

BAB 2  
www.itk.ac.id  
TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Beton Bertulang

Menurut SNI 2847-2013, beton bertulang merupakan gabungan dari jenis bahan yaitu beton dan tulangan baja, dimana kedua bahan tersebut direncanakan untuk bekerja sama dalam menahan gaya yang bekerja. Beton merupakan bahan yang memiliki nilai kuat tekan tinggi tetapi memiliki nilai kuat tarik rendah. Sedangkan baja memiliki kuat tarik yang tinggi. Dari kelebihan masing-masing bahan tersebut, baik baja maupun beton diharapkan dapat melengkapi dan bekerja sama dalam menahan gaya-gaya yang bekerja dalam struktur, dimana gaya tekan akan ditahan oleh beton dan gaya tarik akan ditahan oleh tulangan baja.

### 2.2 Beton

Beton didefinisikan sebagai bahan dengan campuran bahan semen (PC) atau semen hidrolis, agregat halus, agregat kasar, air dan bahan tambahan lain (*admixtures*) bila dibutuhkan hingga membentuk bahan yang padat (PBI 1971/ SNI 03-2847-2002).

Beton dibuat dengan beberapa bahan yang dicampur menjadi satu. Oleh karena itu, mutu beton sangat dipengaruhi oleh mutu bahan-bahan yang digunakan dalam proses pencampuran beton itu sendiri. Bila mutu agregat, semen dan air nya baik, serta perhitungan yang tepat sesuai dengan kebutuhan dan pelaksanaan *mix design* yang teliti dilaksanakan dengan baik, maka beton yang dihasilkan akan berkualitas. Begipula sebaliknya, apabila komponen penyusun beton memiliki mutu yang kurang baik, maka hal tersebut akan sangat mempengaruhi mutu beton dan akan berbahaya bila digunakan dalam suatu struktur bangunan. Adapun persyaratan pemakaian bahan untuk campuran beton adalah sebagai berikut:

- a. Semen atau *Portland Cement* (PC) merupakan bahan pengikat antar agregat, sehingga beton dapat *homogeny*. Semen dibagi menjadi beberapa tipe tergantung kebutuhannya, yaitu tipe 1 digunakan untuk bangunan beton biasa, tipe 2 digunakan untuk struktur tahan sulfat dan panas hidrasi sedang, tipe 3 adalah

semen yang cepat mengeras, tipe 4 digunakan untuk struktur yang tahan panas hidrasi rendah dan tipe 5 untuk tahan sulfat tinggi.

- b. Agregat halus yang digunakan adalah pasir. Dimana agregat halus adalah hasil disitegrasi alami dari batuan atau hasil industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir tidak lebih dari 5.0 mm. Pasir yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi persyaratan diantaranya, tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak, tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% berat kering, serta harus terdiri dari butiran beraneka ragam (*well grading*).
- c. Agregat kasar terbagi menjadi kerikil (alami) dan batu pecah (industri). Didefinisikan sebagai hasil disintegrasikan alami dari batuan atau berupa batu pecah hasil industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir 5.0 mm sampai dengan 40.0 mm. Agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi persyaratan diantaranya, tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak, tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 2% berat kering, serta harus terdiri dari butiran beraneka ragam (*well grading*).
- d. Air yang digunakan dalam campuran beton haruslah air yang bersih dengan pH netral 6-8, tidak mengandung minyak, asma alkali, garam dan bahan organik.
- e. Selain bahan utama pencampur beton, bahan tambahan terkadang diperlukan guna kebutuhan-kebutuhan tertentu. Bahan tambahan (*admixture*) adalah zat yang dicampurkan selama proses pengadukan dengan jumlah tertentu untuk mengubah beberapa sifat beton. Diantaranya, meningkatkan mutu awal, mempengaruhi tingkat pengerjaan campuran beton, meningkatkan kekedapan dan lain sebagainya.

## 2.3 Agregat Halus

Agregat halus adalah salah satu komponen agregat dengan besar butir maksimum 4.75 mm (SNI 02-6820-2002).

### 2.3.1 Berat Jenis Agregat Halus dan Penyerapan Air

Berat jenis agregat halus terbagi kedalam beberapa macam, yaitu:

1. Berat jenis curah ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isis agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C.

2. Berat jenuh kering permukaan ialah perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C.

3. Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C.

$$S_d = \frac{A}{B + S - C} \quad (2.1)$$

$$S_s = \frac{S}{B + S - C} \quad (2.2)$$

$$S_a = \frac{A}{B + A - C} \quad (2.3)$$

$$S_w = \frac{S - A}{A} \times 100\% \quad (2.4)$$

Dimana:

$S_d$  : berat jenis curah kering agregat halus

$S_s$  : berat jenis curah (kondisi kering permukaan) agregat halus

$S_a$  : berat jenis semu agregat halus

$S_w$  : penyerapan air (%)

$A$  : berat benda uji kering oven (gram)

$S$  : berat benda uji dalam keadaan kering permukaan (gram)

$B$  : berat piknometer berisi air (gram)

$C$  : berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram)

Metode ini dimaksudkan sebagai acuan dalam melakukan pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh dan berat jenis semu pada agregat halus. Berdasarkan SNI 1970-2008 / ASTM C128-93 berat jenis pasir yang baik adalah sebesar 2.4 – 2.6 g/cc.

### 2.3.2 Kadar Air Agregat Halus

Kadar air adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen, dengan

diketuainya kadar air dari pasir yang di gunakan, dapat diketahui berapa banyak air yang digunakan saat pasir digunakan dalam keadaannya langsung. Cara menghitung kelembaban dari agregat halus adalah

$$P = \frac{W_2 - W_1}{W_2} \times 100\% \quad (2.5)$$

dimana :

$W_1$  : Berat pasir asli/berat awal (gram)

$W_2$  : Berat pasir kering setelah di oven (gram)

Berdasarkan ASTM C 556-89, diketahui bahwa syarat kadar air yang terkandung dalam pasir adalah kurang dari 1%.

## 2.4 Agregat Kasar

Agregat kasar dapat berupa kerikil hasil desintergrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu dengan besar butir lebih dari 5 mm. Kerikil, dalam penggunaannya harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. Butir-butir keras yang tidak berpori serta bersifat kekal yang artinya tidak pecah karena pengaruh cuaca seperti sinar matahari dan hujan.
2. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila melebihi maka harus dicuci lebih dahulu sebelum menggunakannya.
3. Tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak batuan seperti zat-zat yang reaktif terhadap alkali. (SNI-03-2834-2000).

### 2.4.1 Berat Jenis Agregat Kasar

Agregat kasar memiliki beberapa macam berat jenis, diantaranya :

1. Berat jenis curah adalah perbandingan antara berat antara agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25<sup>0</sup>C
2. Berat jenis kering permukaan yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25<sup>0</sup>C.
3. Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25<sup>0</sup>C.

4. Penyerapan adalah perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap agregat kering yang dinyatakan dalam persen.

ASTM C128-01 berisi mengenai bagaimana cara mencari besar berat jenis dari agregat kasar. Menurut ASTM C128-01 ada beberapa persamaan yang digunakan untuk mencari berat jenis tersebut yaitu:

$$S_d = \frac{A}{B - C} \quad (2.6)$$

$$S_s = \frac{B}{B - C} \quad (2.7)$$

$$S_a = \frac{A}{A - C} \quad (2.8)$$

$$S_w = \frac{B - A}{A} \times 100\% \quad (2.9)$$

Dimana:

$S_d$  : Berat Jenis Curah

$S_s$  : Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh

$S_a$  : Berat Jenis Semu

$S_w$  : Penyerapan Air (%)

$A$  : berat benda uji kering (gram)

$B$  : berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

$C$  : berat benda uji kering permukaan jenuh dalam air (gram)

Batas berat jenis batu pecah yang diperbolehkan menurut ASTM C 128-01 / SNI 03-1970-1990 adalah 2.4 gr/cc sampai 2.7 gr/cc.

#### 2.4.2 Kadar Air Agregat Kasar

Kadar air agregat adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering. Nilai kadar air ini digunakan untuk korelasi tekanan air untuk adukan beton yang disesuaikan dengan kondisi agregat lapangan. Berdasarkan ASTM C187-89 ada beberapa perhitungan untuk mencari kadar air dalam agregat kasar adalah:

Kadar air agregat kasar dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$P = \frac{W_2 - W_1}{W_2} \times 100\% \quad (2.10)$$

Dimana:

$W_1$  : Berat awal agregat kasar (gram)

$W_2$  : Berat agregat yang telah di oven (gram)

ASTM C187 – 89 memiliki syarat dimana air maksimum pada batuh pecah maksimal pada batu pecah maksimal 2% dari berat total SSD. Pengujian ini dilakukan pada agregat yang mempunyai kisaran garis tengah dari 6.3 mm sampai 152.4 mm. Hasil pengujian kadar air agregat dapat digunakan dalam pekerjaan :

1. Perencanaan campuran dan pengendalian mutu beton.
2. Perencanaan campuran dan pengendalian mutu perkerasan jalan.

## 2.5 Bahan Semen

Semen didefinisikan sebagai bahan yang mempunyai sifat adesif dan kohesif yang digunakan sebagai bahan pengikat (*bonding material*) setelah dicampur dengan air (disebut pasta semen) dan bahan lain seperti pasir dan kerikil atau batu pecah. Semen yang digunakan sebagai campuran beton yaitu semen hidrolis yang dapat mengeras setelah dicampur dengan air.

### 2.5.1 Semen Portland

Semen Portland terbagi menjadi 5 (Lima) tipe semen yang digunakan untuk konstruksi bangunan beton menurut ASTM (ASTM C 150-05/SNI 15-2049-1994):

#### a. Tipe I

Semen Portland jenis umum (*Normal Portland Cement*), yaitu jenis semen Portland yang tidak memerlukan sifat khusus. Semen tipe ini biasa digunakan untuk bangunan pemukiman,

#### b. Tipe II

Semen jenis umum dengan perubahan-perubahan (*Modified Portland Cement*). Semen ini memiliki panas lebih lambat dari pada semen tipe I dan digunakan untuk konstruksi bangunan beton yang memerlukan ketahanan sulfat (pada lokasi tanah dan air yang mengandung sulfat 0.10-0.20%) dan panas hidrasi sedang. Semen tipe ini biasa digunakan untuk bangunan pinggir laut.

**c. Tipe III**

Semen Portland dengan kekuatan awal tinggi (*High – Early Strength – Portland cement*) yang cepat mengeras, digunakan untuk konstruksi bangunan beton yang memerlukan kekuatan tekan awal tinggi. Seperti pada pembuatan bangunan tingkat tinggi.

**d. Tipe IV**

Semen Portland dengan panas hidrasi rendah (*Low Heat Portland Cement*) yang digunakan untuk pengecoran konstruksi bangunan beton yang tidak menimbulkan panas. Seperti pada dam gravitasi besar yang mana kenaikan temperatur akibat panas yang dihasilkan selama proses *curing* merupakan faktor kritis

**e. Tipe V**

Semen Portland bahan sulfat (*Sulfate Resisting Portland Cement*) yang digunakan untuk konstruksi bangunan beton yang memerlukan ketahanan sulfat melebihi 0.20%. Semen tipe ini biasa digunakan untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, pelabuhan dan pembangkit tenaga nuklir.

## 2.6 Analisa Saringan

Analisa saringan adalah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan, kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir. Analisis saringan diperlukan untuk mendapatkan gradasi agregat yang dapat menentukan kebutuhan agregat.

Persyaratan agregat halus secara umum menurut SNI 03-6821-2002 tentang Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Batu Cetak Pasangan Dinding adalah sebagai berikut:

1. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
2. Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat di uji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10% berat. Sedangkan jika dipakai magnesium sulfat.
3. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat

kering), jika kadar lumpur melampaui 5% maka pasir harus di cuci.

Berdasarkan ASTM C33-03, agregat halus yang baik untuk campuran beton apabila analisa ayakannya berada pada *grading zone 2* atau *grading zone 3*.

## 2.7 Mix Design

*Mix design* adalah perencanaan campuran beton yang terdiri dari penentuan bahan-bahan yang digunakan (semen, air, agregat kasar, agregat halus, *admixture*) dan penentuan jumlah bahan-bahan yang digunakan untuk mendapatkan beton dengan karakteristik yang diinginkan, baik kekuatan, *workability*, durabilitas, maupun ekonomis (Subakti dkk. 2012).

Langkah-langkah *mix design* berdasarkan SNI 03-2834-2000 adalah sebagai berikut:

1. Penentuan kuat tekan beton yang disyaratkan ( $f'_c$ ) pada umur 28 hari
2. Penentuan standar deviasi ( $s_s$ )

Nilai  $s_s$  didapat dengan rumus berikut.

$$S_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.11)$$

Dimana :

$S_s$  : standar deviasi

$x_i$  : kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji

$\bar{x}$  : kuat tekan beton rata-rata

$n$  : banyak benda uji

3. Pemilihan faktor air semen

Nilai tambah dihitung dengan rumus

$$M = 1.64 \times S_s \quad (2.12)$$

Dimana:

$M$  : nilai tambah (Margin)

1.64 : tetapan statistik yang nilainya tergantung pada presentase Kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%

$S_s$  : standar deviasi

4. Perhitungan kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan ( $f'_{cr}$ )

Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan dihitung menurut rumus berikut:

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad \text{www.itk.ac.id} \quad (2.13)$$

Nilai  $f'_{cr}$  ditentukan dari SNI 2847:2013 pasal 5.3.2.1 yang ditunjukkan pada tabel 2.1 menggunakan  $S_s$  yang telah dihitung.

**Tabel 2.1** Nilai  $f'_{cr}$  bila data tersedia untuk menetapkan  $S_s$

Kekuatan Tekan Disyaratkan (MPa)	Kekuatan Tekan Rata-Rata Perlu (MPa)
$f'_c \leq 35$	Gunakan nilai terbesar dari persamaan berikut. $f'_{cr} = f'_c + 1,34S_s$ $f'_{cr} = f'_c - 2,33S_s - 3,5$
$f'_c > 35$	Gunakan nilai terbesar dari persamaan berikut. $f'_{cr} = f'_c + 1,34S_s$ $f'_{cr} = 0,9f'_c + 2,33S_s$

Apabila tidak mempunyai catatan kekuatan lapangan untuk perhitungan  $S_s$ , maka  $f'_{cr}$  ditentukan dari SNI 2847:2013 pasal 5.3.2.2 yang ditunjukkan pada tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Nilai  $f'_{cr}$  bila data tidak tersedia untuk menetapkan  $S_s$

Kekuatan Tekan Disyaratkan (MPa)	Kekuatan Tekan Rata-Rata Perlu (MPa)
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8,3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1,1f'_c + 5$

5. Penentuan jenis semen
6. Penentuan jenis agregat kasar dan agregat halus
7. Penentuan faktor air-semen ( $f_{as}$ )

Nilai faktor air-semen didapat dengan langkah-langkah berikut:

- 1) Tentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari dengan menggunakan

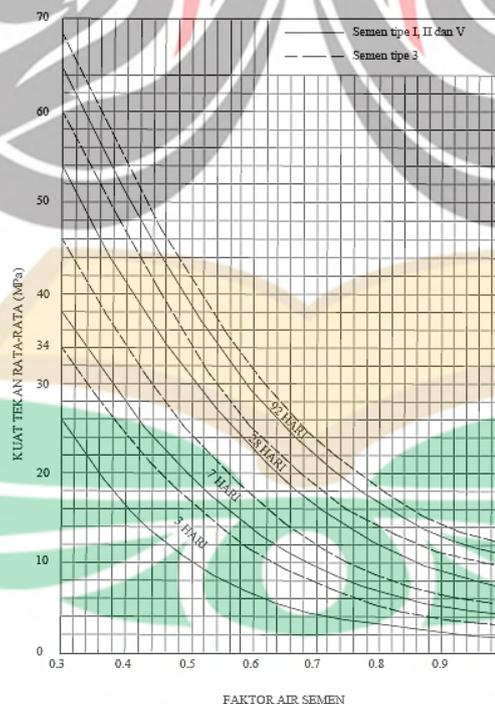
**Tabel 2.3** Perkiraan kuat tekan beton dengan faktor air-semen dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	

Semen tahan sulfat	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
Tipe II, V	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
Tipe III	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000

- 2) Gunakan Gambar 2.1 untuk benda uji berbentuk silinder.
- 3) Tarik garis tegak lurus ke atas melalui faktor air-semen 0.5 sampai memotong kurva kuat tekan yang ditentukan.
- 4) Tarik garis lengkung melalui titik yang dibuat pada langkah 3) secara proporsional.
- 5) Tarik garis mendatar melalui nilai kuat tekan yang ditargetkan sampai memotong kurva baru yang ditentukan.
- 6) Tarik garis tegak lurus kebawah melalui titik potong tersebut untuk mendapatkan faktor air-semen yang diperlukan.



**Gambar 2.1** Hubungan antara kuat tekan beton dengan faktor air-semen (benda uji berbentuk silinder diameter 15 cm, tinggi 30 cm)

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

## 8. Penentuan faktor air-semen maksimum

Nilai faktor air-semen maksimum ditentukan dengan menggunakan Tabel 2.4

**Tabel 2.4** Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air-semen maksimum untuk berbagai kondisi lingkungan

Lokasi	Jumlah Semen	
	Minimum (kg/m <sup>3</sup> )	Nilai Faktor Air-Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan :		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,6
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,6
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,6
Beton masuk ke dalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	SNI 03-2834-2000 Tabel 5	
Beton yang kontinu berhubungan :		
a. Air tawar		
b. Air payau	SNI 03-2834-2000 Tabel 6	
c. Air laut		

Sumber: SNI 03-2834-2000

## 9. Penentuan slump

Slump ditetapkan sesuai dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan agar diperoleh beton yang mudah dituangkan, dipadatkan dan diratakan. Slump yang ditargetkan ialah  $10 \pm 2$  cm.

## 10. Penetapan ukuran agregat maksimum melalui analisa saringan

Besar butir agregat maksimum tidak boleh melebihi:

- 1) Seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan;

- 2) Sepertiga dari tebal pelat;  
 3) Tiga perempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

11. Penentuan kadar air bebas

Banyaknya kebutuhan air diperkirakan dengan rumus berikut.

$$B = \frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k \quad (2.14)$$

Dimana :

$B$  : jumlah air/kadar air bebas

$W_h$  : perkiraan jumlah air untuk agregat halus (batu tak dipecahkan)

$W_k$  : perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (batu pecah)

Nilai  $W_h$  dan  $W_k$  didapat dari Tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Perkiraan kadar air bebas yang dibutuhkan

Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum (mm)	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834-2000

12. Perhitungan jumlah semen

Banyaknya kebutuhan semen diperkirakan dengan rumus berikut.

$$A = \frac{B}{f_{as}} \quad (2.15)$$

Dimana:

$A$  : jumlah semen

$B$  : jumlah air/kadar air bebas

$f_{as}$  : faktor air-semen

13. Penentuan kadar semen maksimum

14. Penentuan kadar semen minimum

Banyaknya kebutuhan semen minimum ditentukan dengan menggunakan Tabel 2.4. [www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)

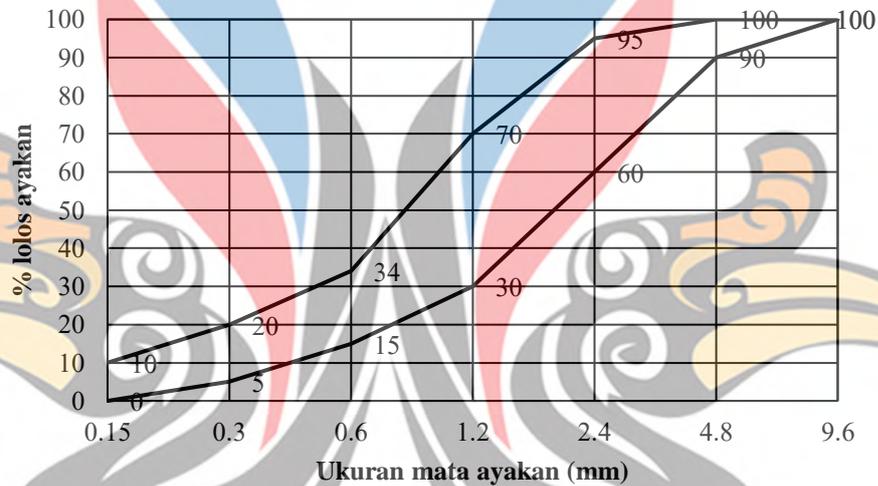
15. Penentuan faktor air-semen yang disesuaikan

16. Penentuan susunan butir agregat halus

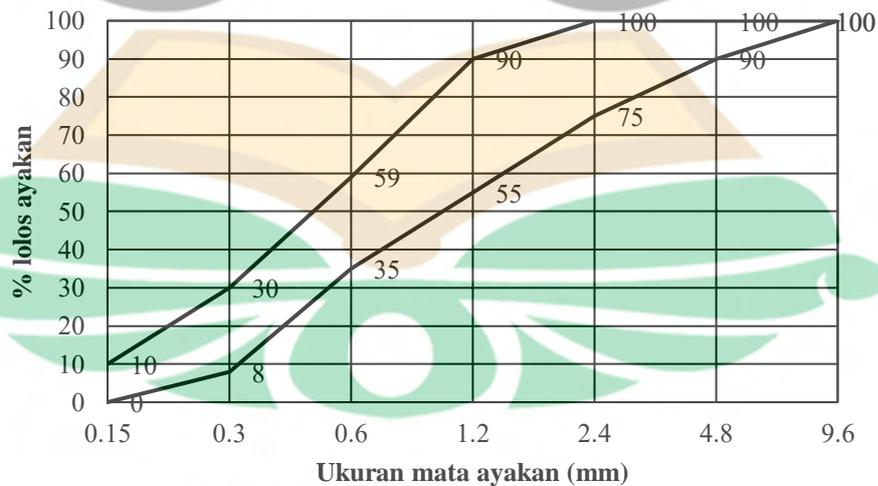
Untuk mendapatkan ukuran saringan dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$Uk_{Saringan} = 100\% \left( \frac{\text{Berat Agregat Saringan Ke-}}{\text{Jumlah Berat Agregat Tertinggal} \times 100\%} \right) - 0\% \quad (2.16)$$

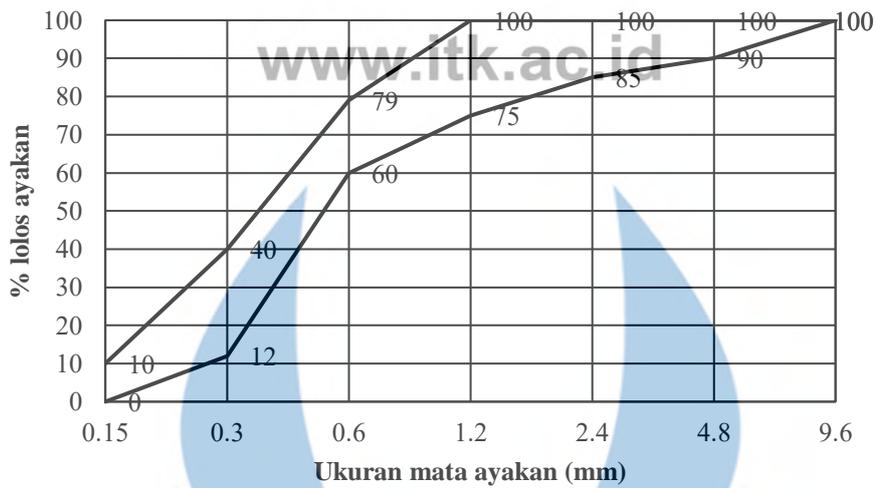
Susunan butir agregat halus ditentukan dengan Gambar 2.2 sampai Gambar 2.5.



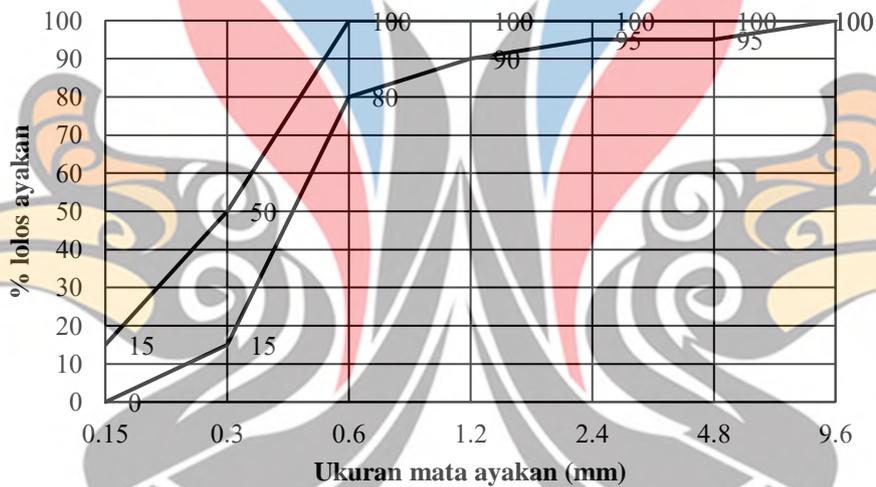
**Gambar 2.2** Batas gradasi agregat halus no. 1  
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



**Gambar 2.3** Batas gradasi agregat halus no. 2  
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



**Gambar 2.4** Batas gradasi agregat halus no. 3  
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



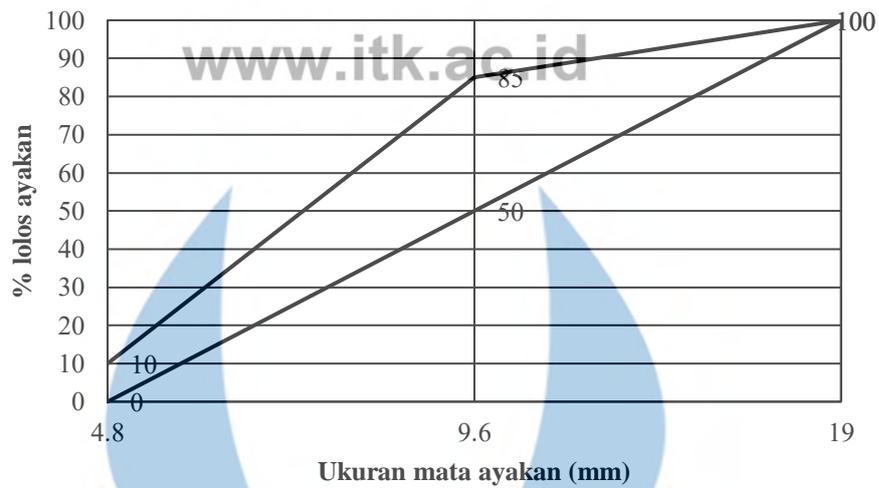
**Gambar 2.5** Batas gradasi agregat halus no. 4  
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

### 17. Penentuan susunan butir agregat kasar

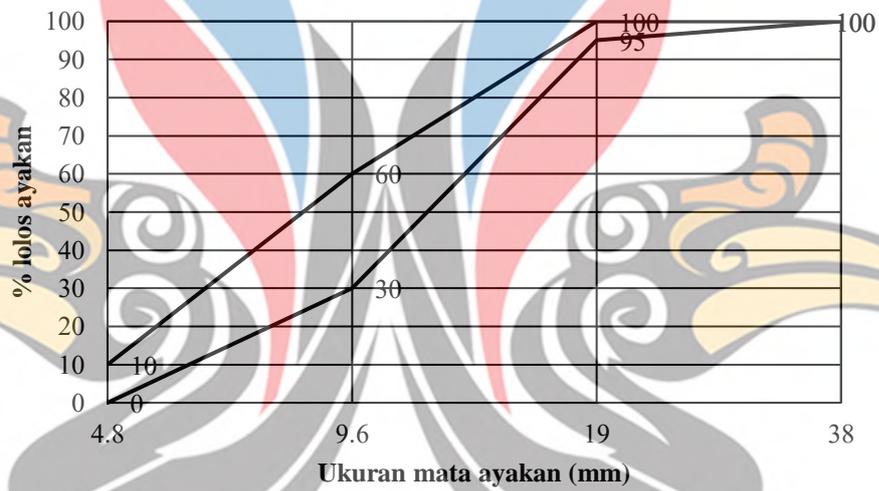
Untuk mendapatkan ukuran saringan dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$Uk_{Saringan} = 100\% \left( \frac{\text{Berat Agregat Saringan Ke-}}{\text{Jumlah Berat Agregat Tertinggal} \times 100\%} \right) - 0\% \quad (2.17)$$

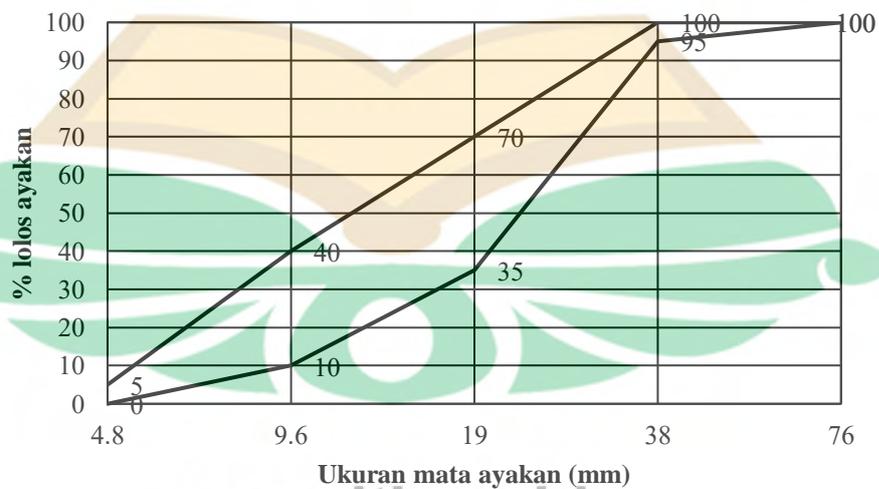
Susunan butir agregat kasar ditentukan dengan Gambar 2.6. Sampai Gambar 2.8.



**Gambar 2.6** Batas gradasi agregat kasar ukuran maksimum 10 mm  
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



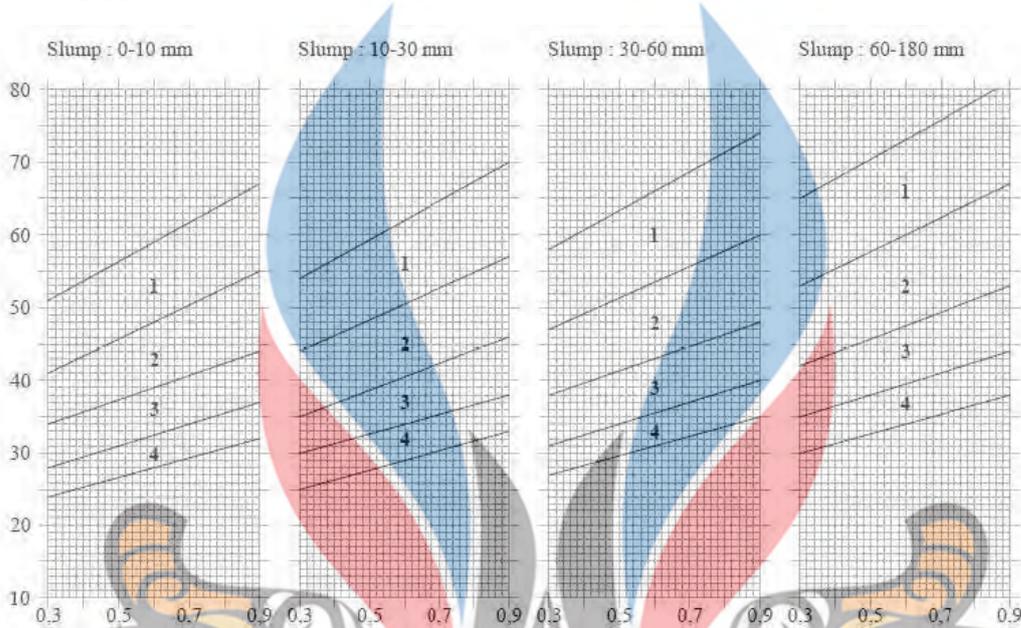
**Gambar 2.7** Batas gradasi agregat kasar ukuran maksimum 20 mm  
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



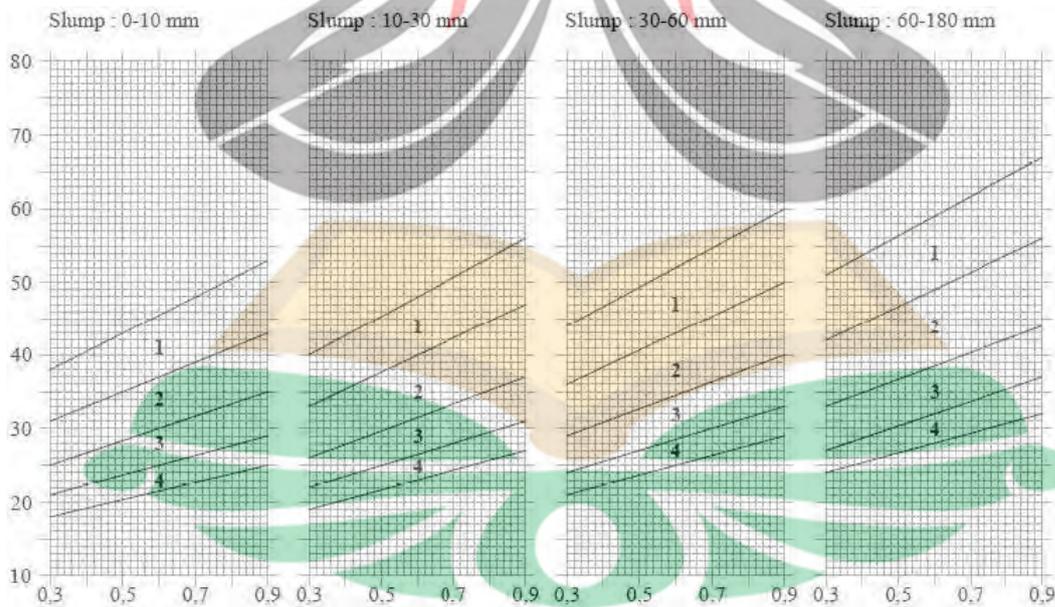
**Gambar 2.8** Batas gradasi agregat kasar ukuran maksimum 40 mm  
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

18. Penentuan persentase kebutuhan pasir

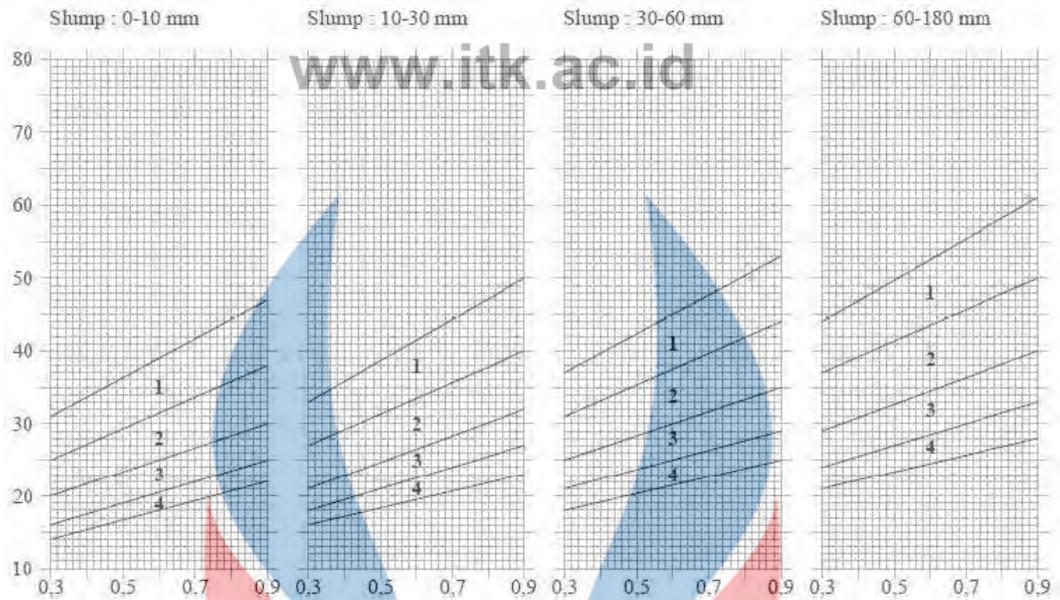
Persentase kebutuhan pasir ditentukan dengan Gambar 2.9 sampai Gambar 2.11.



**Gambar 2.9** Persen agregat halus terhadap kadar total agregat (ukuran butir maksimum 10 mm)  
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



**Gambar 2.10** Persen agregat halus terhadap kadar total agregat (ukuran butir maksimum 20 mm)  
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



**Gambar 2.11** Persen agregat halus terhadap kadar total agregat (ukuran butir maksimum 40 mm)  
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

#### 19. Perhitungan berat jenis relatif agregat

Berat jenis relatif agregat didapat dengan rumus berikut.

$$BJ = (\%_{Halus} \times BJ_{Halus}) + (\%_{Kasar} \times BJ_{Kasar}) \quad (2.18)$$

Dimana :

$BJ$  : berat jenis relatif agregat

$\%_{halus}$  : persen agregat halus

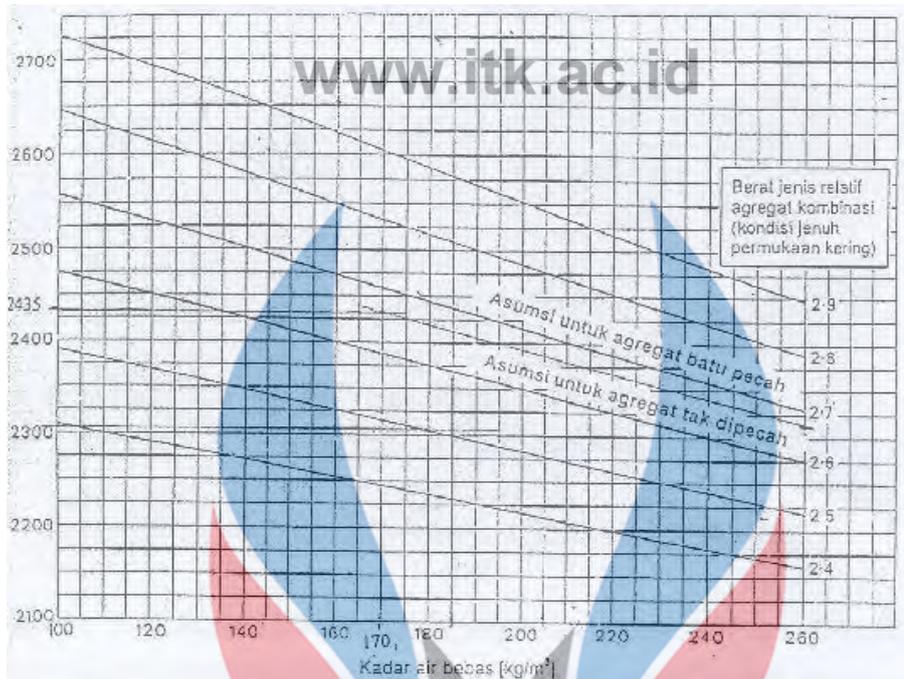
$\%_{kasar}$  : persen agregat kasar

$BJ_{halus}$  : berat jenis agregat halus kondisi kering permukaan

$BJ_{kasar}$  : berat jenis agregat kasar kondisi kering permukaan

#### 20. Penentuan berat isi beton

Berat isi beton ditentukan dengan Gambar 2.12.



**Gambar 2.12** Perkiraan berat isi beton  
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

21. Perhitungan kadar agregat gabungan

Kadar agregat gabungan didapat dengan rumus:

$$C = \text{Berat Isi Beton} - (A + B) \quad (2.19)$$

Dimana:

- $A$  : Jumlah semen
- $B$  : Kadar air bebas
- $C$  : Kadar agregat gabungan

22. Perhitungan kadar agregat halus

Kadar agregat halus didapat dengan rumus:

$$D = \%_{\text{Halus}} \times C \quad (2.20)$$

Dimana:

- $D$  : Kadar agregat halus
- $\%_{\text{halus}}$  : Persen agregat halus
- $C$  : Kadar agregat gabungan

23. Perhitungan kadar agregat kasar

Kadar agregat kasar didapat dengan rumus:

$$E = C - D \quad (2.21)$$

Dimana:

- $E$  : Kadar agregat kasar  
 $C$  : Kadar agregat gabungan  
 $D$  : Kadar agregat halus

24. Perhitungan Berat Agregat Gabungan

Berat gabungan seluruh agregat dan semen sebagai berikut:

$$\text{Berat Gabungan} = E \times V_{\text{Cetakan}} \times n_{\text{Cetakan}} \quad (2.22)$$

25. Dalam *mix design*, proporsi campuran semen portland dihitung dengan menggunakan rumus :

$$S. \text{Portland} = A \times V_{\text{Cetakan}} \times n_{\text{Cetakan}} \quad (2.23)$$

Dimana:

- $A$  : jumlah semen

26. Koreksi proporsi campuran

Koreksi proporsi campuran dilakukan untuk menyesuaikan kadar air yang terdapat pada agregat. Pengoreksian dilakukan dengan rumus berikut:

$$\text{Air} = B - (D_k - D_a)D - (E_k - E_a)E \quad (2.24)$$

$$\text{Agregat Halus} = D - (D_k - D_a)D \quad (2.25)$$

$$\text{Agregat Kasar} = E - (E_k - E_a)E \quad (2.26)$$

Dimana :

- $B$  : jumlah air  
 $D$  : jumlah agregat halus  
 $E$  : jumlah agregat kasar  
 $D_a$  : absorpsi air pada agregat halus  
 $E_a$  : absorpsi air pada agregat kasar  
 $D_k$  : kandungan air pada agregat halus  
 $E_k$  : kandungan air pada agregat kasar

Dalam *mix design*, digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Porsi Campuran} = \text{Berat Isi Beton} \times V_{\text{Cetakan}} \quad (2.27)$$

27. *Safety Factor*

Digunakan *safety factor* dengan ketentuan pengali sebesar 1.2 pada masing-masing material penyusun bahan beton.

Adapun rumus untuk mendapatkan *safety factor* ialah sebagai berikut:

$$\text{Semen}(A) = A \times 1.2 \quad (2.28)$$

$$\text{Agregat Halus}(D) = D \times 1.2 \quad (2.29)$$

$$\text{Agregat Kasar}(E) = E \times 1.2 \quad (2.30)$$

$$\text{Air}(B) = (B \times V_{\text{Cetakan}} \times \text{St. Deviasi}) \times 1.2 \quad (2.31)$$

## 2.8 Kuat Tekan

Beton akan memiliki pengerasan secara sempurna setelah 28 hari sehingga pada hari-hari sebelumnya akan memiliki kuat tekan yang berbeda. Dalam memperkirakan kuat tekan beton, dapat dilakukan dengan menggunakan rumus tabel konversi beton umur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Perdiksi yang dilakukan bertujuan untuk meyakinkan beton mencapai spesifikasi, dan kontrol kualitas pekerjaan beton (QC).

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kuat tekan hancur dari benda uji. Pengujian kuat tekan dilakukan saat sampel berumur 28 hari. Pengukuran kuat tekan (*Compressive Strength*) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.32)$$

Dimana:

$\sigma$  = Kuat Tekan (N/mm<sup>2</sup>)

$F$  = Beban yang diberikan (N)

$A$  = Luas Penampang yang terkena penekanan gaya (mm<sup>2</sup>)

Jika yang diketahui adalah nilai K, maka nilai kuat tekan beton perlu dikonversi pada tabel berikut

**Tabel 2.6** Rumus Kekuatan Tekan Pada Berbagai Umur

Rumus	Keterangan dan Satuan
$f'_c = \left[ 0,76 + 0,210 \times \log \left( \frac{f'_{ck}}{15} \right) \right] f'_{ck}$	$f'_{ck}$ = kuat tekan karakteristik beton kubus (Mpa)
$C = 0,83 \times K$	$K$ = Kuat tekan karakteristik beton kubus (kg/cm <sup>2</sup> )

Sumber: SNI T-15-1991-03 dan PBBI'71

Jika umur beton yang dikehendaki saat diuji belum mencapai 28 hari, maka harus dikonversi juga dengan konstanta sebagai berikut:

**Tabel 2.7** Perbandingan Kekuatan Tekan Pada Berbagai Umur

Umur Beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
<b>Semen Portland Tipe I</b>	0,46	0,70	0,88	0,96	1,00	-	-
<b>Semen Portland Biasa</b>	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
<b>Semen Portland dengan Kuat Awal Tinggi</b>	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,20

Sumber: SNI T-15-1990-03 dan PBTI '71

Berdasarkan tabel diatas, maka prediksi kuat tekan pada beton berumur n hari, ialah:

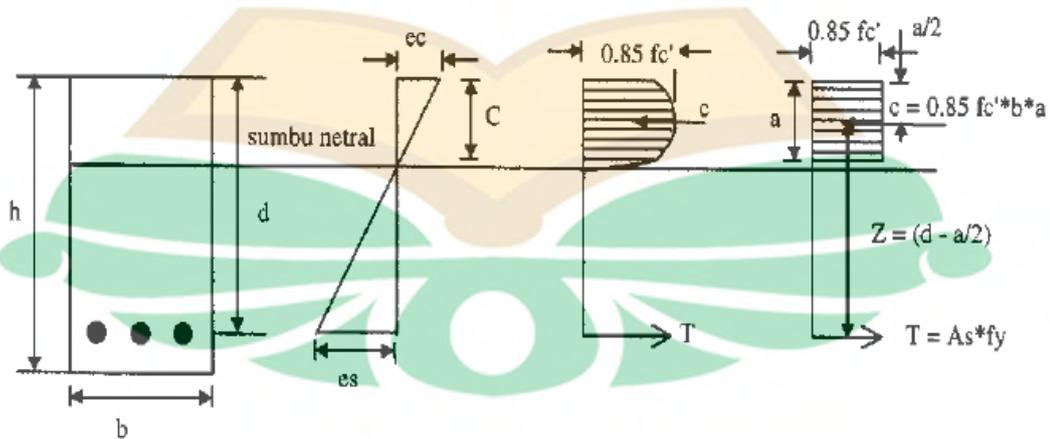
$$= f'_c \times \frac{100}{\text{perbandingan kekuatan tekan pada hari ke } - n} \quad (2.33)$$

## 2.9 Balok Tulangan Tunggal

Suatu balok dinyatakan bertulangan tunggal jika pada penampang beton bertulang tersebut hanya terpasang tulangan pada satu sisi saja, yaitu pada bagian serat yang menerima gaya tarik.

### 2.9.1 Keadaan Regangan Seimbang

Suatu keadaan yang sangat menentukan dalam analisis dan perencanaan beton bertulang dengan metode dan kemampuan layan adalah keadaan regangan berimbang (*balance*).



**Gambar 2.13** Distribusi Tegangan dan Regangan pada Penampang Beton

(Sumber: Dwi Angram K, 2003)

Dalam kondisi berimbang serat tekan pada beton dan serat Tarik pada baja tulangan secara bersamaan mencapai regangan maksimum ( $\varepsilon_{cu}$  pada beton dan  $\varepsilon_y$  pada baja tulangan) sebagaimana diilustrasikan pada gambar (2.13). Untuk keadaan berimbang, secara geometris dapat diperoleh:

$$\frac{C_b}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y} = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}} = \frac{600}{600 + f_y} \quad (2.34)$$

Dimana  $E_s = 200,000 \text{ MPa}$  (Baja) dan  $\varepsilon_{cu} = 0.003$

Gaya-gaya dalam penampang yang bekerja kearah horizontal dapat dihitung menurut persamaan dibawah ini:

$$C_b = 0.85 \times f'_c \times a_b \times b = 0.85 \times f'_c \times \beta_1 \times c_b \times b \quad (2.35)$$

$$T_b = A_s b \times f_y = \rho_b \times b \times d \times f_y \quad (2.36)$$

Dimana

$$\rho_b = \frac{A_s b}{b \times d} \quad (2.37)$$

Dengan mempertimbangkan prinsip keseimbangan  $C_b = T_b$  dan mensubstitusikan persamaan (2.41) kedalamnya, diperoleh:

$$\rho = \left( \frac{0.85 \times f'_c}{f_y} \right) \beta_1 \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.38)$$

Rasio penulangan yang dihitung menggunakan Persamaan (2.38) akan menghasilkan beton bertulang dalam keadaan seimbang (*balance*).

## 2.9.2 Balok Bertulangan Lemah

Dalam kondisi penampang terpasang baja ulangan kurang dari rasio tulangan maksimum (0.75 kali rasio tulangan dalam keadaan seimbang), baja tulangan akan lebih dulu mencapai tegangan leleh  $f_y$  sebelum beton mencapai kekuatan maksimumnya. Gaya tarik baja tulangan tetap sebesar  $A_s f_y$  meskipun besaran beban terus bertambah. Bertambahnya beban yang bekerja menyebabkan terjadinya perpanjangan (deformasi) plastis yang semakin besar hingga mengakibatkan retak akibat lentur pada serat beton yang terkena tarik dan bertambahnya regangan secara non-linear pada beton yang menerima gaya tekan hingga berakibat terjadinya keruntuhan tarik.

Berdasarkan asumsi-asumsi yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, maka dapat dihitung: [www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)

$$C = 0.85 \times f'_c \times a \times b \quad (2.39)$$

$$T = A_s \times f_y \quad (2.40)$$

Dimana:

$C$  = Gaya tekan pada beton, dihitung sebagai volume blok tekan ekuivalen pada atau dekat keadaan batas; yaitu baja tulangan Tarik telah mengalami leleh

$T$  = Gaya tarik pada baja tulangan

Dengan memperhitungkan prinsip keseimbangan gaya dalam arah horizontal,  $C=T$ , maka:

$$0.85 \times f'_c \times a \times b = A_s \times f_y \quad (2.41)$$

Sehingga:

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \quad (2.42)$$

$$c = \frac{a}{0.85} \quad (2.43)$$

$$\left( \varepsilon_t = \left( \frac{d-c}{c} \right) \times 0.003 \right) > \varepsilon_b = \frac{f_y}{E_s} \text{ (Keruntuhan Tarik)} \quad (2.44)$$

Tahanan momen penampang atau kekuatan nominal ( $M_n$ ) dihitung dengan:

$$M_n = A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.45)$$

Untuk menjamin daktilitas beton bertulang yang menerima momen lentur sekaligus memperhitungkan terjadinya tegangan-tegangan yang diakibatkan susut, rangkai dan pengaruh suhu, maka SNI 03-2847-2002 mensyaratkan penggunaan tulangan tarik dengan rasio penulangan minimal;

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \quad (2.46)$$

Dan tidak boleh lebih kecil dari:

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} \quad (2.47)$$

Untuk menentukan spasi tulangan sengkang digunakan persamaan sebagai berikut: [www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)

$$\text{Spasi Sengkang Maksimum} = \frac{d}{2} \quad (2.48)$$

Dimana nilai  $d$  tidak lebih dari 600 mm.

## 2.10 Bambu

Bambu merupakan jenis tanaman yang termasuk *Bamboide* yaitu salah satu anggota sub familia rumput, sehingga pertumbuhan bambu cukup cepat (Jansen, 1980). Pada umumnya bambu ditemukan pada tempat-tempat terbuka. Dalam pemanfaatannya, faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam menentukan kualitas dan kuantitas produk yang dapat dihasilkan, misalnya faktor jenis bambu, umur, kadar air, berat jenis, kekuatan, keawetan.

Di Indonesia ada sekitar 12 spesies bambu di Indonesia yang biasa digunakan sebagai struktur bangunan (Sipongco dkk, 1987). Dari berbagai jenis bambu yang berada di Indonesia, hanya ada empat saja yang biasanya dijual dipasaran, yaitu bambu Petung, bambu Tali, bambu duri dan bambu wulung (Frick, 2004). Penggunaan bambu sebagai material struktur lebih baik karena strukturnya yang ringan sehingga menyebabkan ketahanan yang lebih tinggi terhadap getaran gempa. Lahan di Kota Balikpapan termasuk cocok ditanami pohon bambu. Berbagai jenis bambu unggulan dan endemik asli Indonesia. Misalnya bambu pelopor atau bambu hijau, bambu kuning, bambu petung, bambu apus, dan bambu perling.

## 2.11 Kelebihan dan Kelemahan Bambu

Kelebihan bambu sebagai tulangan beton adalah sebagai berikut

1. Dari segi harga, tulangan bambu jauh lebih murah
2. Diperoleh dengan mudah, karena tersedia di semua daerah
3. Pertumbuhannya yang cepat.
4. Merupakan bahan konstruksi yang ringan
5. Bahan yang dapat diperbaharui
6. Memiliki kuat tarik yang tinggi.

Kelemahan bambu sebagai tulangan beton adalah sebagai berikut.

1. Daya lekat dengan beton kurang baik
2. Mudah menyerap air
3. Mudah terbakar.

## 2.12 Bambu Petung sebagai Pengganti Tulangan Baja

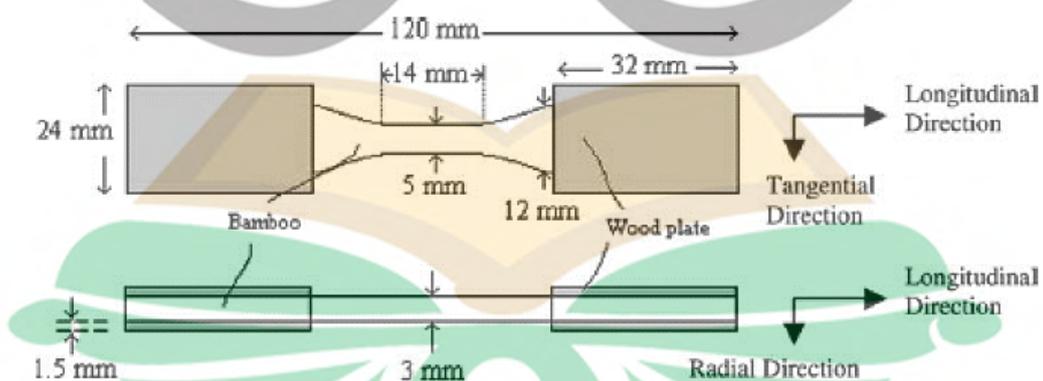
Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*), dikenal sebagai jenis bambu berukuran besar. Secara alami tersebar luas mulai dari Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Bali, Lombok, Kepulauan Nusa Tenggara sampai Maluku. Tumbuh dengan baik pada tempat-tempat tinggi, >300 m di atas permukaan laut, berbukit, dan beriklim basah (Morissco, 1999). Bambu petung memiliki ukuran yang besar, dengan diameter batang bawah dapat mencapai 26 cm, panjang ruas berkisar 40-60 cm, tebal dinding 15-20 mm, dan tinggi batang mencapai 25 m. sehingga batang bambu petung dapat dibelah dan dibentuk seperti tulangan untuk beton bertulangan.

Morissco (1999) melakukan pengujian kuat tarik Bambu Ori (*Bambusa Blumena*), Bambu Petung (*Dendrocalamus asper Back.*), dan jenis bambu lainnya terhadap kuat tarik baja tulangan. Kekuatan bambu untuk menahan gaya tarik tergantung pada bagian batang yang digunakan dan besarnya dihitung dengan persamaan (2.41). Bagian ujung memiliki kekuatan terhadap gaya tarik 12% lebih rendah dibanding dengan bagian pangkal.

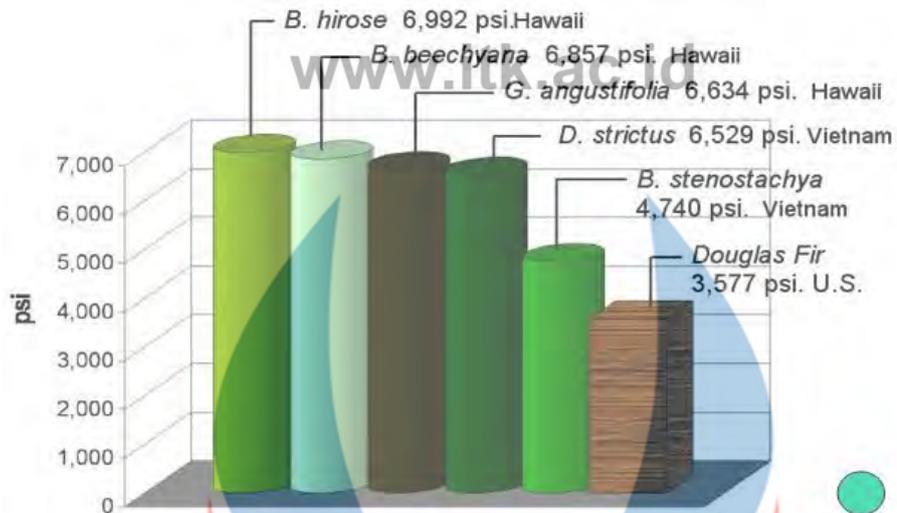
$$\sigma_w = \frac{P_{tk}}{A} \quad (N / mm^2) \quad (2.49)$$

Dimana:

- $P_{tk}$  = Beban Maksimum (N)  
 $A$  = Luas Bidang Tarik ( $mm^2$ )



**Gambar 2.14** Pengujian Kuat Tarik Sejajar Serat  
 (Sumber: I Gusti L.B.E, 2017)



**Gambar 2.15** Hasil Uji Tarik Bambu  
(Sumber: I Gusti L.B.E, 2017)

**Tabel 2.8** Kuat Tarik Bambu tanpa buku kering oven (Morissco, 1999)

Jenis Bambu	Kuat Tarik	Kuat Tarik Bagian
	Bagian Dalam (kg/cm <sup>2</sup> )	Luar (kg/cm <sup>2</sup> )
Bambu Ori ( <i>Bambusa arundinacea</i> )	1640	4170
Bambu Petung ( <i>Dendrocalamus asper</i> )	970	2850
Bambu Hitam ( <i>Gigantochloa atrovioleacea</i> )	960	2370
Bambu Tutul ( <i>Bambusa maculate</i> )	1460	2860

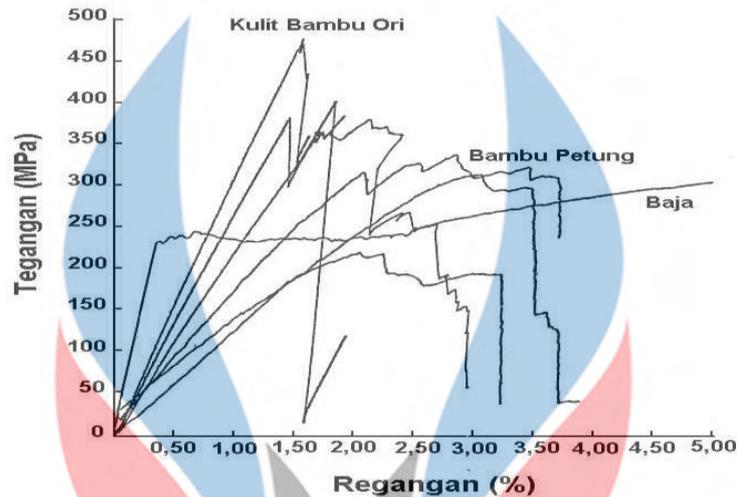
Sumber: I Gusti L.B.E, 2017

**Tabel 2.9** Kuat Tarik Bambu kering oven (Morissco, 1999)

Jenis Bambu	Kuat Tarik	Kuat Tarik dengan
	tanpa Buku (kg/cm <sup>2</sup> )	Buku (kg/cm <sup>2</sup> )
Bambu Ori ( <i>Bambusa arundinacea</i> )	291	128
Bambu Petung ( <i>Dendrocalamus asper</i> )	190	116
Bambu Wulung ( <i>Gigantochloa atrovioleacea</i> )	166	147
Bambu Legi ( <i>Gigantochloa verticilata</i> )	288	126
Bambu Tutul ( <i>Bambusa maculate</i> )	216	74
Bambu Galah ( <i>Gigantochloa verticilata</i> )	253	124
Bambu Apus ( <i>Gigantochloa apus</i> )	151	55

Sumber: I Gusti L.B.E, 2017

Data hasil pengujian yang dilakukan Morissco (1999) dapat dilihat pada Gambar 2.15 dibawah ini.



**Gambar 2.16** Hasil Uji Tarik Bambu dan Baja  
(Sumber: Morissco, 1999)

### 2.13 Kuat Lentur Balok Beton Uji

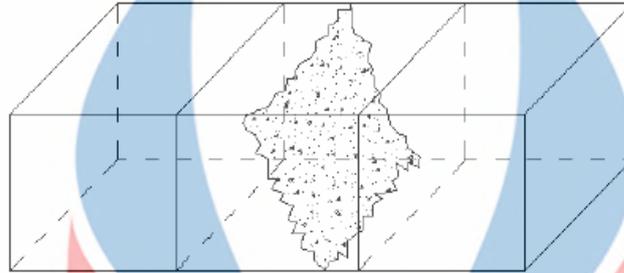
Penampang beton bertulang dibebani lentur murni yang dianalisis mempunyai pengaruh yang sangat besar pada suatu prosedur atau suatu asumsi dasar tertentu yang disepakati mempunyai probabilitas keruntuhan yang tertentu pula. Bila asumsi-asumsi ini diubah, maka probabilitas keruntuhan juga berubah.

Asumsi yang digunakan dalam menganalisis beton bertulang yang diberi beban lentur adalah:

1. Beton tidak dapat menerima gaya tarik karena beton tidak mempunyai kekuatan Tarik.
2. Perubahan bentuk berupa pertambahan panjang dan perpendekkan (regangan tarik dan tekan) pada serat-serat penampang, berbanding lurus dengan jarak tiap serat ke sumbu netral.
3. Hubungan antara tegangan dan regangan baja dapat dinyatakan secara skematis.
4. Hubungan antara tegangan dan regangan beton dapat dinyatakan secara skematis.

Untuk pengujian dimana bidang patah terletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan berikut ini:

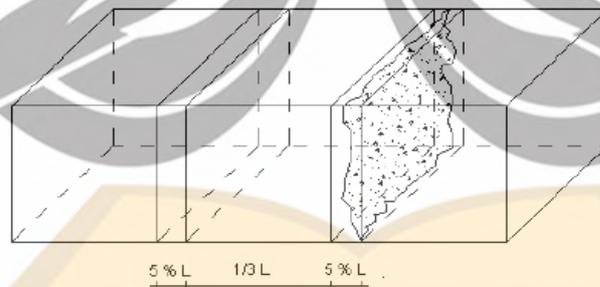
$$\sigma_l = \frac{P.L}{b.h^2} \quad (2.50)$$



**Gambar 2.17** Balok dengan patahan 1/3 bentang dari jarak titik perletakan bagian tengah  
(Sumber: SNI 4431:2011)

Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada di luar pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah), dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari jarak antara titik perletakan maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan sebagai berikut.

$$\sigma_l = \frac{P.a}{b.h^2} \quad (2.51)$$



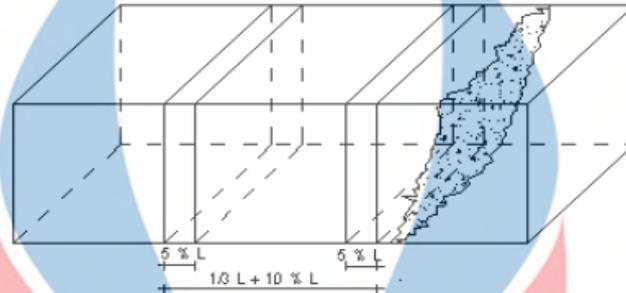
**Gambar 2.18** Balok dengan patahan 1/3 bentang tengah dan garis patah pada <5% dari bentang  
(Sumber: SNI 4431:2011)

Dimana:

- $\sigma_l$  = Kuat lentur benda uji (MPa)
- $P$  = beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (ton)
- $L$  = jarak antara dua garis perletakan (mm)
- $b$  = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)
- $h$  = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

$a$  = jarak rata-rata tampang litang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm)

Untuk benda uji yang patahnya di luar pusat (daerah  $1/3$  jarak titik perletakan bagian tengah) dan jarak antar titik pembebanan dan titik patah lebih dari  $5\%$  bentang, hasil pengujian tidak digunakan.

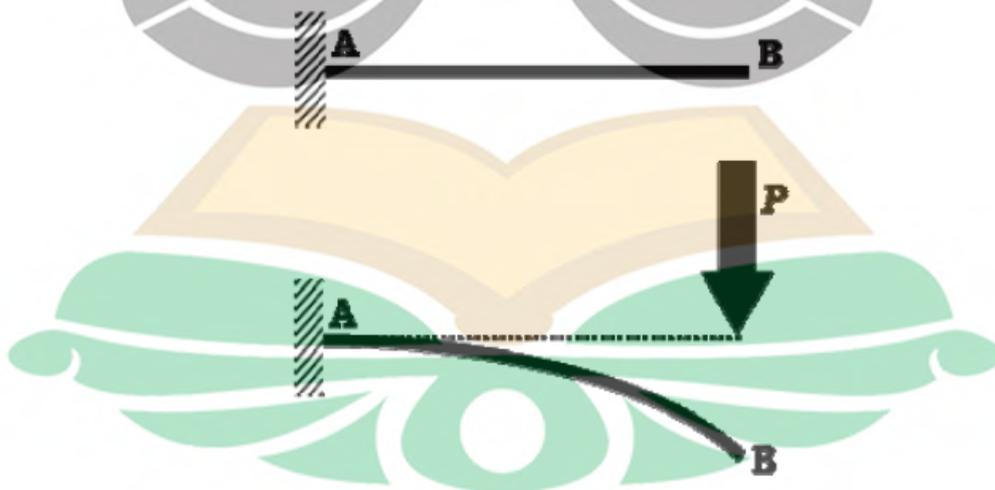


**Gambar 2.19** Balok dengan patahan di luar  $1/3$  bentang tengah dan garis patah pada  $>5\%$  dari bentang

(Sumber: SNI 4431:2011)

#### 2.14 Lenturan Pada Balok

Pembebanan yang bekerja pada balok menyebabkan balok melentur, sehingga sumbunya terdeformasi membentuk lengkungan yang disebut kurva defleksi (lendutan) balok. Defleksi suatu balok di sembarang titik di sepanjang sumbu balok merupakan peralihan titik tersebut dari posisi semula, diukur dalam arah  $y$ .



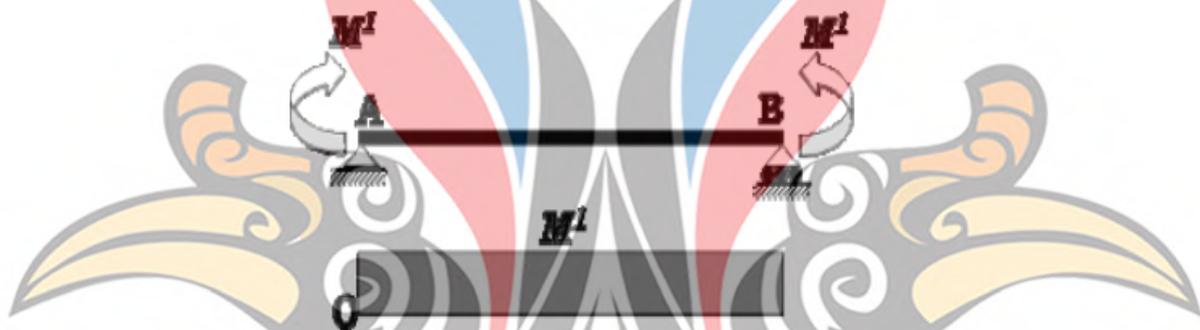
**Gambar 2.20** Lenturan pada Balok Kantilever

(Sumber: Mulyati, 2020)

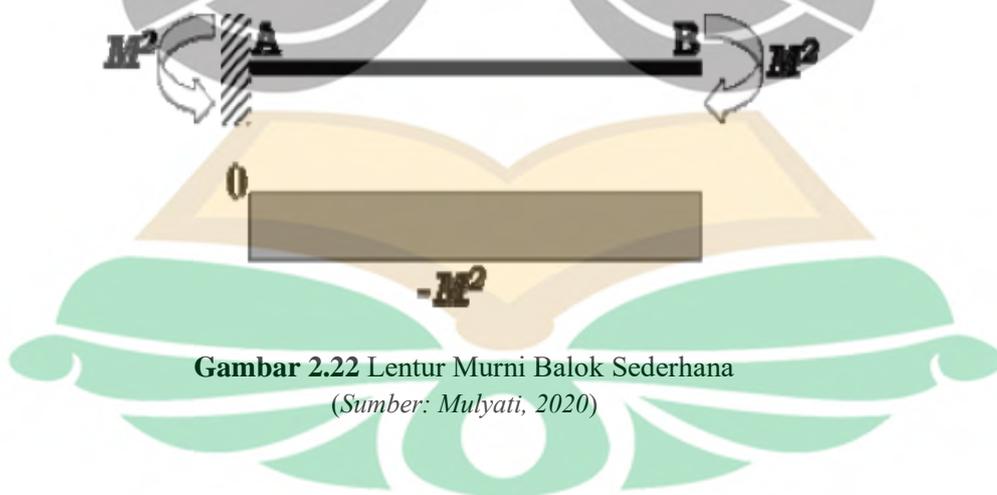
www.itk.ac.id

Berdasarkan gambar 2.20 di atas, balok kantilever AB tanpa dibebani, balok kantilever AB memikul beban  $P$  di ujung bebas. Sumbu yang semula lurus akan melentur membentuk lengkungan, yang disebut kurva defleksi (lendutan) balok yang besarnya tergantung pada besar beban yang bekerja.

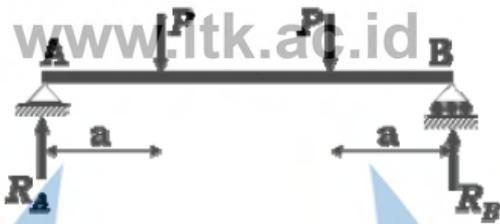
Dalam menganalisis suatu balok, seringkali dibutuhkan pembedaan antara lentur murni dan lentur tak seragam. Lentur murni mengandung arti lentur pada suatu balok akibat momen lentur konstan. Dengan demikian, lentur murni terjadi hanya di daerah balok dimana gaya geser adalah nol. Sebaliknya lentur tak seragam mengandung arti lentur yang disertai adanya gaya geser, yang berarti bahwa momen lentur berubah pada saat kita menyusuri sepanjang sumbu balok, seperti yang disajikan pada gambar 2.21 hingga 2.23 di bawah ini.



**Gambar 2.21** Lentur Murni Balok Sederhana  
(Sumber: Mulyati, 2020)

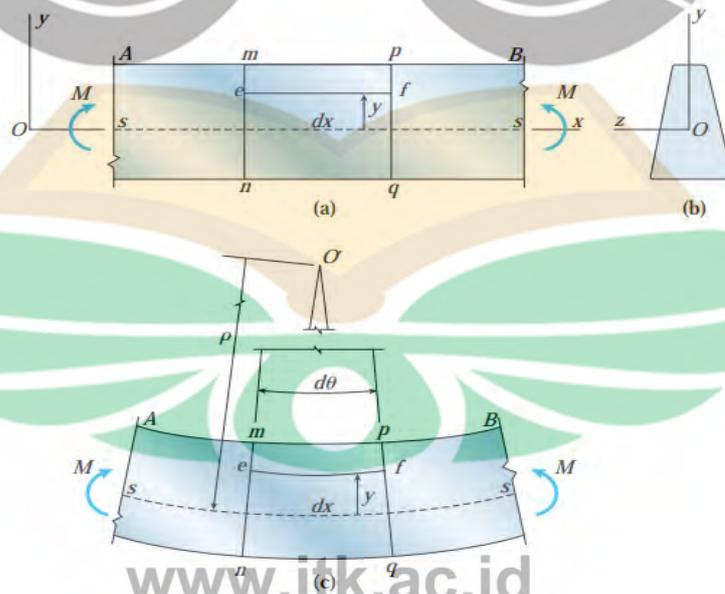


**Gambar 2.22** Lentur Murni Balok Sederhana  
(Sumber: Mulyati, 2020)



Gambar 2.23 Lentur Tak Seragam Pada Balok Sederhana  
(Sumber: Mulyati, 2020)

Pada suatu balok yang dibebani, kemungkinan balok akan melengkung akibat gaya momen yang bekerja. Regangan longitudinal di suatu balok dapat diperoleh dengan menganalisis kelengkungan suatu balok beserta deformasinya, seperti yang disajikan pada gambar 2.24 di bawah ini.



Gambar 2.24 Deformasi balok yang mengalami lentur murni  
(Sumber: Mulyati, 2020)

Karena adanya deformasi lentur seperti terlihat pada Gambar 2.23, penampang  $mn$  dan  $pq$  berputar satu sama lain terhadap sumbu yang tegak lurus bidang  $xy$ . Garis longitudinal pada bagian cembung (bawah) dari balok memanjang, sedangkan pada bagian cekungnya (atas) dari balok memendek. Jadi bagian bawah balok mengalami tarik dan bagian atas mengalami tekan. Antara bagian atas dan bawah balok terdapat permukaan dengan garis longitudinal yang tidak berubah panjangnya yang disebut garis permukaan netral balok. Perpotongannya dengan bidang penampang disebut sumbu netral penampang. Berdasarkan gambar di atas, juga dapat dilihat tinjauan garis  $ef$  berjarak  $y$  dari atas sumbu netral yang memiliki panjang mula-mula  $dx$ . Setelah terlentur, maka panjang garis  $ef$  adalah

$$L_1 = (\rho - y) d / \theta = dx - \frac{y}{\rho} dx \quad (2.52)$$

Karena panjang semula garis  $ef$  adalah sama dengan  $dx$ , maka perubahan panjangnya adalah  $L_1 - dx$  atau sama dengan  $-ydx/\rho$ . Regangan yang terjadi sama dengan perubahan panjang dibagi panjang mula-mula, atau:

$$\varepsilon_x = -\frac{y}{\rho} = -ky \quad (2.53)$$

Dimana  $k$  adalah kelengkungan.

Regangan di suatu balok yang mengalami lentur murni bervariasi secara linier terhadap jarak dari sumbu netral.

## 2.15 Tegangan Lentur pada Balok

Mengingat hukum hooke untuk tegangan uniaksial, maka tegangan pada balok dapat dituliskan menjadi:

$$\sigma_x = E\varepsilon_x = -\frac{Ey}{\rho} = -Eky \quad (2.54)$$

Pertambahan momen lentur,  $dM$  adalah:

$$dM = -\sigma y dA \quad (2.55)$$

Jika diintegrasikan, maka didapatkan persamaan:

$$dM = -\int_A \sigma y dA = \int_A kEy^2 dA \quad (2.56)$$

Akhirnya dapat diperoleh hubungan,

$$M = kEI \quad (2.57)$$

$$k = \frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (2.58)$$

www.itk.ac.id

Dimana,  $EI$  dikenal sebagai kekakuan lentur.

Karena  $dx = \rho d\theta$ , maka dapat dituliskan,

$$d\theta = \frac{M}{EI} dx \quad (2.59)$$

Dari persamaan-persamaan di atas, maka dapat diturunkan rumus untuk menghitung tegangan lentur pada penampang balok, dimana tegangan lentur menunjukkan bahwa tegangan sebanding dengan momen lentur dan berbanding terbalik dengan momen inersia penampang, besarnya tegangan bervariasi secara linier terhadap jarak  $y$  dari sumbu netral. Besaran tegangan akibat lenturan dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut.

$$\sigma = \frac{M \times y}{I} \quad (2.60)$$

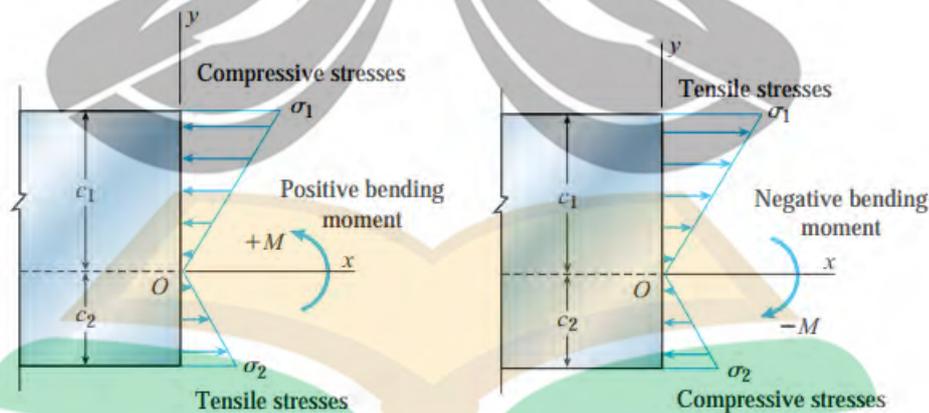
Dimana:

$\sigma$  = Tegangan Lentur

$M$  = Momen Lentur

$y$  = Jarak tegak lurus garis netral ke titik tinjau

$I$  = Momen Inersia



**Gambar 2.25** Diagram Tegangan Pada Balok Akibat Momen

(Sumber: Mulyati, 2020)

Berdasarkan gambar 2.25 di atas, jika momen lentur di suatu balok bernilai positif, maka tegangan lentur akan positif (tarik) dibagian penampang, dimana  $y$  adalah negatif, artinya di bagian bawah balok. sedangkan bagian atasnya tegangan lentur bernilai negative (tekan).

www.itk.ac.id

## 2.16 Preliminary Design Balok

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 dalam Tabel 9.5(a) untuk balok pra-tegang tumpuan sederhana digunakan tinggi minimum dan lebar minimum menggunakan persamaan yang disajikan pada tabel 2.10 dibawah ini.

**Tabel 2.10** Tebal Minimum Balok Pra-Tegang

Komponen Struktur	Tebal Minimum, $h$			
	Tertumpu Sederhana	Satu Ujung Menerus	Kedua Ujung Menerus	Kantilever
Balok atau pelat rusuk satu arah	$\frac{L}{16}$	$\frac{L}{18.5}$	$\frac{L}{21}$	$\frac{L}{8}$

(Sumber: SNI 2047-2013)

Penggunaan persamaan tersebut dapat digunakan dengan persyaratan pendukung, antara lain sebagai berikut:

- Panjang bentang dalam satuan millimeter dan nilai yang diberika harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan-tulangan mutu 420 MPa
- Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*) dengan berat beton 1440 kg/m<sup>3</sup> sampai 1840 kg/m<sup>3</sup>, nilai tersebut harus dikalikan dengan persamaan sebagai berikut tetapi tidak boleh kurang dari 1.09 sehingga:

$$h_{\min} = h_{\min} \times (1.65 - 0.003W_c) \quad (2.61)$$

Dimana;

$h_{\min}$  adalah tinggi penampang minimum;

$W_c$  adalah berat jenis dari beton;

- Untuk nilai  $f_y$  selain 420 MPa, nilai tersebut harus dikalikan dengan persamaan berikut, sehingga menjadi:

$$h_{\min} = h_{\min} \times \left( 0.4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad (2.62)$$

$f_y$  adalah mutu dari tulangan longitudinal;

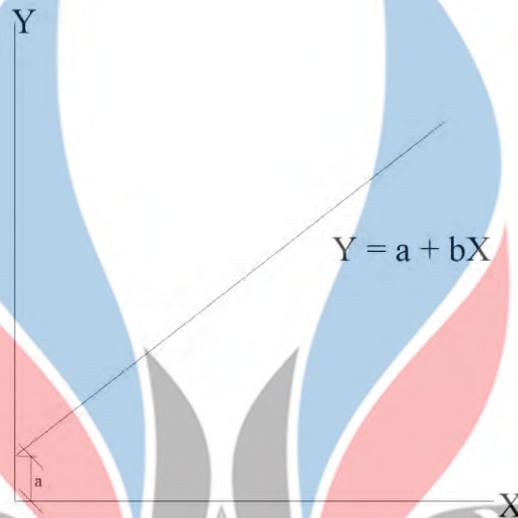
- Untuk perhitungan lebar bentang minimum dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$b_{\min} = \frac{2}{3} \times h_{\min} \quad (2.63)$$

$b_{\min}$  adalah tinggi penampang minimum;

## 2.17 Metode Regresi Linier Sederhana

Regresi linier sederhana merupakan suatu model persamaan yang menggambarkan hubungan satu variabel bebas/ *predictor* (X) dengan satu variabel tak bebas/ *response* (Y), yang biasanya digambarkan dengan garis lurus, seperti yang disajikan pada gambar 2.26 dibawah ini.



**Gambar 2.26** Ilustrasi Garis Regresi Linier

Persamaan regresi linier sederhana secara matematik diekspresikan oleh:

$$\hat{Y} = a + bX \quad (2.64)$$

Dimana:

$\hat{Y}$  = garis regresi/ *variable response*

$a$  = konstanta (intersep), perpotongan dengan sumbu vertikal

$b$  = konstanta regresi (*slope*)

$X$  = variabel bebas/ *predictor*

Besarnya konstanta  $a$  dan  $b$  dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.65)$$

$$b = \frac{n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.66)$$

Dimana  $n$  merupakan jumlah data.

Adapun langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk melakukan analisis dan uji regresi linier sederhana adalah sebagai berikut:

1. Menentukan tujuan dari Analisis Regresi Linier Sederhana
2. Mengidentifikasi variable *predictor* dan *variable response*.
3. Melakukan pengumpulan data dalam bentuk tabel
4. Menghitung  $X^2$ ,  $XY$  dan total dari masing-masingnya
5. Menghitunga  $a$  dan  $b$  menggunakan persamaan yang telah ditentukan
6. Membuat model Persamaan Garis Regresi
7. Melakukan prediksi terhadap variable *predictor* atau *response*
8. Uji signifikansi menggunakan Uji-t dan menentukan Taraf Signifikan.

### 2.18 Koefisien Korelasi (r)

Untuk mengukur kekuatan hubungan antar *variable predictor*  $X$  dan *response*  $Y$ , dilakukan analisis korelasi yang hasilnya dinyatakan oleh suatu bilangan yang dikenal dengan koefisien korelasi. Biasanya analisis regresi sering dilakukan bersama-sama dengan analisis korelasi. Persamaan koefisien korelasi (r) dibawah ini.

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n XY - \left( \sum_{i=1}^n X \right) \left( \sum_{i=1}^n Y \right)}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n X^2 - \left( \sum_{i=1}^n X \right)^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n Y^2 - \left( \sum_{i=1}^n Y \right)^2 \right]}} \quad (2.67)$$

### 2.19 Penelitian Terdahulu

Berikut ini adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan ini.

**Tabel 2.11** Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Dwi Anggraini Kusuma (Universitas Mataram, 2003) <b>Aplikasi Bambu Pilinan Sebagai Tulangan Balok Beton</b>	Baja tulangan adalah produk hasil tambang yang keberadaannya suatu saat akan habis. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, sebagai alternatif dicoba pemakaian tulangan bambu yang murah dan berkekuatan tinggi. Pada penelitian ini bambu digunakan sebagai tulangan balok beton, balok direncanakan bertulangan liat (underreinforced) dan tidak bertulangan

No.	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
		<p>tekan, semua balok diberi tulangan bambu pilinan dari bambu galah dengan diameter 12 mm dan diberi lapisan kedap air. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode <i>four point load</i>, sehingga pada bagian balok diharapkan akan terjadi lentur murni. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata perbandingan antara momen retak awal (eksperimen) dengan momen perhitungan (teoritis) sebesar 115.26 %, hal ini menunjukkan adanya kecocokan antara teori dan eksperimen. Simpangan standar yang cukup besar yaitu 35.31 % dapat diartikan bahwa kualitas tulangan kurang seragam. Disimpulkan bahwa bambu memiliki peluang untuk digunakan sebagai tulangan, khususnya untuk struktur beton sederhana.</p>
2	<p>Pathurahman dan Jauhar Fajrin (Universitas Mataram NTB, 2003)</p> <p><b>Aplikasi Bambu Pilinan sebagai Tulangan Balok Beton</b></p>	<p>Pada penelitian ini bambu digunakan sebagai tulangan balok beton, balok direncanakan bertulangan liat (<i>underreinforced</i>) dan tidak bertulangan tekan, semua balok diberi tulangan bambu pilinan dari bambu galah dengan diameter 12 mm dan diberi lapisan kedap air. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode <i>four point load</i>, sehingga pada bagian balok diharapkan akan terjadi lentur murni. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata perbandingan antara momen retak awal (eksperimen) dengan momen perhitungan (teoritis) sebesar 115.26 %, hal ini menunjukkan adanya kecocokan antara teori dan eksperimen.</p>

No.	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
		<p>Simpangan standar yang cukup besar yaitu 35.31 % dapat diartikan bahwa kualitas tulangan kurang seragam. Disimpulkan bahwa bambu memiliki peluang untuk digunakan sebagai tulangan, khususnya untuk struktur beton sederhana.</p>
3	<p>Ria Fahrina (Universitas Bangka Belitung, 2014)</p> <p><b>Pemanfaatan Bambu Betung Bangka Sebagai Pengganti Tulangan Balok Beton Bertulangan Bambu</b></p>	<p>Dalam penelitian ini bambu yang digunakan sebagai pengganti tulangan adalah bambu betung yang kemudian dikeringkan selama 7 hari. Dilakukan pengujian fisik bambu dan beton seperti kadar air bambu, kuat tarik bambu sejajar serat, kuat tekan beton, kuat lekat bambu terhadap beton dan kuat lentur balok bertulangan bambu dengan umur masing-masing beton 28 hari. Setelah dilakukan pengujian kuat lentur, kemudian dibandingkan nilai kuat lentur balok beton bertulang secara teori dengan eksperimen. Dari hasil penelitian diperoleh nilai kadar air bambu sebesar 18.29%, kuat tekan beton rata-rata sebesar 28.5771 MPa, kuat tarik bambu sejajar serat sebesar 350.9741 MPa dengan kuat leleh bambu sebesar 247.42 MPa, kuat lekat bambu terhadap beton sebesar 0.341 MPa, dan kuat lentur balok bertulang bambu sebesar 3.8735 MPa.</p>
4	<p>Lasino (Pusat Litbang Permukiman, 2014)</p> <p><b>Penggunaan Bambu Sebagai Bahan Tulangan pada Bak Penampung Air (Reservoir)</b></p>	<p>Pada penelitian ini, data yang diambil sebagai acuan referensi merupakan data uji tarik dari tulangan bambu yang digunakan yakni bambu petung. Dimana dari pengujian tarik yang dilakukan dengan ukuran benda uji sepanjang 600 mm dan</p>

No.	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
5	<p>Marsudi, M. Tri Rochadi, Nur Setiaji P., Stefanus Santoso (Politeknik Negeri Semarang, 2014)</p> <p><b>Modifikasi Balok Beton Tulangan Komposit Guna Meningkatkan Daktilitas pada Konstruksi Bangunan Gedung</b></p>	<p>diameter 10 mm didapatkan nilai rata-rata kuat tarik sebesar 167.5 MPa.</p> <p>Dalam penelitian ini digunakan bilah-bilah bambu petung sebanyak tiga buah dengan lebar 5 mm, tebal 5 mm dan panjang 2.5 meter disatukan dan diikat dengan kawat bendrat lalu dijepit kemudian dipuntir. Berdasarkan benda uji yang dilakukukan uji tarik didapatkan hasil sebagai berikut: Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang. Hasil uji tarik bambu petung 3 pilinana, dapat menahan beban maksimum hingga 17.5 kN.</p>
6	<p>Danang Gunawan Wibisono (Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2014)</p> <p><b>Tinjauan Kuat Lentur Balok Beton Bertulangan Bambu Laminasi dan Balok Beton Bertulangan Baja pada <i>Simple Beam</i></b></p>	<p>Tujuan dari penelitian ini adalah: melakukan analisis kuat lentur balok bertulangan baja dengan balok beton bertulangan bambu laminasi yang mempunyai kekuatan setara dan melakukan analisis perbandingan kuat lentur balok bertulang secara pengujian dengan kuat lentur balok bertulang secara analisis. Dalam penelitian ini, bambu yang digunakan adalah bambu Ori. Metode penelitian ini ada beberapa tahap. Tahap pertama yaitu persiapan alat dan bahan. Tahap kedua meliputi: pemeriksaan bahan, perencanaan campuran dan pembuatan adukan beton. Tahap ketiga yaitu pembuatan benda uji dan perawatan. Tahap keempat yaitu pengujian kuat tekan beton dan kuat lentur balok. Tahap kelima yaitu analisa data, pembahasan dan kesimpulan. Hasil momen kapasitas dari</p>

No.	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
		<p>penelitian ini adalah: momen kapasitas balok beton bertulang baja 12,691 kN.m, momen kapasitas balok beton bertulang bambu laminasi 12.52 kN.m. Hasil momen kapasitas secara analisis, balok beton bertulang baja 12.25 kN.m, momen kapasitas balok beton bertulang bambu laminasi 13.288 kN.m.</p>
7	<p>Erwin Rommel dan Yunan Rusdianto (Universitas Muhammadiyah Malang, 2015)</p> <p><b>Pemakaian Serat Plastik Secara Parsial Pada Penampang Balok</b></p>	<p>Penelitian ini dilakukan dengan membuat 15 balok (15x15x60) cm, mutu beton 20 MPa dengan diberi 5% serat plastik dari volume beton dengan rasio serat plastik (L/d=5) dan ditempatkan bervariasi pada ketinggian balok, masing-masing ; <math>\frac{1}{4} h</math>, <math>\frac{1}{2} h</math>, <math>\frac{3}{4} h</math> dan <math>h</math> (<math>h</math>=tinggi balok). Pemberian serat plastik pada daerah tarik balok (<math>\frac{1}{2}</math> dari ketinggian penampang balok) dapat menghasilkan nilai MOR paling besar yakni 4,29 MPa dan momen lentur sebesar 234 kg-m atau meningkatkan MOR 25,8% dan momen lentur 40% dibandingkan penampang balok konvensional (tanpa serat plastik). Sedangkan kekakuan balok diperoleh nilai terbesar pada balok yang diberi serat pada <math>\frac{3}{4}</math> dari ketinggian penampang balok dengan nilai 3.651 kg/mm atau 1,5 kali lebih besar dibandingkan pada balok konvensional (tanpa serat plastik).</p>
8	<p>Agostinho F. Pinto, Sri Murni Dewi, Devi Nurlinah (Universitas Brawijaya Malang, 2016)</p>	<p>Pada penelitian ini menggunakan bambu yang dirajut. Benda uji berupa balok beton dengan tulangan (<i>reinforced concrete</i>) dengan ukuran 15 x 25 x 170 cm. balok tersebut diletakkan pada dua tumpuan yang</p>

No.	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
	<b>Aplikasi Rajutan Bambu Sebagai Tulangan Beton</b>	<p>dibebani dengan beban dua beban statik yang terukur pada bentang balok tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas lentur balok dengan tulangan bambu, kapasitas lendutan balok bertulang bambu. Pengujian yang dilakukan adalah uji lentur balok beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa balok beton bertulang bambu memiliki kapasitas maksimum mencapai 56.61% dari kapasitas maksimum beton bertulang baja.</p>
<p>9</p> <p>Maria Veronika Jahuranto (Universitas Brawijaya Malang, 2017)</p>	<p><b>Uji Tarik Dan Pengaruh Variasi Pola Pilinan Bambu Terhadap Kuat Lekat Balok Beton</b></p>	<p>Pada penelitian ini akan diteliti lebih lanjut tentang kuat tarik bambu dan pengaruh variasi pola pilinan terhadap kuat lekat dan variasi pola pilinan mana yang dapat memberikan kuat lekat terbaik. Sebagai control digunakan tulangan bambu polos berukuran 0.7 cm x 0.7 cm. Hasil pengujian hasil kuat tarik bambu 48,90 MPa dan berdasarkan hasil pengujian <i>pull out</i> bambu didapatkan hasil kuat lekat bambu sebesar 1.18 MPa yang berasal dari tulangan bambu polos. Tulangan bambu pilin didapatkan tegangan tarik maksimum sebesar 85.85 MPa yang berasal dari pola 1. Tulangan bambu pilin belum memperlihatkan perilaku cabut saat pengujian <i>pull out</i> sehingga belum dapat diketahui besarnya lekatan antara bambu pilin dengan beton. Namun, lekatan antara tulangan bambu pilin dengan beton yang terjadi cukup bagus jika dilihat dari mutu beton yang melebihi rencana. Dimana pada beton dengan mutu diatas rencana, tulangan tidak mengalami pergeseran atau tercabut saat dilakukan uji <i>pull out</i> karena adanya ikatan yang kuat antara beton dengan tulangan bambu pilin.</p>

[www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

[www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)