

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Lapisan balas merupakan salah satu komponen utama dalam struktur jalan rel kereta api. Pembahasan dan penelitian mengenai struktur lapisan balas di era sekarang ini salah satunya adalah dengan cara memodifikasi campuran dari struktur lapisan balas dengan bahan lain yang ditujukan untuk menambah kualitas dan kemampuan dari struktur jalan rel dalam menahan beban di atasnya. Bahan tambah yang digunakan tentunya bertujuan untuk memperbaiki kekurangan dan menambah kualitas dari struktur jalan rel. Penggunaan bahan tambah aspal yang dicampurkan pada lapisan balas menjadi alternatif yang diharapkan menambah kualitas dari struktur jalan rel.

Giunta dkk. (2018) mengatakan penambahan material lain yang bersifat mengikat pada struktur balas dapat meningkatkan umur layanan dan biaya perawatan. Kaya (2004) melakukan penelitian 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 berkisar antara 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.

D'Angelo dkk. (2016) melakukan penelitian dengan memodifikasi lapisan balas dengan campuran aspal untuk mengurangi deformasi serta menekan biaya perawatan dengan meningkatkan ketahanan pada lapisan balas pada saat kondisi bersih maupun kotor. Persentase material aspal yang digunakan sebesar 2% dan 3% dari total berat benda uji. alat yang digunakan berdasarkan PUMA (*Precision Unbound Material Analyser*) yaitu silinder dengan dimensi cetakan 150 mm untuk tinggi dan diameter 150 mm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban dinamik sebesar 200 kPa dan 300 kPa yang dianggap sesuai untuk mensimulasi pembebanan kereta biasa. 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%.

Kemudian D'Angelo dkk. (2017) melakukan penelitian 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.

Penyusun juga memaparkan penelitian terdahulu yang relevan dan menjadi referensi dalam melakukan penelitian ini. Menurut D'Andrea dkk. (2012) menyimpulkan bahwa lapisan aspal pada sub balas dapat meredam getaran akibat beban lalu lintas kereta api. Studi yang dilakukan oleh EAPA (2003) menjelaskan bahwa penggunaan aspal dalam pembangunan struktur jalan rel memberikan kontribusi positif terhadap daya dukung, stabilitas, daya tahan, dan mengurangi kebutuhan akan perawatan struktur jalan rel. Kemudian Rose dkk. (2009) mengatakan penggunaan aspal pada struktur jalan rel berdampak positif pada pencapaian hemat biaya operasi jangka panjang dan efisien yang dicapai dengan tidak adanya pelapukan atau kemerosotan material yang dapat mempengaruhi kinerja untuk jangka waktu yang lama.

Penelitian yang dilakukan oleh Lee dkk. (2014) menyatakan campuran aspal dengan kombinasi material karet pada lapisan balas menghasilkan nilai kekakuan yang tinggi, pada saat temperatur standar berdasarkan modulus dinamik dan campuran antara aspal dan karet mengurangi kemungkinan keretakan dari lapisan balas. Selanjutnya D'Angelo dkk. (2017) melanjutkan penelitian dalam mengoptimalkan aspal emulsi dalam campuran lapisan balas. Berdasarkan nilai modulus resilien (MR), *flowability index*, energi yang hilang, jenis dan jumlah bitumen yang digunakan memperoleh hasil yang menunjukkan bahwa keseluruhan optimalisasi dan penstabilan aspal emulsi dapat meningkatkan ketahanan lapisan balas terhadap deformasi.

Kemudian dalam penelitian lainnya, penggunaan bahan bitumen pada lapisan balas dan sub-balas, memperoleh hasil bahwa lapisan material balas dan sub-sub balas dapat mengurangi gaya dinamis, berdasarkan nilai modulus kekakuan dari tegangan yang terjadi pada balas (Mino dkk., 2012). Penggunaan bahan aspal dan karet juga memiliki peran positif terhadap daya dukung, stabilitas, dan yang utama adalah meningkatnya peredaman getaran pada struktur jalan rel (Asgharzadeh dkk., 2018). Bahan aspal dengan tambah karet juga digunakan sebagai campuran penyusun subbalas yang menghasilkan peningkatan sifat elastis, tapi jika digunakan berlebihan akan memberi kelemahan beban kerja pada struktur jalan rel (Bressi dkk. 2018).

Studi yang dilakukan oleh Setiawan (2013) adalah dengan mengembangkan jalur kereta api di Indonesia dengan struktur jalan rel konvensional yang kualitasnya mendekati teknologi struktur *slab track*, akan tetapi dengan biaya yang tidak terlalu mahal dan diharapkan dapat meningkatkan kuat tahan dan umur layanan dari struktur jalan rel.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Struktur Lapisan Balas

Balas adalah lapisan berupa struktur dari agregat pada bagian struktur jalan rel yang terdiri dari gradasi yang tidak sama. Lapisan balas berfungsi untuk meneruskan dan mengurangi beban di atasnya yang diterima oleh bantalan rel menuju ke tanah dasar (*subgrade*) dengan distribusi beban yang merata. Material penyusun lapisan balas harus memenuhi kriteria yang mampu menahan getaran, memiliki ketahanan terhadap gaya dinamis, memiliki elastisitas untuk stabilisasi struktur, dan mempunyai kemudahan dalam hal pemeliharannya (Zakeri dkk., 2016).

Rosyidi (2015), mengatakan bahwa beberapa fungsi dari lapisan balas yang meliputi :

1. Menyediakan suatu landasan bagi perletakan bantalan dengan permukaan yang mempunyai daya dukung seragam.
2. Mendukung konstruksi bantalan dan rel yang bersifat kenyal, sehingga memberikan kenyamanan saat rangkaian kereta api melintas di atasnya.

3. Mempertahankan konstruksi rel secara kokoh dan menjaga stabilitas keddukan bantalan-rel dengan menahan bergesernya bantalan rel baik dari arah membujur/longitudinal (akibat gaya rem, gaya jejakan roda, gaya pengembangan suhu rel) maupun arah melintang/lateral (akibat gaya sentakan roda oleh *snake motion*).
4. Menyebarkan beban yang diterima dari bantalan dengan memperkecil tekanan vertikal hingga tingkat tertentu yang mampu diterima oleh tanah dasar, sedemikian sehingga tidak terjadi deformasi permanen pada lapisan tanah dasar yang mengakibatkan penurunan (*amblesan*) dan dapat mengakibatkan kerusakan geometrik jalur kereta api.
5. Material balas disusun sebagai bahan *porous* yang memungkinkan meloloskan air (fungsi drainasi) dan meloloskan air dari zona pembebanan tanah.
6. Menyediakan media untuk pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan jalur seperti perbaikan permukaan jalur (rel) dan alinemen geometriknya.
7. Lapisan balas juga dimungkinkan dapat ditumbuhi tanaman khususnya pada lereng-lereng yang agak curam.

Material penyusun utama lapisan balas adalah agregat/ batu pecah dengan ukuran yang berbeda-beda yang dihamparkan dan dipadatkan di atas tanah dasar yang sebelumnya telah dipadatkan. Beberapa material untuk konstruksi lapisan balas seperti *limestone* (batuan sedimen), *gravel* (agregat/batu pecah), dan *granit* (batuan beku). Berikut sifat material pada lapisan balas rel :

1. Material batuan yang bersudut (*Angular*)
2. Terpecah menjadi butiran (*Crushed*)
3. Keras dan kokoh
4. Memiliki distribusi ukuran yang relatif sama (*Uniformly graded*)
5. Bebas dari debu dan kotoran.

Material agregat merupakan penyusun utama dari lapisan balas. desain dan jenis material dari lapisan akan berpengaruh besar pada struktur jalan rel. Oleh karena itu pemilihan dari material lapisan balas akan menentukan kekuatan dari struktur jalan rel itu sendiri. Berikut ini adalah beberapa spesifikasi dari material agregat penyusun lapisan balas :

1. Persyaratan yang harus dipenuhi dari material penyusun yang akan digunakan sebagai lapisan balas terdapat PD (Peraturan Dinas) No. 10 tahun 1986 sebagai berikut :
 - a. Material balas terdiri atas batuan pecah (*crushed stones*) yang keras dan tahan lama, 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	-	-

2. Pengujian fisik dan mekanik material penyusun lapisan balas yang diambil dari AREA (*American Railway Engineering Association*) Tahun 1997 yang ditunjukkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Pengujian fisik dan mekanik material balas (Rosyidi, 2015)

No	Nama Pengujian	Deskripsi	Standar Acuan
1	Analisis Saringan	Menguji gradasi material	SNI 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 danprosen material yang terabsorpsi	SNI 1970:2008
4	Prosen kandungan lempung dan partikel halus lain	Menentukan kadar prosen lempung dalam material dan partikel halus lainnya	ASTM C-142
5	Ketahanan terhadap degradasi	Menguji nilai degradasi/kehancuran material	SNI 2417:2008
6	Berat unit	Menentukan nilai berat unit yang diisyaratkan	SNI 03-4804-1998

3. Persyaratan material penyusun lapisan balas menurut Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012, yang ditunjukkan 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/cm².
 - 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%.

Material agregat penyusun lapisan balas berasal dari batu pecah yang memiliki ukuran berkisar antara 25 - 60 mm. Akan tetapi, sulitnya mendapatkan spesifikasi agregat yang ekonomis dan sesuai kebutuhan dalam pemilihan material balas menjadi permasalahan yang menjadi perhatian dalam penelitian ini. Pengujian agregat yang dilaksanakan dalam penelitian ini merujuk pada Standar Nasional Indonesia/SNI. Berikut beberapa tahapan pengujian yang dilakukan :

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air

Berat jenis adalah konversi dari berat dan volume benda uji. Menurut BSN (2008a), berat jenis dan penyerapan air pada agregat merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui berat jenis curah kering (*bulk specific gravity*), berat jenis jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*), berat jenis semu (*apparent specific gravity*), dan penyerapan air (*absorbtion*). Berikut ini tabel berat minimum dari contoh uji tiap ukuran.

Tabel 2.3 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

Berat jenis merupakan suatu perbandingan berat jenis material dengan berat air pada volume yang sama. Berikut ini adalah cara perhitungan dan analisis berat jenis dan penyerapan air :

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

Perhitungan berat jenis curah kering (S_d), pengujian ini dilakukan pada temperatur air dan agregat $\pm 23^\circ\text{C}$ dengan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

A = berat benda uji kering oven (gram),

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram),

C = berat benda uji dalam air (gram).

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

Perhitungan berat jenis jenuh kering permukaan (S_s), pengujian ini dilakukan pada temperatur air dan agregat $\pm 23^\circ\text{C}$ dengan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram),

C = berat benda uji dalam air (gram).

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

Perhitungan berat jenis semu (S_a), pengujian ini dilakukan pada temperatur air dan agregat $\pm 23^\circ\text{C}$ dengan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

A = berat benda uji kering oven (gram),

C = berat benda uji dalam air (gram).

d. Penyerapan air (*absorption*)

Perhitungan persentase penyerapan air (S_w) adalah sebagai berikut:

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

Keterangan:

A = berat benda uji kering oven (gram),

B = berat benda uji jenuh kering permukaan (gram).

2. Pengujian kadar lumpur pada agregat

Menurut BSN (1996), Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui banyaknya jumlah atau prosentase kandungan lempung yang melekat pada material agregat. Pengujian dilakukan dengan cara menghitung material halus yang lolos saringan No.200. Perhitungan untuk mencari kadar lempung pada agregat dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\% \text{ kandungan Lempung} = \frac{(A-B)}{A} \times 100\% \quad (2.5)$$

Keterangan:

A = berat benda uji semula (gram),

B = berat benda uji kering setelah dioven yang tertahan saringan (gram).

Kemudian berikut ini adalah tabel yang menunjukkan berat benda uji minimum agregat saat kondisi kering.

Tabel 2.4 Ketentuan berat kering minimum benda uji (BSN, 1996)

Ukuran Agregat	Berat Kering Minimum Benda Uji (gram)
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)	3000
$\geq 1\frac{1}{2}$ " (38,10 mm)	5000

3. Keausan material agregat dengan mesin *Los Angeles*

Menurut BSN (2008b), pemeriksaan keausan material agregat dengan mesin *Los Angeles* merupakan pengujian untuk mengetahui ketahanan/durabilitas material agregat terhadap keausan yang dinyatakan dalam persen dengan perbandingan antara berat agregat yang aus dengan berat agregat semula. Pengujian ini dilakukan agar mendapatkan tingkat ketahanan material balas terhadap proses pencampuran, pemadatan, repetisi beban maupun pelapukan dan perbedaan suhu dengan prosentase keausan yang diijinkan sebesar 25%. Pengujian dilakukan dengan standar acuan SNI 2417:2008 tentang cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi *Los Angeles*. Berikut ini persamaan dalam menghitung keausan agregat :

$$Keausan = \frac{(A-B)}{A} \times 100\% \quad (2.6)$$

Keterangan:

A = berat benda uji semula (gram),

B = berat benda uji tertahan saringan no.12 (gram).

4. Analisis saringan

Pengujian analisis saringan dilakukan bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran dari butiran material balas. Acuan dalam melakukan pengujian ini bersumber pada SNI C136:2012 tentang metode pengujian

analisis saringan agregat. Berdasarkan Peraturan Menteri No.60 Tahun 2012 rentang ukuran butir material balas adalah 25 – 60 mm.

2.2.2. Penambahan Aspal sebagai Bahan Pengikat Lapisan Balas

Aspal merupakan material perekat dengan unsur utama bitumen dan mineral bitumen yang dapat didapatkan langsung dari alam ataupun didapatkan dari pengolahan minyak bumi. Material aspal berbentuk lunak bahkan cair jika dipanaskan pada suhu tertentu dan berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang (20-30°C). Komposisi kimiawi dari aspal terdiri dari *asphaltness*, *resins*, dan *oils*. *Asphaltness* merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang tidak larut dalam *n-heptane*. *Asphaltness* menyebar dalam *maltness*, *maltness* terdiri dari *resins* dan *oils* yang larut dalam *n-heptane* (Sukirman, 2003).

Penambahan aspal cair pada material balas akan meningkatkan ketahanan/durabilitas lapisan balas, mengurangi deformasi permanen secara vertikal, dan meredam beban di atasnya. Pencampuran aspal pengikat pada balas mengurangi waktu pemeliharaan yang berdampak pada biaya perawatan yang rendah (D'Angelo dkk., 2016).

Studi yang telah dilakukan D'Angelo dkk. (2016) tentang stabilitas balas dengan memodifikasi tiga jenis aspal yang berbeda dimana dilakukan pengujian fisik pada setiap jenis material bahan dan hasilnya adalah data dari tiga jenis aspal yang digunakan mempunyai sifat viskoelastis dan fisik yang berbeda serta mempunyai pengaruh besar terhadap stabilisasi balas. Sifat viskoelastis aspal sangat berpengaruh saat digunakan pada lapisan balas. Karena fungsi emulsi aspal pada lapisan balas adalah sebagai pengikat antara materialnya. Sehingga lapisan balas tidak mengalami deformasi yang berlebihan dan memiliki kekakuan yang berdampak positif dalam meningkatkan kekuatan struktur lapisan balas.

Pencampuran material aspal dengan agregat pada lapisan balas memberikan daya ikat yang kuat antar material agregat. Belum adanya spesifikasi aspal untuk campuran lapisan balas dalam sistem perkeretaapian Indonesia, maka material aspal yang akan digunakan adalah aspal campuran pada perkerasan jalan di Indonesia. Kadar aspal yang digunakan mengacu pada penelitian D'Angelo dkk, (2016) yang mana penggunaan aspal bitumen dengan kadar persentase 2-3% dari berat total benda uji. Bahan aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70

dikarenakan aspal tipe ini sesuai digunakan pada iklim yang ada di Indonesia. Adapun persyaratan material aspal penetrasi 60/70 dijelaskan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Persyaratan aspal penetrasi 60/70 (Bina Marga Revisi 3, 2010)

No	Jenis Pengujian	Standar/Acuan	Spesifikasi	Satuan
1	Penetrasi aspal	SNI 2456:2011	60-70	Mm
2	Berat jenis aspal	SNI 2441:2011	≥ 1	-
3	Titik lembek aspal	SNI 2434:2011	≥ 48	$^{\circ}\text{C}$
4	Daktilitas aspal	SNI 06-2432-1991	≥ 100	Cm
5	Kehilangan berat minyak dan aspal	SNI 06-2440-1991	$\leq 0,8$	%

Berdasarkan persyaratan di atas, beberapa pengujian material aspal yang digunakan pada penelitian ini dalam hal ini aspal penetrasi 60/70 adalah sebagai berikut :

1. Penetrasi aspal

Menurut BSN (2011b), pengujian penetrasi aspal bertujuan untuk menentukan penetrasi keras dan lunaknya bahan bitumen aspal (solid atau semi-solid) saat berada pada suhu 25°C sebagai persyaratan mutu aspal itu sendiri. Hal ini dilakukan dengan cara melakukan pembebanan menggunakan jarum dengan beban 100 gram dalam waktu 5 detik pada lima titik berbeda dari benda uji. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat *penetrometer* dengan melakukan pembacaan arloji penetrasi yang dinyatakan dalam satuan 0,1 mm. Akan tetapi, pada kondisi lain atau kondisi khusus digunakan ketentuan seperti pada Tabel 2.6 sebagai berikut.

Tabel 2.6 Ketentuan penetrasi aspal 60/70 (BSN, 2011b)

Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Berat total (gram)	Waktu (detik)
0	200	60
4	200	60
45	50	5
46,1	50	5

2. Berat jenis aspal

Menurut BSN (2011a), pengujian berat jenis aspal bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan isi yang sama dan pada suhu tertentu (25°C atau 15,6°C). Pemeriksaan ini dilakukan menggunakan piknometer dengan kapasitas isi 24 – 30 ml. Perhitungan berat jenis aspal dapat dilakukan dengan rumus :

$$\text{Berat jenis aspal} = \frac{(C-A)}{[(B-A)-(D-C)]} \quad (2.7)$$

Keterangan:

A = masa piknometer dan 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).

3. Titik lembek aspal (*ring and ball method*)

Menurut BSN (2011c), pengujian titik lembek aspal merupakan pengujian untuk mengetahui keadaan yang mana temperatur udara membuat bola baja mendorong aspal dalam cincin hingga ke plat dasar sejauh 2,54 mm dengan kecepatan pemanasan 5°C per menit dengan metode *ring and ball*. Pemeriksaan titik lembek aspal termasuk kategori pengujian pengaruh suhu terhadap aspal. Untuk titik lembek aspal dengan penetrasi 60/70 minimal 48°C dan untuk aspal modifikasi minimal 54°C.

4. Daktilitas aspal

Menurut BSN (1991b), pengujian daktilitas aspal bertujuan untuk mengetahui konsistensi dari material aspal. Hal ini dilakukan dengan meletakkan aspal pada cetakan pada suhu 25°C dalam mesin uji daktilitas dengan mengatur kecepatan penarikan yaitu 5 cm per menit. Kemudian untuk hasil akhir pengujian, jika aspal menghasilkan panjang >200 maka dikategorikan sebagai aspal yang sangat plastis, jika aspal menghasilkan panjang 100 – 200 cm maka aspal dikategorikan sebagai aspal plastis, , jika aspal menghasilkan panjang <100 cm maka aspal dikategorikan sebagai aspal getas.

2.2.3. Nilai Modulus Elastisitas

Pengujian kuat tekan sangat cocok dilakukan pada benda padat yang akan mengalami perubahan bentuk jika dilakukan pembebanan, tetapi sifat fisik maupun sifat mekanik dari benda uji sangat berpengaruh pada besar kecilnya beban yang diterima. Uji kuat tekan bertujuan untuk mendapatkan hubungan antara tegangan dan regangan, dimana dari hubungan antara tegangan dan regangan ini akan menghasilkan nilai modulus elastisitas. Salah satu parameter tingkat kekakuan suatu material atau bahan adalah nilai modulus elastisitas berdasarkan kemiringan (*slope*) linier dari kurva hubungan tegangan dan regangan aksial dalam deformasi elastis (Wiyono, 2012). Perhitungan untuk pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut :

1. Menentukan nilai regangan dengan persamaan

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

Keterangan:

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 dari pembacaan arloji ukur (*dial gauge*) dengan persamaan

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

Keterangan:

σ = tegangan (kPa),

P = beban aksial yang bekerja (kN),

A = luas benda uji (cm²).

3. Menentukan nilai modulus elastisitas benda uji (E) dengan persamaan

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

Keterangan:

E = modulus elastisitas (MPa),

σ = Tegangan leleh (kPa),

ε = Regangan leleh (%).

Hasil akhir dari data yang didapatkan, data tegangan dan regangan akan dibuat sebuah grafik untuk menunjukkan nilai modulus elastisitas. Kemudian nilai tersebut akan dijadikan parameter kekakuan dari suatu campuran lapisan balas. Semakin tinggi nilai modulus elastisitasnya maka sifat campuran tersebut akan semakin kaku/keras (getas).

2.2.4. Analisis Durabilitas

Durabilitas adalah kemampuan suatu material dalam menghadapi kerusakan yang disebabkan dari berbagai kondisi. Untuk mengetahui durabilitas material agregat pada campuran adalah perbandingan jumlah sebaran material agregat sebelum dilakukan pembebanan/sebelum pengujian dengan material agregat yang rusak setelah dilakukan pembebanan/setelah pengujian (Sanchez dkk., 2014).

Pengujian dilakukan menggunakan analisis saringan yang kemudian digambarkan dalam bentuk grafik persentase ukuran butir agregat. Besar kecilnya durabilitas yang ada dihitung dengan material yang memiliki butir ukuran yang lebih kecil dari ukuran yang telah ditentukan sebagai lapisan balas.

2.2.5. Modifikasi Lapisan Balas

Lapisan balas tersusun dari material lepas dimana tidak adanya ikatan yang terjadi dalam susunannya. Bahan material yang digunakan tidak selalu memenuhi harapan jika digunakan sebagai bahan penyusun lapisan balas. Sanchez dkk. (2014) mengatakan bahwa ada beberapa alternatif yang dapat dilakukan dalam proses stabilisasi material balas yaitu sebagai berikut :

1. Menggunakan bahan yang memiliki kualitas baik dan melakukan perawatan secara intensif.
2. Mengganti partikel balas yang seragam dengan partikel yang bervariasi agar dapat menyeluruh mengisi ruang pada rongga material balas.
3. Menambahkan material lain dalam lapisan balas atau usaha lainnya pada lapisan balas sehingga menjadi lebih baik.

Penggunaan bahan bitumen atau aspal merupakan solusi dalam stabilisasi lapisan balas. Stabilisasi balas dengan aspal menunjukkan meningkatnya penurunan deformasi permanen, juga meningkatnya layanan umur rencana serta meningkatkan kemampuan ketahanan lapisan balas (D'Angelo dkk., 2016).