

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1. Beton Ringan

Beton ringan adalah suatu campuran antara semen portland atau hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, serta dapat juga diberikan tambahan lainnya.

Beton ringan struktural adalah beton yang menggunakan agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir alam sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton  $1850 \text{ kg/m}^3$  dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik belah beton ringan untuk tujuan struktural.

Metode yang digunakan untuk mendapatkan beton ringan menurut Tjokrodimuljo (1996) adalah sebagai berikut :

- a. Membuat gelembung-gelembung udara dengan menambahkan bubuk aluminium ke dalam adukan semen, sehingga timbul pori-pori di dalam beton.
- b. Menggunakan agregat yang mempunyai berat satuan yang lebih kecil, misalnya : tanah liat dan batu apung.
- c. Pembuatan beton tanpa menggunakan agregat halus yang disebut “beton non-pasir”. Agregat kasar yang digunakan berdiameter 20 mm atau 10 mm.

Jenis agregat ringan yang dipilih berdasarkan tujuan konstruksi menurut SK SNI T-03-3449-2002 dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jenis Agregat Ringan yang Dipilih Berdasarkan Tujuan Konstruksi

Konstruksi Beton Ringan		Beton Ringan		Jenis Agregat Ringan
		Kuat Tekan (MPa)	Berat Isi (kg/m <sup>3</sup> )	
Struktural	Minimum	17,24	1400	Agregat yang dibuat melalui proses pemanasan dari batu.
	Maksimum	41,36	1850	Serpih, batu lempung, batu sabak, terak besi atau abu terbang
Struktural Ringan	Minimum	6,89	800	Agregat ringan alam.
	Maksimum	17,24	1400	Skoria atau batu apung
Struktural Sangat Ringan sebagai Isolasi	Minimum	-	-	Perlit atau vemikulit
	Maksimum	-	800	

Sumber : SK SNI T-03-3449-2002

### 3.2. Semen Portland

Semen *Portland* adalah suatu bahan pengikat hidrolis (*hydraulic binder*) yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya.

Komposisi yang sebenarnya dari berbagai senyawa yang ada berbeda-beda dari jenis semen yang satu dengan yang lain, untuk berbagai jenis

semen ditambahkan berbagai jenis material mentah lainnya, sesuai dengan kebutuhan pemakaian semen yang disebabkan oleh kondisi lokasi maupun kondisi tertentu yang dibutuhkan pada pelaksanaan konstruksi.

Berdasarkan Peraturan Beton (SK.SNI T-15-1991-03:2) membagi semen portland menjadi 5 jenis yaitu :

1. Tipe I (*Normal portland cement*), semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya. Digunakan untuk bangunan-bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
  2. Tipe II (*high – early – strength portland cement*), semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang. Digunakan untuk konstruksi bangunan dan beton yang terus-menerus berhubungan dengan air kotor atau air tanah atau untuk pondasi yang tertahan di dalam tanah yang mengandung air agresif (garam-garam sulfat) dan saluran air buangan atau bangunan yang berhubungan langsung dengan rawa.
- Universitas Sumatera Utara
3. Tipe III (*modified portland cement*), semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi. Semen jenis ini digunakan pada daerah yang bertemperatur rendah, terutama pada daerah yang mempunyai musim dingin (*winter season*).

4. Tipe IV (*low heat portland cement*), semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah. Digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan yang besar dan masif, umpamanya untuk pekerjaan bendung, pondasi berukuran besar atau pekerjaan besar lainnya.
5. Tipe V (*Sulfate resisting portland cement*), semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Digunakan untuk bangunan yang berhubungan dengan air laut, air buangan industri, bangunan yang terkena pengaruh gas atau uap kimia yang agresif serta untuk bangunan yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat dalam persentase yang tinggi.
6. *Portland Pozzolan Cement* (PPC), Semen portland pozzolan adalah campuran dari semen tipe I biasa dengan pozzolan.

Material semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif yang diperlukan untuk mengikat agregat-agregat menjadi suatu massa yang padat yang mempunyai kekuatan yang cukup. Semen merupakan hasil industri dari paduan bahan baku : batu gamping/kapur sebagai bahan utama, yaitu bahan alam yang mengandung senyawa Calcium Oksida ( $\text{CaO}$ ), dan lempung/tanah liat yaitu bahan alam yang mengandung senyawa: Siliki Oksida ( $\text{SiO}_2$ ), Aluminium Oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Besi Oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan Magnesium Oksida ( $\text{MgO}$ ) atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk (bulk), tanpa memandang proses pembuatannya, yang mengeras

atau membatu pada pencampuran dengan air.

Fungsi utama dari semen adalah untuk mengikat partikel agregat yang terpisah sehingga menjadi satu kesatuan. Bahan dasar pembentuk semen adalah :

- a.  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  (tricalcium silikat) disingkat  $\text{C}_3\text{S}$  (58% - 69%)
- b.  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  (dicalcium silikat) disingkat  $\text{C}_2\text{S}$  (8% - 15%)
- c.  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  (tricalcium aluminate) disingkat  $\text{C}_3\text{A}$  (2% - 15%)
- d.  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  (tetracalcium alummoferrit) disingkat  $\text{C}_4\text{AF}$  (6-14%)

Senyawa tersebut menjadi kristal-kristal yang paling mengikat/mengunci ketika menjadi klinker. Komposisi  $\text{C}_3\text{S}$  dan  $\text{C}_2\text{S}$  adalah 70% - 80% dari berat semen dan merupakan bagian yang paling dominan memberikan sifat semen. Semen dan air saling bereaksi, persenyawaan ini dinamakan proses hidrasi, dan hasilnya dinamakan hidrasi semen.

### **3.3. Agregat**

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi, yaitu berkisar 60% - 70% dari volume beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar sehingga karakteristik dan sifat agregat memiliki pengaruh langsung terhadap sifat-sifat beton.

Sifat yang paling penting dari suatu agregat (batu-batuan, kerikil, pasir, dan lain sebagainya) ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan,

yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan.

Dalam pementan, agregat dibedakan menjadi dua jenis yaitu agregat halus dan agregat kasar.

### 3.3.1. Agregat Halus

Agregat halus adalah mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang memiliki ukuran butiran kurang dari 5 mm atau lolos saringan no.4 dan tertahan pada saringan no.200. Agregat halus berasal dari hasil disintegrasi alami dari batuan alam atau pasir buatan yang dihasilkan dari alat pemecah batu (*stone crusher*).

Pasir umumnya terdapat disungai-sungai yang besar. Akan tetapi sebaiknya pasir yang digunakan untuk bahan-bahan bangunan dipilih yang memenuhi syarat.

Spesifikasi dari Agregat halus Agregat halus yang akan digunakan harus memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh ASTM. Jika seluruh spesifikasi yang ada telah terpenuhi maka barulah dapat dikatakan agregat tersebut bermutu baik. Adapun spesifikasi tersebut adalah :

1. Susunan Butiran (Gradasi) Analisa saringan akan memperlihatkan jenis dari agregat halus tersebut. Melalui analisa saringan maka akan diperoleh angka Fine Modulus. Melalui Fine Modulus ini dapat digolongkan 3 jenis pasir yaitu :

- a. Pasir Kasar :  $2.9 < FM < 3.2$
- b. Pasir Sedang :  $2.6 < FM < 2.9$
- c. Pasir Halus :  $2.2 < FM < 2.6$

Selain itu ada juga batasan gradasi untuk agregat halus, sesuai dengan ASTM C 33 – 74a. Batasan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3.2 Batasan Gradasi untuk Agregat Halus

Ukuran Saringan ASTM	Persentase berat yang lolos pada tiap saringan
9.5 mm (3/8 in)	100
4.76 mm (No. 4)	95 – 100
2.36 mm ( No.8)	80 – 100
1.19 mm (No.16)	50 – 85
0.595 mm ( No.30 )	25 – 60 0
0.300 mm (No.50)	10 – 30
0.150 mm (No.100)	2 - 10

Sumber : (ASTM, 1995)

2. Kadar Lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no.200), tidak boleh melebihi 5% (ternadap berat kering). Apabila kadar Lumpur melampaui 5% maka agragat harus dicuci.
3. Kadar Liat tidak boleh melebihi 1% (terhadap berat kering).
4. Agregat halus harus bebas dari pengotoran zat organik yang akan merugikan beton, atau kadar organik jika diuji di laboratorium tidak menghasilkan warna yang lebih tua dari standart percobaan Abrams – Harder.

5. Agregat halus yang digunakan untuk pembuatan beton dan akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaihan yang berlebihan di dalam mortar atau beton dengan semen kadar alkalinnya tidak lebih dari 0,60% atau dengan penambahan yang bahannya dapat mencegah pemuaihan.
6. Sifat kekal (keawetan) diuji dengan larutan garam sulfat :
  - a. Jika dipakai Natrium – Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%.
  - b. Jika dipakai Magnesium – Sulfat, bagian yang hancur maksimum 15%.

### **3.3.2. Agregat Kasar**

Yang dimaksud dengan agregat kasar adalah agregat yang berukuran lebih besar dari 5 mm, sifat yang paling penting dari suatu agregat kasar adalah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia. Serta ketahanan terhadap penyusutan.

Agregat kasar yang digunakan pada campuran beton harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

1. Susunan butiran (gradasi) Agregat harus mempunyai gradasi yang baik, artinya harus terdiri dari butiran yang beragam besarnya, sehingga dapat

mengisi rongga-rongga akibat ukuran yang besar, sehingga akan mengurangi penggunaan semen atau penggunaan semen yang minimal. Agregat kasar harus mempunyai susunan butiran dalam batas-batas seperti yang terlihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Susunan Besar Butiran Agregat Kasar

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Persentase Lolos Kumulatif (%)
38,10	95 - 100
19,10	35 - 70
9,52	10 - 30
4,75	0 - 5

*Sumber : (ASTM, 1995)*

2. Agregat kasar yang digunakan untuk pembuatan beton dan akan mengalami basah dan lembab terus menerus atau yang akan berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaihan yang berlebihan di dalam mortar atau beton.
3. Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang keras dan tidak berpori atau tidak akan pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari atau hujan.
4. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no.200), tidak boleh melebihi 1% (terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melebihi 1% maka agregat harus dicuci.

5. Kekerasan butiran agregat diperiksa dengan bejana Rudellof dengan beban penguji 20 ton dimana harus dipenuhi syarat berikut:
  - a. Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5 - 19,1 mm lebih dari 24% berat.
  - b. Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19,1 - 30 mm lebih dari 22% berat.
6. Kekerasan butiran agregat kasar jika diperiksa dengan mesin Los Angeles dimana tingkat kehilangan berat lebih kecil dari 50%.

#### **3.4. Bata Citicon**

Bata ringan *citicon* adalah bata ringan AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*) sebagai salah satu alternatif solusi untuk *Smart Building*, sehingga Bata ringan *citicon* lebih ekonomis dibandingkan dengan produk sejenis.

Bata ringan *citicon* memberikan kemudahan, kecepatan serta kerapian bagi kebutuhan konstruksi, baik berupa bangunan rumah tinggal, gedung komersial, bangunan industri dan fasilitas umum lainnya. Dengan bata ringan *citicon*, dapat lebih efektif, cepat, dengan harga bata ringan yang kompetitif dibandingkan dengan bata konvensional.

#### **3.5. Pasir**

Pasir alam terbentuk dari pecahan batu karena beberapa sebab. Berdasarkan cara memperolehnya pasir digolongkan menjadi :

1. Pasir galian adalah pasir yang diperoleh langsung dari permukaan tanah dengan cara menggali terlebih dahulu . pasir ini biasanya tajam, bersudut, berpori, dan bebas dari kandungan garam, tetapi biasanya dibersihkan dari kotoran / lumpur dengan cara dicuci.
2. Pasir sungai adalah pasir yang diperoleh langsung dari dasar sungai yang umumnya berbutir halus, bulat-bulat, akibat proses gesekan. Daya lekat antar butiran agak kuran, namun karena ukuran butirannya kecil, baik digunakan untuk plesteran tembok.
3. Pasir laut adalah pasir yang diperoleh dari pantai. Butirannya halus dan bulat karena gesekan namun merupakan pasir yang paling tidak baik digunakan dalam campuran beton, dikarenakan banyak sekali mengandung garam-garaman. Garam-garaman ini menyerap kandungan air dalam udara dan ini mengakibatkan pasir mengembang bila sudah menjadi bangunan dan menyebabkan korosi pada tulangan. Pasir jenis ini tidak disarankan untuk dipakai dalam pembuatan beton.

### **3.6. Air**

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting namun harganya paling murah. Air diperluakan untuk berreaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butiran-butiran agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 30% dari berat semen saja, Jika dalam penggunaannya terjadi

kelebihan air, maka kekuatan beton yang dihasilkan jika akan rendah serta beton menjadi porous / berongga. Hal ini disebabkan karena adanya peristiwa *bleeding*, yaitu pergerakan air ke permukaan bersama dengan partikel semen pada adukan beton segar yang baru saja di tuang, tempat yang ditinggalkan partikel semen ini akan menjadi ruang-ruang kosong pada beton.

Air yang dapat dipakai untuk bahan campuran beton ialah air yang apabila digunakan pada campuran beton akan menghasilkan beton dengan kekuatan 90% dari beton dengan menggunakan air suling.

Air memiliki beberapa pengaruh terhadap kekuatan beton antara lain :

1. Air merupakan media pencampuran pada pembuatan pasta.
2. Kekuatan dari pasta pengerasan semen ditentukan oleh perbandingan berat antara air dan faktor semen.
3. Kandungan air yang tinggi menghalangi proses pengikatan, dan kandungan air yang rendah reaksi tidak selesai. Kandungan air yang tinggi dapat mengakibatkan
  - a. Mudah mengerjakannya
  - b. Kekuatan rendah
  - c. Beton dapat menjadi berporos

Dalam pemakaian air untuk pembuatan beton sebaiknya air memenuhi beberapa syarat sebagai berikut:

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram / liter.

2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram / liter.
3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram / liter.
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram / liter

Untuk air perawatan, dapat dipakai juga air yang dipakai untuk pengadukan, tetapi harus yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan beton. Besi dan zat organik dalam air umumnya sebagai penyebab utama pengotoran atau perubahan warna, terutama jika perawatan cukup lama.

### **3.7. Zeolit**

Zeolit berasal dari kata “zeinlithos” yang berarti batuan berbuih. Zeolit merupakan kristal alumina silikat dengan rumus empiris  $M_x/n.(AlO_2)_x.(SiO_2)_y.xH_2O$ . Zeolit merupakan suatu kelompok mineral yang dihasilkan dari proses hidrotermal pada batuan beku basa. Mineral ini biasanya dijumpai mengisi celah-celah ataupun rekahan dari batuan tersebut. Selain itu zeolit juga merupakan endapan dari aktivitas vulkanik yang banyak mengandung unsur silika. Pada saat ini penggunaan mineral zeolit semakin meningkat, dari penggunaan dalam industri kecil hingga dalam industri berskala besar. Komposisi kimia pada zeolit dapat dilihat pada Tabel 3.4

Tabel 3.4 Komposisi Mineral Zeolit

Oksida	Persen (%)
$\text{SiO}_2$	62,75
$\text{Al}_2\text{O}_3$	15,48
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,83
CaO	3,42
MgO	0,87
$\text{Na}_2\text{O}$	1,32
$\text{K}_2\text{O}$	1,39
MnO	0,05
$\text{TiO}_2$	0,35
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,04
$\text{H}_2\text{O}$	0,38
HD	13,12

Sumber : Laboratorium kimia, Dirjen Geologi dan Sumberdaya Mineral, Direktorat Vulkanologi Yogyakarta

Lianasari (2011), zeolit dalam campuran beton diharapkan dapat memberikan reaksi pozzolanik sehingga mampu meningkatkan mutu beton. Reaksi ini sering disebut reaksi sekunder yang berlangsung lebih lambat dan berlaku lebih lama, sehingga dapat diasumsikan mutu beton diatas 28 hari masih dapat meningkat. Campuran beton dengan zeolit akan memiliki waktu pengerasan yang lebih lama dibandingkan dengan beton normal. Penggunaan zeolit juga diharapkan dapat meningkatkan viskositas beton sekaligus mencegah terjadinya *bleeding* dan segregasi.

### 3.8. Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton keras untuk menahan gaya tekan dalam setiap satu satuan luas permukaan beton. Secara teoritis, kekuatan tekan beton dipengaruhi oleh kekuatan komponen-komponennya yaitu; a) pasta semen, b) volume rongga, c) agregat, dan d) *interface* (hubungan antar muka) antara pasta semen dengan agregat. Dalam pelaksanaannya di lapangan, faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton adalah:

- a. Nilai faktor air semen. Untuk memperoleh beton yang mudah dikerjakan, diperlukan faktor air semen minimal 0,35. Jika terlalu banyak air yang digunakan, maka akan berakibat kualitas beton menjadi buruk. Jika nilai faktor air semen lebih dari 0,60, maka akan berakibat kualitas beton yang dihasilkan menjadi kurang baik.
- b. Rasio agregat-semen. Pasta semen berfungsi sebagai perekat butir-butir agregat, sehingga semakin besar rasio agregat-semen semakin buruk kualitas beton yang dihasilkan, karena kuantitas pasta semen yang menyelimuti agregat menjadi berkurang.
- c. Derajat kepadatan. Semakin baik cara pemadatan beton segar, semakin baik pula kualitas yang dihasilkan. Pemadatan di lapangan biasa dilakukan dengan potongan besi tulangan  $\varnothing 16$  yang ditumpulkan, atau dengan alat bantu vibrator.
- d. Umur beton. Semakin bertambah umur beton, semakin meningkat pula kuat tekan beton. Pada umumnya, pelaksanaan di lapangan, bekisting dapat dilepas setelah berumur 14 hari, dan dianggap mencapai kuat tekan

100% pada umur 28 hari.

- e. Cara perawatan. Beton dirawat di laboratorium dengan cara perendaman, sedangkan di lapangan dilakukan dengan cara perawatan lembab (menutup beton dengan karung basah) selama 7 - 14 hari.
- f. Jenis semen. Semen tipe I cenderung bereaksi lebih cepat daripada PPC. Semen tipe I akan mencapai kekuatan 100% pada umur 28 hari, sedangkan PPC diasumsikan mencapai kekuatan 100% pada umur 90 hari.
- g. Jumlah semen. Semakin banyak jumlah semen yang digunakan, semakin baik kualitas beton yang dihasilkan, karena pasta semen yang berfungsi sebagai matriks pengikat jumlahnya cukup untuk menyelimuti luasan permukaan agregat yang digunakan.
- h. Kualitas agregat yang meliputi: a) gradasi, b) tekstur permukaan, c) bentuk, d) kekuatan, e) kekakuan, dan f) ukuran maksimum agregat.

Nilai kuat tekan diperoleh dari pengujian terhadap silinder beton (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) yang diberikan beban dan ditekan sampai hancur. Rumus yang digunakan dalam menentukan nilai kuat tekan beton yaitu :

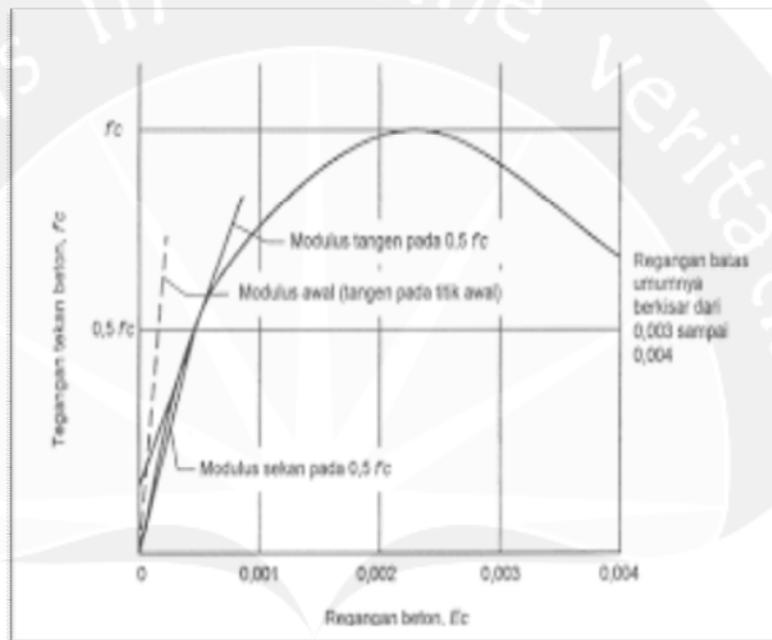
$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3-1)$$

Keterangan:

- $f'c$  = kuat tekan (MPa)
- $P$  = beban tekan (N)
- $A$  = luas penampang benda uji silinder (mm<sup>2</sup>)

### 3.9. Modulus Elastis

Modulus elastisitas adalah kekuatan untuk menahan gaya-gaya lentur yang terjadi. Beton yang sedang menahan beban akan terbentuk suatu hubungan regangan dan tegangan yang merupakan fungsi dari waktu pembebanan. Beton menunjukkan sifat elastis murni pada waktu menahan beban singkat.



Gambar 3.1. Kurva tegangan-regangan untuk beton dalam tekan

(Sumber : Wang, 1990)

Kemiringan garis singgung pada segmen pertama garis parabola didefinisikan sebagai Modulus Tangen (Tangen Modulus) dianggap sebagai modulus elastisitas beton  $E_c$ , sedang kemiringan yang melalui titik  $0,5 f'_c$  adalah Modulus Sekan (*Secant Modulus*), yang umum diambil sebagai modulus elastisitas. Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 digunakan rumus nilai modulus elastisitas sebagai berikut :

$$E_c = 0.043 \times (W_c)^{1.5} \times \sqrt{f'_c} \quad (3-2)$$

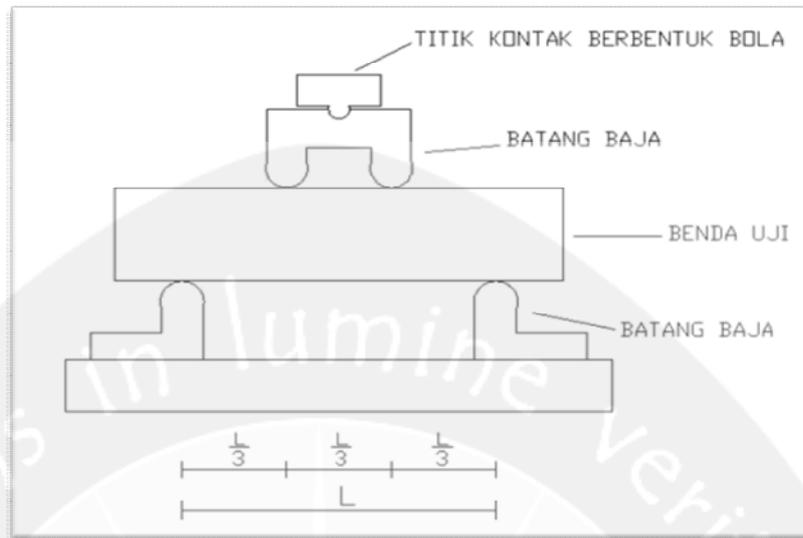
Keterangan :

- $E_c$  = Modulus elastisitas beton ( $\text{kg/cm}^2$ )  
 $W_c$  = Berat isi beton kering oven ( $\text{kg/cm}^3$ )  
 $f'_c$  = Kuat tekan beton ( $\text{kg/cm}^2$ )

### 3.10. Kuat Lentur

Kuat lentur balok adalah nilai tegangan tarik yang dihasilkan dari momen lentur dibagi dengan momen penahan penampang benda uji. Kuat lentur balok merupakan faktor penting dalam menentukan sifat-sifat mekanis dan karakteristik beton itu sendiri. Komponen-komponen yang mempengaruhi kekuatan beton 20 adalah faktor air semen, derajat kepadatan, umur beton, jenis semen, jumlah semen dan kualitas agregat.

Jarak titik belah balok sampai ujung balok sangat penting untuk menentukan rumus yang dipakai. Salah satu metode yang sering digunakan untuk menguji kuat lentur balok adalah pengujian lentur balok dengan dua titik pembebanan seperti dilihat pada gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 Pengujian Kuat Lentur Dua Titik Balok

Metode pengujian kuat lentur balok dengan dua titik pembebanan diatur dalam SNI 03-4431-2011. Kuat lentur balok sederhana dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{Pl}{bd^2} \quad (3-3)$$

Keterangan :

- $\sigma$  = Kuat lentur (MPa)
- $P$  = beban maksimum (N)
- $l$  = panjang bentang antara kedua balok tumpuan (mm)
- $b$  = lebar balok rata-rata penampang runtuh (mm)
- $d$  = tinggi balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)