.5875	3.6875
BK + Aspal 4% 3 Lapis	889	4.4	1.7625



Gambar 4.2 Perbandingan Nilai Kuat Tekan dan Deformasi Vertikal Pengujian Tahap 1



Gambar 4.3 Perbandingan Nilai Kuat Tekan dan Deformasi Vertikal Pengujian Tahap 2

b. Pembahasan hasil pengujian

Persentase hasil deformasi vertikal tiap benda uji memiliki nilai yang berbeda, nilai persentase deformasi vertikal benda uji ditampilkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Persentase Perbandingan Nilai Deformasi Vertikal Pengujian 1 dan Pengujian 2

Benda Uji	Deformasi Vertikal Pembebanan 1 (mm)	Deformasi Vertikal Pembebanan 2 (mm)	Persentase Perubahan Deformasi (%)
BK 4% 3 LAPIS	4.4	1.7625	- 59.9431
BB 4% 3 LAPIS	5.6125	2.3625	- 57.9064
BK	4.5625	2.2375	- 50.9589
BB	4.8625	2.4375	- 49.8714
BB 4% 1 LAPIS	3.7375	1.9375	- 48.1605
BK 4% 1 LAPIS	4.5875	3.6875	- 19.6185

Pada pengujian yang telah dilakukan benda uji yang memiliki nilai perbedaan nilai deformasi yang besar adalah BK 4% 3 Lapis dengan nilai deformasi pada pengujian 1 sebesar 4.4 mm dan pada pengujian tahap 2 mengalami penurunan sebesar 1.7625 mm dengan persentase penurunan terkecil dibandingkan dengan benda uji yang lain sebesar 59.9431 % hal ini disebabkan oleh persebaran aspal yang lebih baik dibandingkan dengan benda uji tanpa aspal maupun dengan aspal pada 1 lapis. Persebaran aspal yang merata pada tiap lapis pemadatan dengan efektif mampu menstabilkan penurunan lapisan balas, hal ini sesuai dengan sifat aspal yang dapat mengikat material, mengisi rongga yang ada pada tiap lapis sehingga penurunan yang terjadi tidak terlalu signifikan. Hal tersebut didukung dengan hasil pengujian pada benda uji BB 4% 3 lapis yang mengalami deformasi pada pengujian 1 sebesar 5.6125 mm dan pada pengujian 2 sebesar 2.3625 mm dengan persentase perubahan sebesar 57.9064%.

Pada balas bersih dan balas kotor memiliki nilai penurunan lebih besar dibandingkan dengan benda uji BK 4% 3 lapis dan BB 4% 3 lapis dengan persentase nilai penurunan sebesar 4.8625 mm pada pengujian 1 dan 2.4375 mm pada pengujian 2 dengan persentase penurunan yang terjadi sebesar 49.8714%. sedangkan pada balas kotor mengalami penurunan pada pengujian 1 sebesar 4.5625 mm dan 2.2375 mm pada pengujian ke 2 dengan nilai persentase penurunan sebesar 50.9589%. Nilai penurunan ini lebih besar dibandingkan dengan benda uji BK 4% 3 lapis

dan BB 4% 3 lapis karena balas tidak diberi bahan stabilisasi tambahan yaitu aspal, hal ini tentu saja mengakibatkan material mengalami pergerakan yang lebih bebas dan kurang stabil.

Benda uji BB 4% 1 lapis mengalami deformasi sebesar nilai 3.7375 mm pada pengujian 1 dan 1.9375 mm pada pengujian 2 dengan nilai persentase penurunan 48.1605 %. BK 4% 1 lapis mengalami deformasi dengan 4.5875 mm pada pengujian tahap 1 dan 3.6875 mm pada pengujian tahap 2 dengan persentase penurunan sebesar 19.6185%. Benda uji BB 4% 1 lapis dan BK 4% 1 lapis memiliki persentase penurunan lebih kecil karena tebal aspal pada benda uji dengan aspal 1 lapis terlalu tebal serta menumpuk pada lapisan paling atas sehingga menyebabkan penyebaran aspal yang kurang merata ke seluruh lapisan. Pada benda uji BK 4% 1 lapis mengalami persentase penurunan yang sangat signifikan hal ini disebabkan oleh perlakuan benda uji yang kurang tepat yaitu penuangan aspal dengan jumlah cukup banyak dengan menggunakan 1 teko penuang hal ini dikarenakan waktu penuangan lebih lama dan aspal menjadi lebih padat karena durasi penuangan sehingga menyebabkan aspal tidak menyebar dan mengisi rongga secara efektif.

4.2.3. Analisis Modulus Elastisitas

Setelah mendapatkan nilai kuat tekan dan nilai deformasi vertikal selanjutnya dilakukan analisis modulus elastisitas pada setiap benda uji. Pada analisis akan didapatkan 2 nilai modulus elastisitas yang akan menggambarkan keadaan benda uji.

- a. Menentukan nilai regangan:

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

dengan,

ε = regangan (%);

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

H_0 = tinggi awal benda uji (cm).

Nilai regangan akan ditampilkan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Nilai Regangan Tiap Benda Uji

Benda uji	Regangan	Regangan
	Pembebanan	Pembebanan
	1 (ϵ) (%)	2 (ϵ) (%)
Balas Bersih (BB)	1.6208	0.8125
Balas Kotor (BK)	1.5208	0.7458
BB + Aspal 4% 1 Lapis	1.2458	0.6458
BB + Aspal 4% 3 Lapis	1.8708	0.7875
BK + Aspal 4% 1 Lapis	1.5291	1.2291
BK + Aspal 4% 3 Lapis	1.4666	0.5875

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 yang akan ditampilkan pada Tabel 4.10.

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots 2.9$$

dengan,

σ = tegangan (kPa),

P = beban aksial (kN)

A = luas benda uji (cm²)

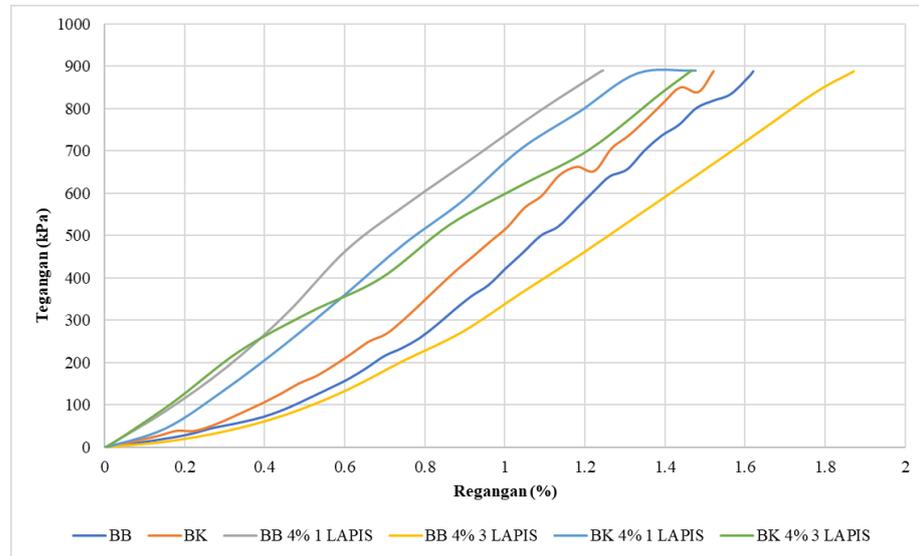
Tabel 4.10 Nilai Regangan Tiap Benda Uji

Benda uji	Tegangan	Tegangan
	Pembebanan	Pembebanan
	1 (σ) (KPa)	2 (σ) (KPa)
Balas Bersih (BB)	889	889
Balas Kotor (BK)	889	889
BB + Aspal 4% 1 Lapis	889	889
BB + Aspal 4% 3 Lapis	889	889
BK + Aspal 4% 1 Lapis	889	889
BK + Aspal 4% 3 Lapis	889	889

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

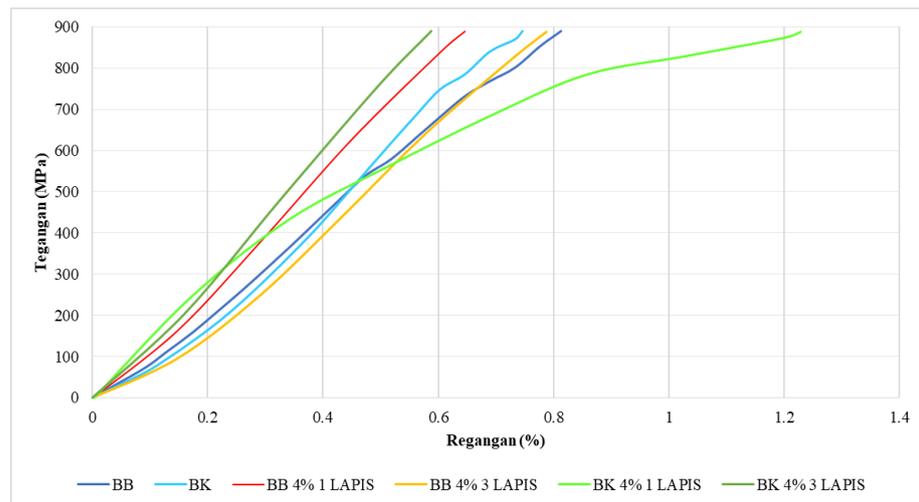
Hubungan tegangan dan regangan akan disajikan dalam grafik pada Gambar 4.4 dan 4.5 sebagai berikut:

- 1) Hubungan nilai tegangan (σ) dan regangan (ϵ) pengujian tahap 1



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Hubungan Nilai Tegangan (σ) Dan Regangan (ϵ) Pengujian Tahap 1

- 2) Hubungan nilai tegangan (σ) dan regangan (ϵ) pengujian tahap 2



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Hubungan Nilai Tegangan (σ) dan Regangan (ϵ) Pengujian Tahap 2

- d. Menentukan nilai modulus elastisitas:

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

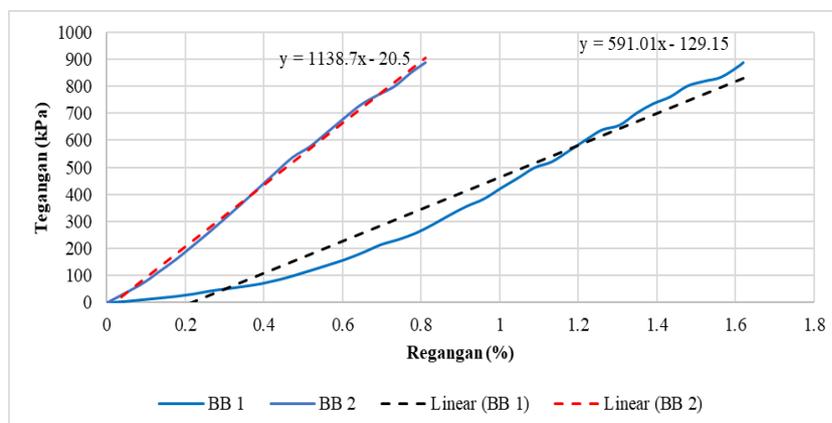
dengan,

E = modulus elastisitas (MPa);

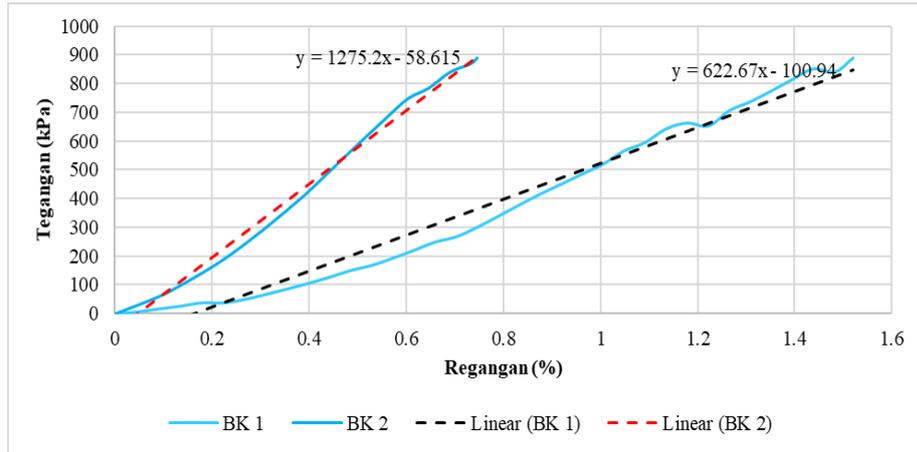
σ = tegangan leleh (kPa);

ε = regangan (%).

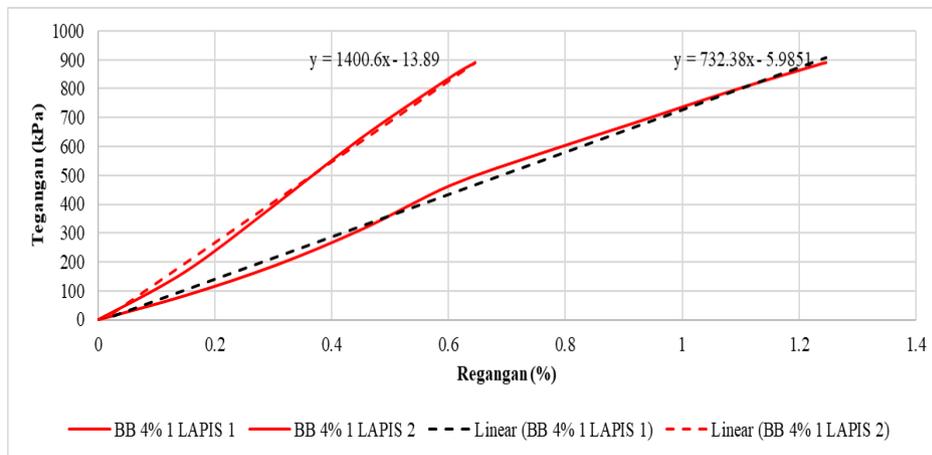
Nilai modulus elastisitas merupakan salah satu parameter untuk menentukan kekakuan suatu material. Setiap sampel yang telah diuji tekan akan menghasilkan nilai tegangan dan regangan yang dianalisis. Nilai modulus elastisitas pada tiap benda uji ditampilkan pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12. Untuk mendapatkan nilai modulus elastis dilakukan pendekatan menggunakan penarikan garis *trendline* dari tiap perbandingan tegangan dan regangan dari hasil pengujian. Hal ini dilakukan karena nilai tegangan dan regangan yang terjadi mampu mencapai nilai pembebanan maksimum sebesar 4000 kg atau 0,889 MPa dan kemungkinan benda uji mampu menahan beban yang lebih tinggi dan regangan masih dapat bertambah. Keterbatasan nilai pembebanan disebabkan oleh kapasitas yang mampu ditahan oleh balas *box*. Penggunaan *trendline* berfungsi untuk mendapatkan kurva linier sehingga kemiringan batas linier dapat diketahui dari hubungan tegangan dan regangan yang ada. Analisis kurva linier dilakukan pada hasil pengujian tahap 1 dan 2 untuk membandingkan hasilnya. Kurva linier/garis *trendline* pada tiap benda uji akan ditampilkan pada Gambar 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, dan 4.11.



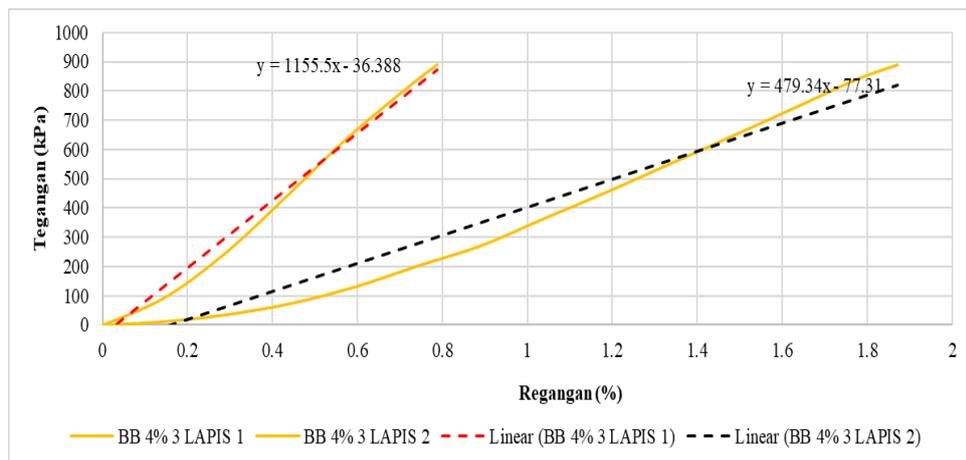
Gambar 4.6 Hasil Garis Trendline Pada Benda Uji BB dari Hasil Pengujian Tahap 1 dan 2



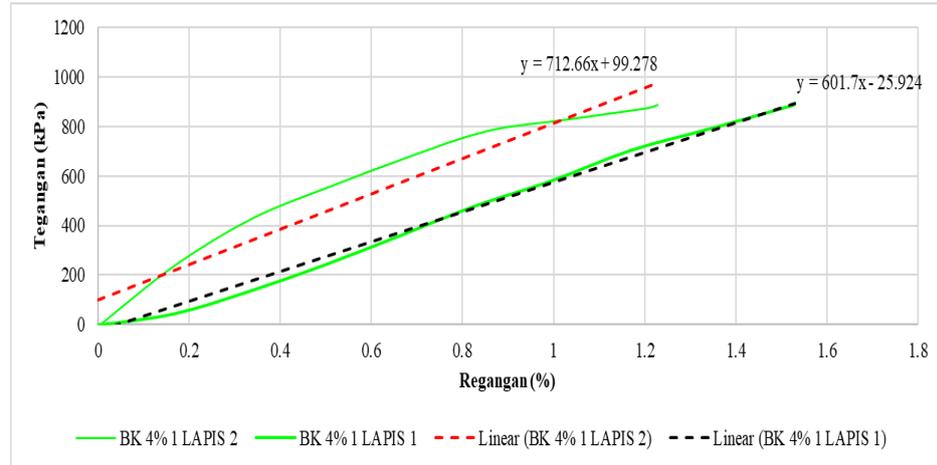
Gambar 4.7 Hasil Garis Trendline pada Benda Uji BK dari Hasil Pengujian Tahap 1 dan 2



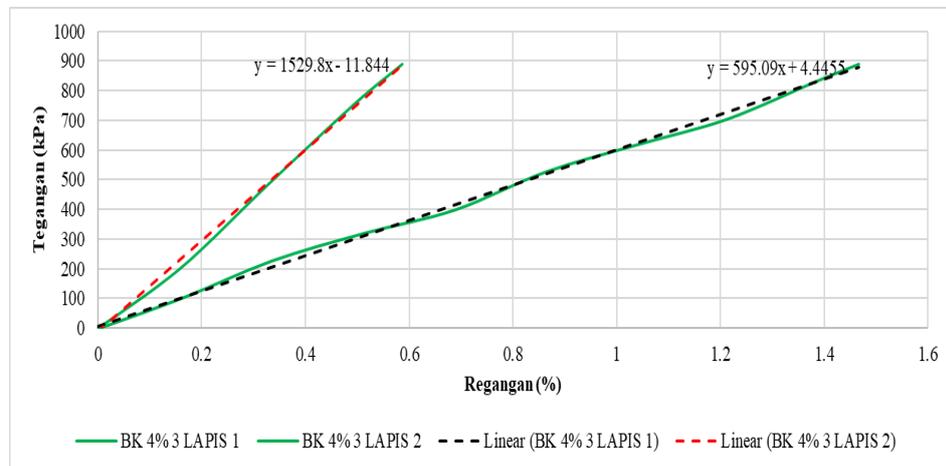
Gambar 4.8 Hasil Garis Trendline pada Benda Uji BB 4% 1 Lapis dari Hasil Pengujian Tahap 1 dan 2



Gambar 4.9 Hasil Garis Trendline pada Benda Uji BB 4% 3 Lapis dari Hasil Pengujian Tahap 1 dan 2



Gambar 4.10 Hasil Garis Trendline pada Benda Uji BK 4% 1 Lapis dari Hasil Pengujian Tahap 1 dan 2



Gambar 4.11 Hasil Garis Trendline pada Benda Uji BK 4% 3 Lapis dari Hasil Pengujian Tahap 1 dan 2

Setelah mendapatkan garis linier *trendline* maka dilakukan analisis untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas menggunakan persamaan yang telah didapatkan dari penarikan garis *trendline*. Nilai modulus elastisitas dari setiap benda uji akan ditampilkan pada Table 4.11 dan 4.12.

Tabel 4.11 Nilai Modulus Elastisitas Pengujian Tahap 1

Benda uji	Tegangan 1 (σ) (KPa)	Regangan 1 (ϵ) (%)	Modulus Elastisitas (Mpa)
Balas Bersih (BB)	828.7787	1.6208	51.1329
Balas Kotor (BK)	906.8706	1.5208	59.6299
BB + Aspal 4% 1 Lapis	906.4383	1.2458	72.7576
BB + Aspal 4% 3 Lapis	819.4552	1.8708	43.8017
BK + Aspal 4% 1 Lapis	894.1755	1.5291	58.4747
BK + Aspal 4% 3 Lapis	877.2441	1.4667	59.8122

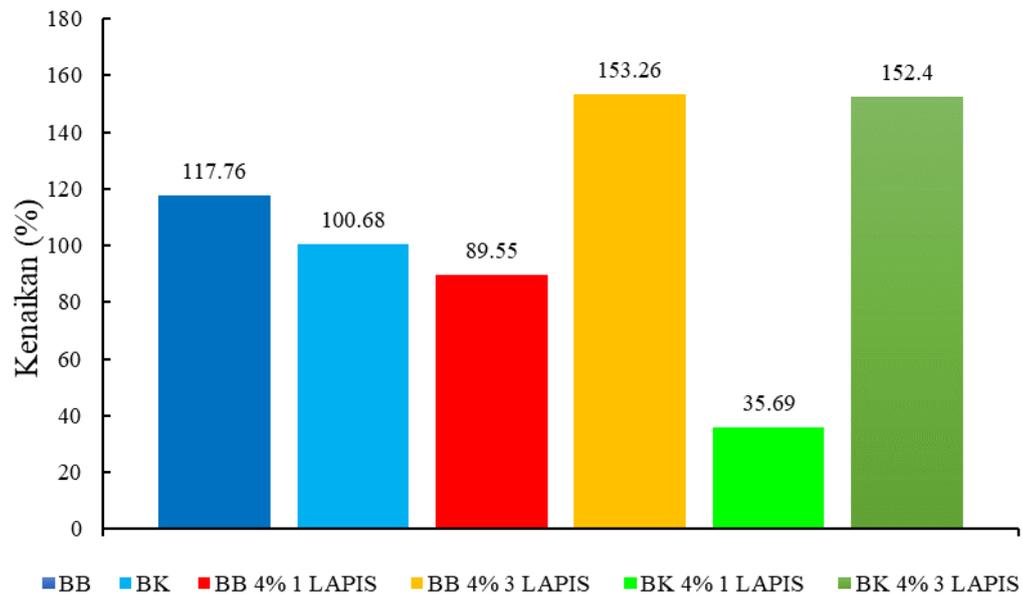
Tabel 4.12 Nilai Modulus Elastisitas Pengujian Tahap 2

Benda uji	Tegangan 2 (σ) (KPa)	Regangan 2 (ϵ) (%)	Modulus Elastisitas (Mpa)
Balas Bersih (BB)	904.6937	0.8125	111.3469
Balas Kotor (BK)	892.4716	0.7458	119.661
BB + Aspal 4% 1 Lapis	890.6641	0.6458	137.9092
BB + Aspal 4% 3 Lapis	873.5682	0.7875	110.9293
BK + Aspal 4% 1 Lapis	975.2559	1.2291	79.3428
BK + Aspal 4% 3 Lapis	886.9135	0.5875	150.964

Setelah mendapatkan nilai modulus elastisitas melalui perbandingan nilai tegangan yang didapatkan dari penarikan trendline pada grafik hubungan tegangan dan regangan selanjutnya akan dianalisis berapa kenaikan nilai modulus elastisitas dari pengujian tahap 1 ke tahap 2. Hasil persentase kenaikan ditampilkan pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.12.

Tabel 4. 13 Hasil Persentase Kenaikan Nilai Modulus Elastisitas

Benda uji	Modulus Elastisitas 1 (MPa)	Modulus Elastisitas 2 (MPa)	Persentase Perubahan (%)
Balas Bersih (BB)	51.1329	111.3469	+ 117.7597
Balas Kotor (BK)	59.6299	119.661	+ 100.6728
BB + Aspal 4% 1 Lapis	72.7576	137.9092	+ 89.5461
BB + Aspal 4% 3 Lapis	43.8017	110.9293	+ 153.2534
BK + Aspal 4% 1 Lapis	58.4747	79.3428	+ 35.6873
BK + Aspal 4% 3 Lapis	59.8122	150.964	+ 152.3966



Gambar 4.12 Persentase Kenaikan Nilai Modulus Elastisitas

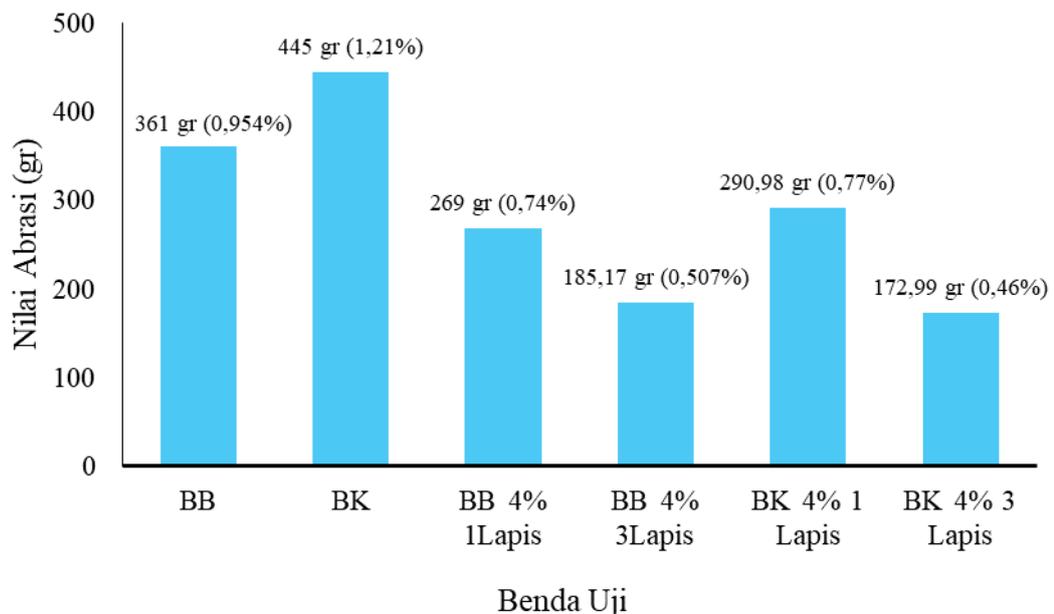
Nilai modulus elastisitas diatas merupakan hasil pendekatan yang dilakukan menggunakan kurva linier/*trendline*. Dari nilai diatas didapatkan persentase kenaikan nilai modulus elastisitas terbesar pada benda uji BB 4% 3 LAPIS sebesar dan BK 4% 3 LAPIS. Persebaran aspal yang merata pada tiap lapis pemadatan dengan efektif mampu menstabilkan penurunan lapisan balas, hal ini sesuai dengan sifat aspal yang dapat mengikat material, mengisi rongga yang ada pada tiap lapis sehingga penurunan yang terjadi tidak terlalu signifikan dan menyebabkan kekakuan dari benda uji tersebut memiliki nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan benda uji Balas tanpa aspal maupun benda uji Balas dengan modifikasi aspal 4% pada 1 lapis.

Sedangkan pada benda uji BB 4% 1 Lapis dan BK 4% 1 lapis memiliki penambahan nilai modulus elastisitas yang paling kecil hal ini disebabkan oleh persebaran aspal yang kurang merata dan material pada lapisan pemadatan ke 2 dan ke-3 tidak terselimuti oleh aspal. Selain itu kesalahan dalam proses penguangan aspal sangat mempengaruhi regangan yang terjadi akibat uji tekan. Dan seharusnya nilai modulus elastisitas pada benda uji modifikasi pada 1 lapis secara teoritis memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas benda uji Balas tanpa tambahan aspal.

Peningkatan nilai modulus elastisitas disebabkan oleh hasil pengujian tekan pada pengujian ke-1 sehingga pada pengujian ke-2 benda uji memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih tinggi karena memiliki tingkat kepadatan yang lebih tinggi sehingga kekakuan benda uji meningkat.

4.2.4. Analisis Abrasi Benda Uji

Nilai abrasi merupakan nilai perbandingan persentase berat dari kehancuran material dengan berat benda uji. 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 akan ditampilkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.13 Persentase Nilai Abrasi Benda Uji

Dari Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa nilai abrasi tertinggi dialami oleh benda uji BB dan BK hal ini disebabkan benda uji tidak menggunakan bahan tambahan aspal yang dapat melindungi material dari abrasi akibat pemadatan maupun pengujian tekan. Sedangkan pada benda uji BB 4% 1 Lapis dan BK 4% 1 Lapis memiliki nilai abrasi yang lebih kecil dari benda uji tanpa aspal namun lebih besar dibandingkan dengan abrasi BB 4% 3 Lapis dan BK 4% 3 Lapis. Meskipun penambahan aspal mampu mengurangi nilai abrasi pada kedua benda uji tersebut namun persebaran aspal yang berada pada 1 lapis hanya mampu

melindungi sebagian material pada lapis pertama saja. Sedangkan pada benda uji BB 4% 3 Lapis dan BK 4% 3 Lapis memiliki nilai abrasi paling sedikit karena persebaran aspal yang lebih merata pada 3 lapisan sehingga banyak material yang terlindungi dari abrasi akibat penumbukan maupun pengujian tekan.