

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

2.1.1. Penelitian Terdahulu tentang Modifikasi Campuran Lapisan Balas

Penelitian mengenai peningkatan kualitas dari struktur jalan rel saat ini semakin berkembang pesat. Pemanfaatan limbah dari ban kendaraan yang tak terpakai merupakan salah satu solusi untuk mengurangi pemakaian dari agregat alam yang juga berfungsi sebagai peningkatan durabilitas dari struktur jalan rel (Sanchez et al., 2014).

Studi yang diteliti oleh Sanchez et al. (2014), menunjukkan bahwa penggunaan dari *crumb rubber* yang optimal untuk campuran lapisan balas adalah 10% karena pengaruh sifat elastis yang dimiliki oleh *crumb rubber* ini sehingga apabila pemakaian terlalu banyak akan menurunkan sifat kaku dari lapisan balas yang berdampak pada meningkatnya deformasi (*settlement*). Pada penelitian ini, benda uji disusun dalam balok dengan ukuran 40cm × 20cm × 30cm berupa campuran balas dan *crumb rubber* yang diberi beban dinamik sebesar 200 kPa dan 300 kPa. Turunnya kekakuan dari lapisan balas apabila ditambahkan material karet (*crumb rubber*) juga ditegaskan pada penelitian yang dilakukan oleh Farhan et al. (2015), kelebihan penambahan *crumb rubber* dapat meningkatkan durabilitas namun dapat menurunkan tingkat kekakuan lapisan balas apabila proporsi yang digunakan melebihi takaran optimalnya. Karakteristik dari pencampuran bahan karet dan agregat pada balas juga diteliti oleh Signes et al. (2016), dimana penelitian Signes melakukan uji triaxial siklik untuk mendapatkan nilai modulus resilien (M_r) dari campuran balas.

Penelitian selanjutnya adalah penggunaan bahan limbah ban ini digunakan sebagai landasan dibawah bantalan dengan uji 200.000 siklik dengan beban 5 kN dan 65kN pada 4Hz untuk mengetahui karakteristik stabilitas balas (Sanchez et al., 2015). Selain penggunaan *crumb rubber* pada lapisan balas, penggunaan material elastik ini juga digunakan pada struktur bantalan untuk mengurangi keretakan

sebesar 80-100% pada bantalan rel akibat distribusi beban yang besar dari rel (Hameed dan Shashikala, 2016).

Selain penggunaan *crumb rubber*, solusi lain ialah dengan aplikasi penggunaan lapisan beraspal (*bituminous*) pada bagian sub-struktur untuk meningkatkan kinerja, distribusi tegangan, menahan beban dinamik yang berlebih serta meredam getaran. Namun, penggunaan bahan bitumen optimum yang digunakan pada penelitian D'Angelo et al. (2016) adalah 2-3% dari berat benda uji, dan penggunaan campuran balas yang dikombinasikan dengan bitumen ini diuji dengan menggunakan beban dinamik sebesar 200 kPa dan 300 kPa. Kemudian Giunta et al. (2018) menganalisis modifikasi balas dengan bitumen lebih lanjut terkait penilaian umur layanan dan biaya perawatan. Dalam penggunaan bahan bitumen pada lapisan balas dan sub-balas, memperoleh hasil bahwa lapisan material balas dan sub-balas dapat mengurangi gaya dinamis, berdasarkan nilai modulus kekakuan dari tegangan yang terjadi pada balas (Di Mino et al., 2012).

Pengembangan penelitian D'Angelo et al. (2017) ini melakukan evaluasi untuk mengoptimalkan penggunaan bitumen berdasarkan nilai modulus resilien (M_r), *flowability indeks* dan energi yang hilang, jenis dan jumlah bitumen yang digunakan memperoleh hasil yang berbeda dalam meningkatkan kualitas dari balas. Campuran aspal dengan kombinasi material *crumb rubber* menunjukkan nilai kekakuan yang tinggi, pada saat temperatur standar berdasarkan *modulus dinamic* dan campuran antara aspal dan *crumb rubber* campuran ini mengurangi kemungkinan keretakan dari balas (Lee et al., 2014).

Penelitian yang serupa juga dilakukan dengan menggunakan ukuran balas yang bervariasi (2-5 mm) pada lapisan sub-balas. Metode yang digunakan adalah perbandingan jenis material pada beberapa bagian jalan rel di lapangan, dengan kesimpulan bahwa penambahan bahan karet pada aspal akan lebih efisien dalam meredam getaran dari pergerakan kereta api (D'Andrea et al., 2012). Menurut Asgharzadeh et al. (2018), penggunaan campuran aspal dan karet memiliki peran positif terhadap daya dukung, stabilitas, dan yang utama adalah meningkatnya peredaman getaran pada struktur jalan rel.

2.1.2. Penelitian Saat ini

Pada penelitian ini membahas tentang lapisan balas yang dikombinasikan dengan bahan material dari limbah ban kendaraan bermotor yang diolah menjadi potongan yang memiliki ukuran tertentu dan aspal penetrasi 60/70 sebagai pengganti dari aspal emulsi dari penelitian sebelumnya. Sebagai pengganti aspal emulsi, Penggunaan aspal penetrasi 60/70 memiliki nilai substansi yang cukup tinggi untuk digunakan sebagai perkerasana struktural (Alvarez et al., 2018). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan durabilitas dari lapisan bahan dengan memanfaatkan limbah ban kendaraan dan mengurangi pengeluaran pembiayaan dengan meningkatkan umur layanan dari lapisan struktur balas. Tujuan penelitian ini terkait pada studi yang dilakukan oleh Setiawan et al. (2013), dimana 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. Pemanfaatan karet ban bekas pada penelitian ini adalah 10% dari berat total benda uji, dimana angka 10% didapat dari penelitian terdahulu yang sudah terbukti bahwa pemakaian material karet dengan kadar 10% merupakan kadar optimal yang menimbulkan pengaruh positif pada sifat balas, namun perbedaan pada penelitian ini adalah, penggunaan karet ban bekas ditentukan dari bentuknya yang seragam namun memiliki ukuran butir yang bervariasi (25,4mm - 4,75mm).

Dengan menentukan ukuran dari karet ban bekas ini, difungsikan sebagai agregat elastik yang dapat mengisi rongga pada agregat lapisan balas sehingga campuran balas bisa lebih padat. Selain itu material karet ini difungsikan untuk mengurangi abrasi atau meningkatkan durabilitas agregat. Selain material karet, pada penelitian ini juga menambahkan aspal sebagai pengikat dari campuran balas dengan jenis aspal menggunakan aspal penetrasi 60/70 yang umum digunakan pada konstruksi perkerasasan jalan di Indonesia dengan kadar aspal sebanyak 2%. Dengan adanya teknologi modifikasi campuran lapisan balas dengan material karet dan aspal ini diharapkan dapat meningkatkan kekuatan dan umur layanan pada lapisan balas.

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji kuat tekan dengan menggunakan alat *Micro-computer Universal Testing Machine (UTM)* dengan

beban vertikal maksimal 3000 kg. Untuk parameter yang dianalisis pada penelitian ini adalah deformasi vertikal yang dialami benda uji saat diberi beban, abrasi material agregat, nilai modulus elastisitas (E). Nilai modulus elastisitas ini adalah acuan untuk mengetahui tingkat kekakuan dari campuran material. Menurut Wiyono et al. (2012) dan Sehonanda et al. (2013) Salah satu parameter tingkat kekakuan dari suatu material atau bahan adalah nilai modulus elastisitas berdasarkan kemiringan (*slope*) linier dari kurva hubungan tegangan-regangan aksial dalam deformasi elastis.

Setelah melakukan proses uji tekan, maka pengujian selanjutnya adalah Parameter deformasi vertikal akibat pembebanan didapatkan dari besar nilai penurunan akibat beban yang diterima oleh benda uji. pengambilan sampel material sebanyak 5000 gram dari berat total benda uji, untuk analisis abrasi material dimana nilai abrasi ini bertujuan untuk mengetahui jumlah agregat yang pecah akibat proses uji kuat tekan. dengan membandingkan sampel benda uji sebelum melakukan uji tekan.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Struktur Lapisan Balas

Lapisan balas pada struktur jalan rel berfungsi untuk meneruskan beban kereta api yang diterima oleh bantalan rel menuju ke tanah dasar dengan distribusi beban yang merata. Bahan penyusun lapisan balas ini adalah agregat/batu pecah dengan ukuran yang bervariasi yang dihamparkan dan dipadatkan bersama lapisan sub-balas hingga membentuk struktur yang padat di atas permukaan tanah dasar yang juga telah dipadatkan sebelumnya.

Ada beberapa jenis bahan material yang digunakan untuk membangun konstruksi lapisan balas rel seperti *limestone* (batuan sedimen), *basalt* (batuan beku ekstrusif), *granite* (batuan beku intrusif), *slag* dan *gravel* (agregat/batu pecah). Berikut adalah sifat tipe material yang digunakan sebagai konstruksi 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 lapisan balas yang baik dapat dilihat dari sifat fisik dan mekanik yang dimiliki material tersebut. Sifat fisik dan mekanik dari material tersebut dapat diketahui dari jenis ukuran partikel, bentuk, sudut, kekerasan, tekstur permukaan, daya tahan dan sumber dimana material tersebut didapatkan.

Agregat merupakan komponen material utama pada lapisan balas. Desain jenis material dan tebal lapisan balas akan mempengaruhi kondisi struktur jalan rel secara umum. Maka dari itu kekuatan dari struktur jalan rel ditentukan oleh kualitas dari agregat lapisan balas itu sendiri. Berikut adalah ketentuan dan spesifikasi dari agregat sebagai penyusun struktur lapisan balas jalan rel:

1. Beberapa pengujian fisik dan mekanik yang diambil dalam Rosyidi (2015) yang ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Beberapa Pengujian Fisik dan Mekanik Material Balas (Rosyidi, 2015)

No	Nama Pengujian	Deskripsi	Standar Acuan
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 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

Tabel 2.1 (Lanjutan)

6	Berat unit	Menentukan nilai berat unit yang diisyaratkan	SNI 03-4804-1998
---	------------	---	------------------

2. Persyaratan teknis dari material yang digunakan sebagai lapisan balas terdapat pada Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012 (PM No.60 tahun 2012) sebagai berikut:
- Balas harus terdiri dari batu pecah (25-60) mm dan memiliki kapasitas ketahanan yang baik, ketahanan gesek yang tinggi dan mudah dipadatkan.
 - Material balas harus bersudut banyak dan tajam.
 - Porositas maksimum 3%.
 - Kuat tekan rata-rata maksimum 1000 kg/cm².
 - Berat jenis (*specific gravity*) minimum 2,6.
 - Kandungan tanah, lumpur dan bahan organik maksimum 0,5%.
 - Kandungan minyak maksimum 0,2 %.
 - Keausan balas sesuai hasil pengujian *Los Angeles* tidak boleh lebih dari 25%.

Untuk menambahkan persyaratan di atas menurut Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986 (PD No.10 Tahun 1986) mengenai gradasi material agregat yang digunakan untuk kelas jalan I dan II digunakan minimal ukuran nominal $2\frac{1}{2}'' - \frac{3}{4}''$ dan untuk kelas jalan III dan IV dapat digunakan ukuran minimal 2'' - 1''. Gradasi yang diperbolehkan ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Persyaratan Gradasi Untuk Material Balas (Rosyidi, 2015)

Ukuran Nominal	Persen Lolos Saringan									
	3''	2 $\frac{1}{2}$ ''	2''	1 $\frac{1}{2}$ ''	1''	$\frac{3}{4}$ ''	$\frac{1}{2}$ ''	$\frac{3}{8}$ ''	No.4	No.8
2 $\frac{1}{2}$ '' - $\frac{3}{4}$ ''	100	90-100	25-60	25-60	-	0-10	0-5	-	-	-
2''-1''	-	100	95-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-
1 $\frac{1}{2}$ '' - $\frac{3}{4}$ ''	-	-	100	90-100	20-15	0-15	-	0-5	-	-

Material pada balas berasal dari batu pecah dari industri pemecah batu yang memiliki ukuran antara 25 – 60 mm dengan tipe batuan andhesit. Meskipun demikian, klasifikasi butiran cukup sulit untuk diperoleh/dipertahankan keberadaannya, oleh karena itu, permasalahan pemilihan material balas yang ekonomis dan sesuai kebutuhan secara teknis masih mendapat perhatian dalam penelitian Tugas Akhir ini. Berikut adalah jenis pengujian pemeriksaan kualitas dari bahan material agregat balas:

1. Berat jenis dan penyerapan air

Berat jenis digunakan untuk mengetahui konversi dari berat dan volume bahan. Pengujian ini 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 dengan nilai maksimum 3%. Pengujian berat jenis ini sesuai dengan standar yang digunakan yaitu SNI 1969-2008 (BSN, 2008) tentang cara uji berat jenis dan penyerapan air dari agregat. Berikut adalah analisis berat jenis agregat:

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/SSD*)

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. Keausan agregat dengan mesin *Los Angeles*

Material balas memerlukan pemeriksaan durabilitas/ketahanan terhadap degradasi yang diperiksa dengan menggunakan percobaan abrasi *Los Angeles*. Pengujian ini dilakukan dengan standar acuan SNI 2417:2008 (BSN,2008) tentang cara uji keausan dengan mesin abrasi *Los Angeles*. Pengujian ini untuk mengetahui ketahanan material balas terhadap proses pencampuran, pemadatan, repetisi beban maupun pelapukan dan perbedaan suhu. Keausan pada material balas yang diijinkan tidak boleh dari 25% dan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

Keterangan:

A = berat benda uji semula (gram)

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

3. Kandungan lumpur yang lolos saringan No.200

Pemeriksaan kandungan material halus yang lolos saringan No.200 ini bertujuan untuk mengetahui persentase atau jumlah kandungan lempung pada agregat. Pengujian ini mengacu pada SNI 03-4142-1996 (BSN,1996). Kadar lempung pada agregat dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

Keterangan:

A = berat benda uji semula (gram)

B = berat benda uji setelah pencucian dengan saringan No.200 (gram)

4. Analisis Saringan

Pemeriksaan material dengan metode analisis saringan ini ditujukan untuk mengetahui distribusi ukuran dari butir – butir material balas. Untuk rentang ukuran butir material balas menurut Peraturan Menteri No.60 Tahun 2012 adalah 25 – 60 mm.

2.2.2. Pemanfaatan Karet Ban Bekas Kendaraan

Pada lapisan balas, material karet ini difungsikan sebagai bahan material elastis yang dapat mengurangi penggunaan balas yang produksinya semakin menipis dengan berjalannya waktu dan kebutuhan akan agregat batu pecah yang terus meningkat, hal ini juga dapat mempertimbangkan pemanfaatan limbah ban bekas yang tak terpakai dan produksinya semakin meningkat. Modifikasi pencampuran karet pada balas ini dimaksudkan untuk meningkatkan durabilitas pada lapisan balas dengan menguji kualitasnya dengan memberikan pembebanan dan mengetahui perilaku dari campuran material dalam menerima pembebanan (Sanchez et al., 2014).

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui besar tegangan dan regangan yang terjadi akibat pembebanan pada modifikasi lapisan balas. Parameter nilai Modulus Elastisitas menjadi parameter pada penelitian ini dalam mengukur ketahanan campuran dalam mengalami deformasi elastis ketika diberi beban. Penggunaan karet dengan jumlah 10% dari berat total benda uji digunakan berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dibuktikan sebagai kadar optimal

dari penggunaan karet pada campuran balas (Sanchez et al., 2014). Namun, pengaruh dari ukuran material pada modifikasi campuran balas perlu dikaji dalam penelitian ini karena pengaruh terhadap kepadatan dari campuran yang menentukan kualitas dari campuran balas dan karet ban bekas ini. Untuk mengetahui kepadatan melalui rongga dalam campuran maka dibutuhkan nilai berat jenis dan penyerapan air dari material tersebut dengan metode yang sama dengan menganalisis berat jenis dan nilai penyerapan agregat kasar. Untuk nilai berat jenis dari material karet ini adalah 1,1-1,2.

2.2.3. Penggunaan Aspal sebagai Bahan Pengikat

Sistem perkretaapian indonesia belum menerapkan penggunaan aspal sebagai modifikasi untuk meningkatkan kualitas dari struktur jalan rel, sehingga untuk penggunaan aspal ataupun bahan bitumen lainnya pada konstruksi jalan rel di Indonesia belum memiliki spesifikasi ataupun acuan khusus sebagai pedoman penggunaan campuran aspal pada struktur jalan rel. Namun, untuk penggunaan tipe aspal pada konstruksi jalan rel ini adalah aspal penetrasi 60-70, hal ini dikarenakan tipe aspal tersebut merupakan aspal yang cocok digunakan pada iklim yang ada di Indonesia. Pada penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya dimana penggunaan bahan bitumen yang digunakan adalah 2-3% kadar aspal berdasarkan berat total benda uji (D'Angelo et al., 2016). Adapun persyaratan pemeriksaan bahan aspal penetrasi 60/70 di Indonesia pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 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	Berat yang Hilang	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8	%

Aspal pada penggunaan campuran lapisan balas difungsikan sebagai perekat dan meningkatkan durabilitas dari lapisan balas dengan menggunakan tipe aspal penetrasi 60/70. Adapun spesifikasi aspal yang menjadi acuan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Penetrasi aspal

Salah satu jenis pengujian dalam menentukan persyaratan mutu aspal adalah uji penetrasi aspal yang dapat digunakan untuk menentukan keras dan lunaknya aspal pada suhu 25°C sebagai persyaratan dari mutu aspal yang digunakan. Pengujian ini dilakukan dengan melakukan pembebanan melalui jarum dengan beban 100 gram selama 5 detik di lima titik yang berbeda dari benda uji dengan alat *penetrometer*. Pembacaan arloji *penetrometer* dinyatakan dengan satuan 0,1 mm. Pengujian ini menggunakan standar uji SNI 2432-2011 (BSN,2011) tentang cara uji penetrasi bahan – bahan bitumen.

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

Pengujian titik lembek merupakan pengujian dimana temperatur udara menyebabkan bola baja mendorong aspal dalam cincin hingga menyentuh plat dasar sejauh 2,54 mm dengan kecepatan pemanasan 5°C per menit dengan metode *ring and ball*. 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. Pengujian ini dilakukan sesuai dengan acuan SNI 2434-2011 (BSN,2010). Pengujian titik lembek ini termasuk dalam kategori pengujian kepekaan aspal terhadap suhu.

3. Berat jenis

Pengujian berat jenis aspal berfungsi untuk mengetahui perbandingan berat 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. Pengujian berat jenis ini dilakukan sesuai dengan acuan SNI 2441-2011 (BSN,2011). Untuk menentukan berat jenis aspal dapat menggunakan rumus berikut ini:

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

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).

4. Daktilitas

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. Pengujian daktilitas dilakukan sesuai dengan SNI 06-2432-1991 (BSN,1991). 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.

2.2.4. Deformasi Vertikal Akibat Pembebanan

Pemeriksaan deformasi vertikal ini diperoleh berdasarkan angka penurunan yang terjadi akibat pembebanan yang diberikan pada benda uji. nilai deformasi ini menunjukkan tingkat kekakuan campuran dan dapat menjadi parameter untuk menentukan tebal dari lapisan balas yang akan digunakan.

2.2.5. Analisis Abrasi Material Agregat

Untuk mengetahui nilai abrasi material agregat pada campuran adalah dengan melakukan perbandingan jumlah sebaran material agregat yang hancur/pecah setelah uji tekan selesai dilakukan (Sanchez et al., 2014). Pengujian dilakukan dengan pengambilan sampel material sebanyak 5000 gr dari berat total campuran sebelum dan sesudah uji tekan.

Sampel tersebut dibandingkan dengan menggunakan analisis saringan dengan ukuran 2" - No.4 yang kemudian digambarkan dengan grafik persentase ukuran butir agregat. Perhitungan degradasi material dihitung dari material yang memiliki ukuran yang lolos saringan $\frac{3}{4}$ " dari balas yang digunakan saat dilakukan uji tekan.

2.2.6. Analisis Nilai Modulus Elastisitas

Uji tekan adalah pengujian yang cocok dilakukan pada semua benda padat yang akan mengalami perubahan bentuk jika diberi pembebanan. Hal ini sangat bergantung pada besarnya beban yang diterima, unsur kimia maupun kondisi fisik material pada benda uji, suhu, kecepatan pembebanan, serta sifat mekanik beban uji tersebut. Analisis sifat pada campuran balas dengan menggunakan mesin *Micro-computer Universal Testing Machine* merupakan pengujian untuk mengetahui parameter seperti nilai deformasi, Tegangan (σ), Regangan (ε), Modulus Elastisitas (E). Untuk pengujian kuat tekan ini mengacu pada SNI 03-1974:1990 (BSN,1990) mengenai tata cara uji tekan beton.

Pada penelitian ini, uji tekan dengan alat *Micro-computer Universal Testing Machine* digunakan untuk mencari tegangan dan regangan. Berikut adalah perhitungan uji tekan pada modifikasi balas:

1. Menentukan nilai regangan dengan persamaan berikut

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

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 nilai pembebanan dari pembacaan arloji ukur (*dial gauge*) dengan persamaan berikut.

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

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 berikut.

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

Keterangan:

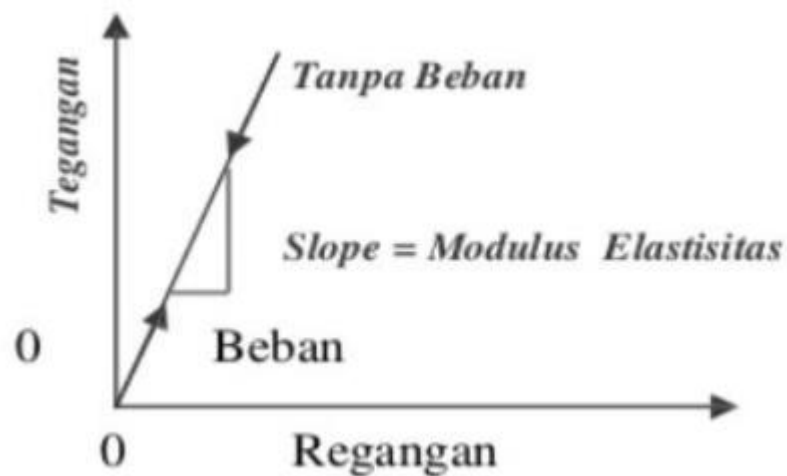
E = modulus elastisitas (MPa);

σ = Tegangan leleh (kPa);

ε = Regangan leleh (%).

Dengan hasil *output* data berupa tegangan dan regangan, kemudian data tersebut diolah dalam bentuk grafik untuk menentukan nilai modulus elastisitas. Nilai modulus elastisitas merupakan ukuran/ tingkat kekerasan (*stiffness*) dari suatu bahan, semakin besarnya nilai modulus elastisitas maka bahan tersebut semakin keras/kaku. Secara eksperimental, modulus elastisitas ini dapat ditentukan dari perhitungan berdasarkan rumus empiris atau dengan pengukuran *slope* (kemiringan) kurva tegangan-regangan yang dihasilkan dalam uji tekan suatu specimen.

Bedasarkan teori elastisitas, secara umum kemiringan kurva pada tahap awal atau pada jangkauan proporsional elastis menggambarkan modulus elastisitas dari suatu bahan.



Gambar 2.1 Skematik Diagram Tegangan-Regangan Elastik, (Sehonanda, 2013).