

## **BAB II**

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

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

##### **2.1.1 Penelitian Terdahulu**

D'Angelo et al. (2016) memodifikasi lapisan balas untuk mengurangi deformasi yang terjadi serta biaya perawatan. Dua macam balas yang digunakan yakni balas bersih dan balas kotor (balas yang masih mengandung kadar lumpur) sedangkan variasi kadar aspal yang digunakan sebanyak 2% dan 3% dari berat total benda uji. Alat yang digunakan untuk pengujian adalah berdasarkan metode *PUMA (Presicion Unbound Material Analyser)* berupa silinder dengan tinggi 150 mm dan diameter 150 mm. Metode pemadatan yang digunakan adalah pemadatan manual dan pemadatan 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%.

Penelitian lain yang dilakukan oleh D'Angelo et al. (2017) 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.

Stabilisasi balas juga dibuktikan oleh Sanchez et al. (2014) dengan menggunakan karet ban bekas. Persentase ban bekas yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 5%, 10%, 20% dan 30% berdasarkan volume benda uji.

Untuk pengujiannya, peneliti menggunakan *ballast box* berdimensi 460 mm x 200 mm x tinggi 300 mm. Hasil menunjukkan bahwa balas dengan campuran 5% dan 10% karet ban bekas dapat mengurangi deformasi dari balas, di sisi lain karet ban bekas juga dapat meningkatkan umur layanan pada balas, sehingga tidak membutuhkan biaya perawatan yang besar. Dengan demikian penggunaan karet ban bekas sebagai agregat elastis dapat dengan tepat mengurangi kerusakan jalur yang terkait dengan penipisan lapisan balas.

Upaya lainnya dalam memperbaiki jalur rel kereta api dengan daya tahan yang baik adalah dengan menggunakan tipe struktur *slab track*. *Slab track* mempunyai karakteristik yang lebih kuat dan kokoh, namun kendala utamanya ada pada biaya pembangunannya sangat tinggi, hingga mencapai dua kali lipat jika dibandingkan dengan jalan rel konvensional, untuk itu muncul ide baru mengenai stabilisasi balas dengan menggunakan aspal (Setiawan, dkk., 2013)

Giunta (2018) dalam penelitiannya yang mengkaji tentang biaya siklus perawatan pada balas modifikasi aspal bahwa inovasi baru berupa *track-bed* yang juga merupakan perkuatan jalur balas yang sudah ada dapat mengurangi biaya atau beban perawatan. Teknologi balas modifikasi aspal, yang digunakan sejak tahap konstruksi dan selama tamping rutin, dapat memberikan penghematan ekonomis.

### **2.1.2 Lapisan Balas**

Rosyidi (2016) mengungkapkan bahwa lapisan balas terdiri dari material batu pecah yang keras dan tajam. Berada pada bagian permukaan dari konstruksi substruktur. Lapisan ini harus dapat meloloskan air dengan baik, agar tidak mudah terjadi kerusakan dini. Adapun beberapa fungsinya sebagai berikut:

1. Menyediakan daya dukung yang baik dan dapat menjadi landasan bagi bantalan yang diletakkan di atasnya.
2. Menjadi sebuah konstruksi yang nyaman untuk lalu lintas kereta api dan bersifat kenyal.
3. Menjaga dan menahan dari perubahan geometrik jalan rel, akibat bergesernya bantalan karena beban lalu lintas kereta api yang menimpa terus menerus.

4. Mencegah deformasi permanen dengan cara memperkecil gaya vertikal yang terjadi sehingga dapat menyebarkan beban secara merata hingga tanah dasar.
5. Mampu meloloskan air dengan baik dari zona pembebanan tanah.
6. Menyediakan tempat untuk pekerjaan pemeliharaan pada permukaan jalan rel dan geometriknya.

Balas merupakan struktur granular pada bagian substruktur jalan rel dan terdiri dari gradasi yang beragam yakni antara 22 mm hingga 63 mm. Fungsi utamanya adalah untuk menyediakan fondasi yang kompak untuk bantalan, meredam beban dari kereta api untuk disalurkan pada subbalas, menyediakan drainase yang memadai, memberikan tingkat elastisitas yang diinginkan serta dapat mengurangi tingkat kebisingan dan banyaknya getaran (D'Angelo et al., 2016; Sanchez et al., 2015; Indraratna et al., 2017).

## **2.2. Dasar Teori**

### **2.2.1. Spesifikasi Material Balas**

Berbeda dengan material yang digunakan untuk struktur jalan raya, material yang digunakan untuk lapisan balas menurut Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012 mempunyai ukuran 25 – 60 mm dengan ketahanan yang baik

Rosyidi (2016) menyatakan bahwa material balas yang digunakan adalah batuan pecah yang bersifat keras dan mempunyai sudut tajam. Lapisan balas harus mempunyai material penyusun yang baik, agar balas juga dapat menjalankan fungsinya secara optimal. Untuk itu perlu dilakukan pengujian fisik dan mekanik pada balas agar memenuhi standar yang disyaratkan.

Beberapa jenis batuan penyusun lapisan balas menurut Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012 adalah sebagai berikut:

1. Material balas merupakan batu pecah dengan ukuran 25- 60 mm mempunyai ketahanan dan lahan gesek yang baik serta kemudahan dalam pemadatan.
2. Material balas yang digunakan berasal dari batu pecah (*crushed stone*) dan mempunyai sudut yang tajam dan panjang.
3. Mempunyai porositas maksimal 3%.

4. Mempunyai kuat tekan maksimum rata-rata 1000 kg/cm<sup>2</sup>.
5. Berat jenis minimum 2,6.
6. Kandungan tanah, lumpur, dan organik maksimum 0,5%.
7. Kandungan minyak maksimum 0,2%.
8. Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan mesin *Los Angeles* keausan agregat tidak boleh lebih dari 25%.
9. Kemiringan pada lereng lapisan balas tidak boleh lebih curam dari 1:2.
10. Bahan balas dihampar hingga mencapai sama dengan elevasi bantalan.

Standar Nasional Indonesia (SNI) juga menentukan spesifikasi material balas yang bagus dan cocok digunakan di Indonesia. Beberapa tahap pengujian dilakukan untuk mendapatkan spesifikasi agregat material balas yang sesuai dengan kondisi perkereta-apian di Indonesia adalah:

1. Pengujian berat jenis

Dalam menghitung volume ruang untuk ditempati agregat, sifat umum yang harus dimiliki oleh agregat adalah berat jenis curah. Pengujian berat jenis curah berdasarkan SNI 1969:2008 (BSN, 2008) disesuaikan dengan agregat dalam segala kondisi. Kondisi pertama adalah saat agregat dalam keadaan basah, yang artinya adalah penyerapannya telah terpenuhi namun permukaannya dibiarkan mengering. Kondisi kedua adalah ketika agregat digunakan dalam keadaan kering, atau setelah dioven. Kondisi ketiga yakni, dalam keadaan semu (*apparent*) atau agregat berada pada kondisi kepadatan relatif.

Beberapa persiapan benda uji sebelum melakukan pengujian berat jenis adalah memperhatikan persyaratan pada Badan Standardisasi Nasional yang tersaji pada Tabel 2.1 antara lain:

Tabel 2.1 Berat contoh uji minimum setiap nominal maksimum agregat (BSN, 2008)

Ukuran Nominal Maksimum		Berat minimum dari contoh uji
mm	inci	kg
150	(6)	125
125	(5)	75
112	(4 ½)	50
100	(4)	40

Tabel 2.1 (Lanjutan)

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

Standar Nasional Indonesia mendefinisikan berat jenis sebagai perbandingan berat suatu jenis material dengan berat air pada volume yang sama. Adapun contoh perhitungan untuk mencari berat jenis agregat pada setiap kondisi sebagai berikut :

$$a. \text{ Berat jenis curah kering} = \frac{A}{(B-C)} \quad (2.1)$$

$$b. \text{ Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{B}{(B-C)} \quad (2.2)$$

$$c. \text{ Berat jenis semu} = \frac{A}{(A-C)} \quad (2.3)$$

$$d. \text{ Penyerapan air} = \left[ \frac{(B-A)}{A} \right] \times 100\% \quad (2.4)$$

Dengan :

A = Kondisi agregat kering dengan oven (gram).

B = Kondisi agregat jenuh air namun kering permukaan (gram).

C = Kondisi agregat basah didalam air (gram).

## 2. Pengujian kadar lumpur

SNI 03-4141-1996 (BSN, 1996) menerapkan persyaratan kadar lumpur untuk agregat. Identifikasi kadar lumpur bertujuan untuk memperoleh banyaknya butiran lempung yang menggumpal serta mudah pecah yang melekat pada agregat. Pada Tabel 2.2 disajikan persyaratan untuk berat agregat minimum dalam keadaan kering.

Tabel 2.2 Ketentuan berat kering minimum benda uji (BSN, 1996)

Ukuran Agregat	Berat Kering Minimum Benda Uji (gram)
No. 4 (4,75 mm) - ¾" (9,50 mm)	1000
¾" (9,50 mm) - ¾" (19,00 mm)	2000

Tabel 2.2 (Lanjutan)

$\frac{3}{4}$ " (19,00 mm) - $1\frac{1}{2}$ " (38,10 mm)	3000
$\geq 1\frac{1}{2}$ " (38,10 mm)	5000

Kadar lumpur yang sudah diuji dan didapatkan parameternya, dapat diketahui persentasenya pada persamaan 2.6 sebagai berikut:

$$P = \frac{(W-R)}{W} \times 100\% \quad (2.5)$$

Dimana :

P = Lempung yang menggumpal dan butiran mudah pecah (%)

W = Berat dari benda uji (gram)

R = Berat benda uji kering karena dioven yang tertahan pada saat penyaringan basah (gram)

### 3. Pengujian Keausan Agregat

Ditinjau dari segi keausannya, tertera dalam SNI 2417:2008 (BSN, 2008) bahwa agregat yang digunakan adalah Agregat A, yakni agregat yang mempunyai dimensi butir terbesarnya 37,5 mm ( $1\frac{1}{2}$  inci) sampai agregat yang berdimensi 9,5 mm ( $\frac{3}{8}$  inci). Dalam perhitungan keausan suatu material balas digunakan rumus pada persamaan 2.7 sebagai berikut:

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

Dimana :

a=Berat awal benda uji (gram)

b=Berat benda uji tertahan saringan nomor 12 sebesar 17 mm (gram)

#### 2.2.2 Pembebanan Kereta Api

Faktor utama terhadap pembebananan jalan rel menurut Rosyidi (2016) adalah kemampuan jalan rel dalam mendistribusikan beban dari roda yang kemudian disalurkan kepada bantalan lalu disebarkan secara merata ke fondasi lapisan balas. Beberapa kriteria analisis perancangan komponen jalan rel yang mampu untuk mendistribusikan beban harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Analisis tegangan lentur pada jalan rel yang diijinkan
2. Analisis tegangan lentur pada bantalan diatas balas yang diijinkan

3. Tekanan yang diijinkan pada lapisan balas
4. Tekanan yang diijinkan pada tanah dasar.

### 2.2.3 Stabilisasi Balas

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 beban pada lapisan. Pada penelitiannya pula dijelaskan tentang salah satu metode stabilisasi balas menggunakan *ballast bonding* yaitu teknologi stabilisasi dengan tujuan untuk mencegah material balas terserbar dari jalurnya saat kereta api melintas dengan kecepatan tinggi, dan mengurangi biaya pemeliharaan. Namun keterbatasan utama pada aplikasi metode ini adalah biaya awal yang tinggi dengan produktifitas yang rendah, sehingga berakibat pada tingginya biaya pemeliharaan.

Berbicara tentang *ballast bonding*, Lakusi et al. (2010) menambahkan bahwa metode ini digunakan untuk mengikat suatu balas pada tiap sisi materialnya. Adapun tujuan yang dipaparkan adalah untuk mencegah defleksi lintasan yang jika dibiarkan saja akan membahayakan pengemudi dan juga kenyamanan perjalanan.

Penelitian lain D'Angelo et al. (2016) menjelaskan tentang solusi terhadap berbagai permasalahan karena umumnya penggunaan balas konvensional untuk jalur kereta api, yakni dengan memodifikasi substruktur dengan elemen elastis, seperti geosintetik, atau polimer. Hal ini bertujuan untuk memberikan tingkat kekakuan yang seimbang dan sifat redaman pada beban yang diperoleh saat kereta api melintas sehingga balas tidak terlalu membutuhkan biaya perawatan yang tinggi. Hal ini juga disetujui oleh Sanchez et al. (2015) pada penelitiannya yang juga membahas tentang stabilisasi balas.

Penggunaan karet ban bekas untuk salah satu metode stabilisasi yang digunakan terikat pada partikel balas, hal ini sangat memungkinkan untuk meningkatkan daya tahan pada lapisan balas karena sifat elastis yang dimiliki oleh karet, selain itu penggunaan karet ban bekas juga bertujuan untuk mengurangi limbah ban kendaraan yang semakin hari semakin meningkat (Sanchez et al., 2015).

Manfaat bahan elastis memberikan tingkat kekakuan yang tepat untuk memodifikasi kinerja dari struktur jalan dan dapat meredam tegangan dari kereta api, serta menambah umur layanan pada lapisan balas menjadi semakin panjang (Sanchez et al., 2014).

#### **2.2.4 Stabilisasi Balas dengan Aspal**

Pencampuran material balas dan aspal dapat meningkatkan daya tahan yang juga dapat mengurangi deformasi pada lapisan balas secara vertikal dengan cara memodifikasi kekakuan dan meningkatkan kemampuan untuk meredam energi. Campuran balas dan aspal bisa disebut sebagai *ballast stabilised bituminous (BSB)*. Konsep dibalik metode ini adalah untuk penguatan lapisan balas selama pemeliharaan (D'Angelo et al., 2016).

Metode stabilisasi yang digunakan pada penelitian D'Angelo et al. (2016) adalah menggunakan aspal emulsi, yang harus mempertimbangkan beberapa variabel, seperti dosis yang digunakan, sifat- sifat fisik, viskositas, metode pemadatan, serta ketahanannya terhadap suhu dan air. Aspal emulsi yang digunakan bertujuan untuk mengikat antar partikel dan efektif digunakan dalam semua kondisi cuaca.

D'Angelo et al. (2016) menilai secara keseluruhan penelitian tentang BSB yang menggunakan balas bersih dan kotor dapat menurunkan nilai deformasi, artinya BSB merupakan campuran bahan yang kompak dan kaku. Kekakuan bahan tersebut merupakan salah satu hal yang mempengaruhi nilai modulus. Lee et al. (2014) juga menambahkan dalam penelitiannya bahwa balas yang bercampur dengan aspal dapat meningkatkan kekakuan meskipun berada pada suhu yang tinggi.

D'Angelo et al. (2017) kembali melakukan studi tentang stabilitas balas, namun menggunakan tiga jenis aspal berbeda, yang biasa digunakan di UK (*United Kingdom*). Peneliti membuktikan melalui pengujian fisik pada setiap jenis bahan aspal tersebut. Hasilnya adalah dari tiga jenis aspal yang diterapkan ini mempunyai sifat viskoelastis dan sifat fisik yang berbeda yang berpengaruh besar terhadap stabilisasi balas. Sifat viskoelastis pada aspal sangat mempengaruhi pemakaiannya pada lapisan balas. Karena fungsi emulsi aspal pada lapisan balas adalah sebagai pengikat tiap materialnya.



D'Angelo et al. (2016) memberikan umur perawatan kepada benda uji BSB tersebut selama dua hari dan tujuh hari. Nilai modulus pada benda uji yang diberikan umur perawatan mengalami penurunan. Namun jika dilihat dari regangan yang dihasilkan, BSB mengalami kenaikan nilai hingga 40% yang berpengaruh terhadap berkurangnya deformasi yang dihasilkan.

Standar Nasional Indonesia memberikan spesifikasi aspal yang paling umum digunakan di Indonesia disajikan pada Tabel 2.3 antara lain.

Tabel 2.3 Persyaratan aspal penetrasi (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010)

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil	Satuan
1.	Penetrasi pada suhu 25 °C	SNI 06-2456-1991	60-70	0,1 mm
2.	Titik Lembek	SNI 2434:2011	≥ 48	°C
3.	Daktilitas pada suhu °C	SNI 2432:2011	≥ 100	Cm
4.	Berat jenis	SNI 2441:2011	0,1	-
5.	Berat yang hilang	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8	%

Dari beberapa spesifikasi pada Tabel 2.3 beberapa pengujian yang dilakukan di laboratorium pada aspal dengan penetrasi 60/70 dijelaskan sebagai berikut:

1. Pengujian berat jenis aspal dan penyerapan agregat kasar

Disebutkan pada SNI 2441:2011 (BSN, 2011) tentang persyaratan pengujian berat jenis aspal mulai dari pengambilan contoh sampai dengan perhitungannya. Untuk mendapatkan nilainya, massa aspal dibandingkan dengan massa air pada temperatur yang sama. Hal ini ditujukan untuk mengetahui mutu campuran yang terkandung dalam aspal. Nilai berat jenis aspal didapatkan dari persamaan 2.8.

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

Dimana :

A=Massa dari piknometer dan penutupnya (gram).

B=Massa dari piknometer yang bersisi air dan penutupnya (gram).

C=Massa dari piknometer yang didalamnya terdapat benda uji dan penutupnya (gram).

D=Massa keseluruhan yakni, piknometer serta penutupnya, benda uji dan air (gram).

## 2. Pengujian penetrasi aspal

Penetrasi aspal menurut SNI 2456:2011 (BSN, 2011) dianalisis untuk menentukan perlakuan aspal yang konsisten, semakin tinggi nilai penetrasinya, semakin lunak kondisi aspal tersebut. Penetrometer adalah sebuah alat ukur penetrasi, dimana aplikasinya disaat aspal mencapai suhu tertentu.

Pengaruh yang lebih besar terhadap nilai penetrasi suatu bahan aspal adalah faktor berat total, ukuran pada sudut serta permukaan jarum yang halus, dan suhu serta waktunya. Namun, jika beberapa variabel tersebut tidak ditentukan maka pengaturannya adalah pemakaian suhu 25 °C, berat total 100 gram, dan waktunya selama 5 detik. Pada kondisi lain digunakan ketentuan khusus yang disajikan pada Tabel 2.6 sebagai berikut.

Tabel 2.4 Ketentuan untuk kondisi aspal pada pengujian khusus (BSN, 2011)

Temperatur (°C)	Berat total (gram)	Waktu (detik)
0	200	60
4	200	60
45	50	5
46,1	50	5

## 3. Pengujian sifat daktail aspal

Sifat daktail atau elastis menurut SNI 06-2432-1991 (BSN, 1991) pada aspal perlu diuji dengan mengetahui jarak terpanjang pada aspal keras dengan suhu 25 °C dituang ke dalam cetakan daktilitas dan ditarik pada dua bagian dengan mesin pengujian daktilitas yang mempunyai kecepatan 50 mm/menit.

## 4. Pengujian kehilangan berat minyak pada aspal

Menurut SNI 06-2440-1991 (BSN, 1991) Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui berat minyak yang hilang pada bahan aspal yang dinyatakan dalam satuan persen berdasarkan berat semula. Stabilitas bahan aspal juga dapat diketahui, dengan cara

memanaskannya. Dan dari pengujian ini pula dapat mengetahui sifat fisik aspal ketika dicampurkan dengan agregat pada suhu 163 °C.

Nilai kehilangan berat minyak dapat didapatkan dengan menerapkan persamaan 2.9 sebagai berikut.

$$\frac{(A-B)}{A} \times 100\% \quad (2.8)$$

Dengan = A : Berat benda uji awal (gram)

B : Berat benda uji setelah dipanaskan (gram)

#### 5. Pengujian titik lembek aspal

Pengujian suhu aspal menurut SNI 2434-2011 (BSN, 2011) adalah ketika lembek atau turun dengan pemberat bola baja yang berukuran tertentu. Dengan begitu, aspal akan terdorong jatuh hingga ke pelat dasar alat pengujian titik lembek pada jarak 25,4 mm. Titik lembek aspal diketahui antara suhu 30 °C hingga 80 °C. Nilai yang didapatkan dari hasil pengujian ini dinyatakan dengan *Celcius*.

### 2.2.5 Stabilisasi Balas dengan Bahan Elastis

Bahan elastis dimanfaatkan dalam rel kereta api dengan tujuan untuk memberikan sifat elastis secara vertikal pada jalur balas (Sanchez et al., 2014). Pemanfaatan bahan elastis pada infrastruktur kereta api dikatikan pada kemampuannya untuk mendistribusikan beban, menambah daya tahan lapisan balas serta mengurangi getaran yang berasal dari rel kereta api (Soto et al., 2018). Namun penggunaannya yang berlebihan mempengaruhi kurangnya nilai kepadatan yang dihasilkan yang langsung berpengaruh terhadap turunnya nilai modulus (Signes et al., 2016). Farhan et al. (2015) pula memaparkan dalam penelitiannya yang mengkaji karakteristik lentur pada stuktur perkerasan bahwa. Modifikasi bahan karet dalam struktur perkerasan memang dapat mengurangi kerusakan namun kekurangannya adalah kekakuan yang dihasilkan semakin berkurang.

Indrarnatna et al. (2017) menyatakan bahwa produk geosintetik planar yaitu berupa geogrid, geotekstil atau geokomposit dapat mengurangi kekakuan dan degradasi pada lapisan balas. Karena penempatan produk geosintetik dibagian sisi bawah lapisan balas membatasi gerak agregat sehingga mengurangi gesekan antar

partikel. Hal ini menghasilkan umur kereta api yang lebih panjang, serta membantu untuk fungsi drainase.

Penggunaan bahan elastis lainnya seperti material karet yang dijadikan hamparan (tikar karet) diteliti oleh Navaratnarajah dan Indraratna (2017). Rata-rata secara keseluruhan deformasi lapisan balas terjadi saat karet dihamparkan pada bagian bawah material balas menurun sekitar 35% - 45%. Ditinjau dari ketahanannya juga mempunyai nilai yang lebih tinggi yakni sebesar 50% - 60%. Hal ini berpengaruh terhadap panjangnya umur layanan pada lapisan balas karena pemeliharaan yang sering dilakukan.

### 2.2.6 Metode Kuat Tekan

Metode kuat tekan beton menurut SNI 03-1974-1990 (BSN, 1990) adalah kekuatan yang dihasilkan oleh mesin kuat tekan dan berupa besarnya gaya yang diterima oleh suatu bahan per satuan luas. Benda uji berupa beton segar yang berbentuk silinder dan sudah mengalami pematangan diuji kuat tekannya sehingga dapat ditentukan seberapa besar kekuatan yang dimiliki beton tersebut dalam menahan beban. Nilai kuat tekan dapat dihitung dengan persamaan 2.10 sebagai berikut.

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{A} \quad (2.9)$$

Dimana = P : Besarnya gaya yang diberikan (kg)

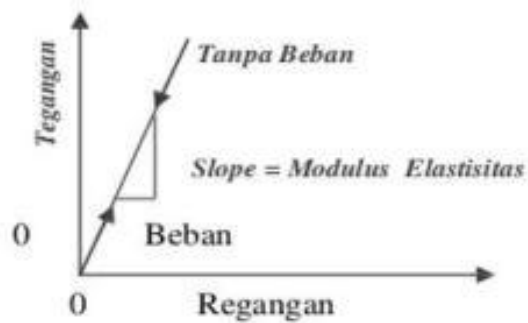
A : Luas penampang yang dikenai beban (cm<sup>2</sup>)

Metode kuat tekan menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*) menghasilkan empat parameter uji berupa tegangan, regangan, perubahan panjang dan pembebanan. Dari keempat data tersebut dapat memberikan penjelasan tentang besarnya deformasi yang terjadi dengan menarik garis pada sebuah grafik antara pembebanan dengan perubahan panjang yang. Selain itu, nilai modulus elastisitas juga dapat diketahui dengan membandingkan nilai tegangan dan regangan.

### 2.2.7 Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas merupakan ukuran kekakuan suatu bahan dengan cara membandingkan tegangan yang bekerja pada suatu bahan dengan regangan yang dihasilkan (Sehonanda, et al., 2013). Jika diaplikasikan pada sebuah grafik, nilai

modulus elastisitas dapat ditetapkan dari perhitungan kemiringan (*slope*) grafik tegangan dan regangan, seperti yang tersaji pada gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.1 Diagram tegangan regangan yang menunjukkan deformasi elastis

Konsep sebuah konstanta modulus elastisitas dengan persamaan berikut ini.

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

Dimana : E : Nilai modulus elastisitas (N)

$\sigma$  : Tegangan (MPa)

$\varepsilon$  : Regangan (mm)