

## BAB II

### LANDASAN TEORI

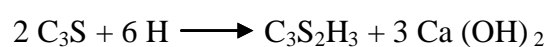
#### 2.1 Beton

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari agregat halus, agregat kasar, batu pecah, atau agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan (McCormac 2004), (Pane. P.F. 2015). Kekuatan, keawetan dan sifat dasar beton tergantung dari bahan dasar tersebut, cara pengadukan cara pengerjaan selama penguangan beton, cara pemadatan beton dan cara perawatan selama proses perkerasan juga berpengaruh pada tingkat kekuatan, dan keawetan beton.

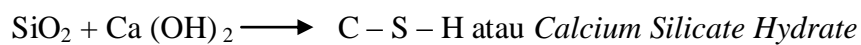
Sifat yang paling penting dari suatu agregat (batu-batuan, kerikil, pasir dan lain-lain.) ialah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang dapat memengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang dapat memengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan musim dingin dan agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan. (Murdock dan Brook, 1999).

##### 2.1.1. Bahan-Bahan Penyusun Beton

Proses pengerasan beton dimulai dengan terjadinya proses hidrasi semen yang merupakan pembentukan *Calcium Silicate Hydrate* ( $C_3S_2H_3$ ) dari *Tricalcium Silicate*, *Dicalcium Silicate* dan air.



$C_3S_2H_3$  merupakan senyawa yang memperkuat beton, sedangkan  $Ca(OH)_2$  (kapur mati) adalah senyawa yang porous yang memperlemah beton. Dengan adanya unsur silika tambahan dari bahan tambah semen diharapkan  $Ca(OH)_2$  (kapur mati) akan bereaksi kembali dengan silika tersebut dan membentuk  $C_3S_2H_3$  yang mengurangi terbentuknya  $Ca(OH)_2$  sehingga dapat mempertinggi beton reaksi unsur silika dengan kapur bebas tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :



Perlu dipilih bahan-bahan yang sesuai, dicampur dan digunakan sedemikian rupa untuk menghasilkan beton dengan sifat-sifat khusus yang diinginkan untuk tujuan tertentu dengan cara yang paling ekonomis. Pemilihan dari bahan dan cara konstruksi tidak mudah dikerjakan, karena terdapat variasi yang mempengaruhi kualitas dari beton yang dihasilkan dalam hal ini kualitas dan faktor ekonomis.

#### **A. Air**

Didalam campuran beton, air mempunyai dua buah fungsi, yaitu :

1. Untuk memungkinkan reaksi kimiawi semen yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan.
2. Sebagai pelincir campuran kerikil, pasir dan semen agar memudahkan dalam pencetakan atau pengerjaan beton.

Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar, minyak, gula atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan. Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam, situ dan lainnya), air laut maupun air limbah juga dapat digunakan asalkan

memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Tabel berikut ini memberikan kriteria kandungan zat kimiawi yang terdapat dalam air dengan batasan tingkat konsentrasi tertentu yang dapat digunakan dalam adukan beton.

**Tabel 2.1** Batasan Maksimum Kandungan Zat Kimia dalam Air

Kandungan unsur kimiawi	Maksimum konsentrasi (ppm*)
Chloride, Cl :	
- Beton prategang	500
- Beton bertulang	1000
Sulfate, SO <sub>4</sub>	1000
Alkali (Na <sub>2</sub> O + 0,658 K <sub>2</sub> O)	600
Total solids	50000

(Sumber : Pedoman Pelaksanaan Praktikum Beton ; 11)

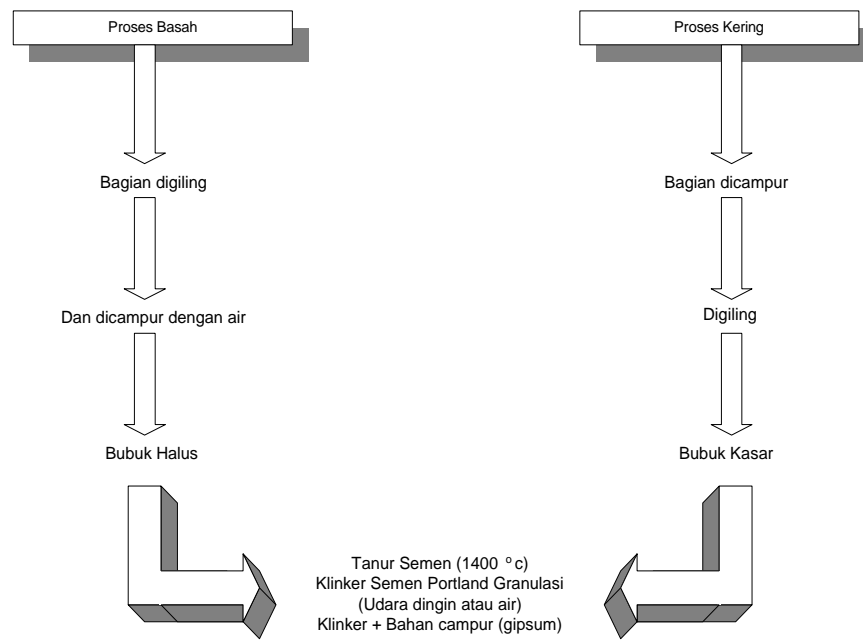
ppm\* = parts per million.

## **B. Semen Portland**

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10 %, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting.

Semen Portland diproduksi untuk pertama kalinya pada tahun 1824 oleh Joseph Aspdin, dengan memanaskan suatu campuran tanah liat yang dihaluskan dengan batu kapur atau kapur tulis dalam suatu dapur sehingga mencapai suatu suhu yang cukup tinggi untuk menghilangkan gas asam karbon. Proses kering dan

proses basah merupakan dua cara produksi yang dipergunakan dalam pembuatan semen, seperti yang diuraikan dalam Gambar berikut ini.



**Gambar 2.1** Proses Pembuatan Semen

Semen yang satu dapat dibedakan dengan semen lainnya berdasarkan susunan kimianya maupun kehalusan butirnya. Perbandingan bahan-bahan utama penyusun semen Portland adalah kapur ( $\text{CaO}$ ) sekitar 60 % - 65 %, silika ( $\text{SiO}_2$ ) sekitar 20 % - 25 %, dan oksida besi serta alumina ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sekitar 7 % - 12 %. Sifat-sifat semen Portland dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

#### 1. Sifat Fisika Semen Portland

Sifat-sifat fisika semen portland meliputi kehalusan butir, waktu pengikatan, kekekalan, kekuatan tekan, pengikatan semu, panas hidrasi, dan hilang pijar.

#### 2. Sifat-Sifat Kimiawi

Sifat-sifat kimiawidari semen Portland meliputi kesegaran semen, sisa yang tak larut (*insoluble residu*), panas hidrasi semen, kekuatan pasta semen dan faktor air semen. Secara garis besar, ada 4 (empat) senyawa kimia utama yang menyusun semen portland, yaitu :

- A. Trikalsium Silikat ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) yang disingkat menjadi  $\text{C}_3\text{S}$ .
- B. Dikalsium Silikat ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) yang disingkat menjadi  $\text{C}_2\text{S}$ .
- C. Trikalsium Aluminat ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang disingkat menjadi  $\text{C}_3\text{A}$ .
- D. Tertakalsium aluminoferrit ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang disingkat menjadi  $\text{C}_4\text{AF}$ .

Kandungan senyawa yang terdapat dalam semen membentuk karakter dan jenis semen menjadi lima jenis, yaitu :

#### 1. Jenis Semen Portland Type I

Jenis semen portland type I mungkin yang paling familiar disekitar Anda karena paling banyak digunakan oleh masyarakat luas dan beredar di pasaran. Jenis ini biasa digunakan untuk konstruksi bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus untuk hidrasi panas dan kekuatan tekan awal. Kegunaan Semen Portland Type I diantaranya konstruksi bangunan untuk rumah permukiman, gedung bertingkat, dan jalan raya. Karakteristik Semen Portland Type I ini cocok digunakan di lokasi pembangunan di kawasan yang jauh dari pantai dan memiliki kadar sulfat rendah.

#### 2. Jenis Semen Portland Type II

Kondisi letak geografis ternyata menyebabkan perbedaan kadar asam sulfat dalam air dan tanah dan juga tingkat hidrasi. Oleh karena itu, keadaan tersebut

mempengaruhi kebutuhan semen yang berbeda. Kegunaan Semen Portland Type II pada umumnya sebagai material bangunan yang letaknya dipinggir laut, tanah rawa, dermaga, saluran irigasi, dan bendungan. Karakteristik Semen Portland Type II yaitu tahan terhadap asam sulfat antara 0,10 hingga 0,20 persen dan hidrasi panas yang bersifat sedang.

### 3. Jenis Semen Portland Type III

Lain halnya dengan tipe I yang digunakan untuk konstruksi tanpa persyaratan khusus, kegunaan semen portland type III memenuhi syarat konstruksi bangunan dengan persyaratan khusus. Karakteristik Semen Portland Type III diantaranya adalah memiliki daya tekan awal yang tinggi pada permulaan setelah proses pengikatan terjadi, lalu kemudian segera dilakukan penyelesaian secepatnya. Jenis semen Portland type III digunakan untuk pembuatan bangunan tingkat tinggi, jalan beton atau jalan raya bebas hambatan, hingga bandar udara dan bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan asam sulfat. Ketahanannya Portland Type III menyamai kekuatan umur 28 hari beton yang menggunakan Portland type I.

### 4. Jenis Semen Portland Type IV

Karakteristik Semen Portland IV adalah jenis semen yang dalam penggunaannya membutuhkan panas hidrasi rendah. Jenis semen portland type IV diminimalkan pada fase pengerasan sehingga tidak terjadi keretakan. Kegunaan Portland Type IV digunakan untuk dam hingga lapangan udara.

### 5. Jenis Semen Portland Type V

Karakteristik Semen Portland Type V untuk konstruksi bangunan yang membutuhkan daya tahan tinggi terhadap kadar asam sulfat tingkat tinggi lebih dari 0,20 persen. Kegunaan Semen Portland Type V dirancang untuk memenuhi kebutuhan di wilayah dengan kadar asam sulfat tinggi seperti misalnya rawa-rawa, air laut atau pantai, serta kawasan tambang. Jenis bangunan yang membutuhkan jenis ini diantaranya bendungan, pelabuhan, konstruksi dalam air, hingga pembangkit tenaga nuklir.

### **C. Agregat**

Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya berkisar antara 60 % - 70 % dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi tetapi karena komposisinya yang cukup besar, agregat inipun menjadi penting dan sifat-sifat yang dimilikinya akan berpengaruh langsung terhadap keawetan (*durability*) dan kinerja struktur beton.

Sifat yang paling penting dari suatu agregat ialah 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 yang digunakan dalam campuran beton harus bersih, keras, bebas dari sifat penyerapan secara kimia, tidak bercampur dengan tanah liat/lumpur dan distribusi/gradasi ukuran agregat memenuhi.

Gradasi yang baik dan teratur (*continuous*) dari agregat halus kemungkinan akan menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan tinggi. Gradasi yang baik adalah gradasi yang memenuhi syarat zona tertentu dan agregat halus tidak boleh

mengandung bagian yang lolos pada satu set ayakan lebih besar dari 45 % dan tertahan pada ayakan berikutnya. Kebersihan agregat juga akan mempengaruhi dari mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik pada saat beton muda maupun beton sudah mengeras.

Hal-hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan penggunaan agregat dalam campuran beton ada lima, yaitu :

1. Volume udara. Udara yang terdapat dalam campuran beton akan mempengaruhi proses pembuatan beton, terutama setelah terbentuknya pasta semen.
2. Volume padat. Kepadatan volume agregat akan mempengaruhi berat isi dari beton tadi.
3. Berat jenis agregat. Berat jenis agregat akan mempengaruhi proporsi campuran dalam berat sebagai kontrol.
4. Penyerapan. Penyerapan berpengaruh pada berat jenis.
5. Kadar air permukaan agregat. Kadar air permukaan agregat berpengaruh pada penggunaan air saat pencampuran.

Pada umumnya agregat digolongkan dalam tiga kelompok, yaitu :

- A. Batu, untuk butiran lebih dari 40 mm.
- B. Kerikil, untuk butiran antara 5 mm dan 40 mm.
- C. Pasir, untuk butiran antara 0,15 mm dan 5 mm.

Sifat-sifat agregat sangat berpengaruh pada mutu campuran beton. Untuk menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan seperti yang diinginkan, sifat-sifat ini harus diketahui dan dipelajari agar kita dapat mengambil tindakan yang positif



dalam mengatasi masalah-masalah yang timbul. Sifat-sifat tersebut adalah : (1). Serapan air dan kadar air agregat, (2). Berat jenis dan daya serap agregat, (3). Gradasi agregat, (4). Modulus halus butir, (5). Ketahanan kimia, (6). Kekekalan, (7). Perubahan volume, (8). Karakteristik panas (sifat thermal agregat), dan (9). Bahan-bahan lain yang mengganggu.

Agregat halus ialah agregat yang semua butir menembus ayakan 4,8 mm (5 mm). Agregat tersebut dapat berupa pasir alam, pasir olahan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Pasir alam terbentuk dari pecahan batu karena beberapa sebab. Pasir dapat diperoleh dari dalam tanah, pada dasar sungai atau dari tepi laut. Oleh karena itu, pasir dapat digolongkan menjadi tiga macam yaitu :

1. Pasir galian. Diperoleh langsung dari permukaan tanpa atau dengan cara menggali terlebih dahulu. Pasir ini biasanya tajam bersudut, berpori dan bebas dari kandungan garam. Tetapi biasanya dibersihkan dari kotoran tanah dengan cara dicuci.
2. Pasir sungai. Diperoleh dari dasar sungai yang pada umumnya berbutir halus, bulat-bulat akibat proses gesekan, daya lekat antar butir agak kurang, karena butirannya bulat. Karena butirannya kecil, maka baik dipakai untuk memplester tembok.
3. Pasir laut. Diambil dari pantai, butiran-butirannya halus dan bulat. Pasir ini merupakan pasir yang paling jelek karena banyak mengandung garam-garaman yang menyerap kandungan air dan udara. Hal ini menyebabkan pasir selalu agak basah dan juga menyebabkan pengembangan bila sudah menjadi bangunan.

SK. SNI T-15-1990-03 memberikan syarat-syarat untuk agregat halus yang diadopsi dari *British Standard* di Inggris. Agregat halus dikelompokkan dalam empat *zone* (daerah) seperti dalam Tabel berikut.

**Tabel 2.2** Batas Gradasi Agregat Halus

Lubang ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang lewat ayakan			
	I	II	III	IV
10	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 : Tri Mulyono, 2003)

- Keterangan :
- Daerah Gradasi I = Pasir Kasar
  - Daerah Gradasi II = Pasir Agak Kasar
  - Daerah Gradasi III = Pasir Halus
  - Daerah Gradasi IV = Pasir Agak Halus

ASTM C.33-86 dalam “Standard Spesification for Concrete Aggregates” memberikan syarat gradasi agregat halus seperti yang tercantum dalam Tabel berikut.

**Tabel 2.3** Syarat Mutu Agregat Halus

Ukuran lubang ayakan (mm)	Persen lolos kumulatif
9.5	100
4.75	95 – 100
2.36	80 – 100
1.18	50 – 85
0.6	25 – 60
0.3	10 – 30
0.15	2 – 10

(Sumber : Tri Mulyono, 2003)

Agregat kasar yaitu agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar dan semua butir tertinggal diatas ayakan 4,8 mm (5 mm). Agregat ini dapat berupa kerikil, pecahan kerikil, batu pecah, terak tanur tiup atau beton semen hidrolis yang pecah.

Menurut *British Standard* (B.S), gradasi agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang baik sebaiknya masuk dalam batas, batas yang tercantum dalam Tabel berikut.

**Tabel 2.4** Syarat Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir lewat ayakan, besar butir maks		
	40 mm	20 mm	12.5 mm
40	95 – 100	100	100
20	30 – 70	95 – 100	100
12.5	-	-	90 – 100
10	10 – 35	25 – 55	40 - 85
4.8	0 – 5	0 – 10	0 – 10

(Sumber : Tri Mulyono, 2003)

### 2.1.2 Sifat-Sifat Beton Segar

Dalam pengerjaan beton segar, tiga sifat penting yang harus selalu diperhatikan adalah *workability* (kemudahan pengerjaan), *segregation* (pemisahan kerikil) dan *bleeding* (naiknya air).

#### 1. *Workability* (Kemudahan Pengerjaan)

Kemudahan pekerjaan dapat dilihat dari nilai *slump* yang identik dengan tingkat keplastisan beton. Semakin plastis beton, semakin mudah pengerjaannya. Percobaan slump dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan. Unsur-unsur yang mempengaruhinya antara lain : jumlah air pencampur, kandungan semen, gradasi campuran pasir dan kerikil, bentuk butiran agregat kasar, butir maksimum, cara pemadatan dan alat pemadatan.

#### 2. *Segregation* (Pemisahan Kerikil)

Kecenderungan butir-butir kasar untuk lepas dari campuran beton dinamakan *segregasi*. Hal ini akan menyebabkan sarang kerikil yang pada akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton. *Segregasi* ini disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya : (1). Campuran kurus atau kurang semen, (2). Terlalu banyak air, (3). Besar ukuran agregat maksimum lebih dari 40 mm, dan (4). Permukaan butir agregat kasar. Semakin kasar permukaan butir agregat, semakin mudah terjadi *segregasi*. Kecenderungan *segregasi* ini dapat dicegah jika : (1). Tinggi jatuh diperpendek, (2). Penggunaan air sesuai syarat, (3). Cukup ruangan antara batang tulangan dengan acuan, (4). Ukuran agregat sesuai dengan syarat, dan (5). Pemadatan baik.

#### 3. *Bleeding* (Naiknya Air)

Kecenderungan air untuk naik ke permukaan pada beton yang baru dipadatkan dinamakan *bleeding*. Air yang naik ini membawa semen dan butir-butir halus pasir, yang pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput (*laintance*). *Bleeding* ini dipengaruhi oleh : susunan butir agregat, banyaknya air, kecepatan hidrasi dan proses pemadatan. *Bleeding* dapat dikurangi dengan cara : (1). Memberi banyak semen, (2). Menggunakan air sesedikit mungkin, (3). Menggunakan butir halus lebih banyak, dan (4). Memasukkan sedikit udara dalam adukan untuk beton khusus.

### **2.1.3 Sifat dan Karakteristik Campuran Beton**

Sifat dan karateristik campuran beton segar secara tidak langsung akan mempengaruhi beton yang telah mengeras. Pasta semen tidak bersifat elastis sempurna tetapi *viscoelastic-solid*. Gaya gesek dalam, susut dan tegangan yang terjadi biasanya tergantung dari energi pemadatan dan tindakan *preventif* terhadap perhatiannya pada tegangan dalam beton. Hal ini tergantung dari jumlah dan distribusi air, kekentalan aliran gel (pasta semen) dan penanganan pada saat sebelum terjadi tegangan serta *kristalin* yang terjadi untuk pembentukan porinya.

#### **1. Sifat dan Karakteristik Bahan Penyusun**

Selain kekuatan pasta semen, hal lain yang perlu menjadi perhatian adalah agregat. Karena proporsi campuran agregat dalam beton adalah 70-80 %, sehingga pengaruh agregat akan menjadi besar, baik dari sisi ekonomi maupun dari sisi teknikan. Semakin baik mutu agregat yang digunakan, secara linier dan tidak langsung akan menyebabkan mutu beton menjadi baik, begitu juga sebaliknya.

## 2. Metode Pencampuran

### A. Penentuan Proporsi Bahan (*Mix Design*)

Proporsi campuran dari bahan-bahan penyusun beton ini ditentukan melalui perancangan beton (*mix design*). Hal ini dimaksudkan agar proporsi dari campuran dapat memenuhi syarat kekuatan serta dapat memenuhi aspek ekonomis. Metode perancangan ini pada umumnya menentukan komposisi dari bahan-bahan penyusun beton untuk kinerja tertentu yang diharapkan. Penentuan proporsi campuran dapat digunakan dengan beberapa metode yang dikenal, antara lain : (1). *Metode American Concrete Institute*, (2). *Portland Cement Association*, (3). *Road Note No.4*, (4). *British Standard, Departement of Engineering*, (5). Departemen Pekerjaan Umum (SK.SNI.T-15-1990-03) dan (6). Cara coba-coba.

### B. Metode Pencampuran (*Mixing*)

Metode pencampuran dari beton diperlukan untuk mendapatkan kelecakan yang baik sehingga beton mudah dikerjakan. Metode pengadukan atau pencampuran beton akan menentukan sifat kekuatan dari beton, walaupun rencana campuran baik dan syarat mutu bahan telah terpenuhi. Pengadukan yang tidak baik akan menyebabkan terjadinya *bleeding*, dan hal lain-lain yang tidak dikehendaki.

### C. Pengecoran (*Placing*)

Metode pengecoran akan mempengaruhi kekuatan beton. Jika syarat-syarat pengecoran tidak terpenuhi, kemungkinan besar kekuatan tekan yang direncanakan tidak akan tercapai.

#### D. Pematatan (*Vibrating*)

Pematatan yang tidak baik akan menyebabkan menurunnya kekuatan beton, karena tidak terjadinya pencampuran bahan yang homogen. Pematatan yang berlebih pun akan menyebabkan terjadinya *bleeding*.

#### 3. Perawatan (*Curing*)

Perawatan dimaksudkan untuk menghindari panas hidrasi yang tidak diinginkan, terutama disebabkan oleh suhu. Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kedekatan terhadap air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitas dari dimensi ukur. Cara dan bahan serta alat yang digunakan untuk perawatan akan menentukan sifat dari beton keras yang dibuat, terutama dari sisi kekuatannya. Waktu-waktu yang dibutuhkan untuk merawat beton pun harus terjadwal dengan baik.

#### 4. Kondisi Pada Saat Pengerjaan Pengecoran

Kondisi pada saat pekerjaan pengecoran akan mempengaruhi kualitas beton yang dibuat. Faktor-faktor tersebut antara lain : (1). Bentuk dan ukuran contoh, (2). Kadar air, (3). Suhu contoh, (4). Keadaan permukaan landasan dan (5). Cara pembebanan.

### 2.1.4 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton tergantung pada modulus elastisitas agregat dan pastanya. Dalam perhitungan struktur boleh diambil modulus elastisitas beton sebagai berikut :

$$a. E_c = (W_c)^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c} \quad \text{untuk } W_c = 1,5 - 2,5 \dots \dots \dots (2.20)$$

b.  $E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$  untuk beton normal.....(2.21)

dimana,  $E_c$  = modulus elastisitas beton, MPa.

$W_c$  = berat jenis beton,  $\text{Kg/cm}^3$  dan  $f'_c$  = kuat tekan beton, MPa.

### 2.1.5 Berat Jenis Beton

Beton normal yang dibuat dengan agregat normal (pasir dan kerikil biasa berat jenisnya antara 2,5 – 2,7) mempunyai berat jenis sekitar 2,3 – 2,4. Apabila dibuat dengan pasir atau kerikil yang ringan atau diberikan rongga udara maka berat jenis beton dapat kurang dari 2,0. Jenis-jenis beton menurut berat jenisnya dan macam-macam pemakaiannya dapat dilihat pada Tabel berikut.

**Tabel 2.5** Beberapa Jenis Beton Menurut Berat Jenis dan Pemakaiannya

Jenis beton	Berat jenis	Pemakaian
Beton sangat ringan	< 1,00	Non struktur
Beton ringan	1,00 – 2,00	Struktur ringan
Beton normal (biasa)	2,30 – 2,50	Struktur
Beton berat	> 3,00	Perisai sinar X

(Sumber : IR. Kardiyono Tjokrodimuljo, M.E., 1998, Bahan Bangunan)

### 2.1.6 Rangkak dan Susut Beton

Rangkak (*creep*) atau *lateral material flow* didefinisikan sebagai penambahan regangan terhadap waktu akibat adanya beban yang bekerja. Deformasi awal akibat pembebanan disebut sebagai regangan elastis, sedangkan regangan akibat tambahan beban yang sama disebut regangan rangkak. Rangkak timbul dengan intensitas yang semakin berkurang setelah selang waktu tertentu dan kemungkinan



berakhir setelah beberapa tahun. Nilai rangkai untuk beton mutu tinggi lebih kecil dibandingkan dengan beton mutu rendah.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya rangkai dan susut dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Sifat bahan dasar beton (komposisi dan kehalusan semen, kualitas adukan, dan kandungan mineral dalam agregat).
2. Rasio air terhadap jumlah semen (*water cement ratio*).
3. Suhu pada saat pengerasan (*temperature*).
4. Kelembaban nisbi pada saat proses penggunaan (*humidity*).
5. Umur beton pada saat beban bekerja.
6. Nilai *slump* (*slump test*).
7. Lama pembebanan.
8. Nilai tegangan.
9. Nilai rasio permukaan komponen struktur

### **2.1.7 Beton Mutu Tinggi**

Material beton terdiri atas agregat dan matriks pasta semen. Antara agregat dan mortar terdapat *interface zone* (zona antar permukaan). *Interface zone* merupakan daerah yang paling lemah pada beton. Kehancuran pada beton biasanya terjadi pada *interface*, yaitu bidang kontak antara pasta semen dengan agregat dimana ikatannya tidak sempurna. Memperkuat zona antara permukaan mortar dan agregat merupakan suatu pemecahan permasalahan untuk mendapatkan beton mutu tinggi.

Sesuai dengan perkembangan teknologi beton yang demikian pesat, ternyata kriteria beton juga berubah sesuai dengan perkembangan zaman dan kemajuan tingkat mutu yang berhasil dicapai. Pada umumnya jika berhubungan dengan tuntutan mutu dan keawetan beton yang tinggi diinginkan, ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dan diperhatikan dalam menghasilkan sebuah beton yang bermutu tinggi. Faktor-faktor tersebut meliputi faktor air semen (fas), kualitas agregat halus, kualitas agregat kasar dan penggunaan bahan tambah lain baik *admixture* (kimia) maupun *additive* (mineral).

#### 1. Faktor Air Semen

Secara umum, semakin besar nilai fas semakin rendah mutu kekuatan beton. Dengan demikian, untuk menghasilkan sebuah beton yang bermutu tinggi fas dalam beton haruslah rendah. Namun hal ini menyebabkan kesulitan dalam pengerjaannya. Umumnya nilai fas minimum untuk beton normal sekitar 0,4 dan nilai maksimumnya 0,65. Tujuan pengurangan fas ini adalah untuk mengurangi hingga seminimal mungkin porositas beton yang dibuat sehingga akan dihasilkan beton mutu tinggi. Pada beton mutu tinggi atau sangat tinggi, fas dapat diartikan sebagai *water to cementious ratio*, yaitu rasio berat air terhadap berat semen dan aditif *cementious* yang umumnya ditambahkan pada campuran beton mutu tinggi.

#### 2. Kualitas Agregat Halus

Bentuk agregat halus akan mempengaruhi kualitas beton yang dibuat. Agregat berbentuk bulat mempunyai rongga udara minimum 33 % lebih kecil dari rongga udara yang dipunyai oleh agregat berbentuk lainnya. Dengan semakin

berkurangnya rongga udara yang terbentuk, beton yang dihasilkan akan mempunyai rongga udara yang lebih sedikit. Tekstur permukaan agregat halus yang bertekstur halus akan lebih sedikit membutuhkan air dibandingkan dengan agregat dengan permukaan kasar. Dengan semakin sedikitnya air yang dibutuhkan kemungkinan menghasilkan beton yang bermutu tinggi lebih besar. Modulus halus butir (*finnes modulus*) atau yang biasa disingkat MHB ialah suatu indek yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. MHB didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir agregat yang tertinggal (*retained*) diatas satu set ayakan, kemudian nilai tersebut dibagi 100. Semakin besar nilai MHB suatu agregat, semakin besar butiran agregatnya. Umumnya agregat halus mempunyai MHB sekitar 1,50 – 3,8. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai  $1,5 < MHB < 3,8$  umumnya menghasilkan beton mutu tinggi dengan fas yang rendah dan mempunyai kekuatan tekan dan kelecakan yang optimal.

### 3. Kualitas Agregat Kasar

Kekuatan agregat bervariasi dalam batas yang besar. Butir-butir agregat dapat bersifat kurang kuat karena dua hal. Pertama, karena terdiri dari bahan yang lemah atau terdiri dari partikel yang kuat tetapi tidak baik dalam hal pengikatan (*interlocking*). Kedua, porositas yang besar yang akan mempengaruhi keuletan atau ketahanan terhadap beban kejut. Agregat yang mempunyai sudut-sudut yang nampak jelas terbentuk di tempat-tempat perpotongan bidang-bidang dengan permukaan kasar. Rongga udara agregat ini berkisar antara 38 % - 40 %, dengan demikian membutuhkan lebih banyak lagi pasta semen agar mudah

dikerjakan untuk mengurangi rongga ini dikombinasikan dengan butiran agregat halus yang berbentuk bulat. Beton yang dihasilkan dengan menggunakan agregat ini cocok untuk struktur yang menekankan pada kekuatan atau untuk beton mutu tinggi karena ikatan antar agregat baik dan kuat.

Ukuran butir maksimum agregat juga akan mempengaruhi mutu beton yang akan dibuat. Hasil penelitian Larrad (1990) menyebutkan bahwa butiran maksimum yang memberikan arti nyata untuk membuat beton mutu tinggi tidak boleh lebih dari 15 mm. Namun demikian pemakaian butiran agregat sampai 25 mm masih memungkinkan diperolehnya beton mutu tinggi dalam proses produksinya.

#### 4. Bahan Tambah

Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*). Bahan tambah *admixture* ditambahkan pada saat pengadukan dan atau saat pelaksanaan pengecoran (*placing*), sedangkan bahan tambah *additive* ditambahkan pada saat pengadukan dilaksanakan. Bahan tambah *additive* merupakan bahan tambah yang lebih banyak bersifat penyemenan jadi lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja kekuatan beton. Sedangkan bahan kimia yang banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja beton mutu tinggi umumnya yang bersifat memperbaiki kelecakan.

## 5. Kontrol Kualitas

Selain hal diatas, untuk menghasilkan beton yang bermutu tinggi faktor kontrol terhadap kualitas proses produksi beton pada saat pengambilan sampel, pengujian maupun proses penakaran sampai perawatan mutlak menjadi perhatian penting. Pengawasan dan pengendalian yang tepat dari keseluruhan prosedur dan mutu pelaksanaan yang didukung oleh koordinasi operasional yang optimal akan lebih meningkatkan kualitas mutu beton yang dihasilkan.

### 2.2. Kuat Tekan Beton

Beton bersifat plastis dan basah saat pemulaan dibuat kemudian secara perlahan-lahan berubah menjadi keras dan kaku seperti batu. Sifat-sifat dan karakteristik material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja dari beton yang dibuat.

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Nilai kuat tekan beton dengan kuat tariknya tidak berbanding lurus.

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut. Kuat tekan beton dapat dicari dengan rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Dimana,  $\sigma$  = kuat tekan (N/mm<sup>2</sup>),

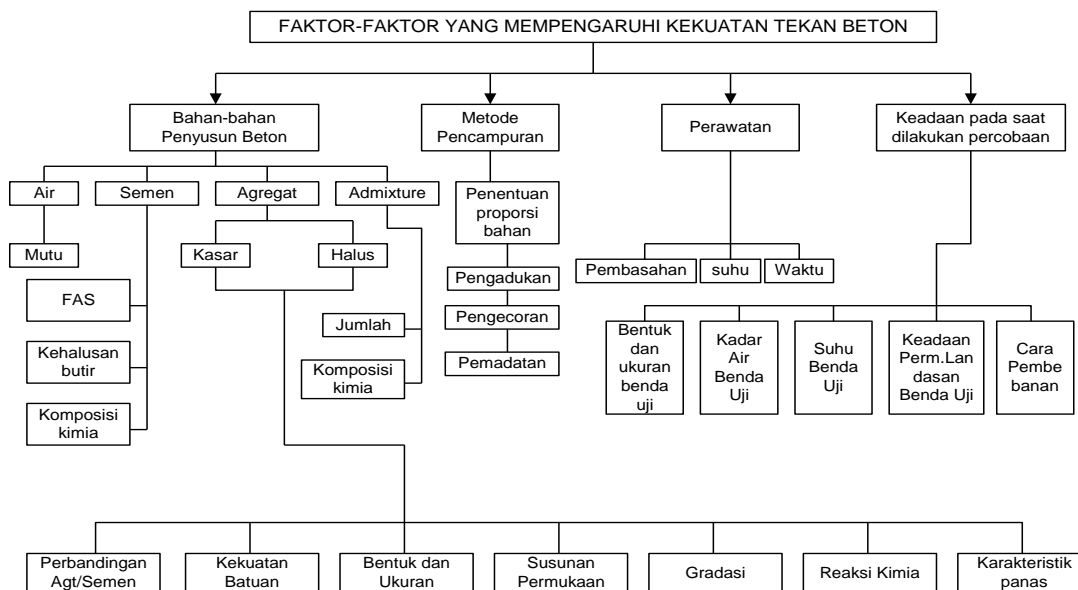
$A = \text{luas permukaan kubus (mm}^2\text{)},$

$P = \text{beban (N)}.$

### **2.2.1 Faktor-Faktor yang mempengaruhi Kuat Tekan**

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor (Gambar 2.5), selain oleh perbandingan air-semen dan tingkat kepadatannya. Faktor-faktor penting lainnya yaitu :

1. Jenis semen dan kualitasnya, mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.
2. Jenis dan lekak-lekuk bidang permukaan agregat. Kenyataan menunjukkan bahwa penggunaan agregat akan menghasilkan beton dengan kuat desak maupun kuat lentur.
3. Efisiensi dari perawatan , kehilangan kekuatan sampai 40 % dapat terjadi bila pengeringan diadakan sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan lapangan dan pembuatan benda uji.
4. Suhu. Pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu. Pada titik beku kuat-hancur akan tetap rendah untuk waktu yang lama.
5. Umur. Pada keadaan normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya. Kecepatan bertambahnya kekuatan tergantung pada jenis semen. Pengerasan berlangsung terus secara lambat sampai bertahun-tahun.



**Gambar 2.2** Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton

### 2.2.2. Jenis Beton Berdasarkan Kuat Tekannya

Berdasarkan kuat tekannya beton dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu :

1. Beton sederhana, dipakai untuk pembuatan bata beton atau bagian-bagian non struktur. Misalnya, dinding bukan penahan beban.
2. Beton normal, dipakai untuk beton bertulang dan bagian-bagian struktur penahan beban. Namun untuk struktur yang berada di daerah gempa, kuat tekannya minimum 20 Mpa. Misalnya kolom, balok, dinding yang menahan beban dan sebagainya.
3. Beton prategang, dipakai untuk balok prategang yaitu balok dengan baja tulangan dilentur dulu sebelum diberi beban.
4. Beton kuat tekan tinggi dan sangat tinggi, dipakai pada struktur khusus misalnya gedung bertingkat sangat banyak.

**Tabel 2.6** Beberapa Jenis Beton Menurut Kuat Tekannya

Jenis Beton	Kuat Tekan (Mpa)
Beton sederhana ( <i>plain concrete</i> )	Sampai 10 Mpa
Beton normal	10 – 30 Mpa
Beton prategang	30 – 40 Mpa
Beton kuat tekan tinggi	40 – 80 Mpa
Beton kuat tekan sangat tinggi	> 80 Mpa

(Sumber : Ir. Kardiyono Tjokrodimulyo, M.E., 1998, Bahan Bangunan : IV-54,

Tabel 2.3)

### 2.3. Kuat Tarik

Beton adalah merupakan material yang bersifat getas, dan tidak dapat memikul tegangan tarik yang besar. Kapasitas tarik beton yang rendah dapat dikaitkan dengan konsentrasi tegangan yang tinggi pada beton pada saat memikul beban, sehingga pada bagian tertentu dari benda uji timbul tegangan yang tinggi. Yang mengakibatkan retak mikroskopik, sedangkan pada bagian lain benda uji mengalami tegangan yang rendah.

Untuk mengetahui kapasitas tarik dari suatu benda uji beton pada umumnya dilakukan uji tarik belah dengan menggunakan benda uji silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Kuat tarik belah dari beton dapat dihitung dengan rumus

$$f_{sp} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$$f_{sp} = \text{Kuat tarik belah (Mpa)}$$



$p$  = Beban batas pengujian (N)

$l$  = Panjang Benda Uji (mm)

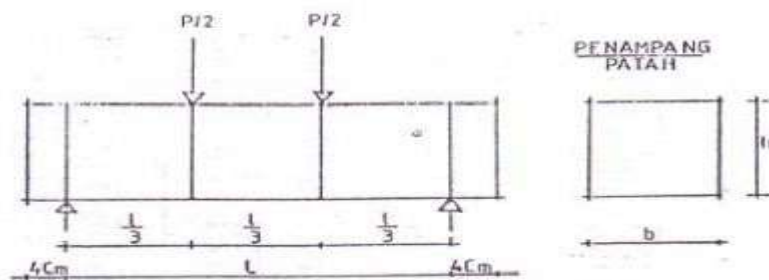
$d$  = Diameter Benda Uji (mm)

#### 2.4. Kuat Lentur

Kuat lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan padanya, sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (Mpa) gaya tiap satuan.

Experimen yang dilakukan pada balok beton menunjukkan bahwa kuat tarik ultimit akibat lentur pada umumnya lebih tinggi dari kuat tarik yang diperoleh dari hasil uji kuat tarik belah, kuat lentur sering dinyatakan sebagai modulus hacur beton yang menunjukkan kuat tarik maksimum beton pada kondisi lentur.

Benda uji yang dipakai untuk menguji kuat lentur beton berupa pelat berukuran 60cm x 15cm x 5cm, benda uji diletakan di atas dua tumpuan pada mesin uji beban dengan jarak 45cm, dikedua tumpuan tersebut kenakan dua buah beban titik dengan jarak sepertiga bentang, yaitu 15cm. Beban diberikan secara konstan sehingga terjadi keruntuhan pada benda uji.



**Gambar 2.3** Garis-garis perletakan dan pembebanan

Keterangan:

$l$  = Jarak antara dua garis perletakan

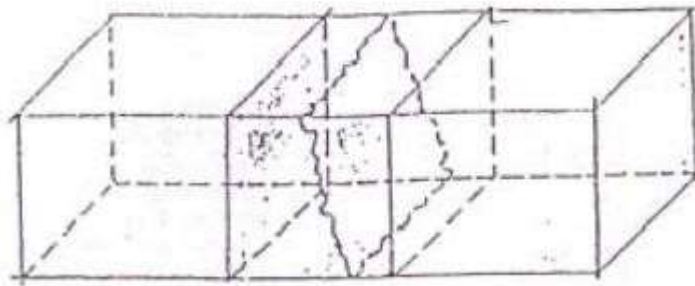
$b$  = Lebar tampak patah arah horizontal

$p$  = Beban tertinggi yang ditunjukkan oleh mesin uji

#### 2.4.1. Rumus Rumus Perhitungan Kuat Lentur

Rumus-rumus perhitungan yang digunakan dalam metode pengujian kuat lentur beton dalam mega pascal (MPa) adalah sebagai berikut :

1. Untuk pengujian dimana patahnya benda uji ada di daerah pusat pada 1/3 jarak titik perletakan pada bagian tarik dari beton, maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan.



**Gambar 2.4** Patah pada 1/3 Bentang

$$f_r = \frac{Pl}{bd^2} \quad (2.3)$$

Dimana,  $f_r$  = kekuatan lentur ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

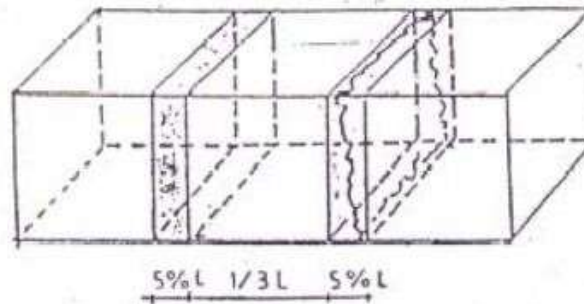
$p$  = beban maksimal yang diberikan (N)

$l$  = panjang (mm)

$b$  = lebar (mm)

$d$  = tebal/tinggi (mm)

2. Untuk Pengujian dimana patahnya benda uji ada di luar pusat (diluar daerah 1/3 jarak titik perletakan) di bagian tarik beton, dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari panjang titik perletakan maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan.



**Gambar 2.5** Patah pada 1/3 Bentang dan garis patah <5% dari bentang

$$f_r = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (2.4)$$

Keterangan:  $f_r$  = kuat lentur

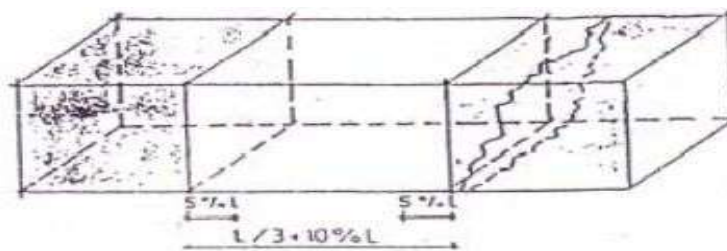
$p$  = beban maksimal yang diberikan (N)

$a$  = Jarak rata-rata antar tampang lintang patah (mm)

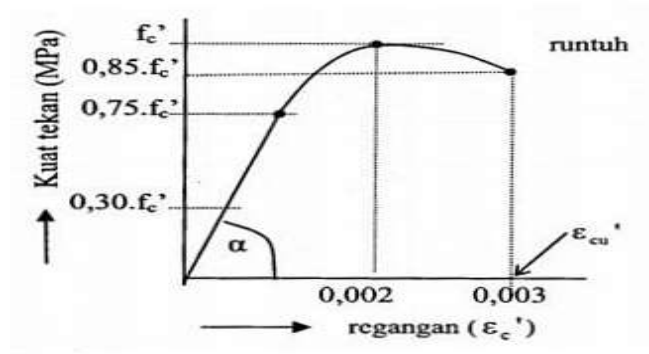
$b$  = lebar benda uji (mm)

$d$  = tinggi benda uji (mm)

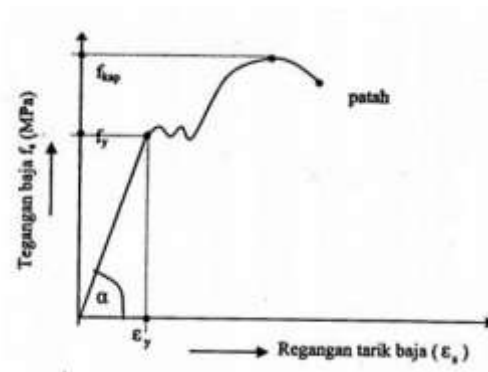
3. Untuk benda uji yang patahnya di luar 1/3 lebar pusat pada bagian tarik beton dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah lebih dari 5% bentang, hasil pengujian tidak dipergunakan.



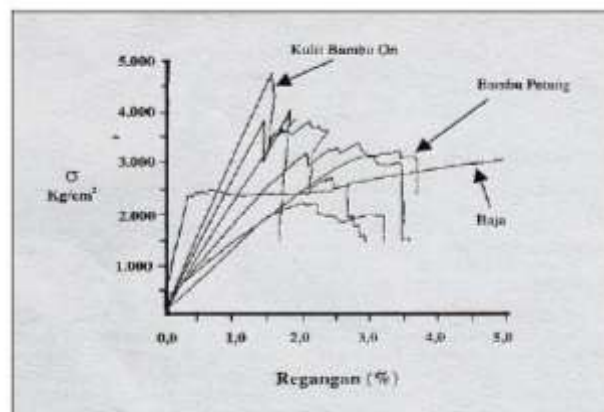
**Gambar 2.6** Patah pada 1/3 Bentang dan garis patah >5%



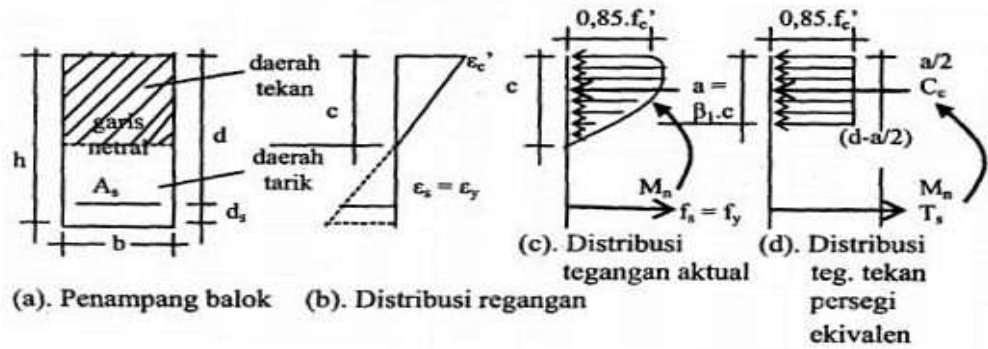
**Gambar 2.7** Diagram tegangan regangan beton



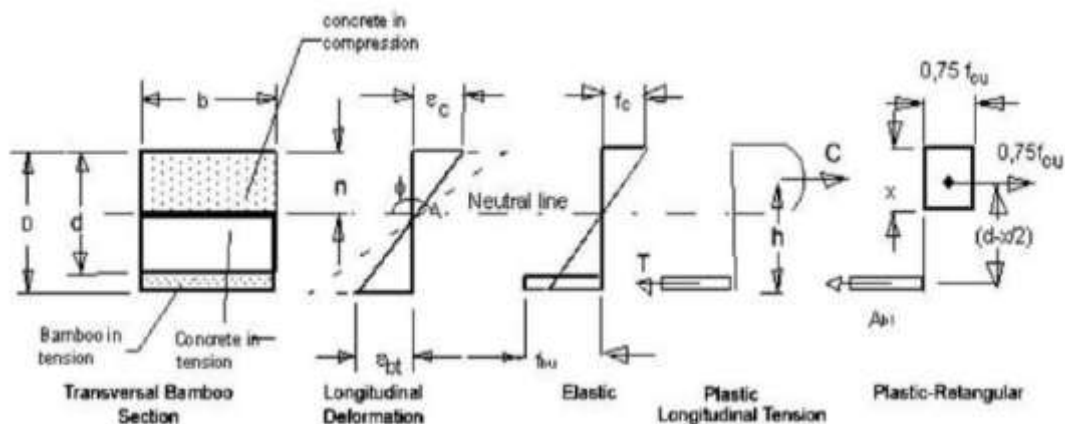
**Gambar 2.8** Diagram tegangan regangan baja



**Gambar 2.9** Diagram tegangan regangan bambu



**Gambar 2.10** Diagram tegangan regangan beton tulang baja



**Gambar 2.11** Diagram tegangan regangan beton tulang bambu

Penampang segiempat bertulangan tunggal dengan beban lentur seperti tampak pada gambar. Akibat adanya momen lentur, pada umumnya sebagian penampang akan mengalami tegangan tekan dan lainnya mengalami tegangan tarik. Akibat tegangan tekan akan terjadi gaya-dalam berupa gaya tekan yang diberikan oleh beton di daerah tekan tersebut. Tegangan tarik akibat momen lentur akan menimbulkan gaya tarik yang diberikan oleh bambu tulangan tarik.

a. Besarnya gaya tekan oleh beton adalah:

$$C = 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \quad (2.5)$$

Dengan:

$a$  = tinggi balok tegangan ekuivalen (mm)

$b$  = lebar balok (mm)

$f'_c$  = kuat tekan beton yang disyaratkan (Mpa)

b. Besarnya gaya tarik oleh baja tulangan adalah:

$$T = A_s \cdot f_y \quad (2.6)$$

Dengan:

$A_s$  = luas baja tulangan ( $\text{mm}^2$ )

$f_y$  = tegangan baja tulangan, (Mpa)

c. Keseimbangan gaya horizontal

$$\sum H = 0 \quad (2.7)$$

$$T = C \quad (2.8)$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 f'_c \cdot a \cdot b \quad (2.9)$$

$$\text{Jadi : } a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f'_c \cdot b} \quad (2.10)$$

d. Redistribusi momen negatif pada balok lentur menerus (SNI 03-2847.10)

1) Bila tidak digunakan nilai momen pendekatan maka untuk semua konfigurasi pembebanan dapat direduksi atau diperbesar.

2) Redistribusi momen negatif hanya boleh dilakukan bila penampang yang momennya direduksi direncanakan sedemikian hingga  $\rho - \rho'$  tidak melebihi  $0,50 \rho_b$ .

e. Pasal 10.2.7.3 SNI 03-2847-2013: Faktor  $\beta_1$  diambil sebagai berikut:

$$1) \text{ Untuk } 17 \text{ Mpa} \leq f'_c \leq 28 \text{ Mpa}, \quad \beta_1 = 0,85 \quad (2.11)$$

2) Untuk  $f'_c > 28 \text{ Mpa}$ ,

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left( \frac{f'c - 28}{7} \right) \text{tetapi } \beta_1 \geq 0,65 \quad (2.12)$$

f. Dalam pemeriksaan penampang balok harus memenuhi kriteria:

$$M_n > M_u \quad (2.13)$$

$$\phi M_n > M_u \quad (2.14)$$

Dimana:  $\phi$  : faktor reduksi akibat kesalahan dalam pelaksanaan

$$(\phi = 0,90, \text{ SNI } 03-2847-2013)$$

$M_n$  : momen nominal dari penampang

$M_u$  : momen batas terfaktor (1,2 DL + 1,6 LL)

DL = beban mati, LL = beban hidup

g. Batasan Tulangan Tarik pada balok bertulangan tunggal

Batasan tulangan tarik minimum, Pasal 10.5 SNI 2847 – 2013 membatasi tulangan tarik minimum adalah sebesar  $\rho_{\min}$

h. Agar penampang beton dapat mendekati keruntuhan seimbang, diberikan syarat berikut:

$$A_s \text{ harus } \leq A_{s \min} \text{ atau } \rho \leq \rho_{\min}$$

Keadaan seimbang akan terjadi jika nilai:

$$\varepsilon_c' = \varepsilon_{cu}' = 0,003 \text{ dan } \varepsilon_s = \varepsilon_y \text{ atau } \varepsilon_s = \frac{f_y}{E_s} \quad (2.15)$$

a) Modulus elastisitas beton untuk nilai Wc diantara 1500 kg/m<sup>3</sup> dan 2500

kg/m<sup>3</sup>, nilai modulus elastisitas beton  $E_c$  dapat diambil sebesar (Wc) 1,6

$$0,043 \sqrt{f'c} \text{ ( dalam MPa).} \quad (2.16)$$

$$\text{Untuk beton normal } E_c \text{ dapat diambil sebesar } 4700 \sqrt{f'c} \quad (2.17)$$

b) Modulus elastisitas untuk tulangan Baja  $E_s = 200000$  MPa. (2.18)

c) Garis netral kondisi balanced

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d \quad (2.19)$$

Dimana  $c_b$  = garis netral kondisi *balanced*

#### 2.4.2 Jenis Keruntuhan Lentur

Dengan data-data penampang, mutu beton dan tulangan yang digunakan, ada 3 kemungkinan jenis keruntuhan yang mungkin terjadi :

##### 1. Keruntuhan Tarik (UnderReinforced)

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 disebut penampang under-reinforced, perilakunya sama seperti yang diperlihatkan pada balok uji yaitu daktail (terjadinya deformasi yang besar sebelum runtuh). Semua balok yang direncanakan sesuai peraturan diharapkan berperilaku seperti itu. Pada perencanaan tulangan lentur balok beton bertulang, keruntuhan tarik terjadi apabila  $\rho < \rho_b$

##### 2. Keruntuhan Tekan (Over-reinforced)

Keruntuhan Tekan terjadi bila jumlah tulangan vertical 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 disebut penampang over-reinforced, sifat keruntuhannya adalah getas (non-daktail). Suatu kondisi yang berbahaya karena penggunaan bangunan tidak melihat adanya deformasi yang besar yang dapat dijadikan pertanda bilamana



struktur tersebut mau runtuh, sehingga tidak ada kesempatan untuk menghindarinya terlebih dahulu. Pada perencanaan tulangan lentur balok beton bertulang, keruntuhan tekan terjadi apabila  $\rho > \rho_b$

### 3. Keruntuhan 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 duktail atau sebaliknya. Pada perencanaan tulangan lentur balok beton bertulang, keruntuhan balance terjadi apabila  $\rho = \rho_b$ .

## 2.5. Bambu

Bambu merupakan tanaman berumpun dan termasuk dalam *family gramineae* dan terdapat hampir diseluruh dunia kecuali di Eropa. Jumlah yang ada di daerah Asia Selatan dan Asia Tenggara kira-kira 80% dari keseluruhan yang ada di dunia. Dari kurang lebih 1000 spesies bambu dalam 80 genera, sekitar 200 spesies dari 20 genera ditemukan di Asia Tenggara, sedangkan di Indonesia ditemukan sekitar 60 jenis, tetapi tidak semuanya merupakan tanaman asli Indonesia. Tanaman bambu Indonesia ditemukan di dataran rendah sampai pegunungan dengan ketinggian sekitar 300 m dpl. Pada umumnya ditemukan di tempat-tempat terbuka dan daerahnya bebas dari genangan air.

Para ahli struktur telah meneliti kemungkinan penggunaan bambu sebagai tulangan seperti yang pernah dilakukan oleh Morisco (1996) yaitu dengan memanfaatkan bambu sebagai tulangan beton. Bambu mempunyai kuat lentur

cukup tinggi, yang mana setara dengan kuat lentur baja lunak. Kuat lentur bambu dapat mencapai  $1280 \text{ kg/cm}^2$ . Pengujian yang dilakukan terhadap bambu dari spesies *Bambusa Blumcana* berumur 3 tahun diperoleh kekuatan lentur bambu sejajar serat antara 200-300 MPa, kekuatan lentur rata-rata 84 MPa, modulus elastisitas 200.000 MPa.

Batang bambu pada umumnya berupa silinder cembung dengan diameter 1 cm hingga 25 cm dan mempunyai ketinggian bervariasi 1 m hingga 40 m. Diameter bambu berkurang sejalan dengan panjangnya, dari pangkal hingga ujung. Bambu yang cembung ini secara total dipisahkan pada buku-bukunya oleh diafragma transversal.

Bambu mempunyai sifat higroskopis yang cukup besar, yaitu mempunyai kembang susut yang cukup besar. Penyusutan tersebut lebih lanjut akan mempengaruhi lekatan antar bambu dengan beton, sehingga pemakaian bambu tanpa perlakuan khusus sebagai tulangan beton sangat tidak dianjurkan. Para peneliti mengusulkan usaha untuk mengatasi kelemahan di atas dengan cara antara lain, menggunakan bambu yang sudah tua usianya sehingga daya serap dan kelembabannya kecil, melapisi batang bambu dengan bahan kedap air seperti vernis, cat dan cairan aspal, tetapi harus dihindari licinnya permukaan bambu akibat pemakaian bahan-bahan tersebut, karena hal itu akan mengurangi daya lekat.

Faktor lain yang berpengaruh terhadap kekuatan bambu adalah berat jenis bambu. Berat jenis dinyatakan sebagai perbandingan antara berat kering tanur suatu benda terhadap berat suatu volume air yang sama dengan volume benda

itu. Bambu yang mempunyai berat jenis besar berarti mempunyai jumlah zat dinding sel persatuan volume besar. Selanjutnya zat kayu ditentukan oleh beberapa faktor antara lain tebal dinding sel, besarnya sel dan jumlah sel berdinding tebal. Berdasarkan hasil penelitian Kumar dan Dobriyal, kekuatan bambu bagian luar lebih dari dua kali kekuatan bambu bagian dalam.

### **2.5.1 Sifat Fisis Bambu**

Menurut Frick (2004), sifat fisis dan mekanis bambu tergantung pada jenis bambu, tempat tumbuh, umur bambu, waktu penebangan, kelembaban udara (kadar air kesetimbangan), dan bagian bambu yang diteliti (pangkal, tengah, atau ujung serta bagian dalam, atau bagian tepi/luar).

#### **A. Kadar Air**

Menurut Haygreen dan Bowyer (1996) kadar air adalah berat air yang dinyatakan sebagai persen berat kayu bebas air atau kering tanur (BKT). Kadar air bambu sangat penting karena dapat mempengaruhi sifat-sifat mekanis bambu. Kadar air dari bambu dewasa segar berkisar antara 50–99% dan pada bambu muda berkisar dari 80–150%, sedangkan kadar air bambu pada kondisi kering udara berkisar antara 12–8%. Kadar air batang bambu meningkat dari bawah ke atas dan dari umur 1-3 tahun, selanjutnya menurun pada bambu yang berumur lebih dari 3 tahun. Kadar air meningkat pada musim penghujan jika dibandingkan dengan musim kemarau (Dransfield dan Widjaja 1995).

Perbedaan kadar air pada musim penghujan dan musim kemarau dapat mencapai 100%. Selama musim kemarau, bagian atas bambu mengandung hanya kira-kira 50% air (Yap 1967). Tamolang *et al.* (1980) menyatakan bambu muda

mengalami penurunan kadar air lebih cepat daripada bambu dewasa selama proses pengeringan, yang dapat menyebabkan terjadinya pecah atau belah pada batang.

### **B. Berat Jenis**

Haygreen dan Bowyer (1996) mendefinisikan berat jenis sebagai perbandingan antara kerapatan kayu (atas dasar berat pada kadar air tertentu dan volume) dengan kerapatan air pada suhu 40°C. Menurut Tamolang *et al.* (1980), BJ bambu cenderung naik ke arah ujung. Selanjutnya Liese (1980) menyatakan BJ bambu bervariasi dari 0,5–0,8, dengan bagian luar (bagian tepi dinding batang) dari batang mempunyai BJ lebih besar dari bagian dalamnya (bagian dalam dinding batang).

Hasil pengukuran BJ bambu menunjukkan BJ bambu pada tiap ruas bertambah besar dengan bertambahnya ketinggian ruas batang, kemudian nilainya konstan (Subiyanto *et al.* 1994). Menurut Brown (1952) *dalam* Ganie (2008) pada dasarnya sifat-sifat fisik kayu ditentukan oleh faktor-faktor yang inheren pada struktur kayu. Faktor-faktor tersebut dapat dibagi tiga, yaitu :

1. Banyaknya zat dinding sel yang ada pada sepotong kayu.
2. Susunan dan arah mikrofibril dalam sel-sel dan jaringan-jaringan.
3. Susunan kimia zat dinding sel.

Kerapatan adalah perbandingan massa atau berat benda terhadap volumenya. Berat kayu meliputi berat kayu sendiri, berat zat ekstraktif, berat air yang konstan, sedangkan jumlah airnya berubah-ubah.

### **C. Penyusutan Dimensi**

Penyusutan adalah penurunan dimensi akibat hilangnya sejumlah air pada tangan-tangan OH di bawah titik jenuh serat. Tidak seperti kayu, bambu langsung menyusut setelah dipanen, tetapi tidak berlangsung seragam. Penyusutan dipengaruhi oleh tebal dinding dan diameter batang bambu (Liese 1985). Pengeringan bambu dewasa segar hingga kadar air 20% menyebabkan penyusutan sebesar 4–14% pada tebal dinding dan 3–12% pada diameternya. Sebaliknya, pengembangan merupakan proses saat air memasuki struktur dinding sel (Haygreen dan Bowyer 1996). Menurut Prawiroatmodjo (1976) *dalam* Ganie (2008), perubahan dimensi bambu tidak sama dari ketiga arah struktur radial, tangensial dan longitudinal sehingga bambu bersifat anisotropis. Angka pengerutan total untuk kayu atau bambu normal berkisar antara 4,5% - 14% dalam arah radial (tebal), 2,1% - 8,5% dalam arah tangensial (lebar) dan 0,1% - 0,2% dalam arah longitudinal (panjang). Perbedaan penyusutan antara bagian dalam dengan bagian luar dinding batang bambu sangat besar. Penyusutan pada arah longitudinal kurang dari 0,5% (Dransfield dan Widjaja 1995).

### **2.5.2. Sifat Mekanis Bambu**

Haygreen dan Bowyer (1996) menyatakan kekuatan dan ketahanan terhadap perubahan bentuk suatu bahan disebut sebagai sifat-sifat mekanis. Kekuatan adalah kemampuan suatu bahan untuk memikul beban/gaya yang mengenainya. Ketahanan terhadap perubahan bentuk menentukan banyaknya bahan yang dimanfaatkan, terpuntir atau terlengkungkan oleh beban yang mengenainya.

Sifat kekuatan meningkat dengan adanya penurunan kadar air dan berhubungan erat dengan berat jenis (Dransfield dan Widjaja 1995). Kekuatan maupun kekakuan kayu akan naik dengan semakin besarnya berat jenis (Haygreen dan Bowyer 1993).

Umur bambu, kondisi bambu, kadar air, bentuk dan ukuran contoh uji, berbuku atau tidaknya, posisi dalam batang, dan lama pembebanan sangat mempengaruhi sifat fisis dan mekanis bambu (Janssen 1980 *dalam* Kurniawan 2002).

Lebih dalam, Janssen (1981) menyatakan kekuatan mekanis sangat bergantung pada lapisan sklerenkim yang merupakan jaringan berdingding tebal dan kuat terdiri dari sel-sel dewasa yang telah mati. Hal ini sejalan dengan Liese (1980) yang menyatakan bahwa sifat mekanis bambu lebih ditentukan oleh keberadaan ikatan vaskulernya (dimana sklerenkim terdapat didalamnya) dan bukan pada parenkim.

Selain itu, kekuatan mekanis juga dipengaruhi oleh kulit buluh yang mengandung silika, kehadiran silika meningkatkan kekuatan. Dransfield dan Widjaja (1995) menyatakan kandungan silika batang bambu umumnya lebih tinggi dari kayu sebesar sekitar 0,5-4,0%.

Di samping itu, jenis bambu yang berbeda akan memberikan sifat mekanis yang meliputi keteguhan tarik, keteguhan lentur dan keteguhan tekan yang berbeda pula. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Syafi'i (1984) seperti tertera pada Tabel berikut.

**Tabel 2.7** Sifat Fisis dan Mekanis Pada Lima Jenis Bambu

No	Sifat yang diuji	Jenis Bambu				
		Petung	Gombang	Kuning	Tali	Sembilang
1	Berat Jenis	0,61	0,55	0,52	0,65	0,71
2	Susut Volume (%)					
	B – KU	10,62	12,36	11,29	12,45	11,05
	KU – KT	4,99	4,96	4,74	4,60	4,49
	Susut Tebal (%)					
	B – KU	6,02	7,94	4,31	5,83	3,04
	KU – KT	4,30	5,75	5,47	5,32	7,03
	Susut Lebar (%)					
	B – KU	4,81	6,58	3,19	6,30	2,48
	KU – KT	4,83	5,96	4,19	3,60	7,57
3	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	1.638	1.356	1.148	-	627
4	MOE (kg/cm <sup>2</sup> )	131.192	98.294	76.205	-	143.207
5	Tekan Sejajar Serat (kg/cm <sup>2</sup> )	605	521	455	-	627
6	Tekan Tegak Lurus Serat (kg/cm <sup>2</sup> )	2.127	1.914	1.322	2.004	1.907

Sumber: Syafi'i (1984)

Keterangan :

B = Basah

KU = Kering Udara

KT = Kering Tanur

### 2.5.3. Jenis-Jenis Bambu di Indonesia

Jenis-jenis Bambu yang terdapat di Indonesia diperkirakan sekitar 159 spesies dari total 1.250 jenis bambu yang terdapat di dunia. Bahkan sekitar 88 jenis bambu yang ada di Indonesia merupakan tanaman endemik.

Bambu merupakan jenis rumput-rumputan yang dan beruas. Bambu merupakan anggota famili Poaceae yang terdiri atas 70 genus. Bambu termasuk jenis tanaman yang mempunyai tingkat pertumbuhan yang tinggi. Beberapa jenis

bambu mampu tumbuh hingga sepanjang 60 cm dalam sehari. Indonesia merupakan salah satu wilayah yang menjadi surga bagi jenis tanaman yang disebut juga sebagai buluh, aur, dan eru ini. Diperkirakan terdapat sedikitnya 159 jenis bambu di Indonesia yang 88 diantaranya merupakan spesies endemik Indonesia.

Berikut beberapa jenis (spesies) bambu yang ditemukan tumbuh di Indonesia.

1. *Arundinaria japonica* Sieb & Zuc ex Stend ditemukan di Jawa.
2. *Bambusa arundinacea* (Retz.) Wild. (Pring Ori) di Jawa dan Sulawesi.
3. *Bambusa atra* Lindl. (Loleba) di Maluku.
4. *Bambusa balcooa* Roxb. Di Jawa.
5. *Bambusa blumeana* Bl. ex Schul. f. (Bambu Duri) di Jawa, Sulawesi, dan Nusa Tenggara.
6. *Bambusa glaucescens* (Wild) Sieb ex Munro. (Bambu Pagar; Cendani) di Jawa.
7. *Bambusa horsfieldii* Munro. (Bambu Embong) di Jawa.
8. *Bambusa maculata* (Bambu Tutul; Pring Tutul) di Bali.
9. *Bambusa multiplex* (Bambu Cendani; Mrengeni) di Jawa.
10. *Bambusa polymorpha* Munro. Di Jawa.
11. *Bambusa tulda* Munro. Di Jawa.
12. *Bambusa tuldoidea* (Haur Hejo) di Jawa
13. *Bambusa vulgaris* Schard. (Awi Ampel; Haur Kuneng; Haur Hejo; Pring Kuning) di Jawa, Sumatera, Kalimantan, dan Maluku.



14. *Dendrocalamus asper* (Bambu Petung) di Jawa, Sumatera, Kalimantan, Bali, dan Sulawesi.
15. *Dendrocalamus giganteus* Munro. (Bambu Sembilang) di Jawa
16. *Dendrocalamus strictur* (Roxb) Ness. (Bambu Batu) di Jawa.
17. *Dinochloa scandens* (Bambu Cangkoreh; Kadalan) di Jawa.
18. *Gigantochloa apus* Kurz. (Bambu Apus; Bambu Tali) di Jawa.
19. *Gigantochloa atrovioleacea* (Bambu Hitam; Bambu Wulung; Gombang) di Jawa.
20. *Gigantochloa atter* (Bambu Legi; Bambu Ater; Buluh; Jawa Benel; Awi Ater; Awi Kekes) di Jawa.
21. *Gigantochloa achmadii* Widjaja. (buluh Apus) di Sumatera.
22. *Gigantochloa hasskarliana* (Bambu Lengka Tali) di Sumatera, Jawa, dan Bali.
23. *Gigantochloa kuring* (Awi Belang) di Jawa.
24. *Gigantochloa levis* (Blanco) Merr. (Bambu Suluk) di Kalimantan.
25. *Gigantochloa manggong* Widjaja. (Bambu Manggong) di Jawa.
26. *Gigantochloa nigrocillata* Kurz (Bambu Lengka; Bambu Terung; Bambu Bubat) di Jawa.
27. *Gigantochloa pruriens* (buluh Rengen) di Sumatera.
28. *Gigantochloa psedoarundinaceae* (Bambu Andong; Gambang Surat; Peri) di Jawa.
29. *Gigantochloa ridleyi* Holtum. (Tiyang Kaas) di Bali.

30. *Gigantochloa robusta* Kurz. (Bambu Mayan; Temen Serit) di Sumatera, Jawa, dan Bali.
31. *Gigantochloa waryi* Gamble (Buluh Dabo) di Sumatera
32. *Gigantochloa verticillata* (bambu Hitam)
33. *Melocanna bacifera* (Roxb) Kurz. Di Jawa.
34. *Nastus elegantissimus* (Hassk) Holt. (Bambu Eul-eul) di Jawa.
35. *Phyllostachys aurea* A&Ch. Riviera (Bambu Uncea; Bambu Buluh Kecil) di Jawa.
36. *Schizotachyum blunei* Ness. (Bambu Wuluh; Bambu Tamiang) di Jawa, Nusa Tenggara Timur, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan Maluku
37. *Schizotachyum brachycladum* Kueze. (Bambu Buluh Besar; Buluh Nehe; Awi Buluh; Ute Watat; Tomula) di Sumatera, Jawa, Sulawesi, dan Maluku.
38. *Schizotachyum candatum* Backer ex Heyne (buluh Bungkok) di Sumatera.
39. *Schizotachyum lima* (Blanco) Merr. (Bambu Toi) di Jawa, Sulawesi, Maluku, dan Irian.
40. *Schizotachyum longispiculata* Kurz. (Bambu Jalur) di Sumatera, Kalimantan, dan Jawa.
41. *Schizotachyum zollingeri* Stend. (Bambu Jala; Cakeutrek; Bambu Lampar) di Sumatera dan Jawa.
42. *Thyrsostachys siamensis* Gamble. (Bambu Jepang) di Jawa.

(Sumber : Alamendah.org)

Di Indonesia jenis-jenis bambu ini dimanfaatkan sebagai bahan bangunan (kontruksi), Transportasi, Pembuatan alat musik seperti angklung, kuliner, kerajinan rumah tangga dan ornamen, serta sebagai bahan pengobatan alami.

Meski memiliki banyak spesies dan dulu tersebar luas di Indonesia, kini beberapa jenis bambu mulai langka dan sulit ditemukan. Kelangkaan ini terjadi lebih disebabkan oleh konversi lahan menjadi daerah pemukiman.

#### **2.5.4. Bambu Gombang**

Menurut Dransfield dan Widjaja (1995), bambu andong atau bambu gombang memiliki sinonim antara lain *Gigantochloa pseudoarundinaceae* (Steudel) Widjaja, *Bambusa pseudoarundinaceae* Steudel dan *Gigantochloa maxima* Kurtz, dan memiliki nama daerah berupa Pring Sunda, Awi Andong (Sunda), Buluh Batuang Danto (Padang, Sumatera). Sastrapradja *et al.* (1980) mengemukakan bambu andong mempunyai buluh yang berwarna hijau kekuning-kuningan dengan garis-garis kuning yang sejajar dengan buluhnya dengan rumpun yang tidak terlalu rapat. Daerah asalnya diduga Malaya Utara dan Burma. Perbanyakannya dilakukan dengan akar rimpang atau potongan buluhnya. Bambu andong perkembangbiakannya cukup cepat. Bambu andong terutama terdapat pada daerah-daerah yang beriklim kering dengan ketinggian 0 sampai 700 m dpl. Lebih lanjut Dransfield dan Widjaja (1995) menyatakan bambu andong dapat tumbuh pada tanah lempung berpasir atau tanah berlumpur (*alluvial*) pada ketinggian hingga 1.200 m dpl dengan curah hujan tahunan berkisar antara 2.350–4.200 mm dan suhu rata-rata 20–32°C.

Dransfield dan Widjaja (1995) menyatakan di Indonesia bambu andong yang tumbuh pada lereng bukit (pada ketinggian 500 m dengan curah hujan tahunan sebesar 4.200 mm) lebih kuat (memiliki berat jenis yang lebih tinggi, kekuatan lentur dan lentur yang lebih tinggi) dibandingkan batang bambu yang tumbuh pada daerah lembah. Bambu andong berbentuk simpodial, tinggi batang 7-30 m, dengan diameter sekitar 5-13 cm, dengan tebal dinding mencapai 2 cm, panjang ruas lebih dari 40-45 atau kurang dari 60 cm.

Dimensi serat bambu andong meliputi : panjang 2,75-3,27 mm, diameter 24,55-37,97  $\mu\text{m}$ , jumlah serat meningkat sekitar 10% dari bawah (pangkal) ke atas (ujung) batang bambu. Berat jenis berkisar dari 0,5-0,7 (bagian ruas) dan 0,6-0,8 (bagian buku). Modulus elastisitas sebesar 19.836-29.177  $\text{kgf/cm}^2$ , modulus patah sebesar 174-211  $\text{kgf/cm}^2$ , keteguhan lentur 130-195  $\text{kgf/cm}^2$ .

## **2.6. Tulangan dan Anyaman Bambu**

### **2.6.1. Tulangan Bambu**

Bambu merupakan tanaman yang tidak bergantung pada musim dan hidupnya mengelompok membentuk suatu rumpun. Batang bambu berbentuk silinder dengan garis tengah atau diameter antara 2 cm – 30 cm dan panjangnya dapat mencapai 3 m – 35 m. Panjang garis tengah dan ketebalan batang bambu bergantung dari jenis spesies dan umur tanaman bambu. Batang bambu umumnya berongga dan terbagi atas interval-interval yang dibatasi oleh simpul atau ruas. Rongga antara ruas-ruas tersebut dipisahkan oleh diafragma (Surjokusumo dan Nugroho 1993). Kadar air rata-rata semua jenis bambu kering udara adalah sebesar 12 % atau tergantung umur bambu (Janssen. 1991). Massa jenis bambu

juga tergantung pada umur bambu. Tabel berikut ini merupakan nilai massa jenis bambu dengan kadar air 12% menurut Janssen (1991) :

**Tabel 2.8** Massa Jenis Bambu

Umur (Tahun)	P (kg/m <sup>3</sup> )	Li (mm)	D (mm)	T (mm)	D (mm)
1	646	308	36,8	8,4	20,0
2	703	320	38,6	8,1	22,3
3	718	340	38,9	7,4	24,1
4	706	332	41,4	8,9	23,6
5	672	321	42,4	8,9	24,6
6	608	285	37,8	9,9	18,0

Sumber: Janssen JJA (1991)

Keterangan :  $\rho$  : Massa Jenis, Li : panjang, D : diameter luar, t : tebal, d : lebar.

Mekanisme interaksi antara bambu dengan pasta semen tidak cukup baik (Nindyawati and Umniati. 2016). Bambu mudah menyerap dan melepaskan air pada saat mengering, sehingga terjadi perubahan dimensi bambu. Hal tersebut juga terjadi ketika bambu diselimuti oleh pasta semen. Salah satu masalah dalam implementasi bambu sebagai tulangan beton adalah batang atau bilah bambu dapat menyerap air hingga 25% pada 24 jam pertama (Wang. T. 1944), (Surjokusumo dan Nugroho. 1993), sehingga para peneliti menyarankan menggunakan bambu yang sudah tua atau melapisi bilah bambu dengan vernis, cat atau cairan aspal untuk mengurangi penyerapan air oleh bilah bambu (Ghavami, K. 2005).

Penelitian kelenturan beton bertulang bambu telah dilakukan beberapa peneliti. Uji tekuk pada beton bertulang bambu yang mana bilah bambu tersebut sebelumnya dicoating dengan cat yang ditaburi pasir menghasilkan 60% kekuatan tekuk dari baja (Nindyawati dan Uminati. 2016). Bilah bambu yang dicoating

dengan cat dan ditaburi pasir dimaksudkan pasir menambah pengaruh daya cengram (Ghavami, K. 2005). Pada penelitian ini tidak dilakukan analisis pengaruh anyaman bambu (*woven*) terhadap kekuatan uji beton bertulang bambu. Sementara studi di Jepang dimana berkaitan dengan uji untaian anyaman bambu (*Strand Woven Bamboo* (SBW)) dipercaya mampu menggantikan peran kayu pada kondisi tertentu, dimana produksi tahunan dapat dipenuhi dengan lahan seluas 9651 m<sup>3</sup> (Slamet, I. N. 2012).

### 2.6.2. Anyaman Bambu

Eksperimen dan praktek menganyam oleh masyarakat yang telah berlangsung selama berabad-abad tersebut menghasilkan anyaman yang memiliki aneka ragam, pola dan motif. Anyaman yang ada saat ini memiliki aneka arah, persilangan miring, disusun secara bolak-balik sehingga menghasilkan anyaman yang memiliki tingkat kerapatan yang berbeda, tergantung sudut atau jarak yang telah dipilih (Ranjan dalam Frick, 2004).

Menurut penelitian Deli 2017, Doni 2017, Septa 2017 tentang variasi anyaman untuk tulangan pelat beton menyatakan bahwa anyaman bambu yang paling kuat untuk dijadikan tulangan beton yaitu anyaman tunggal rapat daging. Anyaman tunggal dibedakan menjadi 4 yaitu anyaman silang ganda, anyaman silang tunggal, anyaman tiga sumbu, anyaman empat sumbu.

**Tabel 2.9** hasil uji kuat lentur

No	Jenis anyaman	Fr ( kuat lentur ) Mpa
1	Anyaman Kulit Tunggal Rapat	93,33
2	Anyaman kulit Tunggal Renggang	73,87
3	Anyaman Kulit Tiga Sumbu	128,53

4	Anyaman Daging Tunggal Rapat	144,53
5	Anyaman Daging Tunggal Renggang	106,14
6	Anyaman Daging Tiga Sumbu	68,8
7	anyaman Daging Silang Ganda	50,67
8	Anyaman daging Empat Sumbu	125,33

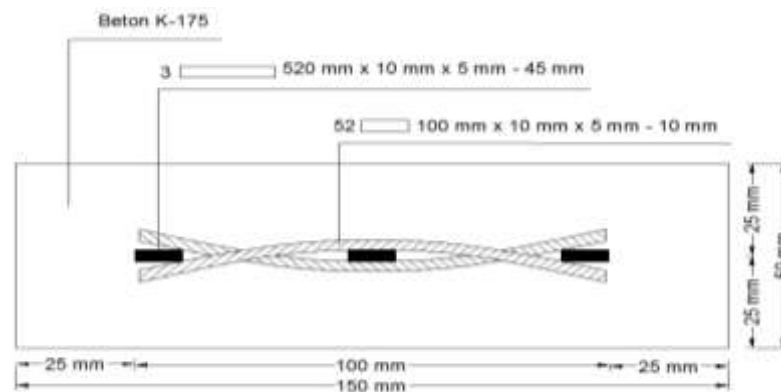
Sumber : Tugas Akhir, Deli S (2017) Septa N.G (2017) Doni (2017)

### 2.6.3. Komposit Beton dengan Bambu

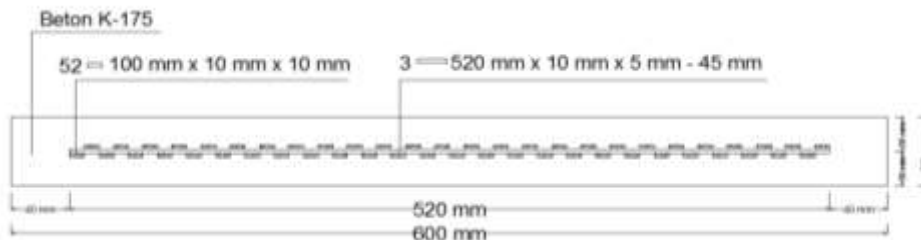
Komposit antara beton dengan bambu termasuk ke dalam komposit makro dimana ciri-ciri komposit makro diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Bisa dibedakan secara visual.
2. Penggabungan lebih secara fisis dan mekanis.
3. Bisa dipisahkan secara fisis dan mekanis.

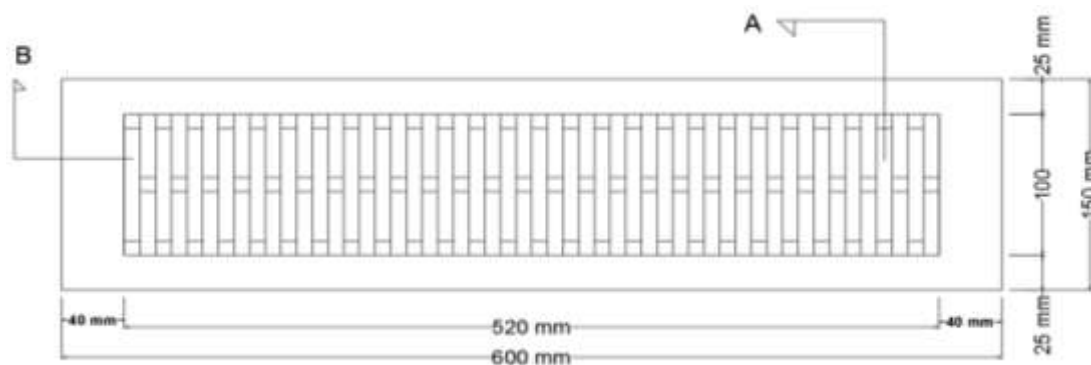
Komposit antara beton dengan anyaman bambu dapat dilihat pada gambar dibawah ini, dimana bambu diletakan ditengah pelat beton :



**Gambar 2.12a** Penampang Anyaman Tunggal Rapat Daging



**Gambar 2.12b** Tampak Samping Anyaman Tunggal Rapat Daging



**Gambar 2.12c** Tampak Atas Anyaman Tunggal Rapat Daging

## 2.7 Air Laut

### 2.7.1. Kandungan Kimia Air Laut

Kandungan Kimia Air Laut - Air laut mengandung 3,5% garam-garaman, gas-gas terlarut, bahan-bahan organik dan partikel-partikel tak terlarut. Keberadaan garam-garaman mempengaruhi sifat fisis air laut (seperti: densitas, kompresibilitas, titik beku, dan temperatur dimana densitas menjadi maksimum) beberapa tingkat, tetapi tidak menentukannya. Beberapa sifat (viskositas, daya serap cahaya) tidak terpengaruh secara signifikan oleh salinitas. Dua sifat yang sangat ditentukan oleh jumlah garam di laut (salinitas) adalah daya hantar listrik (konduktivitas) dan tekanan osmosis.

Garam-garaman utama yang terdapat dalam air laut adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potasium (1%) dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borak, strontium dan florida. (penyuluhpi.blogspot.com, 2017)

### 2.7.2. Jenis Bangunan Air Laut

1. *Sea Dikes*



Sea Dikes salah satu struktur pantai yang memiliki fungsi utama untuk melindungi daerah dataran rendah terhadap banjir akibat air laut yang masuk. Sea dikes dibangun dari material halus seperti pasir dan tanah liat dan dibentuk seperti gundukan dengan kemiringan yang landai agar mengurangi efek erosi dari gelombang yang datang. Permukaan tanggul biasanya berupa rumput, aspal, bebatuan ataupun beton bertulang.

## 2. *Seawalls* dan *Revetments*

*Seawalls* merupakan struktur pantai yang memiliki fungsi utama untuk mencegah atau mengurangi limpasan air laut dan banjir terhadap tanah dan struktur yang berada di belakang daerah pantai akibat badai dan gelombang. *Seawalls* dibangun sejajar dengan garis pantai sebagai penguat bagian dari profil pantai.

*Seawalls* biasanya juga sering digunakan untuk melindungi promenade, jalan, dan rumah-rumah, biasanya struktur ini dipasang menghadap ke laut dari tepi puncak profil alami pantai. *Seawall* pada umumnya dibuat dari konstruksi padat seperti beton, turap baja/kayu, pasangan batu atau pipa beton sehingga seawall tidak meredam energi gelombang, tetapi gelombang yang memukul permukaan seawall akan dipantulkan kembali dan menyebabkan gerusan pada bagian tumitnya. *Revetments* adalah struktur onshore dengan fungsi utama melindungi garis pantai dari erosi.

Struktur *revetment* biasanya terdiri dari batu, beton, atau aspal untuk armornya, bentuknya melandai mengikuti profil alami dari garis pantai. Dalam *Corps of Engineers*, perbedaan fungsional dibuat antara seawalls dan revetments

untuk tujuan proyek, namun dalam literatur teknis seringkali tidak ada perbedaan antara *seawalls* dan *revetments*.

### 3. *Bulkhead*

Struktur pantai-paralel vertikal yang dirancang untuk mencegah limpasan, banjir, atau erosi tanah. *Bulkheads* biasanya ditempatkan di sepanjang daerah yang mudah terkikis atau lereng curam dan dibangun dari kayu, baja, atau lembaran vinyl.

*Bulkheads* idealnya diletakkan di tempat-tempat dengan lebar basin terbatas, kanal sempit, cekungan buatan, dan sepanjang tebing curam tinggi. *Bulkheads* dapat tahan lama, merupakan struktur tahan lama yang dapat dirancang untuk menahan berbagai kekuatan gelombang.

### 4. *Groins*

*Groin* adalah struktur pengaman pantai yang dibangun menjorok relatif tegak lurus terhadap arah pantai. Bahan konstruksinya umumnya kayu, baja, beton (pipa beton), dan batu. Pemasangan *groins* menginterupsi aliran arus pantai sehingga pasir terperangkap pada "*upcurrent side*," sedangkan pada "*downcurrent side*" terjadi erosi, karena pergerakan arus pantai yang berlanjut.

Penggunaan *Groin* dengan menggunakan satu buah *groin* tidaklah efektif. Biasanya perlindungan pantai dilakukan dengan membuat suatu seri bangunan yang terdiri dari beberapa *groin* yang ditempatkan dengan jarak tertentu. Hal ini dimaksudkan agar perubahan garis pantai tidak terlalu signifikan.

### 5. *Artificial Headland*

Sebuah tanjung buatan (*artificial headland*) akan mencegah pasir bermigrasi di sepanjang pantai. Biasanya berbentuk struktur *rubble mound* (bentuknya seperti trapesium), dengan batu pada bagian luar untuk memberikan perlindungan dari gelombang badai. Biasanya dibagian atas dari struktur ini dapat dijadikan akses pejalan kaki, dan tidak jarang digunakan sebagai tempat memancing.

Tujuan menggunakan tanjung buatan (*artificial land*) adalah untuk membentuk profil pantai yang stabil di sekitar belakang Tanjung, salah satunya pemulihan bagian pantai yang mengalami erosi, akibat pasir yang terkikis.

#### 6. *Breakwater*

*Breakwater* dibangun untuk mengurangi aksi gelombang yang diperkirakan dapat mengganggu sebuah struktur. Aksi gelombang berkurang melalui kombinasi refleksi dan disipasi energi gelombang yang masuk. Jika digunakan untuk pelabuhan, pemecah gelombang yang dibangun dimaksudkan untuk menciptakan perairan cukup tenang agar operasi bongkar muat pada kapal menjadi mudah dan aman, dan juga sebagai perlindungan fasilitas pelabuhan.

*Breakwater* juga dibangun untuk memperbaiki kondisi manuver di pintu masuk pelabuhan dan untuk membantu mengatur sedimentasi dengan mengarahkan arus dan dengan menciptakan daerah dengan tingkat yang berbeda dari gangguan gelombang. Selain itu, perlindungan garis pantai terhadap gelombang tsunami merupakan salah satu aplikasi lain dari pemecah gelombang (*breakwater*). Ketika digunakan untuk perlindungan pantai, pemecah gelombang

yang dibangun di perairan dekat pantai dan biasanya sejajar dengan pantai seperti *breakwater* terpisah berorientasi (*detached breakwater*)

### 2.7.3 Pengaruh Kimia Air Laut terhadap Beton

Pengaruh kimia air laut terhadap beton terutama disebabkan oleh serangan Magnesium Sulfat ( $MgSO_4$ ), yang diperburuk dengan adanya kandungan Clorida didalamnya, reaksinya akan menghambat perkembangan beton. Biasanya digolongkan sebagai bagian dari serangan sulfat oleh air laut yang mengakibatkan beton tampak menjadi keputih-putihan; selain itu beton akan mengembang; sebelumnya didahului oleh terjadinya spalling (jawa = protol) dan retak. Akhirnya pada bagian beton yang terserang oleh sulfat akan menjadi lunak membentuk lapisan seperti lumpur. Saat pertama kali mengalami serangan sulfat, kekuatan tekan beton akan naik, lalu secara berangsur-angsur mengalami kehilangan kekuatan, dan akhirnya beton mengembang. Serangan ini dipandang sebagai akibat dari kehadiran Potassium (KS) dan Magnesium Sulfat ( $MgS$ ) pada air laut yang dapat menyebabkan timbulnya serangan sulfat pada beton. Serangan dimulai semenjak beton siap bereaksi dengan Calsim Hidroksida ( $(OH)_2Ca$ ) yang muncul pada semen. Pprosesnya terjadi seperti reaksi kimia yang terdapat pada Rumus 2 (Bryan. 1964, dalam Emmanuel dkk, 2012)

Sebenarnya serangan Magnesium Sulfat ( $MgS$ ) perlu mendapat perhatian, sebab jika bereaksi dengan Calcium Sulfat (CSH) akan bersifat ambivalen; di satu pihak kekuatan reaksinya menghasilkan gypsum yang sifatnya menguntungkan semen, tapi di lain pihak reaksi  $MgS$  dengan calcium Hidroksida yang bercampur dengan hidrat silica ( $S^M$ ) sebagai hasil dari reaksi dengan gel semen, sejenis

material yang sifatnya memiliki daya rekat, akan membentuk material baru yang berbeda, yaitu (48MSH). Material ini sifatnya tidak memiliki kemampuan rekat seperti halnya material semen. [Akinsola., Oladipo., dan Olabode., 2012.].

#### 2.7.4 Pengaruh Kimia Air Laut terhadap Bambu

##### A. Ketahanan Terhadap Jamur

**Tabel 2.10** Pengujian ketahanan tulangan bambu dari serangan jamur

Pengamatan (bulan ke-)	Ulangan	Perlakuan			Rata-rata
		Tanpa perendaman (A)	Direndam di dalam Air Sungai (B)	Direndam di dalam Air laut (C)	
I	1	3	2	2	2,2
	2	3	2	2	
	3	3	2	2	
	4	2	2	2	
	5	2	2	2	
II	1	3	2	2	2,8
	2	3	2	3	
	3	3	3	3	
	4	3	3	3	
	5	3	2	3	
Rata-rata		2,8 (dibulatkan menjadi 3)	2,2 (dibulatkan menjadi 2)	2,4 (dibulatkan menjadi 2)	

Sumber : Pojoh .B (2017)

Data analisis rata-rata menunjukkan bahwa pertumbuhan jamur terbanyak terjadi pada perlakuan tulangan bambu tanpa perendaman (dikeringanginkan), yaitu 3 (pembulatan dari angka rata-rata 2,8), diikuti oleh perendaman di dalam air laut, yaitu 2 (pembulatan dari nilai rata-rata 2,4), dan direndam di dalam air sungai, yaitu 2 (pembulatan dari nilai rata-rata 2,2). Kesimpulan yang dapat diambil dari data tersebut adalah tulangan bambu tanpa perendaman “banyak ditumbuhi jamur”, sedangkan tulangan bambu yang direndam di dalam air laut dan direndam di dalam air sungai “cukup ditumbuhi jamur.” (Pojoh B.,2017)

## B. Ketahanan terhadap Rayap

**Tabel 2.11** Ketahanan Tulangan Bambu dari Serangan Rayap

Pengamatan (bulan ke-)	Ulangan	Tanpa perendaman (A)	Direndam di dalam Air Sungai (B)	Direndam di dalam Air laut (C)	Rata- rata
I	1	0,31	0,15	0,51	0,24
	2	0,31	0,24	0,49	
	3	0,27	0,25	0,45	
	4	0,27	0,18	0,44	
II	1	0,41	0,21	0,59	0,32
	2	0,38	0,49	0,54	
	3	0,42	0,3	0,43	
	4	0,34	0,45	0,49	
III	1	0,42	0,17	0,58	0,40
	2	0,48	0,31	0,88	
	3	0,34	0,26	0,53	
	4	0,29	0,33	1,84	
IV	1	0,37	0,17	0,9	0,40
	2	0,3	0,19	1,26	
	3	0,44	0,55	0,68	
	4	0,38	0,53	0,55	
Rata-rata		0,36	0,30	0,70	

Sumber : Pojoh .B (2017)

Secara lengkap, ketahanan tulangan bambu secara deskriptif dicantumkan pada Tabel . Sampai dengan penyimpanan empat bulan diketahui bahwa serangan rayap terendah terjadi pada tulangan bambu yang direndam di dalam air sungai yang secara deskriptif termasuk didalam kategori “tahan” terhadap rayap, diikuti oleh perlakuan tanpa perendaman (dikeringanginkan) yang termasuk di dalam kategoero “agak tahan” dan direndam di dalam air laut yang termasuk di dalam kategori sebagai “sedikit tahan” terhadap rayap. Secara konsisten, pemendaman tulangan bambu di dalam tanah meningkatkan kerentanan terhadap serangan rayap. (Pojoh B.,2017)