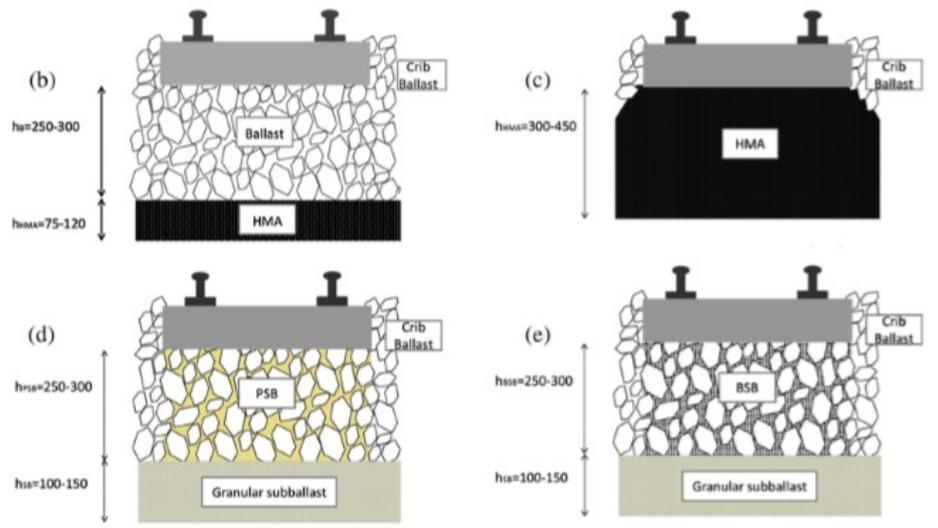


BAB II.

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka dan Penelitian Terdahulu

Berdasarkan referensi yang telah didapatkan, penulis mengenai studi peningkatan kualitas lapisan balas menggunakan bahan tambahan aspal sudah pernah dilakukan dengan berbagai macam modifikasi. Dalam penulisan tugas akhir ini penulis mendapatkan beberapa referensi yang dapat digunakan sebagai acuan dalam melaksanakan penelitian ini.



Gambar 2.1 (a,b) *Stabilisasi Hot Mix Asphalt (HMA)*, (c) *Polyurethane Stabilized Ballast (PSB)*, (d) *Bitumen Stabilized Ballast (BSB)* (D'Angelo dkk., 2016)

Lapisan struktur balas jalan kereta dapat mengalami penurunan kinerja mekanis dan geometri karena menerima beban dinamis secara terus menerus (D'Angelo dkk, 2016). Dalam penelitiannya (D'Angelo dkk, 2016) mengatakan bahwa aspal merupakan salah satu solusi potensial yang dapat digunakan untuk mereduksi kerusakan dan meningkatkan kinerja lapisan balas. Terdapat beberapa cara dalam peningkatan kinerja balas yaitu menambahkan *Hot Mix Admixture (HMA)* ke lapisan subballas untuk mendukung lapisan balas semakin kuat, menambahkan *Hot Mix Admixture (HMA)* pada lapisan balas dan sub ballas mampu meningkatkan stabilitas, selain itu terdapat material lain yang dapat digunakan untuk stabilisasi lapisan balas maupun sub-balas yaitu menggunakan *polyurethane* atau biasa disebut dengan *polyurethane stabilized ballast (PSB)*

(Tinjum, 2014), dan menambahkan bitumen pada lapisan balas atau *Bitumen Stabilized Ballast (BSB)* yang ditampilkan pada Gambar 2.1 di atas.

Nick Thom dkk. (2017) melakukan penelitian untuk meningkatkan kinerja lapisan balas menggunakan *Bitumen Stabilized Ballast (BSB)*. Material tersebut digunakan untuk meningkatkan kekakuan dan peredam getaran yang terjadi karena lintasan kereta. Selain itu dengan adanya peningkatan kinerja dengan material tersebut dapat mengurangi biaya perawatan dan usia pelayanan jalan kereta. Terdapat 3 jenis aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu N1 aspal yang biasa digunakan pada lapis permukaan yang memiliki kinerja tinggi dan aspal N2 dan R1 yang memiliki viskositas tinggi. Kadar aspal yang digunakan adalah 2% dan 3%. Selanjutnya dilakukan evaluasi dari beberapa parameter yang dicari melalui *flowability test* dan pengujian tekan menggunakan alat *Precision Unbound Material Analyzer (PUMA)*. Hasil keseluruhan yang didapat adalah stabilisasi menggunakan bitumen mampu meningkatkan kekakuan dan pelayanan balas. Perbandingan antara semua jenis bitumen yang digunakan N1 dan R1 memiliki hasil yang paling maksimal.

Lee dkk (2014) pada penelitiannya melakukan modifikasi aspal untuk memperkuat lapisan balas menggunakan tiga jenis pengikat yang berbeda yaitu PG64-22, aspal modifikasi karet dan aspal modifikasi *Styrene-Butadine-Styrene (SBS)* dan dikaji dalam beberapa aspek yaitu kerentanan kelembaman, deformasi, dan keretakan campuran aspal. Metode pengujian yang digunakan adalah *dynamic modulus* dan *uniaxial creep test* yang dilakukan untuk mengetahui sifat campuran yang di lakukan. Dari percobaan yang dilakukan campuran *Styrene-Butadine-Styrene (SBS)* dan campuran aspal yang mengandung karet (*Crumb Rubber Modified*) menghasilkan kinerja yang lebih baik daripada aspal PG64-22. Bahan elastis seperti karet mampu mengurangi kerusakan dan meredam getaran dari pembebanan serta kekakuan vertikal yang baik (Sol-Sánchez dkk, 2014).

Di dalam penelitiannya (Setiawan dan Rosyidi., 2018) melakukan peningkatan kualitas balas menggunakan potongan karet bergradasi seragam dengan ukuran 3/8” dengan dua jenis pemadatan yaitu 25 dan 50 kali penumbukan, material tambahan potongan karet tidak seragam dengan ukuran 1”,

½ “, dan ¾ “ dengan variasi tumbukan 35 dan 50 kali. penelitian bertujuan untuk mengetahui bagaimana efek pemadatan dan tambahan material potongan karet terhadap nilai deformasi vertikal, modulus elastisitas dan abrasi material balas. Pengujian dilakukan dengan alat UTM (*Universal Testing Machine*). Penambahan material karet dapat meningkatkan durabilitas sebesar 38% dan penambahan karet mampu menambah nilai modulus elastisitas sebesar 3% dan 6%.

Setiawan dan Rosyidi (2018) melakukan penelitian pengembangan kombinasi potongan karet dan aspal untuk memperkuat lapisan balas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan karet bekas 10% dapat meningkatkan nilai deformasi vertikal secara signifikan hingga 84%. Di sisi lain, penggunaan aspal 3% dapat meminimalkan deformasi vertikal menjadi hanya 14% karena aspal dapat meningkatkan kekakuan lapisan balast. Lebih lanjut, dapat disimpulkan bahwa secara umum, penggunaan karet bekas 10% dan aspal 3% dapat mengurangi persentase abrasi material hingga 80%. Selain itu, juga dapat diketahui bahwa penggunaan material skrap karet bertingkat adalah yang paling efektif dalam meningkatkan daya tahan material.

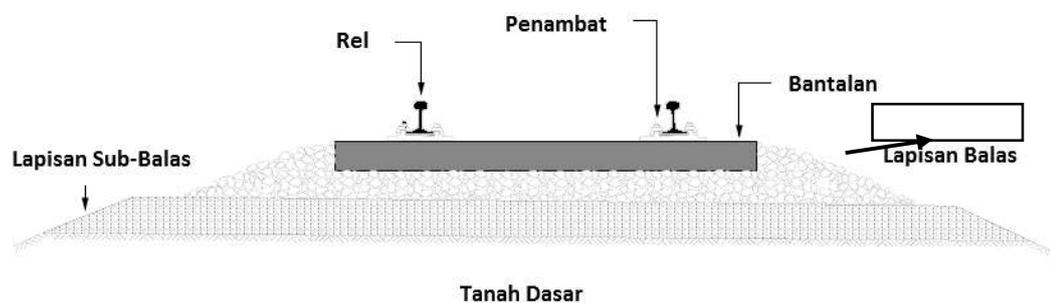
Setelah melakukan studi pustaka dan mendapatkan informasi dari penelitian terdahulu terdapat beberapa perbedaan pada penelitian yang dilaksanakan oleh penulis yaitu, dalam penelitian ini penulis meninjau beberapa sifat mekanik lapisan balas yaitu deformasi vertikal yang terjadi akibat pengujian tekan, nilai modulus elastisitas, abrasi material. Benda uji yang digunakan adalah benda uji menggunakan balas *box* dengan dimensi 400 x 200 x 300 mm dengan bahan tambah modifikasi aspal 4 % pada 1 lapis dan 3 lapis pemadatan. Pengujian tekan dilaksanakan dengan menggunakan alat uji tekan UTM (*Universal Testing Machine*) dengan pembebanan 4000 kg.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Lapisan Balas

Lapisan balas adalah komponen utama dalam konstruksi jalan rel konvensional. Menurut Rosyidi (2016), lapisan balas adalah lapisan yang terletak diatas tanah dasar yang memiliki fungsi sebagai penyalur beban dari bantalan

menuju lapisan subbalas dengan pola distribusi yang lebih merata. Lapisan balas merupakan salah satu bagian yang menerima tegangan yang tinggi karena lalu lintas kereta. Lapisan balas tersusun dari batuan pecah dengan ukuran 20-60 mm yang dihamparkan dan dipadatkan diatas permukaan tanah dasar bersama lapisan subbalas. Ilustrasi lapisan struktur balas pada konstruksi jalan rel akan ditunjukkan pada Gambar 2.2 sebagai berikut.



Gambar 2.2 Struktur Lapisan Balas pada Konstruksi Jalan Rel (Rosyidi, 2016)

Material balas terdiri atas batuan pecah (*crushed stones*) yang keras dan tahan lam, serta bersudut (*angular*). Berdasarkan Peraturan Menteri No.60 tahun 2012, material penyusunan lapisan balas harus memenuhi persyaratan:

- a. Lapisan balas terdiri dari material batuan pecah dengan ukuran 25-60 mm memiliki ketahanan yang tinggi, tahanan gesek yang tinggi dan memiliki banyak sudut yang tajam.
- b. Porositas kurang dari 3 %.
- c. Memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 1000 kg/cm².
- d. Berat jenis minimum 2,6.
- e. Kandungan tanah, lumpur maksimum 0,5%.
- f. Keausan balas tidak lebih dari 25 %.

Selain persyaratan diatas terdapat persyaratan gradasi untuk material balas yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Persyaratan Gradasi untuk Material Balas (Rosyidi, 2016)

Ukuran Dalam (")	Persen Lolos Saringan									
	3	2 ½	2	1 ½	1	¾	½	⅜	No.4	No.8
2½- ¾	100	100	25-60	25-60	-	0-10	0-5	-	-	-
2 – 1	-	100	96-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-
1½ - ¾	-	-	100	90-100	15-20	0-15	-	0-5	-	-

Semua pengujian sifat fisis agregat yang dilakukan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI), beberapa tahapan pengujian untuk memperoleh spesifikasi agregat akan dijelaskan pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Agregat

No	Nama Pengujian	Deskripsi	Standar
1	Analisis Saringan	Menguji gradasi material	SNI ASTM C136:2012
2	Material Halus yang Lolos Saringan No.200	Menguji substansi material yang lolos saringan No.200	SNI 3423:2008
3	Berat Jenis Bulk dan Absorpsi	Menentukan nilai BJ Bulk dan prosen material yang terabsorpsi	SNI 1969:2008
4	Prosen kandungan lempung dan partikel halus lain	Menentukan kadar prosen kandungan lempung dalam material dan partikel halus lainnya	SNI 03-4142-1996
5	Ketahanan terhadap degradasi	Menguji nilai degradasi/kehancuran material	SNI 2417:2008

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat

Berdasarkan BSN (2008a), pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat merupakan pengujian untuk mengetahui beberapa hasil sebagai berikut:

- a. Berat jenis curah kering (*bulk*)

Rumus perhitungan berat jenis curah kering:

$$BJ = \frac{A}{(B-C)} \dots\dots\dots 2.1$$

- b. Berat jenis jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*)

$$BJ = \frac{B}{(B-C)} \dots\dots\dots 2.2$$

- c. Berat jenis semu (*apperance*)

$$BJ = \frac{A}{(A-C)} \dots\dots\dots 2.3$$

- d. Nilai persentase penyerapan air (*absorbtion*)

$$\text{Penyerapan Air} = \left[\frac{B-A}{A} \right] \dots\dots\dots 2.4$$

dengan

A = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat benda uji jenuh kering permukaan (gram)

C = berat benda uji di dalam air (gram)

Selain persamaan diatas terdapat persyaratan berat agregat yang akan diuji berdasarkan ukuran agregat yang akan ditampilkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Berat Contoh Uji Minimum untuk Tiap Ukuran Nominal Maksimum Agregat (BSN, 2008a)

Ukuran nominal maksimum		Berat minimum dari contoh benda uji
mm	inci	
90	3 ^{1/2}	25
75	3	18
63	2 ^{1/2}	12
50	2	8
37,5	1 ^{1/2}	5
25	1	4
19	(3/4)	2

2. Pengujian kadar lumpur

Di dalam BSN (1996), pengujian kadar lumpur bertujuan untuk memperoleh banyaknya lempung yang menggumpal dan mudah pecah yang melekat pada agregat. Persyaratan untuk berat agregat minimum dalam keadaan kering ditampilkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Ketentuan Berat Kering Minimum Benda Uji (BSN, 1996)

Ukuran saringan	Berat benda uji
No. 4 (4,75 mm) - $\frac{3}{8}$ " (9,50 mm)	1000
$\frac{3}{8}$ " (9,50 mm) - $\frac{3}{4}$ " (19,00 mm)	2000
$\frac{3}{4}$ " (19,00 mm) - $1\frac{1}{2}$ " (38,10 mm)	4000
$\geq 1\frac{1}{2}$ " (38,10 mm)	5000

Kandungan kadar lumpur yang telah diuji dan didapatkan parameter analisisnya di hitung menggunakan persamaan 2.5:

$$P = \frac{W-R}{W} 100\% \dots\dots\dots 2.5$$

dengan,

P = tanah lempung dan butiran mudah pecah yang menggumpal

W = berat dari benda uji (gram)

R = berat benda uji kering oven yang tertahan saat penyaringan basah

3. Keausan Agregat Balas dengan mesin *Los Angeles*

Menurut BSN (2008b), pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan agregat kasar terhadap keausan karena mesin abrasi *Los Angeles*. Terdapat beberapa jenis gradasi yang menentukan jumlah berat benda uji yang diuji yang akan dijelaskan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.5 Daftar Gradasi dan Berat Benda Uji (BSN, 2008b)

Ukuran Saringan				Gradasi dan berat benda uji (gram)						
Lolos saringan		Tertahan saringan		A	B	C	D	E	F	G
Mm	inci	mm	inci							
75	3	63	2½	-	-	-	-	2500 ± 50	-	-
63	2½	50	2	-	-	-	-	2500 ± 50	-	-
50	2	37.5	1½	-	-	-	-	5000 ± 50	5000 ± 50	-
37.5	1½	25	1	1250 ± 25	-	-	-	-	5000 ± 50	5000 ± 25
25	1	119	¾	1250 ± 25	-	-	-	-	-	5000 ± 25
19	¾	12.5	½	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-	-	-	-
12.5	½	9.5	3/8	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-	-	-	-
9.5	3/8	6.3	¼	-	-	2500 ± 25	-	-	-	-
6.3	¼	4.75	No.4	-	-	2500 ± 10	2500 ± 25	-	-	-
4.75	No.4	2.36	No.8	-	-	-	2500 ± 10	-	-	-
Total				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	10000 ± 10	10000 ± 10	10000 ± 10
Jumlah Bola				12	11	8	6	12	12	12
Berat Bola				5000 ± 25	4584 ± 25	3330 ± 20	2500 ± 15	5000 ± 25	5000 ± 25	5000 ± 25

Nilai keausan didapatkan dari perbandingan berat total benda uji dengan berat material yang hancur karena mesin Los Angeles dalam satuan persen (%) yang dianalisis menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Keausan Agregat} = \frac{a-b}{b} 100\% \dots\dots\dots 2.6$$

dengan,

a = berat benda uji awal (gram)

b = berat dari benda uji hancur tertahan saringan No.12 (gram)

2.2.2. Aspal

Aspal merupakan material perekat berwarna hitam atau coklat tua dengan unsur pembentuk utama bitumen dan mineral bitumen. Aspal dapat diperoleh dialam maupun dari pengolahan minyak bumi. Aspal adalah material berbentuk padat sampai semi padat pada suhu ruang (20-30 °C) dan menjadi lunak atau cair jika dipanaskan (bersifat termoplastis). Aspal terdiri dari senyawa hidrokarbon, nitrogen, dan logam lain sesuai jenis minyak bumi dan proses pengolahannya.

Aspal mempunyai sifat pengikat yang memberikan ikatan kuat antara aspal dan agregat dan sesama aspal, selain itu aspal juga berfungsi sebagai pengisi yang mengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori agregat. Pada suhu 25°C molekul aspal dalam keadaan stabil, pada suhu 25°C - 60°C aspal mulai melunak, dan pada suhu kurang dari 25°C aspal akan membeku. Mengingat belum adanya spesifikasi khusus aspal untuk campuran lapisan balas pada sistem perkeretaapian Indonesia, maka aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal campuran perkerasan di jalan raya. Aspal yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah aspal penetrasi 60/70, berikut persyaratan aspal penetrasi 60/70 dalam Tabel 2.7.

Tabel 2.6 Persyaratan Aspal Penetrasi 60/70 (Kementrian Pekerjaan Umum, 2010)

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil	Satuan
1	Penetrasi pada suhu 25°C	SNI 2432:2011	60-70	0,1 mm
2	Titik lembek	SNI 2434:2011	≥ 48	°C
3	Daktilitas pada suhu 25°C	SNI 06-2432-1991	≥ 100	Cm
4	Berat Jenis	SNI 2441:2011	0,1	-
5	Kehilangan berat minyak	SNI 06-2440-1991	≤ 0,8	%

a. Berat Jenis Aspal

Menurut BSN (2011a), pemeriksaan berat jenis merupakan perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu (25°C atau 15,6°C). Massa aspal yang dimasukkan ke dalam piknometer minimal 4 gram. Berat jenis aspal akan dihitung menggunakan Persamaan 2.7.

$$BJ_{\text{ASPAL}} = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)} \dots\dots\dots 2.7$$

dengan,

A = massa piknometer dan penutup (gram)

B = massa piknimeter dan penutup berisi air (gram)

C = massa piknometer, penutup, dan benda uji (gram)

D = massa piknometer, penutup, benda uji, dan air (gram)

b. Penetrasi aspal

Menurut BSN (2011b), pemeriksaan penetrasi bertujuan untuk menentukan penetrasi bahan-bahan bitumen keras atau lunak (solid atau semi-solid) pada suhu 25°C dengan beban 100 gram selama 5 detik dengan alat *penetrometer*. Pembacaan jarum pada arloji penetrasi dinyatakan dengan satuan 0,1 mm. Untuk aspal penetrasi 60/70 yang digunakan, disyaratkan berada pada rentang nilai 60 – 70 untuk aspal murni. Pada kondisi lain digunakan ketentuan seperti pada Tabel 2.8.

Tabel 2.7 Penetrasi Aspal 60/70 (BSN, 2011a)

Temperatur (°C)	Berat total (gram)	Waktu (detik)
0	200	60
4	200	60
45	50	5
46,1	50	5

c. Titik Lembek

Menurut BSN (2011c), titik lembek merupakan pengujian dimana bola baja mendorong aspal dalam cincin dengan temperatur tertentu sampai ke pelat dasar sejauh 2,54 mm dengan kecepatan pemanasan 5°C per menit dengan cara *ring and ball*. Titik lembek aspal penetrasi 60/70 minimal 48°C dan untuk aspal modifikasi minimal 54°C.

d. Daktalitas

Menurut BSN (1991b), daktalitas aspal merupakan pengujian untuk mengetahui konsistensi dari aspal. Pengujian ini dilakukan pada suhu 25°C dengan meletakkan cetakan yang sudah berisi aspal pada mesin uji daktalitas dengan mengatur kecepatan penarikan 5 cm per menit. Untuk hasil dari

pencatatan pengujian bila aspal memiliki Panjang <100 cm maka aspal dikategorikan sebagai aspal yang getas, jika menghasilkan panjang 100-200 cm maka aspal dikategorikan sebagai aspal plastis, dan apabila menghasilkan panjang >200 cm maka aspal dikategorikan sebagai aspal yang sangat plastis.

2.2.3. Kuat Tekan dan Deformasi Vertikal

Kuat tekan adalah besarnya beban yang berpengaruh terhadap suatu benda berdasarkan luasan penampang yang terpengaruh oleh beban tersebut. Perhitungan kuat tekan dilakukan berdasarkan pengujian tekan beton (BSN, 1990). Deformasi vertikal merupakan perubahan bentuk suatu benda karena terdapat gaya yang berpengaruh secara vertikal kepada benda tersebut. Nilai defromasi vertikal didapatkan dari nilai penurunan benda uji karena mengalami pembebanan. Dari nilai deformasi vertikal bisa menunjukkan sifat mekanis suatu bahan yaitu tingkat kekakuan bahan.

2.2.4. Modulus Elastisitas

Uji tekan adalah metode pengujian yang cocok dilakukan pada semua benda uji yang berbentuk padat yang akan mengalami perubahan bentuk apabila diberi pembebanan. Metode pengujian ini sangat bergantung pada besarnya beban yang diterima oleh benda uji, unsur kimia ataupun kondisi fisik material benda uji, kecepatan pembebanan, suhu dan sifat mekanik beban uji tersebut. Pengujian menggunakan alat UTM merupakan pengujian untuk mendapatkan parameter antara lain seperti nilai deformasi, tegangan (σ), regangan (ϵ) serta nilai modulus elastisitas (E). Untuk pengujian kuat tekan pada penelitian ini berlandaskan pada pengujian tekan terhadap beton silinder maupun kubus (BSN, 1990) tentang tata cara pengujian tekan beton.

Uji tekan menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*), pada penelitian ini digunakan untuk mendapatkan nilai regangan dan tegangan. Berikut adalah perhitungan uji tekan pada penelitian modifikasi campuran balas:

- a. Menentukan nilai regangan:

$$\epsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \dots \dots \dots 2.8$$

dengan,

ε = regangan (%);

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

H_0 = tinggi awal benda uji (cm).

b. Menentukan nilai tegangan:

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

dengan,

σ = tegangan (kPa),

P = beban aksial (kN)

A = luas benda uji (cm²)

c. Menentukan nilai modulus elastisitas:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots 2.10$$

dengan,

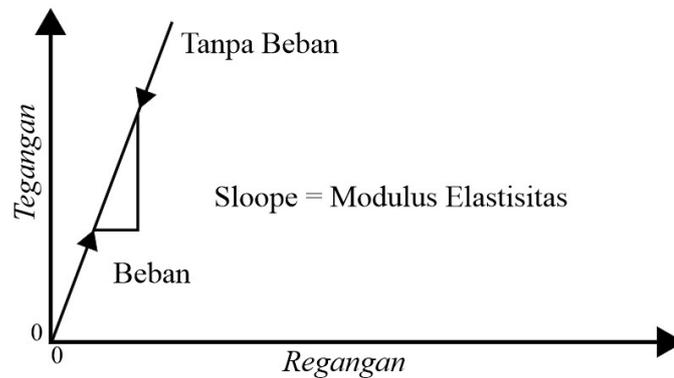
E = modulus elastisitas (MPa);

σ = tegangan leleh (kPa);

ε = regangan (%).

Dengan hasil akhir yang diperoleh berupa data tegangan dan regangan, kemudian data diolah dalam bentuk grafik guna menentukan nilai modulus elastisitas. Nilai modulus elastisitas merupakan tingkat kekerasan dari suatu bahan (benda uji). Semakin tinggi nilai modulus elastisitas maka benda uji dikategorikan semakin kaku/keras. Secara eksperimental, nilai modulus elastisitas dapat ditentukan dari perhitungan berdasarkan rumus empiris atau pengukuran kemiringan (*slope*) kurva regangan-tegangan yang didapatkan dari uji tekan.

Berdasarkan teori elastisitas, kemiringan kurva pada tahap awal atau pada jangkauan proposional elastis menggambarkan suatu modulus elastis dari bahan tersebut.



Gambar 2.3 Skematik Diagram antara Tegangan – Regangan (Sehonanda dkk, 2013)

2.2.5. Stabilisasi Lapisan Balas

Stabilisasi lapisan balas dilakukan supaya nilai pori yang ada dalam lapisan berkurang akibat rongga yang ada. Stabilisasi atau pemadatan berfungsi untuk menjaga stabilitas lapisan balas secara mekanis supaya material balas tidak berhamburan, hal ini disebabkan oleh bentuk material balas yang berbeda-beda. Untuk meningkatkan stabilitas lapisan balas dapat digunakan material dengan kualitas baik, gradasi material yang baik/ beragam untuk mengurangi rongga yang ada dan penambahan material lain yang dapat meningkatkan stabilitas lapisan balas. Stabilisasi lapisan balas dapat dilakukan dengan dua acara yaitu:

a. Stabilisasi mekanis

Stabilisasi secara mekanis dapat dilakukan dengan cara:

- 1) Mesin gilas (*roller*);
- 2) Benda berat yang dijatuhkan (*pounder*);
- 3) Tekanan statis.

b. Stabilisasi menggunakan bahan tambahan/campuran

Stabilisasi dengan bahan tambah/campuran dapat dilakukan dengan cara:

- 1) Penambahan kerikil atau bahan kohesif;
- 2) Pencampuran dengan bahan kimiawi seperti semen, kapur, aspal.

2.2.6. Abrasi Lapisan Balas

Abrasi material balas dapat dinilai melalui kehancuran material penyusun balas akibat beban yang diterima. Untuk mengetahui nilai abrasi suatu campuran

benda uji dilakukan pengujian dengan perbandingan sebaran gradasi material agregat sebelum dilakukan pengujian dengan agregat yang telah dilakukan pengujian (Rubio-Gómez dkk., 2014).

Pengujian dilakukan dengan menggunakan analisis gradasi yang di gambarkan melalui grafik persentase agregat. Perhitungan kerusakan dihitung berdasarkan berat material yang rusak dengan ukuran lolos saringan $\frac{3}{4}$ ".