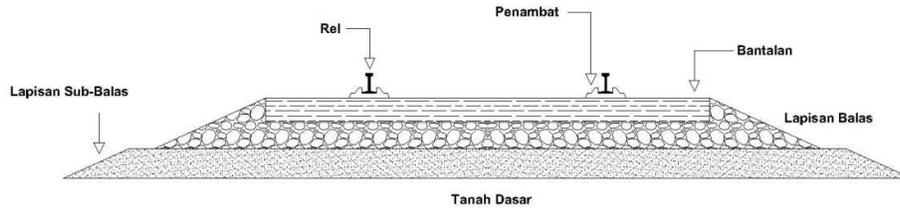


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Lapisan balas adalah bagian penting dari struktur jalan rel pada kereta api. Lapisan balas harus memenuhi kriteria yang mampu meredam getaran, memiliki ketahanan terhadap gaya dinamis, memiliki elastisitas guna meningkatkan stabilitas struktur dan memiliki kemudahan dalam pemeliharaan (Sanchez dkk., 2015). Perencanaan konstruksi jalur kereta api juga dipengaruhi oleh jumlah beban, kecepatan maksimum, beban gandar, dan pola operasi dan memiliki kemudahan dalam pemeliharanya (Rosyidi, 2015).



Gambar 2.1 Struktur jalan rel (Rosyidi, 2015)

Dalam era modern saat ini banyak dikembangkan struktur balas dengan beberapa tambahan material guna meningkatkan pelayanan balas dan memperpanjang umur dari balas. Pemanfaatan limbah karet pada ban kendaraan bermotor merupakan cara yang paling efektif untuk memberikan sifat elastis pada struktur balas (Sanchez dkk., 2015). Pengembangan jalan rel konvensional yang kualitasnya mendekati teknologi *slab track*, namun biaya yang diperlukan tidak terlalu mahal dengan harapan dapat meningkatkan umur layanan jalan rel (Setiawan dkk., 2013). Penambahan karet pada struktur balas meningkatkan elastisitas lapisan balas dan mengurangi keausan pada material balas namun dapat berpengaruh pada pergeseran geometri jalan rel akibat sifat material lepas dari campuran balas dan karet bekas (Sanchez dkk., 2014). Penambahan karet bekas dan aspal dapat meningkatkan ketahanan material balas terhadap beban (Sanchez dkk., 2014; D'Angelo dkk., 2016).

Penyusun memaparkan beberapa penelitian terdahulu yang relevan terhadap permasalahan yang diteliti:

- a. Kaya (2004) melakukan penelitian dengan menggunakan material balas bergradasi dan berukuran seragam menggunakan batuan kapur, batuan basal, *steel-slag*, kondisi jenuh air, dan *load on load*. Metode yang dilakukan adalah dengan menggunakan uji triaksial. Nilai modulus elastisitas (E_{50} , E_i , dan E_{ur}) dihasilkan dari pengujian triaksial bervariasi sebesar 30000 – 190000 kPa dengan jenis batuan yang berbeda beda. Hasil menunjukkan bahwa penambahan material lain mengakibatkan penurunan nilai kekuatan material balas, akan tetapi dengan menambahkan material lain menjadikan penghematan penggunaan material balas. Pengujian pada kondisi jenuh air juga mengakibatkan rapuhnya material karena mengurangi kepadatan material balas.
- b. Sanchez dkk. (2014) melakukan penelitian dengan menggunakan remahan karet ban bekas sebagai campuran lapisan balas. Persentase remahan karet ban bekas yang digunakan sebanyak 5%, 10%, 20%, dan 30% berdasarkan volume dari benda uji. Dalam pengujian ini, menggunakan *ballast box* yang mempunyai dimensi 460 x 200 x 300 mm dengan pengujian tekan sebesar 200 kPa dan 300 kPa. Hasil menunjukkan bahwa lapisan balas dengan campuran remahan karet ban bekas persentase 5% dan 10% dapat mengurangi deformasi permanen dari lapisan balas disamping itu penggunaan remahan karet ban bekas dapat meningkatkan ketahanan dari butir agregat balas. Dengan demikian penggunaan remahan karet ban bekas dapat member sifat elastis pada lapisan balas dan dapat meningkatkan umur layanan dari lapisan balas.
- c. D'Angelo dkk. (2016) melakukan penelitian dengan memodifikasi lapisan balas dengan campuran aspal untuk mengurangi deformasi serta menekan biaya perawatan pada lapisan balas pada saat kondisi bersih maupun terkotori. Persentase penambahan aspal sebanyak 2% dan 3% dari berat benda uji. Alat yang digunakan berdasarkan PUMA (*Precision Unbound Material Analyser*) berupa silinder dengan tinggi 150 mm dan diameter 150 mm. Pengujian ini juga menggunakan 2 metode pemadatan yaitu pemadatan manual dan

vibrator hammer. Hasil menunjukkan bahwa pemadatan menggunakan *vibrator hammer* dapat mengurangi terjadinya deformasi namun dengan kondisi balas yang terkotori, sedangkan untuk penggunaan aspal dengan persentase 2% dapat mengurangi deformasi sebesar 50% dan meningkatkan kekakuan sebesar 20%.

- d. D'Angelo dkk. (2016) melakukan penelitian keduanya dengan material aspal dari UK (*United Kingdom*) yaitu aspal emulsi N1, N2, dan R1. Alat yang digunakan berupa *ballast box* yang berdimensi 1000 x 1000 x 400 mm, dengan perbandingan 3 jenis aspal menunjukkan bahwa aspal emulsi R1 merupakan campuran yang paling optimal karena memenuhi kekentalan dan pemerataan yang cepat apabila sudah dituangkan.
- e. Navaratnarajah dkk. (2017) melakukan penelitian menggunakan bahan elastis material karet yang dijadikan hamparan (tikar karet). Rata-rata secara keseluruhan deformasi lapisan balas terjadi saat karet dihamparkan pada bagian bawah material balas menurun sekitar 35% - 45%. Ditinjau dari ketahanannya juga mempunyai nilai yang lebih tinggi yakni sebesar 50% - 60%. Hal ini berpengaruh terhadap umur layanan pada lapisan balas karena semakin sering dilakukannya pemeliharaan yang sering.
- f. Bressi dkk. (2018) melakukan penelitian menggunakan bahan aspal dan karet bekas yang dicampurkan sebagai material penyusun subbalas. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan karet dan aspal dapat meningkatkan sifat elastis dari sub balas, akan tetapi penggunaan karet dan aspal yang berlebihan akan memberikan kelemahan ketika beban bekerja pada jalan rel.

Perbedaan antara penelitian ini dibandingkan dengan beberapa penelitian terdahulu di atas, terletak pada pencampuran material balas dengan aspal pen. 60/70 dan karet bekas bergradasi menerus. Penambahan material aspal bertujuan untuk menjadi pengikat antar material balas, sedangkan penggunaan karet bekas bergradasi bertujuan untuk menambah sifat elastisitas pada lapisan balas dan meminimalisir keausan pada material balas.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Balas

Lapisan balas adalah bagian penting dari struktur jalan rel pada kereta api. Balas merupakan komponen utama dalam konstruksi jalan rel. Balas merupakan lapisan diatas tanah dasar yang berfungsi untuk menahan konstruksi *superstruktur* sekaligus sebagai penerima beban dari bantalan menuju tanah dasar. Menurut Rosyidi (2015), persyaratan yang harus dipenuhi oleh material yang akan digunakan sebagai lapisan balas yaitu :

- a. Material balas terdiri atas batuan pecah (*crushed stones*) yang keras dan tahan lam, serta bersudut (*angular*).
- b. Beberapa substansi yang merugikan tidak diperbolehkan ada dalam material balas yang melebihi jumlah tertentu, diantaranya :
 - 1) Material lunak dan mudah pecah harus < 3%
 - 2) Material yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) < 1%
 - 3) Gumpalan-gumpalan lempung < 0,5%
- c. Nilai keausan material pada pengujian Abrasi Mesin Los Angeles < 40%.
- d. Berat padat material per meter minimal 1400 kg.
- e. Partikel yang tipis dan panjang (partikel yang mempunyai panjang sama atau lebih dari lima kali ketebalan rata-rata), diharuskan kurang dari 5%.
- f. Gradasi yang diperbolehkan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Persyaratan gradasi untuk material balas (Rosyidi, 2015)

Ukuran Nominal	Persen Lolos Saringan									
	3"	2½"	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 8
2½" - ¾"	100	90 - 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	20 - 15	0 - 15	-	0 - 5	-	-

Menambahkan dari persyaratan diatas, menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, persyaratan yang harus dipenuhi oleh material yang akan digunakan sebagai lapisan balas yaitu :

- a. Balas harus terdiri dari batu pecah (25 - 60) mm dan memiliki kapasitas ketahanan yang baik, ketahanan gesek yang tinggi dan mudah dipadatkan,
- b. Material balas harus bersudut banyak dan tajam,
- c. Porositas maksimum 3%,
- d. Kuat tekan rata-rata maksimum 1000 kg/cm^2 ,
- e. *Specific gravity* minimum 2,6,
- f. Kandungan tanah, lumpur, dan organik maksimum 0,5%,
- g. Kandungan minyak maksimum 0,2%,
- h. Keausan balas sesuai dengan test Los Angeles tidak boleh lebih dari 25%.

Pengujian agregat yang dilakukan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI), beberapa tahapan pengujian untuk memperoleh spesifikasi agregat untuk material balas adalah:

1. Berat jenis dan penyerapan air agregat

Menurut BSN (2008a), berat jenis dan penyerapan air pada agregat merupakan pengujian untuk mengetahui nilai berat jenis curah kering (*bulk*), nilai berat jenis jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*), nilai berat jenis semu (*apperance*), dan nilai penyerapan air (*absorbtion*). Pengujian ini dilakukan untuk konversi dari berat dan volume bahan.

Tabel 2.2 Berat contoh uji untuk tiap ukuran agregat (BSN, 2008a)

Ukuran Nominal Maksimum		Berat minimum dari contoh uji
mm	inci	kg
150	(6)	125
125	(5)	75
112	(4 ½)	50
100	(4)	40
90	(3 ½)	25
75	(3)	18
63	(2 ½)	12
50	(2)	8
37,5	(1 ½)	5
25,0	(1)	4
19,0	(¾)	3

Menurut BSN (2008a), berat jenis sebagai perbandingan berat suatu jenis material dengan berat air pada volume yang sama. Adapun contoh perhitungan untuk mendapatkan berat jenis agregat sebagai berikut :

a) Berat jenis curah kering (*Bulk*)

Berat jenis curah kering / S_d , dihitung dengan rumus sebagai berikut :

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

dengan,

A adalah berat benda uji kering oven (gram)

B adalah benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

C adalah berat benda uji dalam air (gram)

b) Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)

Berat jenis jenuh kering permukaan / S_s , dihitung dengan rumus sebagai berikut :

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

dengan,

B adalah benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

C adalah berat benda uji dalam air (gram)

c) Berat jenis semu (*Apperance*)

Berat jenis semu / S_a , dihitung dengan rumus sebagai berikut :

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

dengan,

A adalah berat benda uji kering oven (gram)

C adalah berat benda uji dalam air (gram)

d) Penyerapan air (*Absorbtion*)

Penyerapan air / S_w , dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$S_w = \frac{B-A}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan,

A adalah berat benda uji kering oven (gram)

B adalah benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

2. Pengujian kadar lumpur

Menurut BSN (1996), identifikasi kadar lumpur bertujuan untuk memperoleh banyaknya butiran lempung yang menggumpal serta mudah pecah

yang melekat pada agregat. Pada Tabel 2.3. disajikan persyaratan untuk berat agregat minimum dalam keadaan kering.

Tabel 2.3 Ketentuan Berat Kering Minimum Benda Uji (BSN, 1996)

Ukuran Agregat	Berat Kering Minimum Benda Uji (gram)
No. 4 (4,75 mm) - 3/8" (9,50 mm)	1000
3/8" (9,50 mm) - 3/4" (19,00 mm)	2000
3/4" (19,00 mm) - 1 1/2" (38,10 mm)	3000
≥ 1 1/2" (38,10 mm)	5000

Kadar lumpur yang sudah diuji dan didapatkan parameternya, dapat diketahui persentase kadar lumpur pada persamaan 2.6. sebagai berikut:

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

dengan,

P adalah tanah lempung yang menggumpal dan butiran mudah pecah

W adalah berat dari benda uji (gram)

R adalah berat benda uji kering karena dioven yang tertahan pada saat penyaringan basah

3. Keausan Agregat Balas dengan mesin *Los Angeles*

Menurut BSN (2008b), keausan Agregat dengan mesin *Los Angeles* merupakan pengujian untuk mengetahui ketahanan suatu agregat terhadap keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus terhadap berat semula dalam persen. Untuk menghitung keausan agregat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{b} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan,

a adalah berat benda uji semula (gram)

b adalah berat benda uji tertahan saringan NO. 12 (1,70 mm) (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 2.4.

Tabel 2.4 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 dan aspal	SNI 06-2440-1991	≤ 0,8	%

Sifat-sifat aspal yang perlu mendapatkan perhatian adalah sebagai berikut:

1. Sifat kimia, ditentukan berdasarkan kandungan *ashpaltness* dan kandungan *malthness* (*resins, aromatics, saturates*)
2. Sifat fisik, yang ditentukan berdasarkan durabilitasnya (penetrasi, titik lembek, dan daktilitas), adhesi / kohesi, kepekaan terhadap perubahan temperatur dan pengerasan / penuaan.

Dari beberapa spesifikasi diatas, dapat dilakukan beberapa pengujian.

1) 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 dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis} = \frac{(C-A)}{(B-A) - (D-C)} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan,

A adalah massa piknometer dan penutup (gram)

B adalah massa piknimeter dan penutup berisi air (gram)

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

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

2) 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 2.5.

Tabel 2.5 Penetrasi aspal 60/70 (BSN, 2011b)

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

3) 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.

4) Daktilitas

Menurut BSN (1991b), daktilitas 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 daktilitas 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. Karet Bekas

Karet didapat dari menyadap pohon karet berupa cairan karet yang disebut lateks. Kebanyakan karet digunakan dalam pembuatan selang dan ban mobil (lebih dari 50%) (Herminiwati, 2010). Karet yang digunakan pada penelitian ini adalah karet dari limbah ban bekas yang selanjutnya disebut karet bekas. Pada umumnya setelah tidak terpakai, limbah karet dari ban kendaraan bermotor dibuang begitu saja. Penumpukan limbah karet pada tempat pembuangan akhir akan menimbulkan masalah baru karena limbah ini sulit untuk terurai. Bahan dasar pembuatan ban adalah karet alam, karet sintetis, karbon, bahan penangkal oksidasi (*antioxidant*), bahan penangkal efek ozon (*antiozonants*), bahan penambah fleksibilitas (*plasticizer*), benang atau logam penguat dan lapisan penguat dengan perbandingan tertentu tergantung pada kegunaan ban tersebut (Herminiwati, 2010). Pengolahan ban bekas bisa berupa *recycled rubber* dan *reclaimed rubber* (Adhikari dkk., 2000).

Karet bekas mengandung 85% hidrokarbon, 10-15% baja dan bahan kimia lainnya. Karet bekas memiliki kandungan diantaranya adalah:

1. Karet alam dan karet sintetis
2. *Filler* penguat
3. Minyak
4. Antioksidan
5. Zink oksida
6. Akselerator
7. Sulfur (Warith dan Rao, 2006)

Karet memiliki sifat elastis yang dapat berfungsi sebagai pelindung dan meminimalisir adanya kontak langsung, akan tetapi karet tidak tahan terhadap pemanasan suhu sehingga karet dapat digolongkan sebagai material termoplastis (Sanchez dkk., 2014).

2.2.4. Modulus Elastisitas

Uji tekan digunakan untuk mencari hubungan antara tegangan-regangan, hubungan antara tegangan-regangan ini menghasilkan modulus elastitas. Modulus elastisitas merupakan parameter yang digunakan sebagai parameter ketahanan bahan terhadap perubahan bentuk ketika diberi pembebanan. Adapun hasil dari pengujian tekan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan regangan menggunakan persamaan 2.8.

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan,

ε = Regangan (%)

ΔH = perubahan tinggi benda uji yang dibaca dari arloji ukur (cm)

H_0 = Tinggi benda uji awal (cm)

2. Menentukan nilai tegangan aksial (σ) pada setiap pembebanan dengan persamaan 2.9.

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

dengan,

P = Beban aksial yang bekerja (kN)

A = Luas penampang plat penekanan (m²)

Modulus elastisitas merupakan pembagian antara tegangan dan regangan seperti pada persamaan 2.10.

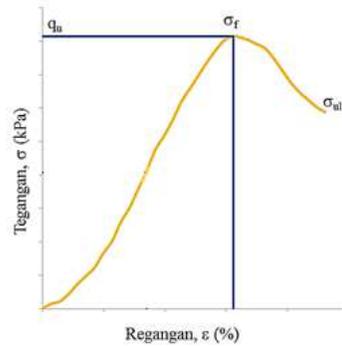
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan,

E = modulus elastisitas

σ = tegangan

ε = regangan



Gambar 2.2 Grafik hubungan tegangan-regangan

Nilai modulus elastisitas digunakan untuk menjadi parameter kekakuan suatu campuran, semakin tinggi nilai modulus elastisitasnya maka sifat campuran akan semakin getas (kaku).

2.2.5. Analisis Abrasi Material

Untuk mengetahui nilai abrasi suatu campuran benda uji dengan material agregat adalah melakukan pengujian dengan perbandingan jumlah sebaran material agregat sebelum dilakukan pemberian beban dengan material yang selesai dilakukan pemberian beban / setelah pengujian (Sanchez dkk., 2014).

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan analisis saringan yang selanjutnya digambarkan menggunakan grafik persentase ukuran butir agregat. Perhitungan ketahanan material ini dihitung dari material yang memiliki ukuran lebih kecil dari ukuran yang ditentukan untuk ukuran balas.

2.2.6. Stabilisasi Lapisan Balas

Kondisi material balas sangat kompleks dan lepas susunan materialnya. Bahan yang digunakan tersebut tidak selalu memuaskan jika digunakan sebagai bahan penyusun lapisan balas. Menurut Sanchez dkk. (2014), terdapat beberapa alternatif yang dapat dilakukan dalam meningkatkan stabilitas material balas sebagai berikut:

- a. Menggunakan bahan yang memiliki kualitas baik dan melakukan perawatan terus menerus secara berkala.
- b. Mengganti partikel balas yang seragam dengan partikel yang bervariasi agar dapat menyeluruh mengisi ruang pada rongga material balas.

- c. Menambahkan material lain dalam lapisan balas atau usaha tertentu pada lapisan balas sehingga menjadi lebih baik.

Alternatif terakhir tersebut, dengan memperbaiki sifat-sifat aslinya yang dinamakan stabilisasi. Stabilisasi merupakan upaya atau tindakan memperbaiki, mengubah, dan keawetannya.

Stabilisasi balas dapat terdiri dari salah satu yaitu gabungan pekerjaan pekerjaan berikut:

- a. Stabilisasi Mekanis

Menurut Soedarmo dan Purnomo (1997), stabilitas mekanis adalah dengan menggunakan berbagai macam peralatan mekanis, seperti *roller*, *pounder*, peledakan, tekanan statis, pembekuan, pemanasan, dan lain-lain.

Dalam penelitian kali ini metode yang dilakukan adalah pemadatan manual sehingga material menjadi lebih mampat dan mengurangi rongga antar material. D'Angelo dkk. (2016) melakukan metode pemadatan dengan menggunakan pemadat manual dan *vibrator hammer*.

- b. Stabilisasi dengan bahan tambah

Penambahan bahan lain bertujuan untuk memperbaiki atau meningkatkan kualitas dari material atau bahan. Saat ini bahan tambah untuk lapisan balas masih harus dikaji dan diteliti lebih lanjut. Beberapa bahan tambahan seperti karet, aspal, batuan kapur, batuan basal, *steel-slag*, dan dengan menerapkan beberapa kondisi pada lapisan balas telah banyak dilakukan dengan tujuan memperbaiki dan menekan angka perawatan pada lapisan balas.