

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Beton**

Beton adalah campuran semen Portland, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan. Sifat-sifat beton pada umumnya dipengaruhi oleh kualitas bahan, cara pengerjaan dan cara perawatannya.

Pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1%-2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25%-40%, dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60%-75%. Untuk mendapatkan kekuatan yang baik, sifat dan karakteristik dari masing-masing bahan penyusun tersebut perlu dipelajari (Mulyono, 2004).

Beton terdiri dari beberapa campuran dan bahan tambahan. Bahan-bahan penyusun beton antara lain:

##### **2.1.1 Semen**

Berdasarkan SNI-15-0302-2004, semen PPC (Portland Pozzolan Cement) yaitu suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozzolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozzolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozzolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozzolan 6% sampai dengan 40% massa semen portland pozzolan. Semen PPC dibagi 4 (empat jenis) menurut jenis dan penggunaannya yaitu:

1. Jenis IP-U yaitu semen portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton.
2. Jenis IP-K yaitu semen portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton, semen untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis P-U yaitu semen portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi.
4. Jenis P-K yaitu semen portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi, serta untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi rendah.

Dalam (Setyowati et al, 2003) menjelaskan, salah satu faktor yang mempengaruhi kekerasan semen adalah kehalusan butiran semen. Sifat yang berhubungan dengan pengaruh kehalusan butiran semen adalah:

1. Kekuatan awal beton yang tinggi
2. Cepat mundurnya mutu semen jika terpengaruh cuaca
3. Reaksi kuat dengan bahan – bahan yang reaktif
4. Mengurangi retak – retak
5. Daya penyusutan beton yang tinggi
6. Pengikatan awal yang cepat
7. Kebutuhan air pada beton yang lebih banyak
8. Mengurangi *bleeding* ketika proses pengecoran

### 2.1.2 Agregat Halus

Agregat halus (pasir) adalah agregat yang semua butirannya menembus ayakan dengan lubang 4,8 mm. Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara ukuran No.4 dan No.100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No.100, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton. Variasi ukuran dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik, yaitu sesuai dengan standar analisis saringan dari ASTM (Nawy, 2010).

Persyaratan mutu agregat halus:

1. Batas gradasi agregat halus sesuai SNI 03-2834-2000 dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1

Persyaratan Batasan Gradasi Agregat Halus SNI 03-2834-2000

Lubang Ayakan (mm)	Persen Bahan Butiran yang Lewat Ayakan			
	No. 1 (Pasir Kasar)	No. 2 (Pasir Sedang)	No. 3 (Pasir Agak Halus)	No. 4 (Pasir Halus)
9,6	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : SNI 03-2834-2000

2. Modulus Halus Butir (MHB) agregat halus sesuai ASTM C-33 yaitu 2,20%-3,10%. MHB 2,5 s/d 3,0 disarankan untuk beton mutu tinggi.
3. Berat jenis (*specific gravity*) agregat halus sesuai ASTM C-33 yaitu 1,60-3,20
4. Absorpsi (penyerapan air) sesuai ASTM C-33 yaitu 0,2%-2,0%.
5. Spesifikasi berat volume sesuai ASTM C-33 yaitu 3%-5%.

6. Kadar lumpur agregat halus sesuai spesifikasi ASTM C-33 yaitu 0,2%-6,0%.

### 2.1.3 Agregat Kasar

Agregat Kasar atau kerikil merupakan agregat yang semua butirannya tertinggal di atas ayakan dengan lubang 4,8 mm. Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel dan semen.

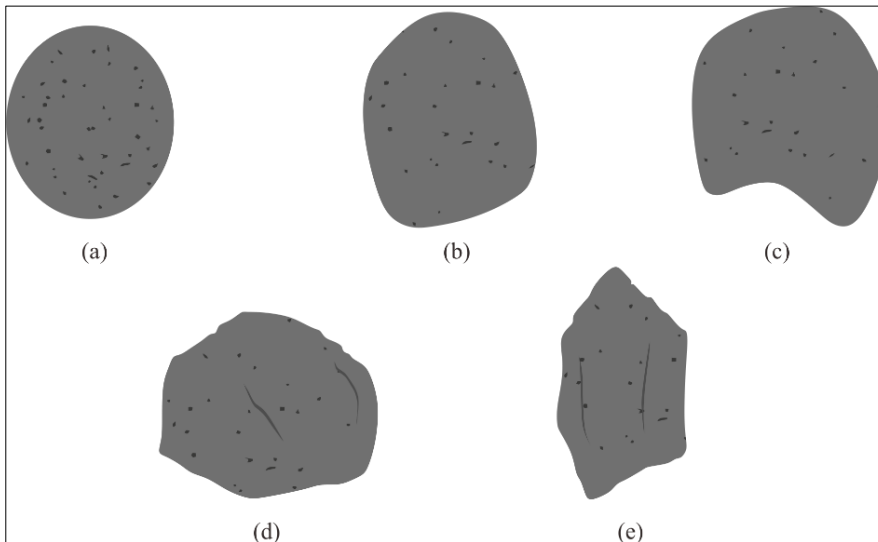
Jenis agregat kasar yang umum digunakan adalah:

- a) Batu pecah alami, didapatkan dari cadas atau batu pecah alami yang digali.
- b) Kerikil alami, didapatkan dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir.
- c) Agregat kasar buatan, berupa *slag* atau *shale* yang digunakan untuk beton berbobot ringan.

#### 2.1.3.1 Tekstur dan bentuk agregat

Agregat untuk pembuatan beton memiliki ukuran dan bentuk tertentu yang sangat bervariasi. Ukuran dan bentuk dari agregat adalah satu hal yang penting dalam karakteristik agregat. Dalam hal ini terdapat istilah *roundness*, yaitu ukuran relatif besarnya sudut – sudut dari tepi agregat. *Roundness* pada umumnya dikontrol oleh kekuatan dan ketahanan dari batu induk. Dalam kasus *crushed aggregates*, entuk dari agregat bergantung pada kondisi alam dari batu induk dan tipe penghancuran serta rasio reduksinya, yaitu rasio ukuran dari material yang dimasukkan kedalam alat penghancur dengan produk agregat yang dihasilkan. Klasifikasi dari bentuk agregat pada umumnya adalah sebagai berikut :

- a) *Well rounded* – bentuk asli dari batuan induk sudah tidak ada
- b) *Rounded* – bentuk asli batuan induk sudah hampir hilang
- c) *Stubrounded* – permukaan sudah halus namun bentuk asli batu induk masih tetap ada
- d) *Subangular* – terdapat permukaan yang halus
- e) *Angular* – bentuk tidak teratur



Gambar 2.1 Macam – macam bentuk agregat (a) *Well rounded*, (b) *Rounded*, (c) *Subrounded*, (d) *Subangular*, (e) *Angular*

Selain dari bentuk agregat, perlu diperhatikan pula tekstur permukaan agregat. Tekstur permukaan agregat ini bergantung pada kekerasaannya, ukuran butiran, porositas dari material induknya, dan juga besarnya energi yang terjadi pada permukaan, membuat agregat lebih halus atau lebih kasar. Klasifikasi tekstur permukaan agregat ini didasarkan pada derajat apakah permukaan agregat licin atau tidak, halus atau kasar.

Bentuk dan tekstur permukaan dari agregat mempengaruhi kekuatan dari beton, dimana *flexural strength* lebih terpengaruh dibandingkan dengan *compressive strength*. Pengaruh ini didasarkan pada asumsi bahwa tekstur yang lebih kasar akan menghasilkan kekuatan adhesi yang lebih besar antar partikel dengan matriks semen. Sama halnya dengan semakin luas permukaan agregat maka semakin besar kekuatan adhesi yang dihasilkan. Namun disatu sisi, dengan digunakannya agregat yang permukaannya kasar, akan menyebabkan dibutuhkan air yang lebih banyak pada campuran beton.

### 2.1.3.2 Ikatan Agregat

Ikatan antar agregat dan pasta semen adalah faktor penting dalam menyumbang kekuatan beton, terutama dalam kuat tariknya. Pada permukaan yang kasar, seperti pecahan batu, akan memberikan ikatan yang lebih kuat dengan pasta semen. Ikatan yang lebih baik juga didapat dari partikel yang kandungan mineralnya heterogen dan bersifat porous. Selain itu, ikatan agregat juga dipengaruhi oleh properti fisik dan kimiawi dari agregat, yang berhubungan dengan komposisi mineral serta kimiawi dan kondisi elektrostatis dari permukaan agregat.

Dalam perencanaan beton, salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah *workability*. Dengan *workability* yang cukup, segregasi pada beton akan berkurang sehingga didapatkan kepadatan beton yang maksimum. Distribusi ukuran agregat berpengaruh pada kemudahan pengerjaan beton. Gradasi agregat yang baik adalah agregat yang memiliki distribusi ukuran butir agregat yang beraturan. Gradasi agregat yang demikian akan memberikan kepadatan yang cukup untuk mengoptimalkan kekuatan akhir beton. Dalam SNI 03-2834-2000 terdapat syarat mengenai batasan gradasi agregat kasar sebagai berikut :

Tabel 2.2

Persyaratan Batasan Gradasi Untuk Agregat Kasar Sesuai SNI 03-2834-2000

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lewat ayakan		
	Ukuran nominal agregat (mm)		
	38 – 4,76	19 – 4,76	9,6 – 4,76
38,1	95 – 100	100	
19	37 – 70	95 – 100	100
9,52	10 – 40	30 – 60	50 – 85
4,76	0 - 5	0 – 10	0 – 10

Sumber : SNI 03-2834-2000

Modulus Halus Butir (MHB), modulus kehalusan butir (*Fineness Modulus*) atau MHB, spesifikasi modulus halus butir agregat kasar sesuai ASTM C-33 yaitu

1. Absorpsi dan berat jenis (*specific gravity*) agregat kasar, spesifikasi berat jenis agregat kasar sesuai ASTM C-33 yaitu 1,60-3,20 dan absorpsi pada nilai 0,2-0,4%. Untuk beton mutu tinggi akan baik dengan absorpsi kurang dari 1%.
2. Berat volume agregat kasar, spesifikasi berat volume agregat kasar sesuai ASTM C-33 yaitu 1,6-1,9 kg/liter.
3. Kadar air agregat kasar, spesifikasi kadar air agregat kasar sesuai ASTM C-33 yaitu 0,5%-50%.
4. Kadar lumpur agregat kasar sesuai spesifikasi ASTM C-33 yaitu 0,2%-1,0%.
5. Persentase keausan agregat kasar sesuai spesifikasi ASTM C-33 adalah 15%-50%.

### 2.1.3.3 Batu Beku

Kerikil merupakan batu andesit yang termasuk dalam golongan batuan beku vulkanik hasil erupsi atau letusan gunung api. Batuan ini mengandung silika 56,77 %, padat, keras, mempunyai tekstur halus, berwarna abu-abu kegelapan sampai hitam. Secara fisik batu andesit mempunyai berat jenis antara 1,6-2,9 dengan berat isi sebesar 1635-2870 kg/m<sup>3</sup>, porositas sebesar 1-2%, absorbs sekitar 0,8% dan kekerasan berkisar 5-6 Moh's. Secara mekanis batu andesit memiliki kuat tekan sebesar 60-240 MPa, modulus elastisitas sebesar 20-60 MPa dan kuat tarik belah sebesar 13-20 MPa.

### 2.1.4 Batu *Onyx*

*Marble Institute of America* (2016) menjelaskan, *onyx* terdiri dari mikrokristalin yang merupakan kalsit kasar dan biasanya juga mengandung aragonit. Mikrokristal tersebut terbentuk dari material bertekstur serat dan lamelar. Biasanya batuan ini tersusun sebagai material yang tembus cahaya dengan berbagai warna yang tergantung pada jumlah zat oksida besi yang bervariasi, warna kuning coklat yang ada pada *onyx* terjadi akibat adanya oksida besi, namun ada juga yang keputih – putihan, kuning muda, orange madu, kuning, merah dan hijau gelap.

*Marble Institute* (2016), juga menjelaskan tentang sifat mekanik dari beberapa batuan *onyx* didunia yaitu :

Tabel 2.3  
Sifat Mekanik *Onyx*

<i>Onyx Name</i>	<i>Country Of Origin</i>	<i>Absorption % by weight</i>	<i>Density</i>		<i>Compressive Strenght</i>	
			<i>kg/m3</i>	<i>lbs/ft3</i>	<i>MPa</i>	<i>Lbs/in2</i>
<i>Akhisar Onyx</i>	Turkey	0,30	2,700	168,6	39,2	5,690
<i>Songwe Onyx</i>	Tanzania	0,07	2,77	172,9		
<i>Onice Smeraldo</i>	Iran	0,19	2,900	181,0	53,5	7,680
<i>Onice Verde</i>	Pakistan	0,15	2,548	159,1	48,1	6,970
<i>Honey Onyx</i>	Turkey	0,50	2,690	167,9	84,5	12,26
<i>White Onyx</i>	Iran	0,03	2,700	168,6	79,9	11,59
<i>Orange Onyx</i>	Iran	0,03	2,720	169,8	75,9	11,01
<i>Light Green Onyx</i>	Iran	0,02	2,730	170,4	105,1	15,24
<i>Vista Grande Onyx</i>	USA	0,11	2,589	161,6	46	6,668
<i>Multicolor Onyx</i>	Pakistan	0,12	2,730	170,4	133,1	19,30
<i>Rosa Grande Onyx</i>	USA	0,11	2,589	161,6	46	6,668
<i>Light Green Onyx</i>	Pakistan	0,01	2,728	170,3	20,208	20,208

Sumber : *Marble Institute* (2016)

*Onyx* adalah jenis batu kuarsa yang sering disebut juga dengan marmer tembus cahaya. Umumnya berwarna putih kekuningan dan agak bening sehingga tembus pandang. *Onyx* terjadi pada rongga atau tekanan batu kuarsa yang berasal dari larutan kalsium karbonat baik yang terjadi pada temperature panas atau dingin, sehingga terjadi pengkristalan. Menurut Herve Nicolas Lazzarelli, (*Blue Chart Gem Identification*, 2010) batu *onyx* memiliki indeks kekerasan 6,5 – 7 mohs dengan berat jenis 2,55 hingga 2,70. Dari hasil uji laboratorium didapatkan keausan sebesar 24% (Anissa, 2016, pp. 30)

*Onyx* terbentuk dari metamorfosis batu kapur atau Dolomit. Apa yang membuat batuan ini berbeda dari batuan karbonat sedimen, adalah kristal yang lebih besar. Komponen

mineral utama adalah Kalsit, yang sering disertai kuarsa, grafit, hematit, limonit, pirit dan sebagainya. Analisis fisik batu *onyx*:

1. Penyerapan air kurang dari 1%
2. Kepadatan rata-rata 2,7 gr / cm<sup>3</sup>
3. Kekuatan tekan antara 19 - 140 MPa dan kekuatan tekan rata-rata 110 MPa
4. Kekuatan lentur 6 - 15 MPa
5. Kekuatan tarik rata-rata 4 MPa
6. Porositas relatif rendah dan bervariasi dari 0,3% - 1,2%



*Gambar 2.2* Limbah produksi kerajinan batu *onyx* desa Gamping  
**2.1.5 Air**

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan dapat juga mengubah sifat-sifat semen. Selain itu, air yang demikian dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan mungkin pula mempengaruhi kemudahan pengerjaan. (Nawy, 2010).

Adapun persyaratan untuk jenis air yang bisa untuk digunakan pada campuran beton sebagai berikut:

1. Air tidak lah mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2gr/lit.
2. Air yang digunakan tidak mengandung garam-garam yang bisa merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya).
3. Air tidak boleh mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/lit

4. Tidak boleh mengandung senyawa-senyawa sulfat lebih dari 1 gr/lt yang bisa menurunkan kualitas pada beton.

### **2.1.6 Mix Design**

Perencanaan campuran (*mix design*) bertujuan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan-bahan penyusun beton. Hal ini dilakukan agar proporsi campuran dapat memenuhi syarat teknis dan ekonomis. Penentuan proporsi campuran dapat digunakan dengan beberapa metode sebagai berikut dalam (Mulyono, 2004):

1. Metode *American Concrete Institute* (ACI) menjelaskan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonomisnya adalah dengan memperhatikan adanya bahan-bahan di lapangan, kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan, dan baiknya kekuatan beton. Cara ACI melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*).
2. Metode *Road Note No.4*, cara perancangan ini ditekankan pada pengaruh gradasi agregat terhadap kemudahan pengerjaan.
3. Metode SNI 03-2834-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal
4. Metode desain campuran *Portland Cement Association* (PCA) dasarnya serupa dengan metode ACI sehingga secara umum hasilnya akan saling mendekati. Penjelasan lebih detail dapat dilihat dalam Publikasi PCA, *Portland Cement Association, Design and Control of Concrete Mixtures, 12<sup>th</sup> edition.*, Skokie, Illinois, USA:PCA, 1979, 140 pp.

### **2.2. Beton Bertulang**

Beton bertulang adalah beton yang diberi tulangan dimana luas dan jumlah tulangan tidak kurang dari nilai minimum, disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja (SNI, 2002). Beton bertulang merupakan gabungan dua jenis bahan yaitu beton yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi kekuatan tarik rendah, dan baja yang ditanamkan didalam beton dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan.

Baja dan beton dapat bekerja sama atas dasar beberapa alasan:

1. Lekatan (interaksi antara batangan baja dengan beton keras sekelilingnya) yang mencegah selip dari baja relatif terhadap beton
2. Campuran beton yang memadai memberikan sifat anti resap yang cukup dari beton mencegah karat baja



3. Angka kecepatan muai yang hampir sama yakni dari 0,0000055 sampai dengan 0,0000075 untuk beton dan 0,0000065 untuk baja per derajat Fahrenheit ( $^{\circ}$  F) atau dari 0,000010 sampai 0,000013 untuk beton dan 0,000012 untuk baja per deracat Celcis ( $^{\circ}$  C) menimbulkan tegangan antara baja dan beton yang dapat diabaikan di bawah perubahan suhu udara.

### 2.2.1 Kekuatan Beton Bertulang

Menurut SNI-03-3847-2002, pada perhitungan struktur beton bertulang, beberapa istilah kekuatan suatu penampang adalah sebagai berikut:

1. Kuat nominal, kekuatan suatu komponen struktur yang dihitung dari ketentuan dan asumsi metode perencanaan sebelum dikalikan dengan nilai faktor reduksi kekuatan atau kekuatan beton pada kondisi normal.
2. Kuat rencana, kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperoleh dari hasil perkalian antar kuat nominal dan faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ).
3. Kuat perlu, kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya yang berkaitan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi beban.

### 2.2.2 Balok Persegi Bertulangan Tunggal

Beban-beban luar yang bekerja pada struktur akan menyebabkan lentur dan deformasi pada elemen struktur. Lentur yang terjadi pada balok merupakan akibat adanya regangan yang timbul karena adanya beban dari luar. Apabila beban luar yang bekerja terus bertambah, maka balok akan mengalami deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya terus bertambah sampai batas kapasitas baloknya, maka balok akan runtuh. Taraf pembebanan seperti ini disebut dengan keadaan limit dari keruntuhan pada lentur. Oleh karena itu, pada saat perencanaan, balok harus didesain sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak berlebihan pada saat beban bekerja dan mempunyai keamanan cukup dan kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami runtuh.

Adapun jenis-jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada balok beton bertulang adalah sebagai berikut :

1. Keruntuhan tarik (*Under-Reinforced*)

Keruntuhan tarik terjadi bila jumlah tulangan baja tarik sedikit sehingga tulangan tersebut akan leleh terlebih dahulu sebelum betonnya pecah, yaitu apabila regangan baja ( $\epsilon_s$ ) lebih

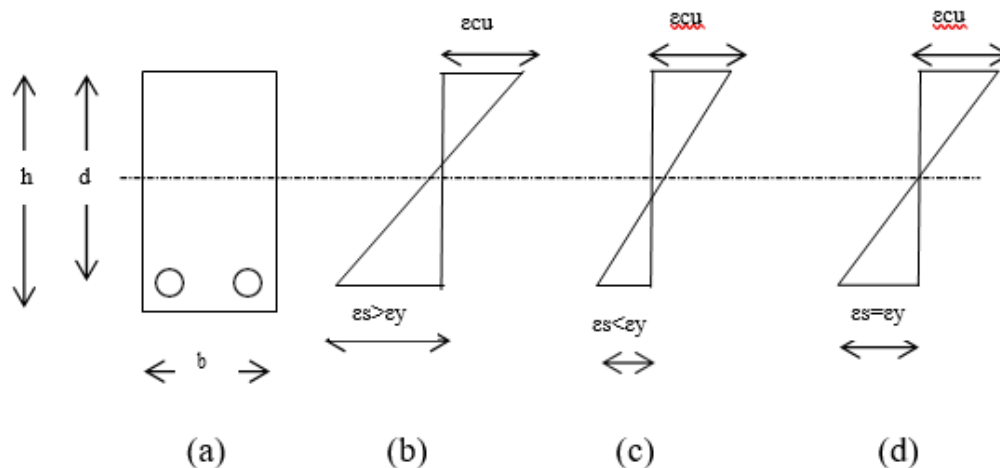
besar dari regangan beton ( $\epsilon_y$ ). Penampang seperti itu perilakunya sama seperti yang dilakukan pada pengujian yaitu terjadi keretakan pada balok tersebut.

## 2. Keruntuhan tekan (*Over-reinforced*)

Keruntuhan tekan terjadi bila jumlah tulangan vertikal banyak maka keruntuhan dimulai dari beton sedangkan tulangan bajanya masih elastis, yaitu apabila regangan baja ( $\epsilon_s$ ) lebih kecil dari regangan beton ( $\epsilon_y$ ). Penampang seperti itu sifat keruntuhannya adalah getas (non-daktail). Suatu kondisi yang berbahaya karena penggunaan bangunan tidak melihat adanya deformasi yang besar yang dapat dijadikan petanda bilamana struktur tersebut mau runtuh, sehingga tidak ada kesempatan untuk menghindarinya terlebih dahulu.

## 3. Keruntuhan seimbang (*balance*)

Keruntuhan balance terjadi jika baja dan beton tepat mencapai kuat batasnya, yaitu apabila regangan baja ( $\epsilon_s$ ) sama besar dengan regangan beton ( $\epsilon_y$ ). Jumlah penulangan yang menyebabkan keruntuhan balance dapat dijadikan acuan untuk menentukan apakah tulangan tarik sedikit atau tidak, sehingga sifat keruntuhan daktail atau sebaliknya.



Gambar 2.3 Jenis-jenis keruntuhan lentur

Keterangan Gambar 2.2

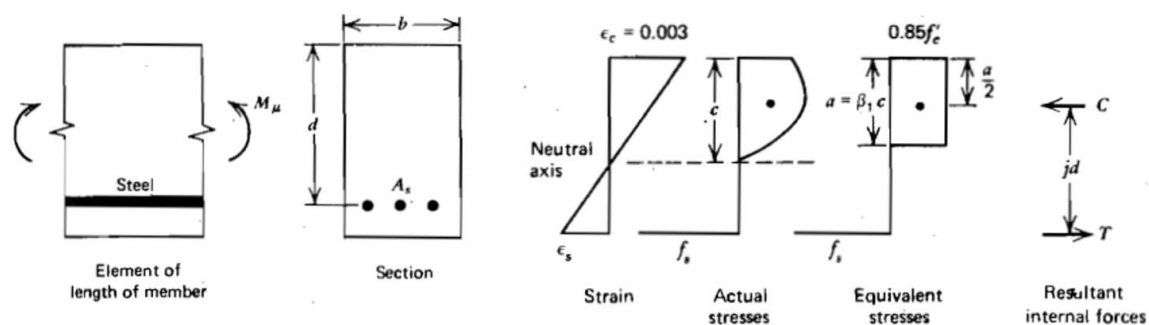
Gambar (a) Penampang balok bertulangan tunggal

Gambar (b) Distribusi regangan ultimate pada keruntuhan *under-reinforced*

Gambar (c) Distribusi regangan ultimate pada keruntuhan *over-reinforced*

Gambar (d) Distribusi regangan ultimate pada keruntuhan *balance*

### 2.2.3 Perhitungan Kekuatan Lentur Ultimate Balok



Gambar 2.4 Analisa penampang balok bertulangan tunggal

Sumber: R. Park and T. Paulay, 1975

Pada gambar di atas, gaya tekan pada beton ( $C_c$ ) adalah :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad (2-1)$$

Dan gaya tarik pada baja ( $T$ ) adalah :

$$T = A_s \cdot F_y \quad (2-2)$$

Keseimbangan gaya horizontal (gambar d)

$$\sum H = 0$$

$$T = C_c$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (2-3)$$

Besar Momen Nominal Balok Bertulangan Tunggal

$$M_n = C_c \times Z \quad (2-4)$$

$$M_n = C_c \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (2-5)$$

Momen ultimate ( $M_u$ ) yang dapat dipikul oleh balok adalah :

$$M_u < \phi \cdot M_n \quad (2-6)$$

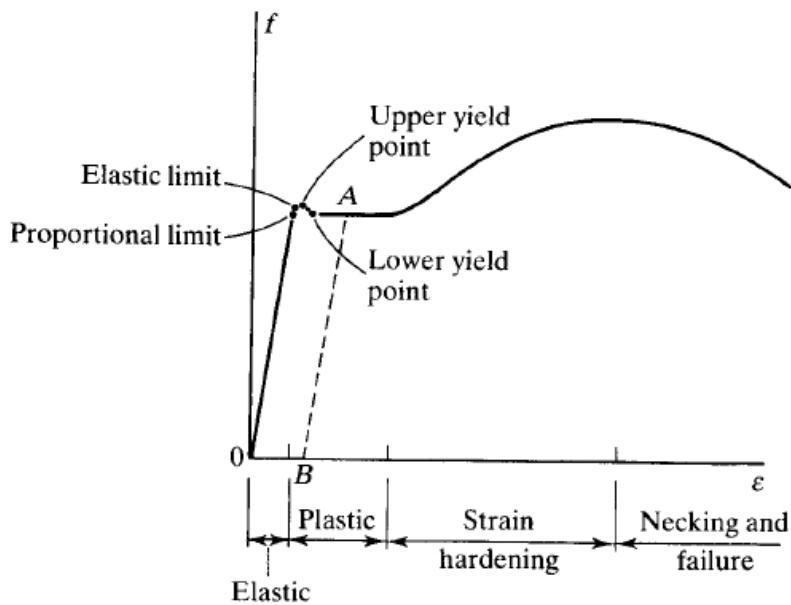
$$M_u = 0,8 \times M_n \quad (2-7)$$

### 2.3 Tulangan Baja

Menurut SNI 03-2847-2002, tulangan yang dapat dipakai dalam elemen beton bertulang hanya baja tulangan dan kawat baja. Baja tulangan yang banyak dipasarkan adalah baja

tulangan polos (BJTP) dan baja tulangan ulir/deform (BJTD). Tulangan polos mempunyai tegangan leleh ( $f_y$ ) minimal 300 Mpa (BJTD-30).

Baja tulangan dapat menahan kuat tekan, tetapi harganya relatif mahal dan juga beton sudah dapat menahan kuat tekan maka baja tulangan diutamakan untuk menahan tarik pada struktur beton bertulang. Hubungan antara tegangan dan regangan tarik baja tulangan dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Hubungan antara tegangan dan regangan tarik baja tulangan  
Sumber: William T.Segui, 2007

Keterangan berikut merupakan penjelasan dari Gambar 2.5 :

1. Dalam zona awal regangan, tegangan dan regangan bersifat proporsional, kemiringan linier yang ada merupakan modulus young ( $E$ ) yang disebut juga sebagai modulus elastisitas. Daerah ini dinamakan sebagai zona elastik, zona ini berakhir dengan ditandai tercapainya kelelahan material ( $f_y$ ).
2. Setelah awal kelelahan terjadi zona berbentuk garis datar (*flat plateau*), pada zona ini setiap peningkatan nilai regangan yang terjadi tidak ada peningkatan tegangan yang mengiringinya. Daerah ini disebut sebagai zona plastik.
3. Saat zona plato plastik berakhir, *strain hardening* mulai terjadi dan secara bertahap meningkatkan nilai tegangan sampai mencapai ultimit ( $f_u$ ). Setelah itu tegangan cenderung menurun dengan bertambahnya regangan sebagai indikasi masuknya daerah *necking* yang akan diakhiri dengan kegagalan fraktur.

Bahan baja yang dinilai baik dalam kontribusinya terhadap perilaku struktur terutama dalam memikul beban gempa (siklik) yaitu yang memiliki daerah *strain hardening* dan

daerah *necking* yang panjang. Sifat ini menyebabkan baja akan berperilaku daktail sehingga secara struktural akan berperan besar dalam proses redistribusi tegangan saat terjadinya plastifikasi.

## 2.4 Lebar Retak

### 2.4.1 Lebar Retak Maksimum

Lebar retak maksimum yang diizinkan pada struktur bergantung pada fungsi struktur tersebut dan kondisi di sekitar lingkungan struktur. *ACI Commitee 224* memberikan petunjuk mengenai lebar retak maksimum yang diizinkan untuk berbagai kondisi lingkungan.

Tabel 2.4  
Toleransi Lebar Retak Beton

No	Kondisi Lingkungan	Lebar Retak	
		Inch	mm
1	Udara kering/membran terlindung	0,016	0,41
2	Udara lembab tanah	0,012	0,3
3	Senyawa kimia	0,007	0,18
4	Air laut basah/kering	0,006	0,15
5	Struktur penahan air (tidak termasuk pipa tak bertekanan)	0,004	0,10

Sumber: Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, G.Nawy, Edward, 2010

Lebar retak yang diijinkan oleh *ACI* untuk konstruksi yang berada di laut atau daerah yang basah maka maksimum lebar retak yang diijinkan adalah 0,2 mm. Sedangkan konstruksi yang tahan terhadap cuaca, lebar retak yang diijinkan adalah 0,41 mm. SNI 03-2847-2002 pasal 12.6 ayat 4 mengatakan bahwa nilai lebar retak yang diperbolehkan tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang didalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar.

### 2.4.2 Evaluasi Lebar Retak

Lebar retak yang terjadi pada struktur beton bertulang bervariasi dan tidak dapat ditentukan secara tepat. Sehingga syarat pembatasan harus dipenuhi adalah kemungkinan lebar maksimum yang terjadi tidak boleh melebihi lebar retak maksimum. Nilai maksimum lebar retak tergantung kondisi sekitar beton. Pada evaluasi lebar retak ini digunakan untuk menghitung besar lebar maksimum dan retak yang terjadi pada permukaan tarik suatu gelagar, dipakai rumus pada SNI 03-2847-2002 pasal 12.6 ayat 4.

$$\omega = 11 \times 10^{-6} \beta f_s (d_c \cdot A)^{1/3} \quad (2-8)$$

Dimana:

$\omega$  = lebar retak maksimum (mm)

$f_s$  = tegangan maksimum pada tulangan untuk taraf beton kerja yang apabila tidak dihitung dapat digunakan  $0,6 f_y$

$\beta$  =  $\frac{h-c}{d-c}$  = harga rata-rata faktor tinggi = 1,2

$h$  = tinggi penampang balok (mm)

$c$  = jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan (mm)

$d$  = tinggi efektif penampang balok (mm)

$d_c$  = tebal selimut beton sampai pusat tulangan (mm)

$A$  = luas beton yang tertarik dibagi dengan banyaknya tulangan ( $\text{mm}^2$ )

=  $\frac{bt}{\gamma_{bc}}$  dimana  $\gamma_{bc}$  adalah banyaknya tulangan pada sisi yang tertarik

## 2.5 Hasil Penelitian Sebelumnya

Berikut ini adalah hasil penelitian yang berkaitan yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya:

1. Jurnal berjudul “*Use of waste marble aggregate in concrete*” yang ditulis oleh *H. Hebhouh, H. Aoun, M. Belachia, H. Houari, E. Ghorbel* dari *faculty of architecture, Material and geotechnical laboratory, Univesity of Skikda, Algeria*. Pada penelitian ini bertujuan menunjukkan kemungkinan penggunaan limbah marmer sebagai pengganti dari agregat alami dalam produksi beton. Pada penelitian ini dilakukan dengan 3 cara: yaitu marmer sebagai substitusi agregat kasar, marmer sebagai substitusi agregat kasar dan marmer sebagai substitusi agregat kasar dan halus dengan rasio penggantian adalah sebesar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Hasil penelitian secara detail adalah sebagai berikut :

Jika dilihat dari 3 aspek substitusi material yang ada didapatkan hasil kuat tekan (a) pada substitusi agregat halus terdapat marmer mendapatkan kuat tekan maksimum pada kadar penggantian 50% adalah sebesar 23,65 MPa. (b) Pada substitusi agregat dengan penggantian agregat kasar terhadap marmer mendapatkan kuat tekan maksimum pada kadar 75% adalah sebesar 25,08 MPa. (c) Pada substitusi agregat halus dan agregat kasar terhadap marmer akan menghasilkan kkuat tekan maksimum pada kadar 25% yaitu sebesar 22,2 MPa.

2. Jurnal berjudul “Pengaruh Penggunaan Limbah Batu *Onyx* Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Modulus Elastisitas Beton” yang ditulis oleh Abdullah Ghiyats dari Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya. Pada penelitian ini menjelaskan *onyx* yang digunakan sebagai pengganti agregat kasar

pada beton, dimana FAS yang digunakan dibuat berbeda yaitu 0,4 ; 0,5 ; dan 0,6 dari penelitian ini didapatkan penjelasan jika penggantian agregat kasar dengan *onyx* membuat modulus elastisitas beton meningkat sebesar 38,59% pada FAS 0,4 pada beton yang berumur 28 hari dibandingkan dengan beton dengan agregat normal.

3. Beta Taufiq Raya (2016). Meneliti tentang Pengaruh Penggunaan Limbah Batu *Onyx* Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Lentur Beton didapatkan variasi FAS berpengaruh pada kuat lentur balok. Dapat terlihat beton dengan menggunakan agregat kasar batu *Onyx* FAS 0,4 memiliki kuat lentur rata-rata 5,351 Mpa dan 5,092 untuk agregat kerikil dengan selisih 4,840%. FAS 0,5 agregat kasar batu *Onyx* memiliki kuat lentur rata-rata 4,157 Mpa dan 4,551 untuk agregat kerikil dan 4,551 Mpa dengan selisih 8,657%. FAS 0,6 agregat kasar batu *Onyx* memiliki kuat lentur rata-rata 3,128 Mpa dan 3,278 Mpa untuk agregat kerikil dengan selisih 4,795%. Dan FAS yang paling optimum pada penelitian ini adalah FAS 0,4.
4. Aulia Nurul Annisa (2016). Meneliti tentang Pengaruh Penggunaan Limbah Batu *Onyx* Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tarik Belah Beton didapatkan Perbandingan kuat tarik belah beton dengan campuran limbah batu *Onyx* dibandingkan dengan beton normal pada masing-masing fas berbeda prosentasenya yaitu sebesar lebih kecil 17.48% pada FAS 0.4, lebih kecil 7.28% pada FAS 0.5 dan lebih besar 9.09% pada FAS 0.6.
5. Dewi Susilowati (2013). Meneliti tentang Pengaruh Penggunaan Terak Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Lentur Dan Berat Jenis Beton Normal Dengan Metode Mix Design didapatkan pengaruh penggantian terak sebagai pengganti agregat kasar akan mengakibatkan penurunan kuat lentur beton.
6. Jurnal berjudul “Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas” yang ditulis oleh Soelarso dari Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa Penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar berpengaruh pada kuat tekan. Kuat tekan cenderung menurun seiring dengan bertambahnya persentase agregat limbah beton dengan rata-rata penurunan terendah terjadi pada proporsi limbah beton 25% sebesar 45,39%, proporsi limbah beton 50% sebesar 56,99%, lalu proporsi limbah beton 75% sebesar 61,65% dan penurunan terbesar pada proporsi limbah beton 100% sebesar 66,62%.

7. Faisal Ananda (2014). Meneliti tentang Perilaku Lendutan dan Retak Pada Balok Bertulang Dengan Tambahan Serat Baja dan Peningkatan Rasio Tulangan didapatkan perbedaan rumusan pendekatan lebar retak yang ada, maka rumus lebar retak untuk beton normal tidak dapat dipakai untuk beton dengan serat baja. Perbedaan rumusan pendekatan lebar retak maksimum teoritis Balasz dan Venkateswarlu terhadap nilai eksperimen sebesar 69,29% dan 70,03 % pada penulangan dimensi 10. Pada penulangan 12 mempunyai perbedaan rata-rata lebar retak sebesar 7,65% dan 43,54% sedangkan pada penulangan 14 mempunyai perbedaan lebar retak hasil eksperimen sebesar 69,53% dan 11,09% terhadap rumusan Balasz dan Venkateswarlu.
8. Rizki Prasetya (2017). Meneliti tentang Eksperimen dan Analisis Lebar Retak pada Balok Beton Bertulang Pasca Paparan Suhu Tinggi didapatkan hasil perhitungan teoritis lebar retak SNI 2002 balok normal mendapatkan hasil yang cenderung mengalami penurunan. Hasil eksperimental lebar retak rata-rata pada saat beban layan pada balok normal sebesar 0,127 mm.

## 2.6 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan tinjauan yang terdapat dalam penelitian sebelumnya maka penulis dapat mengambil hipotesis penelitian yaitu:

1. Kuat tekan beton antara agregat normal berbeda dengan agregat batu *onyx*.
2. Lebar retak pada beton agregat batu *onyx* bertulangan tunggal berbeda dengan beton agregat normal bertulangan tunggal.
3. Nilai lebar retak pada beton agregat batu *onyx* bertulangan tunggal berbeda dengan beton agregat normal bertulangan tunggal.