

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Lapisan balas adalah material penting yang terdapat pada struktur jalan rel, material tersebut berupa material granular bebas yang bertindak sebagai lapisan pembawa beban menuju lapisan dibawahnya hingga tanah dasar (Indraratna dkk., 2017). Material yang baik untuk digunakan sebagai material balas yaitu batuan yang memiliki bentuk bersudut, tidak mudah hancur, memiliki gradasi yang sama, bersih dan tidak pipih, namun pada kenyataannya material yang memiliki standar yang baik pada saat ini sukar ditemukan, oleh karena itu penelitian dan pengkajian perlu dilakukan agar permasalahan pemilihan material dapat diatasi (Rosyidi, 2015).

Pengembangan jalan rel konvensional yang hampir mendekati *slab track* diharapkan dapat menurunkan biaya konstruksi dan dapat meningkatkan umur layanan dari jalan rel konvensional tersebut (Setiawan, 2013). Beragam penelitian telah dilakukan salah satunya yaitu dengan penambahan karet bekas dengan tujuan meningkatkan nilai elastisitas dari lapisan balas, sehingga dapat mengurangi degradasi pada lapisan balas (Sol-Sanchez dkk., 2015). Untuk meminimalkan kerusakan jalur rel kereta api yaitu dengan penambahan karet di bawah lapisan balas (Navaratnarajah, 2017). Penggunaan elemen elastis berupa karet yang dicampurkan dengan agregat balas dapat memperkecil penurunan dan getaran pada jalan rel (D'Angelo dkk., 2016). Elemen elastis yang terdapat pada lapisan balas jalan rel memberikan elastisitas dalam arti vertikal, khususnya pada penampang melintang, dengan penambahan ban karet ini dapat juga mengurangi biaya produksi dan juga mengurangi limbah karet bekas yang berlimpah (Sol-Sanchez dkk., 2014).

Aspal terdiri dari senyawa hidrokarbon, nitrogen, dan logam lain sesuai jenis minyak bumi dan proses pengolahannya (Sukirman, 2003). Dalam penelitian D'Angelo dkk. (2016) penggunaan lapisan beraspal pada lapisan balas dapat meningkatkan performa, distribusi tegangan, menahan beban dinamik yang berlebihan dan meredam getaran. Untuk kadar optimum yang diperoleh dari

pengujian yang dilakukan oleh D'Angelo dkk. (2016) adalah 2% - 3% dari berat benda uji.

Beberapa penelitian terdahulu yang relevan terhadap permasalahan yang diteliti:

- a. Sol-Sanchez dkk. (2014) pada penelitiannya yang berjudul "*The Use of Deconstructed Tires as Elastic Elements in Railway Tracks*" menggunakan metode uji tekan, pada balas dengan campuran remahan karet bekas sebagai material tambahan pada campuran. Dengan presentase yang digunakan yaitu 5%, 10%, 20%, dan 30% berdasarkan volume benda uji. Benda uji dicetak menggunakan box berdimensi 460×200×300 mm. Pengujian tekan dilakukan dengan tekanan sebesar 200 kPa dan 300 kPa. Hasil menunjukkan bahwa penambahan remahan karet dengan presentase sebesar 5% dan 10% dapat mengurangi deformasi lapisan balas, apabila pemakaian terlalu banyak akan menurunkan sifat kaku dari lapisan balas yang berdampak pada meningkatnya deformasi (*settlement*). Disamping itu penambahan remahan karet dapat meningkatkan ketahanan dari material balas.
- b. D'Andrea dkk. (2012) pada penelitiannya yang berjudul "*Vibration Induced by Rail Traffic: Evaluation of Attenuation Properties in a Bituminous Sub-ballast Layer*" dengan metode membandingkan jenis material yang dicampur dengan karet dan aspal pada balas yang menggunakan ukuran bervariasi. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan aspal dan karet sebagai elemen elastis dapat mengurangi getaran yang diakibatkan oleh beban dinamis yang berasal dari kereta api yang berjalan di atas rel tersebut.
- c. Batayneh dkk. (2008) pada penelitiannya yang berjudul "*Promoting the Use of Crumb Rubber Concrete In Developing Countries*" dengan menggunakan metode uji tekan pada penggunaan remah karet sebagai pengganti agregat halus campuran beton. Dengan presentase karet yang digunakan sebesar 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa kekuatan beton menurun, namun masih memenuhi syarat untuk kekuatan beton ringan.
- d. D'Angelo dkk. (2016) pada penelitiannya yang berjudul "*Bitumen stabilized ballast: A potential solution for railway track-bed*" dengan metode yang digunakan yaitu pemadatan manual dan *vibrator hammer*. Sedangkan untuk

campuran aspal sebagai material tambahan pada lapisan balas bertujuan untuk mengurangi deformasi serta mengurangi biaya perawatan. Hasilnya, presentase optimal penambahan aspal yang didapatkan adalah 2% - 3% dari berat benda uji. Dengan hasil yang menunjukkan penggunaan aspal presentase sebesar 2% dapat mengurangi deformasi sebesar 50% dan meningkatkan kekakuan sebesar 20% serta nilai deformasi yang menurun pada kondisi balas kotor untuk penggunaan metode *vibrator hammer*.

- e. D'Angelo dkk. (2017) pada penelitiannya yang kedua berjudul "*Optimisation of Bitumen Emulsion Properties For Ballast Stabilisation*", dengan menggunakan material aspal yang berasal dari *United Kingdom* yaitu aspal emulsi N1, N2 dan R1. Dengan balas box berukuran 1000×1000×400 mm, dengan hasil yang menunjukkan bahwa aspal emulsi R1 memenuhi kekentalan dan pemerataan yang cepat apabila sudah dituangkan, sehingga dapat dinyatakan bahwa aspal emulsi R1 adalah campuran yang paling optimal dibandingkan dengan aspal emulsi N1 ataupun N2.

## 2.2. Landasan Teori

### 2.2.1. Balas

Lapisan balas adalah lapisan yang berada di atas tanah dasar. Lapisan ini terletak di daerah yang mengalami konsentrasi tegangan yang sangat besar yang diakibatkan oleh beban lalu lintas kereta api yang berjalan di atasnya, maka dari itu lapisan ini harus menggunakan material yang terpilih dan memenuhi persyaratan (Rosyidi, 2015). Material yang digunakan untuk lapisan balas harus memenuhi kriteria yang mampu menahan getaran, memiliki ketahanan terhadap gaya dinamis, memiliki elastisitas guna meningkatkan stabilitas struktur dan memiliki kemudahan dalam pemeliharannya (Zakeri dan Mosayebi, 2016).

Adapun persyaratan material yang digunakan untuk balas yaitu Peraturan Menteri Republik Indonesia No. PM. 60 tahun 2012, sebagai berikut:

- 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<sup>2</sup>.
- e. Berat jenis (*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 hasil pengujian Los Angeles tidak boleh lebih dari 25%.

Sedangkan menurut PD No. 10 tahun 1986 mengenai gradasi material agregat yang baik digunakan untuk Kelas Jalan I dan Kelas Jalan II minimal ukuran yang digunakan 2½”- ¾”, sedangkan untuk Kelas Jalan III dan Kelas Jalan IV ukuran minimal yang digunakan 2” – 1”. Persyaratan gradasi untuk material balas ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Persyaratan gradasi untuk material balas.

Ukuran Nominal	Persen Lolos Saringan									
	3”	2½”	2”	1½”	1”	¾”	½”	3/8”	No.4	No.8
2½”-¾”	100	90- 100	25- 60	25- 60	-	0-10	0-5	-	-	-
2” – 1”	-	100	95- 100	35- 70	0-15	-	0-5	-	-	-
1½” -¾”	-	-	100	90- 100	15- 20	0-5	-	0-5	-	-

(Sumber : Penjelasan PD No. 10 Tahun 1986)

Adapun pengujian agregat yang dilakukan untuk mengetahui spesifikasi dari material balas mengacu pada Standar Nasional Indonesia / SNI, beberapa tahapan pengujian untuk memperoleh spesifikasi agregat untuk material balas adalah:

#### 1. Berat jenis dan penyerapan air agregat

Berat jenis dan penyerapan air pada agregat merupakan pengujian yang dilakukan guna mengetahui nilai dari berat jenis jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*), berat jenis curah kering (*bulk specific grafity*), berat jenis semu (*apparent specific grafity*), dan penyerapan air dari suatu jenis agregat. Pengujian ini sesuai dengan SNI 1969-2008 tentang berat jenis dan penyerapan air.

Standar Nasional Indonesia tahun 1969-2008 mendefinisikan berat jenis sebagai perbandingan berat suatu jenis material dengan berat air pada volume yang sama. Adapun perhitungan untuk mendapatkan nilai berat jenis agregat sebagai berikut :

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

Berat jenis curah kering /  $S_d$ , dihitung dengan persamaan 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 (*saturated surface dry*)

Berat jenis jenuh kering permukaan /  $S_{sd}$ , dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

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

dengan,

$B$  adalah benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

$C$  adalah berat benda uji dalam air (gram)

- c. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

Berat jenis semu /  $S_a$ , dihitung dengan persamaan 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 (*Absorption*)

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

Di dalam SNI 03-4141-1996 menerapkan persyaratan kadar lumpur untuk agregat. Pengujian kadar lumpur ini bertujuan untuk memperoleh banyaknya kandungan lempung yang melekat pada agregat.

Kadar lumpur dapat diketahui prosentasenya dengan menggunakan Persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$P = \frac{(A-B)}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan,

$P$  adalah tanah lempung yang menggumpal dan butiran mudah pecah

$A$  adalah berat dari benda uji (gram)

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

## 3. Keausan Agregat Balas dengan menggunakan mesin *Los Angeles*

Pengujian keausan agregat dengan menggunakan 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. Dalam pengujian ini acuan yang digunakan adalah SNI 2417:2008 tentang cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi *Los Angeles*. Persamaan yang dapat digunakan adalah sebagai berikut :

$$\text{Keausan} = \frac{a - b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan,

$a$  adalah berat benda uji semula (gram)

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

## 4. Analisis Saringan

Pengujian analisis saringan digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran dari material balas. Pengujian ini dilakukan dengan standar sesuai SNI C136:2012 tentang metode uji untuk analisis saringan.

### 2.2.2. Karet Bekas

Penggunaan karet pada campuran balas adalah salah satu upaya untuk mengurangi limbah karet bekas sekaligus memberikan elemen elastis pada balas. Hal ini dimaksudkan juga untuk menekan biaya pemeliharaan rel kereta api karena

dengan meningkatnya jumlah kereta angkutan barang dan kereta dengan kecepatan tinggi menyebabkan struktur dari jalan rel lebih sering mengalami kerusakan (Setiawan, 2016).

Material karet didapat dari menyadap pohon karet berupa cairan karet yang disebut lateks. Kebanyakan karet digunakan dalam pembuatan selang dan ban mobil, sedangkan untuk pengolahan ban bekas bisa berupa *recycled rubber* dan *reclaimed rubber*.

Material karet memiliki sifat elastis berfungsi sebagai pelindung dan meminimalisir adanya kontak langsung, tetapi karet tidak tahan terhadap pemanasan suhu sehingga dapat dikatakan sebagai material termoplastis (Sol-Sanchez dkk., 2014).

### 2.2.3. Aspal

Aspal merupakan bahan hidrokarbon yang bersifat melekat dan biasa sebagai lapis permukaan pada jenis perkerasan lentur. Aspal juga memiliki sifat termoplastis, yaitu aspal tersebut akan mengeras atau mengental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau meleleh jika temperatur bertambah (Sukirman, 2003). Di Indonesia, penggunaan aspal sebagai bahan campuran pada lapisan balas belum pernah ada, sehingga untuk penggunaan aspal atau bahan bitumen lainnya pada konstruksi jalan rel belum memiliki acuan atau standar yang harus diikuti. Pada penelitian ini aspal yang digunakan yaitu aspal dengan penetrasi 60/70, karena aspal tersebut cocok digunakan untuk iklim tropis seperti di Indonesia. Dengan presentase penggunaan aspal sebesar 2% mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh D'Angelo dkk. (2016). Berikut persyaratan pemeriksaan bahan aspal penetrasi 60/70 di Indonesia pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Persyaratan aspal penetrasi 60/70 SNI

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil	Satuan
1	Penetrasi pada Suhu 25°C	SNI 2456:2011	60/70	0,1 mm
2	Titik Lembek	SNI 2434:2011	$\geq 48$	°C
3	Daktilitas pada Suhu 25°C	SNI 06-2432-1991	$\geq 100$	cm
4	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 0,1$	-
5	Berat yang Hilang	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$	%

Aspal pada penelitian ini difungsikan sebagai perekat antara agregat dan meningkatkan durabilitas dari lapisan balas. Berikut adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kualitas aspal yang digunakan:

1. Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi aspal digunakan untuk menentukan keras dan lunaknya aspal (*solid* atau *semi solid*) pada suhu 25°C sebagai persyaratan dari mutu aspal yang digunakan. Pengujian ini dilakukan dengan cara pembebanan menggunakan jarum dengan beban 100 gram selama 5 detik pada lima titik yang berbeda sesuai dengan aturan yang ada, pengukuran menggunakan alat *penetrometer*. Pembacaan arloji *penetrometer* dinyatakan dalam satuan 0,1 mm.

2. Titik Lembek Aspal (*ring and ball method*).

Titik lembek adalah temperatur pada saat bola baja dengan berat tertentu, mendesak turun lapisan aspal yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga aspal menyentuh plat dasar sejauh 25,4 mm dengan kecepatan pemanasan 5°C per menit dengan metode *ring and ball*. Pengujian titik lembek ini termasuk dalam kategori pengujian kepekaan aspal terhadap suhu. Pengujian titik lembek ini didasari dengan jenis aspal yang digunakan. Untuk titik lembek aspal penetrasi 60/70 minimal pada suhu 48°C saat bola menyentuh plat dasar.

3. Daktilitas

Pengujian daktilitas aspal bertujuan untuk menentukan konsistensi dari aspal. Pengujian ini dilakukan pada suhu 25°C dengan cara menarik benda uji berupa aspal dengan kecepatan penarikan 5 cm per menit serta dengan toleransi  $\pm 5\%$ . Untuk hasil dari pencatatan pengujian bila aspal memiliki panjang <100 cm maka aspal termasuk sebagai aspal yang getas, jika panjang aspal mencapai rentang 100-200 cm maka aspal tersebut dikategorikan dalam aspal plastis, dan yang terakhir jika aspal menghasilkan panjang >200 cm maka aspal dapat dikategorikan sebagai aspal yang sangat plastis.



#### 4. Berat Jenis

Pemeriksaan berat jenis aspal ini adalah membandingkan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu (25°C atau 15,6°C) dengan menggunakan piknometer dengan kapasitas isi 24 – 30 ml. Untuk menentukan berat jenis aspal dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat Jenis Aspal} = \frac{(C-A)}{[(B-A)-(D-C)]} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

$A$  = masa piknometer dengan penutupnya (gram)

$B$  = masa piknometer, penutup, dan air suling (gram)

$C$  = masa piknometer, penutup, dan aspal (gram)

$D$  = masa piknometer, penutup, aspal, dan air suling (gram)

#### 2.2.4. Modulus Elastisitas

Uji kuat tekan adalah pemberian gaya tekan persatuan luas. Uji tekan ini digunakan untuk mencari hubungan antara tegangan-regangan, hubungan antara tegangan-regangan ini menghasilkan modulus elastitas. Adapun parameter yang ada pada pengujian ini adalah modulus elastisitas ( $E$ ), tegangan ( $\sigma$ ), dan regangan ( $\epsilon$ ). Persamaan untuk pengujian tekan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan regangan menggunakan persamaan 2.7.

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

dengan,

$\epsilon$  = Regangan (%)

$\Delta H$  = perubahan tinggi benda uji yang dibaca dari arloji ukur (cm)

$H_0$  = Tinggi benda uji awal (cm)

2. Menentukan nilai tegangan aksial ( $\sigma$ ) pada setiap pembebanan dengan persamaan 2.8.

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

dengan,

$P$  = Beban aksial yang bekerja (kN)

A = Luas penampang plat penekanan ( $\text{cm}^2$ )

Modulus elastisitas merupakan pembagian antara tegangan dan regangan seperti pada persamaan 2.9.

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

dengan,

E = modulus elastisitas

$\sigma$  = tegangan

$\varepsilon$  = 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**

Analisis abrasi material yaitu dengan membandingkan jumlah sebaran material sebelum dilakukannya pengujian kuat tekan dengan material yang sudah dilakukan pengujian kuat tekan (Sol-Sanchez dkk., 2014). Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan analisis saringan yang hasilnya berupa presentase dalam bentuk grafik.

#### **2.2.6. Deformasi Vertikal**

Deformasi vertikal pada pengujian ini yaitu dengan melihat berdasarkan angka penurunan yang diakibatkan oleh pembebanan pada benda uji. Nilai deformasi vertikal ini menunjukkan tingkat kekakuan suatu campuran dan menjadi parameter untuk menentukan tebal dari lapisan balas yang digunakan.