

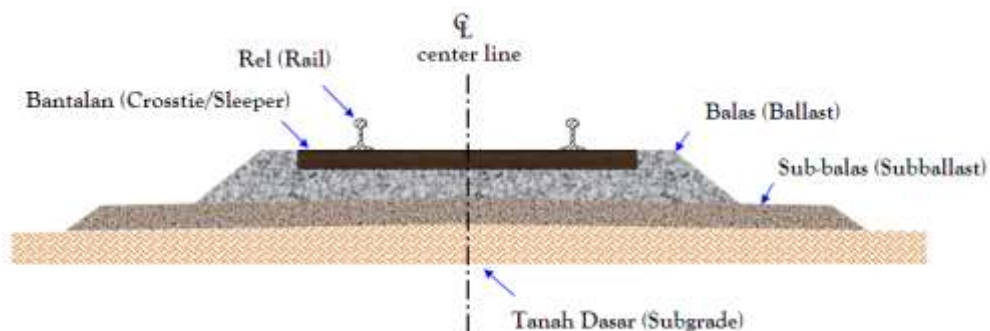
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Lapisan balas adalah sistem dari rangkaian kereta api konvensional dimana lapisan balas memberikan dukungan struktural terhadap tekanan dinamis yang diberikan dari jalannya kereta api (Indraratna, dkk, 2017). Balas terdiri dari material seragam bergradasi yang menciptakan struktur pori yang cukup besar untuk memfasilitasi drainase pada jalan rel kereta api (Indraratna, dkk, 2012). Dengan demikian, konsep akhir dari distribusi beban ini adalah menyalurkan tegangan dari beban kereta api kepada tanah dasar tanpa menimbulkan perubahan bentuk permanen pada tanah (Rosyidi, 2015).

Jalan rel perlu dirancang dan direncanakan agar memenuhi aspek ekonomis dalam pelaksanaan konstruksinya serta mudah untuk pemeliharaannya. Secara ekonomis yang diharapkan agar pembangunan dan pemeliharaan konstruksi dapat diselenggarakan dengan tingkat biaya yang rendah dan dengan output yang dihasilkan kualitas terbaik serta tetap menjamin keamanan dan kenyamanan (Rosyidi, 2015).



Gambar 2. 1 Kontruksi Struktur Jalan Rel Kereta Api (Rosyidi, 2015)

Beberapa negara belahan dunia telah melakukan penelitian tentang peningkatan kualitas struktur jalan rel. Seperti yang dikatakan Bouraima, dkk, (2017) yang memaparkan bahwa lapisan balas dengan dasar aspal dapat mengurangi tekanan dan mendistribusikan beban dengan baik dari kereta yang bergerak di atasnya. Lapisan aspal pada struktur balas dapat meningkatkan kualitas

dan umur yang lebih lama serta meminimalisir biaya untuk perawatan pada lintasan jalan rel kereta (Rose dan Souleyrette, 2014).

Penulis memaparkan beberapa penelitian terdahulu yang dapat menjadi referensi yang relevan untuk penelitian saat ini untuk diteliti:

1. Kaya (2004), melakukan penelitian mengenai struktur balas menggunakan material berupa batuan kapur dan batuan basal dalam kondisi jenuh air. Alat eksperimental utama yang digunakan dalam penyelidikan ini adalah kerangka pemuatan Wykeham-Farrance 5-Ton dengan sel triaksial yang mampu menguji spesimen dengan diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Hasil menunjukkan bahwa campuran penambahan material lain berdampak pada penurunan kekuatan balas. Pada pengujian ini apabila kondisi material jenuh air dapat mengakibatkan rapuhnya material dikarenakan berkurangnya kepadatan balas.
2. D'Angelo, dkk, (2016), melakukan penelitian balas bersih dan balas kotor dengan campuran aspal emulsi 2%-3% dari total benda uji. Dalam penelitian ini, cetakan yang digunakan berbentuk *silinder* yang memiliki ukuran tinggi 150 mm dan diameter 150 mm. Beban yang diterapkan pada penelitian ini adalah 200 kPa dan 300 kPa menggunakan alat uji *NU loading frame* yang terdapat pada *UK materials testing laboratories*. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil peningkatan ketahan balas terhadap deformasi vertikal dan meningkatkan kekakuan struktur balas.
3. D'Angelo, dkk, (2016) pada penelitian lainnya melakukan penelitian mengenai beberapa material aspal dari *United Kingdom* yaitu aspal emulsi N1, N2 dan Ri. Alat yang digunakan dalam pengujian ini berupa *box* cetakan yang memiliki ukuran 1000 mm × 1000mm × 400 mm dengan perbandingan 3 jenis aspal yang telah diuji pada alat PUMA (*Presicion Unbound Material Analyser*) menunjukkan bahwa aspal emulsi R1 merupakan campuran yang paling optimal karena memenuhi kekentalan dan pemerataan yang cepat apabila sudah dituangkan.
4. Sol-Sánchez dkk (2015), melakukan penelitian penambahan campuran aspal sebagai dasar dari struktur sub-balas yang dicetak pada *box* cetak berukuran panjang 750 mm × 500 mm × 440 mm dengan memberikan beban sebesar statis 20 kPa, 50 kPa, 100 kPa dan beban dinamis sebesar 150 kPa dengan

frekuensi 4 Hz yang menggunakan tes *triaxial*. Penambahan lapisan aspal (*bituminous*) pada sub-balas dapat meningkatkan kekakuan dan mengurangi tekanan yang diterima dari kereta api.

Perbedaan dengan penelitian kali ini terdapat pada lapisan aspal tersebut, dimana penelitian sebelumnya menggunakan lapisan aspal pada dasar struktur balas sedangkan penelitian kali ini menggunakan lapisan aspal pada material balas tersebut dengan cara menuangkan aspal cair pada beberapa lapisan yang telah ditentukan. Pada penelitian kali ini, benda uji disusun pada *box* cetakan dengan dimensi 0,4 m × 0,2 m × 0,3 m berupa campuran balas (balas bersih dan balas kotor) dan aspal yang akan diberikan beban sebesar 4000 kg menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*).

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Struktur Lapisan Balas

Struktur lapisan balas pada jalan rel berfungsi sebagai penerus beban kereta api yang diterima dari bantalan menuju tanah dasae dengan distribusi beban merata. Bahan material penyusun balas ini adalah batu pecah (agregat) dengan ukuran bergradasi yang dihamparkan dan dipadatkan bersamaan dengan lapisan sub-balas hingga membentuk struktur yang padat di atas tanah dasar yang sebelumnya telah dipadatkan. Dalam buku Rosyidi (2015), ada beberapa persyaratan dan spesifikasi yang harus dipenuhi struktur balas yaitu sebagai berikut:

1. Material balas tersusun atas batuan pecah yang keras dan memiliki usia yang panjang, serta bersudut.
2. Substansi yang merugikan dalam material balas, diantaranya:
 - a. Material lunak dan mudah pecah kurang dari 3%
 - b. Material lolos saringan No.200 (0,075mm) kurang dari 1%
 - c. Gumpalan lempung kurang dari <0,5%
3. Angka keausan material (agregat) pada uji *Los Angeles* kurang dari 40%
4. Berat padat material per meter minimal 1,4 ton.
5. Partikel yang tipis dan panjang (partikel yang memiliki panjang sama atau lebih dari lima kali ketebalan rata-rata) harus <5%
6. Gradasi yang diperbolehkan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Persyaratan Gradasi Material Balas (Rosyidi, 2015)

Ukuran inc	Persen Lolos Saringan									
	3	2 ½	2	1 ½	1	¾	½	⅜	No.4	No.8
2½- ¾	100	100-90	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	-	-

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, persyaratan dan spesifikasi yang harus terpenuhi oleh material lapisan balas yaitu:

1. Balas terdiri dari batu pecah (25 mm - 60 mm) dan berkapasitas ketahanan yang baik, ketahanan gesek tinggi serta mudah dipadatkan,
2. Balas harus bersudut banyak dan tajam,
3. Porositas maksimum 3%
4. *Specific gravity* minimum 2,6,
5. Kandungan tanah, lumpur dan organik maksimum 0,5%,
6. Kandungan minyak tidak boleh lebih 0,2%
7. Keausan balas sesuai test *Los Angeles* tidak melebihi 25%

Pengujian material agregat yang dilakukan mengacu pada SNI tahapan pengujian untuk memperoleh spesifikasi agregat balas yaitu:

1. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat

Menurut BSN tahun 2008a, berat jenis dan penyerapan air pada agregat merupakan pengujian untuk memperoleh nilai berat jenis curah kering, nilai berat jenis jenuh kering permukaan, nilai berat jenis semu dan nilai penyerapan air. Pengujian tersebut dilakukan untuk mengonversi dari berat dan volume bahan. Berikut contoh perhitungan untuk memperoleh berat jenis agregat:

- a. Berat jenis kering (*bulk*)

$$S_d = \frac{X}{(Y-Z)} \dots \dots \dots 2.1$$

- b. Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)

$$S_s = \frac{Y}{(Y-Z)} \dots \dots \dots 2.2$$

- c. Berat jenis semu (*appearance*)

$$S_a = \frac{X}{(X-Z)} \dots \dots \dots 2.3$$

d. Penyerapan air (*absorbtion*)

$$Sw = \frac{Y-X}{X} 100\% \dots\dots\dots 2.4$$

dengan,

X = berat benda uji kering oven (gram)

Y = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

Z = berat benda uji dalam air (gram)

2. Pengujian Kadar Lumpur

Menurut Badan Standar Nasional (BSN) tahun 1996, identifikasi kandungan kadar lumpur bertujuan untuk mendapatkan banyaknya nilai butiran lempung yang menggumpal serta mudah pecah yang melekat pada agregat benda uji. Pada Tabel 2.2 dapat dilihat persyaratan untuk berat agregat minimum dalam keadaan kering.

Tabel 2.2 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 pada material yang telah diuji dan didapatkan nilai parameternya, dapat dihitung kandungan kadar lumpurnya menggunakan persamaan 2.5 dibawah ini:

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

dengan,

P = tanah lempung dan butiran mudah pecah yang menggumpul

W = berat dari benda uji (gram)

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

3. Keausan Agregat Balas (*Los Angeles*)

Menurut BSN (2008b), keausan material agregat dengan mesin *Los Angeles* merupakan pengujian untuk memperoleh ketahanan suatu agregat terhadap keausan yang dapat dilihat dengan perbandingan antara berat benda uji aus

terhadap berat semula dalam persen. Rumus yang digunakan untuk menghitung, sebagai berikut:

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

dengan,

a = berat benda uji semula (gram)

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

2.2.2. Aspal

Aspal merupakan material perekat dengan unsur pembentuk utama bitumen dan mineral bitumen. Aspal dapat diperoleh dari alam maupun dari pengolahan minyak bumi. Aspal terdiri dari senyawa hidrokarbon, nitrogen, dan logam lain sesuai jenis minyak bumi dan proses pengolahannya. Menurut (D'Angelo dkk., (2017) penambahan material aspal bersifat emulsi dapat menurunkan nilai deformasi karena dipengaruhi nilai persentase dan kekentalan aspal tersebut..

Aspal memiliki sifat pengikat yang dapat mengikatan antara aspal dan agregat, selain itu aspal juga dapat berfungsi sebagai pengisi rongga antara butir agregat dan mengisi pori-pori agregat. Pada suhu 25°C aspal dalam keadaan stabil, pada suhu 25°C - 60°C aspal mulai mencair, dan pada suhu kurang dari 25°C aspal akan memadat. Mengingat belum adanya spesifikasi khusus aspal untuk campuran struktur lapisan balas pada sistem kereta api di Indonesia, maka aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal campuran perkerasan di jalan raya penetrasi 60/70. Berikut persyaratan aspal penetrasi 60/70 terdapat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Persyaratan Aspal Penetrasi 60/70 (SNI)

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil	Satuan
1	Penetrasi pada suhu 25°C	SNI 2432:2011	60-70	mm
2	Titik lembek	SNI 2434:2011	≥ 48	°C
3	Daktalitas 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	%

Aspal memiliki sifat-sifat yang perlu diperhatikan, antara lain sebagai berikut:

1. Sifat kimia, didapatkan berdasarkan isi kandungan *ashpaltnes* dan kandungan *malthness* (*resins*, *aromatics*, dan *saturates*).
2. Sifat fisik yang didapatkan berdasarkan durabilitas (uji penetrasi, titik lembek dan daktalitas), kohesi/adhesi, kepekaan terhadap tempratur dan pengerasan.

Dari beberapa sifat-sifat di atas, maka harus dilakukan beberapa rangkaian pengujian sebelum menggunakan aspal tersebut, sebagai berikut:

a. Berat Jenis Aspal

Berdasarkan pada BSN (2011a), pengujian berat jenis merupakan perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada tempratur tertentu (25°C atau 15,6°C). Massa aspal yang dimasukkan ke dalam piknometer harus lebih dari 4 gram. Perhitungan untuk berat jenis dapat dilihat pada persamaan 2.7.

$$BJ = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \dots\dots\dots 2.7$$

dengan,

A = massa piknometer beserta tutup (gram)

B = masa piknometer berisi air beserta tutup (gram)

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

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

b. Penetrasi Aspal

Menurut BSN (2011b), pengujian penetrasi bertujuan untuk menentukan penetrasi bahan-bahan bitumen keras atau lunak 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 dalam penelitian ini, disyaratkan berada pada rentang nilai 60 – 70 untuk aspal murni. Pada kondisi lain digunakan ketentuan seperti pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Aspal Penetrasi 60/70 (BSN, 2011b)

Temperatur (°C)	Berat total (gram)	Waktu (detik)
0	200	60
4	200	60

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

c. Titik Lembek Aspal

Berdasarkan pada BSN (2011c), titik lembek merupakan pengujian dimana bola baja dengan suhu tertentu mendorong aspal dalam cincin sampai ke plat dasar sejauh 2,54 mm dengan kecepatan pemanasan suhu 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. Daktilitas Aspal

Berdasarkan pada BSN (1991b), daktilitas aspal merupakan metode 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 yang diperoleh dari pengujian bila aspal memiliki panjang kurang 100 cm maka aspal dikategorikan sebagai aspal getas. Sedangkan jika aspal menghasilkan panjang 100-200 cm maka aspal dikategorikan sebagai aspal plastis, dan apabila aspal menghasilkan panjang lebih 200 cm maka aspal dikategorikan sebagai aspal yang sangat plastis.

2.2.3. Stabilisasi Lapisan Balas

Kondisi material balas sangatlah beragam, bahan yang digunakan pun tidak selalu memuaskan apabila digunakan sebagai lapisan balas. Menurut Sanches dkk (2014), terdapat beberapa alternatif yang mungkin dapat dilakukan dalam peningkatan stabilitas material balas sebagai berikut:

- a. Memilih material yang baik dan memenuhi spesifikasi serta melakukan perawatan secara rutin.
- b. Mengganti partikel balas yang memiliki ukuran seragam dengan partikel yang memiliki ukuran bervariasi dengan tujuan agar meminimalisir rongga-rongga yang terdapat pada susun balas.
- c. Menambahkan material dalam susunan balas atau memodifikasi lapisan balas sehingga susunan balas menjadi lebih baik.

Stabilisasi memiliki arti memperbaiki sifat asli dari struktur lapisan balas yang bertujuan menciptakan struktur balas yang lebih baik dan memiliki usia keawetan yang lebih lama. Stabilisasi struktur balas dapat terdiri dari gabungan beberapa pekerjaan yang dibedakan menjadi dua sebagai berikut:

a. Stabilisasi Mekanis

Menurut Soedarmo (1993), stabilitas mekanis adalah penambahan metode dengan menggunakan berbagai macam peralatan mekanis, seperti peledakan, *roller pounder*, pembekuan, tekanan statis pemanasan dan lain - lain. Pada penelitian yang dilakukan D'Angelo dkk, (2016), metode pemadatan yang digunakan yaitu menggunakan pemadatan manual dan *vibrator hammer*, sedangkan pada penelitian kali ini menggunakan pemadatan manual yang bertujuan agar mendapatkan hasil lapisan balas yang lebih rapat dan mengurangi rongga pada lapisan balas.

b. Stabilisasi dengan Bahan Tambahan

Pada penelitian terdahulu penambahan beberapa alternatif bahan tambahan yang bertujuan meningkatkan kualitas lapisan balas telah banyak dilakukan. Penambahan berupa material aspal, material karet, material batuan basal, material batuan kapur dan *steel-lag* yang diharapkan dapat meningkatkan umur balas dan menekan biaya perawatan pun telah banyak dilakukan.

2.2.4. Deformasi Vertikal

Pemeriksaan deformasi vertikal pada penelitian ini didapatkan berdasarkan nilai penurunan yang terjadi akibat uji pembebanan. Nilai deformasi ini menunjukkan tingkat kekakuan dari campuran dan dapat menjadi parameter untuk menentukan tebal dari struktur balas yang telah dikerjakan.

2.2.5. 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 SNI 03-1974:1990 (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:

1. Menentukan nilai regangan:

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

dengan,

ε = regangan (%);

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

H_0 = tinggi awal benda uji (cm).

2. 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)

3. Menentukan nilai modulus elastisitas:

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

dengan,

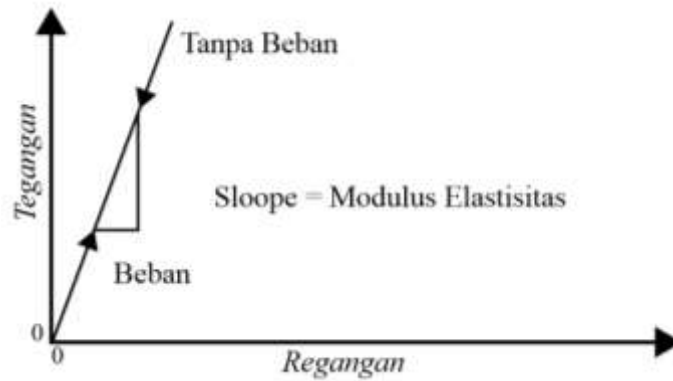
E = modulus elastisitas (MPa);

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. 2 Skematik Diagram Tegangan – Regangan (Sehonanda, dkk, 2013)

2.2.6. Analisis Abrasi Material Agregat

Untuk mendapatkan nilai abrasi material pada benda uji adalah dengan cara melakukan perbandingan antara jumlah sebaran material agregat yang pecah/hancur setelah uji tekan selesai dengan sebelum uji tekan (Sances, 2014). Metode yang dilakukan berupa penyaringan agregat yang lolos saringan $\frac{3}{4}$ " dari balas yang digunakan saat uji tekan.