

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Berdasarkan penelusuran terhadap penelitian yang relevan, maka peneliti menemukan beberapa penelitian relevan, yaitu:

1. Penelitian yang dilakukan oleh Setiawan et al. (2013) dalam judul “*Conventional and Unconventional Railways Track for Railways on Soft Ground in Indonesia*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengusulkan alternatif pilihan metode untuk jalan rel dengan studi kasus di Provinsi Riau. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah mendiskusikan parameter yang terbaik untuk jalur kereta tersebut dengan memilih material yang akan digunakan, menganalisis dan menghitung ketebalan struktur jalan rel yang didesain dan mendeskripsikan keuntungan dan kerugian dari penggunaan *slab track* untuk jalur rel tersebut dan membandingkan biaya konstruksi dan perawatannya. Hasil dari penelitian yang dilakukan adalah penggunaan *slab track* memiliki umur rencana yang lama, stabilitas stuktur yang baik, kebutuhan perawatan yang rendah. Namun, *slab track* memiliki biaya konstruksi yang besar dari konstruksi dengan cara konvensional.
2. Penelitian Sanchez et al. (2014) *Nottingham Transportation Engineering Centre, University of Nottingham* dalam penelitiannya yang berjudul “*A Study into The Use of Crumb Rubber in Railway Ballast*”. Penelitian ini menggunakan potongan karet bekas pada lapisan balas sebagai bahan tambah untuk mengurangi degradasi lapisan balas, selain itu juga dapat mengurangi limbah karet bekas yang berdampak pada pencemaran lingkungan. Metode yang digunakan adalah pencampuran karet bekas dengan ukuran tertentu dalam presentase yang berbeda yaitu 5%, 10%, 20% dan 30% terhadap berat volume benda uji dengan agregat balas lalu diuji tekan dengan menggunakan alat *compression test*. Pengaruh penggunaannya adalah terlihat pada perilaku balas saat diberikan tegangan yang tinggi, dimana hasil dari penelitian tersebut adalah penggunaan karet sebanyak 10% merupakan campuran optimum yang

dapat mengurangi degradasi pada balas namun dapat mengurangi kekakuannya.

3. Penelitian Sanchez et al. (2014) *Universidad de Granada* dalam penelitiannya yang berjudul “*The Use of Deconstructed Tires as Elastic Element in Railway Track*”. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengurangi getaran yang terjadi saat kereta api melintas, namun pada umumnya tujuannya adalah mengetahui kekakuan vertikal yang optimal. Tahap penelitiannya adalah menganalisis pengaruh ketebalan karet ban bekas terhadap sifat mekanisnya, menilai ketahanan ban bekas, dan studi tentang material ban bekas dalam balas *box*. Hasil yang didapatkan adalah bahwa material karet ban bekas dapat digunakan untuk material elastis pada lapisan balas. .
4. Penelitian yang dilakukan oleh D’Angelo et al. (2016) yang berjudul “*Bitumen stabilized ballast: Apotential solution for railwaytrack-bed*” memberikan modifikasi pada lapisan balas dengan tujuan mengurangi deformasi yang terjadi serta mengurangi biaya perawatan. Balas yang digunakan dalam penelitian ini ada dua macam yaitu balas bersih dan balas kotor (balas yang masih mengandung kadar lumpur) dan untuk variasi kadar aspal yang digunakan sebanyak 2% dan 3% dari berat total benda uji. Pengujian yang digunakan berdasarkan metode *PUMA (Precision Unbond Material Analyser)* berupa silinder dengan tinggi 150 mm dan diameter 150 mm, dengan metode pemadatan manus menggunakan *vibrator hammer*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan mendapatkan hasil sebagai berikut, antara lain: (1) Metode pemadatan menggunakan *vibrator hammer* dapat mengurangi deformasi yang lebih baik namun dengan penggunaan material balas kotor. (2) Dengan penggunaan aspal emulsi sebanyak 2% dapat mengurangi deformasi sebanyak 50% dan meningkatkan kekakuan sekitar 20%.
5. Penelitian lain yang dilakukan oleh D’Angelo et al. (2017) yang berjudul “*Optimisation of bitumen emulsion properties for ballast*” dengan menggunakan alat dan aspal yang berbeda. Studi ini menggunakan tiga jenis aspal yang biasa digunakan di *United Kingdom (UK)* yaitu aspal emulsi N1, N2 dan R1. Alat yang digunakan berupa *ballast box* dengan dimensi panjang 1000 mm, lebar 1000 mm dan tinggi 400 mm. Dengan perbedaan jenis aspal

yang digunakan, dapat diketahui bahwa kekentalan dan sifat fisik aspal adalah dua peran penting dalam mempengaruhi stabilitas balas. Dari penelitian yang dilakukan, didapatkan hasil yakni aspal emulsi R1 adalah jenis aspal yang paling optimal karena mempunyai kekentalan yang tinggi dan kadar aspal optimal yang digunakan pada jenis aspal emulsi R1 sebanyak 3% dan 2% dari berat benda uji.

6. Penelitian yang dilakukan oleh Navaratnarajah et al. (2017) dengan judul "*Use of Rubber Mats to Improve the Deformation and Degradation Behavior of Rail Ballast under Cyclic Loading*" menjelaskan bahwa bahan tambah berupa tikar karet dapat mengurangi deformasi dan degradasi dari balas pada saat kondisi balas kaku. Metode siklus pembebanan yang besar dari kereta disimulasikan dengan proses triaksial (*prismoidal*) dengan alat PSPTA dalam skala yang besar untuk menginvestigasi kinerja dari balas yang ditambahkan dengan tikar karet hasil daur ulang. Hasilnya adalah penggunaan tikar karet ini membuat beban tegangan terdistribusi dengan merata dan mengurangi dampak dari beban vertikal dan membuat degradasi dari balas berkurang.
7. Penelitian Woodward et al. (2012) yang berjudul "*Application of Polyurethane Geocomposites to Help Maintain Track Geometry for High Speed Ballasted Railway Tracks*" menggunakan polimer *polyurethane* yang disebut XiTRACK untuk bahan tambah pada lapisan balas guna meningkatkan kebutuhan kecepatan dari kereta api yang dapat melintasinya. Hasilnya adalah, penambahan bahan tersebut dapat menambah kecepatan rencana namun pada kondisi *cross* dan pada jembatan pemeliharannya masih terbilang tinggi.
8. Pada penelitian yang dilakukan oleh Soto dan Mino (2018) dengan judul "*Characterization of Rubberized Asphalt For Railways*" menyebutkan bahwa campuran aspal karet adalah salah satu solusi untuk meningkatkan kekuatan dari jalan rel. Dengan menggunakan metode pencampuran HMA dapat digunakan sebagai alternatif pilihan campuran dengan karet karena adanya perilaku elastis dari partikel karet itu sendiri. Dengan menggunakan *Kentrac* dan *Kenpave Software* dapat mensimulasikan desain campuran terbaik. Pada penelitian ini dilihat dari situasi cuaca dengan melihat suhu atau temperatur udara untuk membuktikan apakah campuran ini efektif pada bagisn

superstruktur jalan rel. Karet yang digunakan berkisar 1,5-3% dari total berat campuran dengan ukuran 0,2-4 mm. Hasil pemodelan dari desain campuran dengan proses kering adalah campuran aspal karet dengan perilaku kaku dan elasis ini sangat berguna untuk mengurangi getaran yang terjadi saat kereta lewat.

9. Bressi et al. (2018) melakukan penelitian yang berjudul "*A Comparative Life Cycle Assessment of Asphalt Mixture for Railway Sub Ballast Containing Alternative Materials*". Penggunaan 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.

Berdasarkan beberapa penelitian diatas memang terdapat penelitian yang hampir sama dengan penelitian yang akan peneliti lakukan, akan tetapi terdapat perbedaan dan perubahan yang mendasar, yaitu penelitian modifikasi campuran balas yang akan diteliti menggunakan potongan karet yang tidak berukuran dan hanya terfokus pada kekuatan tegangan dan kekakuannya. Untuk menyempurnakan dan melengkapi kekurangan penelitian yang sudah ada, maka peneliti mengangkat judul Pengaruh Ukuran Karet Terhadap Nilai Modulus Elastisitas Modifikasi Campuran Karet Balas. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah terdapat pada ukuran dari ban bekas yang digunakan untuk campuran balas tersebut yaitu dengan menggunakan karet ban bekas dengan gradasi seragam dan gradasi menerus, metode pemadatan yang berbeda dan penambahan bahan modifikasi yang berbeda dengan beberapa penelitian terkait sebelumnya. Penelitian ini pun hanya menggunakan kadar karet optimum yang didapatkan dari penelitian sebelumnya yaitu sebesar 10% dari total berat benda uji. Penelitian ini pun memiliki fokus studi pada pengaruh ukuran karet ban bekas yang digunakan dengan persentase yang sama dalam campurannya dan terfokus pada ketahanan balas dan kekakuan balas.

## **2.2. Landasan Teori**

### **2.2.1. Prasarana Kereta Api**

Transportasi merupakan bagian penting yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia terutama dalam perkembangan taraf kehidupan. Dengan adanya sarana transportasi yang memadai diharapkan dapat memudahkan kegiatan manusia terutama untuk berpindah tempat yaitu angkutan barang dan angkutan manusia maupun jasa. Kereta api merupakan prasarana transportasi darat yang sangat diminati masyarakat karena dapat mengangkut orang atau penumpang dengan jumlah yang besar dalam satu waktu, juga waktu tempuh yang lebih singkat karena tidak dipengaruhi oleh volume kendaraan lain yang memadati lalulintas. Sudah dijelaskan dalam Undang-Undang No. 23 tahun 2007 tentang Perkeretaapian, yaitu:

“Perkeretaapian sebagai salah satu moda transportasi dalam sistem transportasi nasional yang mempunyai karakteristik pengangkutan secara massal dan keunggulan tersendiri, yang tidak dapat dipisahkan dari moda transportasi lain, perlu dikembangkan potensinya, dan ditingkatkan peranannya sebagai penghubung wilayah, baik nasional maupun internasional, untuk menunjang, mendorong, dan menggerakkan pembangunan nasional guna meningkatkan kesejahteraan rakyat.”

Prasarana perkeretaapian dalam Peraturan Menteri (PM) Nomor 60 Tahun 2012 Pasal 1 adalah jalur kereta api, stasiun kereta api, dan fasilitas operasi kereta api agar kereta api dapat dioperasikan. Jalur kereta api adalah jalur yang terdiri atas rangkaian petak jalan rel meliputi ruang manfaat jalur kereta, ruang milik jalur kereta, dan ruang pengawasan, juga termasuk bagian bawah dan atas yang diperuntukkan bagi lalu lintas kereta api. Sedangkan jalan rel merupakan konstruksi dimana kereta api akan diarahkan untuk berjalan. Menurut Undang-Undang (UU) Nomor 13/1992 Bab 1 Ayat 7 disebutkan bahwa jalur dan stasiun kereta api adalah fasilitas yang diperlukan agar kereta api dapat dioperasikan.

Jalur atau jalan rel merupakan komponen konstruksi yang direncanakan sebagai infrastruktur perjalanan kereta api, juga merupakan tempat bergerakinya lokomotif, gerbong dan kereta. Persyaratan teknis jalan rel sudah diatur dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 yaitu memiliki dimensi lebar 1067 mm dan 1435 mm. Prasarana perkeretaapian digolongkan menjadi beberapa bagian yang lebih terperinci, yakni:

- a. Jalan rel;
- b. Stasiun;
- c. Jembatan;
- d. Sinyal dan telekomunikasi.

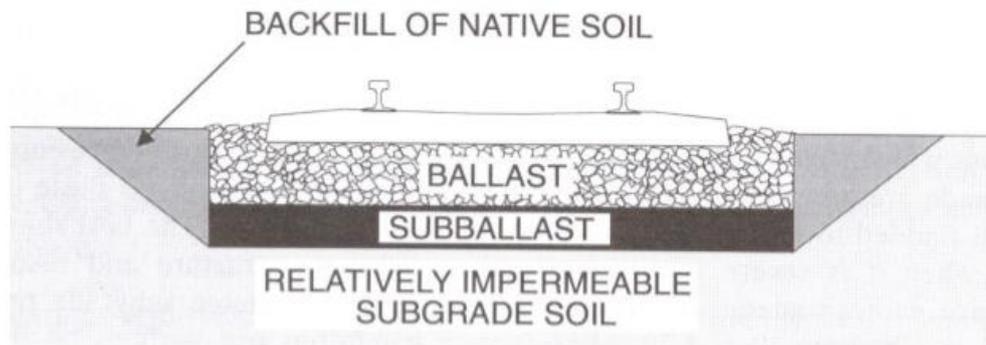
Struktur jalan rel dibagi ke dalam dua bagian struktur yang terdiri dari kumpulan komponen-komponen jalan rel yaitu struktur atas dan struktur bawah jalan rel. Konstruksi jalan rel merupakan sistem struktur yang menghimpun komponen-komponen jalan rel seperti rel, bantalan, penambat, balas serta tanah dasar secara terpadu dan disusun dengan analisis tertentu agar dapat dilalui kereta api dengan aman dan nyaman.

### **2.2.2. Struktur Jalan Rel**

Struktur jalan rel merupakan suatu kesatuan komponen yang mampu mendukung pergerakan kereta api dengan aman dan nyaman, juga merupakan konstruksi yang sudah direncanakan dengan baik. Struktur jalan rel di bagi menjadi dua bagian, yaitu struktur bagian atas dan struktur bagian bawah.

Rosyidi (2015) dalam bukunya menyebutkan bahwa struktur bagian atas dari jalan rel kereta api atau biasa disebut sebagai *superstructure*, adalah bagian yang pertama kali memikul beban kereta api. Beban itu berupa kereta, lokomotif dan gerbong termasuk penumpang dan barang. Agar kereta api dapat beroperasi dengan nyaman dan aman maka komponen utama ini haruslah dirancang dan direncanakan dengan baik dan teliti agar struktur atas dari jalan rel ini menjadi kokoh dan agar fungsinya sebagai pemikul beban pertama dapat maksimal tanpa ada perubahan bentuk yang permanen dan dapat mendistribusikan beban secara merata kepada struktur bagian bawah dari jalan kereta api. Komponen struktur atas jalan rel antara lain adalah rel (*rail*), penambat (*fastening*) dan bantalan (*sleeper, tie*).

Struktur bagian bawah atau dikenal sebagai *substructure* terdiri dari komponen balas (*ballast*), subbalas (*subballast*), tanah dasar (*improve subgrade*) dan tanah asli (*natural ground*) (Rosyidi, 2015). Tanah dasar di bawah lapisan subbalas merupakan tanah yang berasal dari tempatan atau yang didatangkan bila tanah asli tidak baik dan telah dipadatkan (*compaction*) atau diberi perlakuan (*treatment*).



Gambar 2. 1 Konstruksi jalan rel

Sumber: Diktat Ajar Prasarana Transportasi, 2005.

Kriteria struktur jalan rel, yaitu:

- a. Kekakuan struktur jalan rel difungsikan sebagai pertahanan deformasi vertikal permanen akibat beban lalu lintas kereta api dan dapat digunakan untuk menilai kekuatan, kualitas jalan rel dan umur rencana. Jika deformasi vertikal terlalu berlebihan, maka akan terjadi keausan pada komponen-komponen struktur jalan rel.
- b. Elastisitas sangat diperlukan untuk kenyamanan dalam perjalanan, menjaga terjadinya patah as roda, meredakan kejutan akibat pengereman, benturan pada roda dan rel serta getaran yang menerus.
- c. Ketahanan terhadap deformasi tetap  
Deformasi vertikal akan menyebabkan perubahan geometrik jalan rel berupa ketidakrataan vertikal, horisontal dan puntir menjadi tidak baik dan menyebabkan kenyamanan dan keamanan terganggu. Dengan demikian perencanaannya haruslah sebaik mungkin dengan memperhitungkan pengembangannya. Perubahan geometrik akibat deformasi tetap yang terjadi dapat menimbulkan anjlognya kereta api dan meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan (Rosyidi, 2015).
- d. Stabilitas  
Struktur jalan rel yang stabil dapat mempertahankan struktur jalan pada posisi tetap walaupun sudah mengalami pembebanan. Stabilitas jalan rel yang baik dipengaruhi oleh kualitas mutu balas dan pemadatan balas yang baik, serta ikatan antara bantalan dengan penambat dan drainasi yang baik.

e. Kemudahan dalam pengaturan dan pemeliharaan

Kemudahan dalam pengaturan dan pemeliharaan sangat penting agar jalan rel dapat bertahan pada posisi geometrik dan struktur jalan rel yang baik. Kemudahan dalam pemeliharaan, pengawasan dan pengaturan sehingga apabila terjadi kerusakan, bencana alam atau perubahan geometri akibat beban yang bejalan dapat ditangani dengan segera sehingga tidak menjadi penghambat lalulintas kereta api.

### 2.2.3. Struktur Balas

Lapisan balas merupakan lapisan yang berada di atas tanah dasar yang berfungsi sebagai penahan konstruksi bantalan sekaligus mampu meneruskan beban dari bantalan menuju ke tanah dasar dengan pola distribusi beban yang lebih merata (Rosyidi, 2015)

Lapisan balas mengalami pembebanan dan tegangan yang tinggi, sehingga bahan yang digunakan sebagai penyusun lapisan balas harus dipilih dengan sebaik mungkin. Material balas yang baik merupakan batuan yang membentuk sudut, merupakan batuan pecah dengan gradasi seragam, merupakan agregat bersih dan tidak berbentuk pipih (*prone*). Lapisan balas difungsikan untuk meneruskan beban dari bantalan agar bantalan dapat mempertahankan posisi rel seperti yang diisyaratkan agar kereta dapat berjalan dengan aman dan nyaman.

Sanchez et al., (2016) dalam jurnalnya menyebutkan bahwa fungsi utama lapisan balas adalah menyediakan fondasi, menerima beban dari bantalan dan menyalurkannya pada lapisan sub-balas, menyediakan drainase, memberikan tingkat elastisitas serta mengurangi tingkat kebisingan dan getaran saat kereta api melintas. Dalam penelitian yang di lakukan Navaratnarajah dan Indraratna (2017) disebutkan bahwa lapisan balas terdiri dari bahan granular yang berfungsi untuk mendukung bantalan dan memiliki fungsi utama sebagai penyalur beban induksi ke lapisan sub-balas.

Menurut Rosyidi (2015) dalam bukunya yang berjudul *Rekayasa Jalan Kereta Api*, lapisan balas memiliki beberapa fungsi yaitu:

- a. Menyediakan suatu landasan bagi perletakan bantalan dengan permukaan yang mempunyai daya dukung seragam.

- b. Mendukung konstruksi bantalan dan rel yang bersifat kenyal, sehingga memberikan kenyamanan ketika kendaraan kereta api melintas.
- c. Mempertahankan konstruksi rel secara kokoh dan menjaga stabilitas kedudukan bantalan/rel dengan menahan bergesernya bantalan baik arah membujur/longitudinal, maupun arah melintang/lateral.
- d. Menyebarkan beban yang diterima dari bantalan dengan memperkecil tekanan arah vertikal sehingga tidak terjadi deformasi permanen.
- e. Material balas yang digunakan adalah jenis material yang dapat meloloskan air sebagai fungsi drainasi.
- f. Sebagai media pekerjaan pemeliharaan jalur seperti perbaikan permukaan jalan rel dan alinemen geometriknya.
- g. Lapisan balas juga diharapkan dapat ditumbuhi tanaman terutama di lereng yang agak curam.

Sementara itu, kondisi dilapangan khususnya di Indonesia dapat terlihat bahwa lapisan balas belum memenuhi fungsinya dengan baik. Kondisi material balas yang buruk dan kurangnya pemeliharaan akan mengakibatkan berkurangnya umur layan dari balas dan faktor lain akan berakibat pada stabilitas jalal rel tersebut (Setiawan et al., 2013). Setiawan dan Rosyidi (2016) dalam penelitiannya untuk mengevaluasi kualitas jalan rel menyebutkan bahwa hasil dari pengukuran tersebut berupa nilai toleransi untuk tindak lanjut yang akan dilakukan antara lain, perbaikan secara langsung, pemeliharaan struktur jalan rel atau pengurangan dan pembatasan kecepatan kereta api yang melintas.

Permasalahan-permasalahan pada sistem perkereta apian Indonesia salah satunya adalah pembatasan kecepatan. Pembatasan kecepatan ini menjadi pemicu kurang efektifnya perjalanan kereta api. Setiawan (2016) dalam penelitiannya mengatakan bahwa pembatasan kecepatan merupakan salah satu upaya menghindari anjlok dan kecelakaan. Woodward et al., (2012) mengatakan bahwa masalah utama sistem kereta api adalah kecepatan yang diinginkan tinggi, namun tingkat pemeliharaan yang tinggi sangat diperlukan untuk kenyamanan dan keselamatan.

Untuk menambah batasan kecepatan pada lintas kereta api guna meningkatkan efektifitas perjalanan, salah satu cara adalah dengan perkuatan pada

tanah. Perkuatan tanah yang sering dijumpai adalah konstruksi penahan struktur balas yang dipasang pada tempat yang rawan longsor dan memiliki lebar bahu terbatas untuk menahan balas agar tidak berhamburan (Setiawan et al., 2013). Selain itu, metode baru dengan mengaplikasikan polimer poliuretan in-situ sedang di uji coba di Inggris untuk meningkatkan stabilitas lapisan balas (Woodward et al., 2012).

#### **2.2.4. Material Penyusun Lapisan Balas**

Material penyusun balas merupakan batuan pecah yang bersifat keras, mempunyai sudut tajam untuk menghindari rongga saat taburasi. Jenis-jenis batuan penyusun lapisan balas sudah diatur dalam Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012. Lapisan balas haruslah memiliki material penyusun yang baik dan mengikuti standar yang sudah ditetapkan agar lapisan balas dapat menjalankan fungsinya dengan optimal. Agar didapatkan material balas yang baik perlu dilakukan pengujian fisik dan mekanik pada lapisan balas tersebut sebelum digunakan. Jenis-jenis batuan penyusun lapisan balas menurut Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012 :

- a. Material balas yang digunakan adalah batu pecah dengan ukuran 25-60 mm mempunyai ketahanan dan lahan gesek yang baik serta kemudahan dalam pemadatan.
- b. Batuan yang digunakan untuk lapisan balas berasal dari batuan pecah (*crushed stone*) dan mempunyai sudut tajam dan panjang.
- c. Porositas maksimal 3%.
- d. Kuat tekan maksimum rata-rata 1000 kg/cm<sup>2</sup>.
- e. Berat jenis minimum 2,6.
- f. Kandungan tanah, lumpur dan organik maksimum 0,5%.
- g. Kandungan minyak maksimum 0,2%.
- h. Keausan agregat tidak boleh lebih dari 2,5%.
- i. Kemiringan pada lereng lapisan balas tidak boleh lebih curam dari 1:2.
- j. Bahan balas dihampar hingga mencapai elevasi yang sama dengan elevasi bantalan.

Sementara beberapa persyaratan teknik menurut Peraturan Dinas Nomor 10 Tahun 1986 menyatakan bahwa material balas sebagai berikut:

- a. Material balas merupakan batuan pecah, bersudut dan tahan lama.
- b. Beberapa substansi yang merugikan tidak diperbolehkan diantaranya:
  - 1) Material lunak dan mudah pecah harus <3%,
  - 2) Material yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) <1%,
  - 3) Gumpalan lempung <0,5%.
- c. Nilai keausan material dengan mesin abrasi Los Angeles <40%.
- d. Berat padat per meter minimal 1400 kg.
- e. Partikel yang tipis dan panjang diharuskan kurang dari 5%.
- f. Gradasi yang diperbolehkan sebagaimana Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Persyaratan gradasi material balas

No	Ukuran	Persen Lolos Saringan									No. 8
		3"	2½"	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	No.4	
24	2½" - ¾"	100	90 - 100	25 - 60	25 - 60	-	0 - 10	0 - 5	-	-	-
25	2½" - ⅜"	100	80 - 100	60 - 85	50 - 70	25 - 50	-	5 - 20	0 - 10	0 - 3	-
3	2" - 1"	-	100	95 - 100	35 - 70	0 - 15	-	0 - 5	-	-	-
4A	2" - ¾"	-	100	90 - 100	60 - 90	10 - 35	0 - 10	-	-	-	-
4	1½" - ¾"	-	-	100	90 - 100	20 - 35	0 - 15	-	0 - 3	-	-
5	1" - ⅜"	-	-	-	100	90 - 100	40 - 75	15 - 35	0 - 5	0 - 5	-
57	1" - No.4	-	-	-	100	95 - 100	-	25 - 60	0 - 15	0 - 10	0 - 5

Sumber: AREA, 1997.

### 2.3. Material Ban Bekas

Ban bekas penggunaan kendaraan bermotor yang sudah tidak dipakai hanya tertumpuk dan tidak berguna, sebagian tidak hanya dapat digunakan untuk kerajinan tangan ataupun didaur ulang, namun ternyata ban bekas tersebut juga dapat berpotensi sebagai material tambahan untuk sebuah campuran balas kereta api. Ban yang digunakan sebagai material tambahan pada campuran balas merupakan ban bagian luar kendaraan motor yang memiliki bahan padat dengan kekenyalan yang bersifat lentur. Ban bekas ini berfungsi sebagai material elastis yang akan mengurangi kekakuan dan menambah tingkat durabilitas terhadap balas yang digunakan.

D'Angelo et al. (2016) menyatakan stabilisasi pada balas merupakan metode yang bertujuan untuk meningkatkan daya tahan dengan cara memodifikasi kekakuan dan kemampuan untuk meredam energi pada lapisan salah satu caranya adalah *ballast bonding* dengan tujuan meningkatkan sifat mekanik, mencegah material balas tersebar keluar jalur dan mengurangi biaya pemeliharaan. Lakusi et al. (2010) menambahkan bahwa metode ini digunakan untuk mengikat suatu balas pada tiap sisi materialnya. Tujuannya adalah untuk mencegah defleksi lintasan yang jika dibiarkan saja akan membahayakan perilaku pengemudi dan juga kenyamanan perjalanan.

Salah satu metode stabilisasi lapisan balas adalah menggunakan karet ban bekas yang terikat pada balas. Metode ini sangat memungkinkan untuk diterapkan untuk meningkatkan efektifitas balas karena sifat elastis yang dimiliki karet. Penggunaan karet ban bekas ini pun dapat mengurangi limbah ban bekas kendaraan (Sanchez et al., 2015).

Ban bekas yang digunakan sebelumnya dipotong sesuai ukuran yang diinginkan. Kinerja balas akan stabil dengan penambahan material elastis pada lapisan balas yang kaku dan akan mengurangi degradasi dan deformasi (Indraratna et al., 2017). Penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Indraratna et al. (2017) juga menemukan hasil bahwa jumlah partikel balas yang pecah terbesar terjadi pada bagian atas karena pembebanan terbesar terjadi dibagian atas. Oleh karena itu, penambahan karet pada campuran dapat mengurangi deformasi dan degradasi yang terjadi terutama lapisan balas bagian atas.

Namun penggunaannya yang berlebihan mempengaruhi kurangnya nilai kepadatan yang dihasilkan yang langsung berpengaruh terhadap turunnya nilai modulus (Signes et al., 2016).

#### **2.4. Modulus Elastisitas**

Menurut Tjokrodimuljo (1996) uji kuat tekan adalah pemberian gaya tekan persatuan luas dan menghasilkan nilai kuat tekan. Uji tekan dilakukan guna mengetahui nilai tegangan, regangan dan dapat mencari hubungan antara tegangan dan regangan yang akan menghasilkan nilai modulus elastisitas. Modulus Elastisitas merupakan gambaran suatu bahan berada pada kondisi elastis yang

dihasilkan dari hubungan antara dua sumbu yaitu sumbu Y yang mewakili tegangan ( $\sigma$ ) dan sumbu X yang mewakili regangan ( $\epsilon$ ). Modulus elastisitas ini berfungsi sebagai parameter ketahanan bahan terhadap perubahan bentuk ketika diberikan pembebanan. Hasil pengujian tekan diolah dengan beberapa rumus, yaitu:

1. Menentukan regangan

$$\epsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \dots\dots\dots(2.1)$$

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 pada setiap pembebanan

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan,

P = Beban aksial yang bekerja (kN)

A = Luas penampang plat penekanan ( $m^2$ )

Modulus elastisitas merupakan pembagian antara tegangan dan regangan seperti pada persamaan 2.1

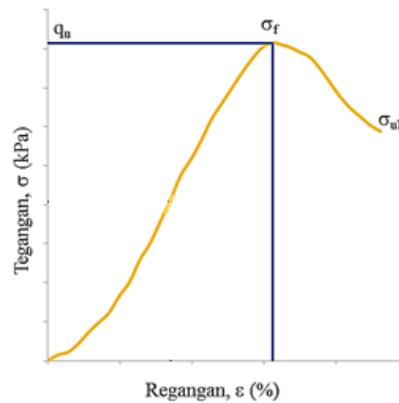
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan,

E = modulus elastisitas

$\sigma$  = tegangan

$\epsilon$  = 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).

## 2.5. Nilai Abrasi

Perhitungan nilai abrasi ini dihitung dari material yang memiliki ukuran lebih kecil dari ukuran asli yang ditentukan untuk ukuran balas. Untuk mengetahui ketahanan agregat ini dilakukan uji abrasi suatu campuran benda uji dengan material agregat dengan perbandingan jumlah sebaran material agregat sebelum dan sesudah dilakukan pengujian atau sebelum dan sesudah diberikan pembebanan (Sanchez et al., 2014).

Pengujian ini dilakukan dengan metode analisis saringan yang selanjutnya digambarkan menggunakan grafik prosentase ukuran butir agregat juga dibandingkan antara analisis saringan sebelum pengujian dan sesudah pengujian untuk mengetahui nilai durabilitas dalam bentuk persen.