

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 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 (*Mc. Cormac 2004*), (*Pane. P.F. 2015*). Kekuatan, keawetan dan sifat dasar beton tergantung dari bahan dasar tersebut, cara pengadukan cara pengerjaan selama penuangan 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. (*Murdok dan Brook, 1999*).

##### 2.1.1 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)

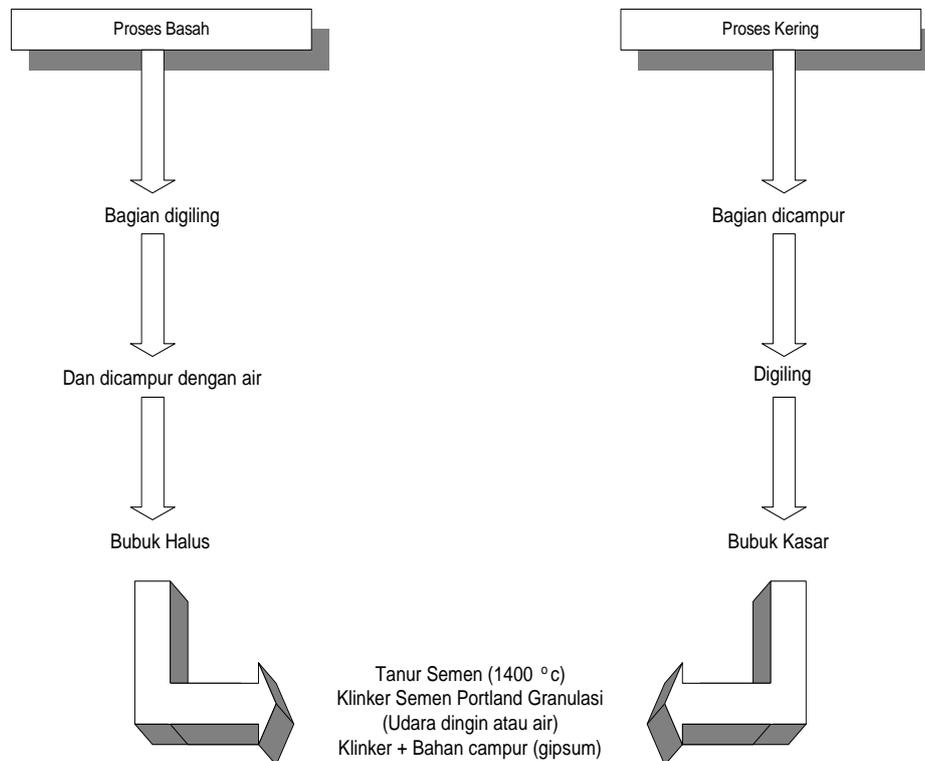
ppm\* = parts per million.

### **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 %, silica ( $\text{SiO}_2$ ) 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 C3S.
- b. Dikalsium Silikat ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) yang disingkat menjadi C2S.
- c. Trikalsium Aluminat ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang disingkat menjadi C3A.
- d. Tertakalsium aluminoferrit ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang disingkat menjadi C4AF.

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

### 1. Jenis Semen *Portland* Type I

Jenis semen 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 (*continous*) 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 (5mm). 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.

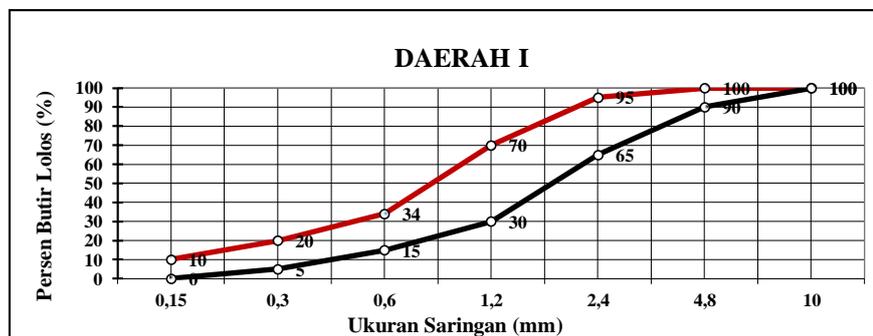
SK. SNI T-15-1990-03 memberikan syarat-syarat untuk agregat halus yang diadopsi dari *British Standard* di Inggris. Agregat halus dikelompokkan dalam empat *zone* (daerah) seperti dalam Tabel berikut.

**Tabel 2.2** Batas Gradasi Agregat Halus (*british standard*)

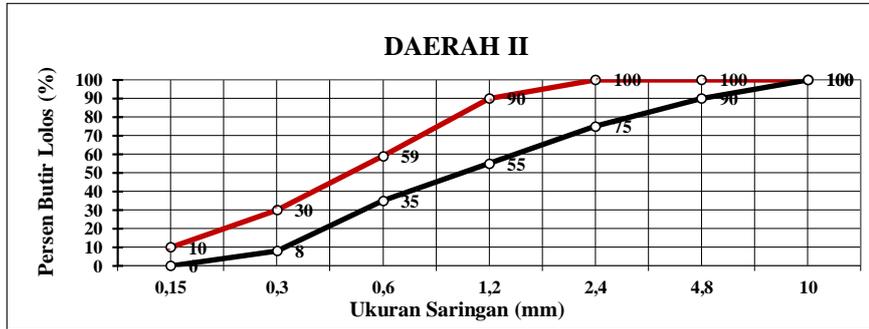
Lubang ayakan (mm)	No	Persen Berat Butir yang lewat ayakan			
		I	II	III	IV
10	3/8 in	100	100	100	100
4.8	No.4	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2.4	No.8	65 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1.2	No.16	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0.6	No.30	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0.3	No.50	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0.15	No.100	0 – 10	0 - 10	0 – 10	0 – 15

(Sumber : Ir, Tri Mulyono, MT., 2003, Teknologi Beton ; 91, Tabel 4.7)

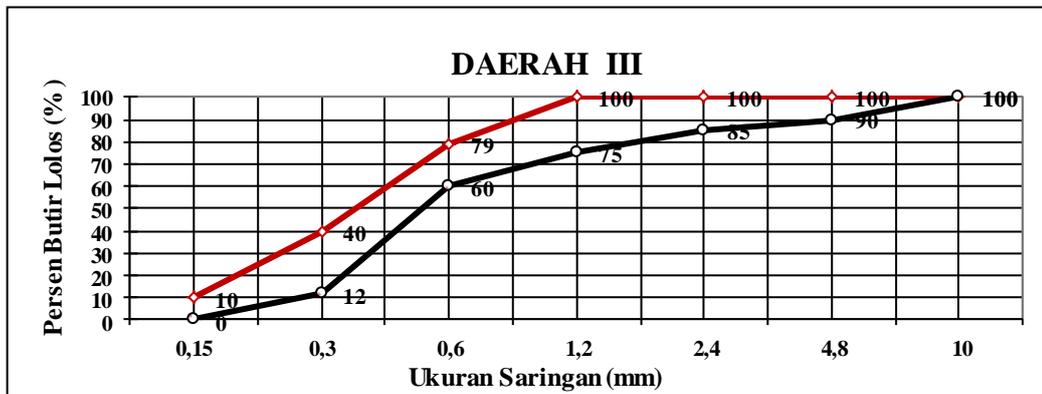
- Keterangan :
- Daerah Gradasi I = Pasir Kasar
  - Daerah Gradasi II = Pasir Agak Kasar
  - Daerah Gradasi III = Pasir Halus
  - Daerah Gradasi IV = Pasir Agak Halus



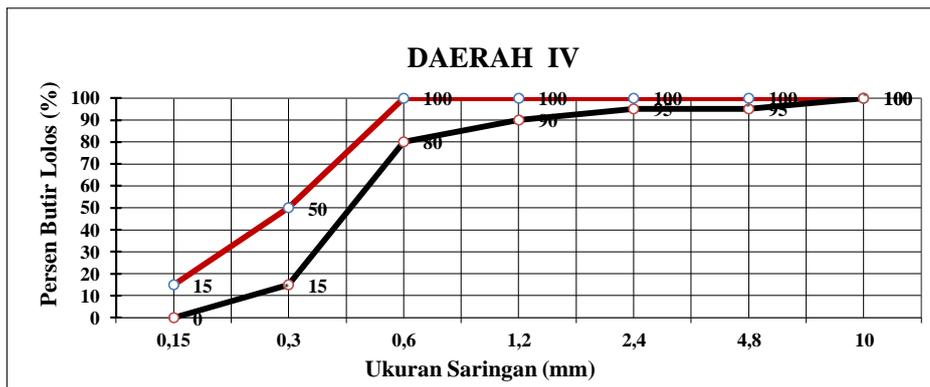
**Grafik 2.1** Daerah Gradasi Pasir Kasar



Grafik 2.2 Daerah Gradasi Pasir Agak Kasar



Grafik 2.3 Daerah Gradasi Pasir Halus



Grafik 2.4 Daerah Gradasi Pasir Agak Halus

**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 : Ir, Tri Mulyono, MT., 2003, Teknologi Beton ; 93, Tabel 4.8)

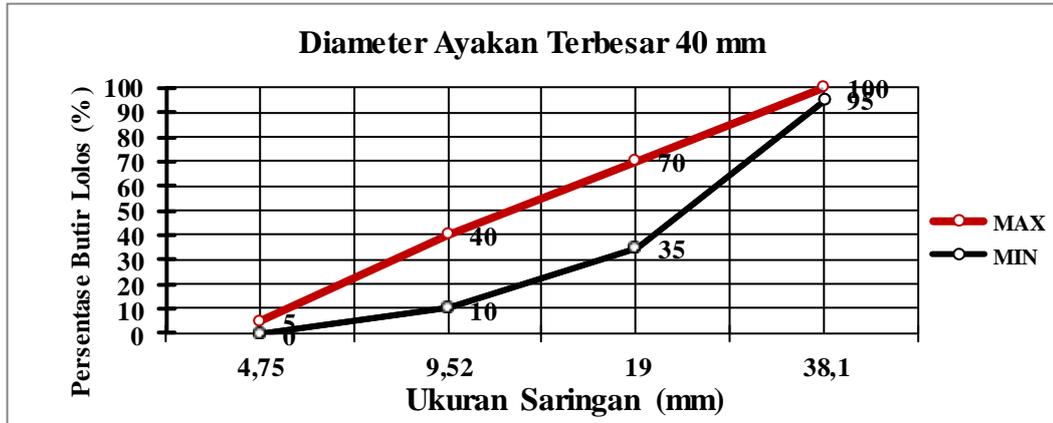
Agregat kasar yaitu agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar dan semua butir tertinggal diatas ayakan 4,8 mm (5 mm). Agregat ini dapat berupa kerikil, pecahan kerikil, batu pecah, terak tanur tiup atau beton semen hidrolis yang pecah.

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 Menurut (*British Standard*)

Lubang Ayakan (mm)	Diameter Ayakan Terbesar 40 mm		Diameter Ayakan Terbesar 20 mm		Diameter Ayakan Terbesar 10 mm	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
38,1 (1,5 inc)	95	100	100	100	100	100
19,0 (3/4 inc)	35	70	95	100	100	100
9,52 (3/8 inc)	10	40	30	60	50	85
4,75 (no.4)	0	5	0	10	0	5

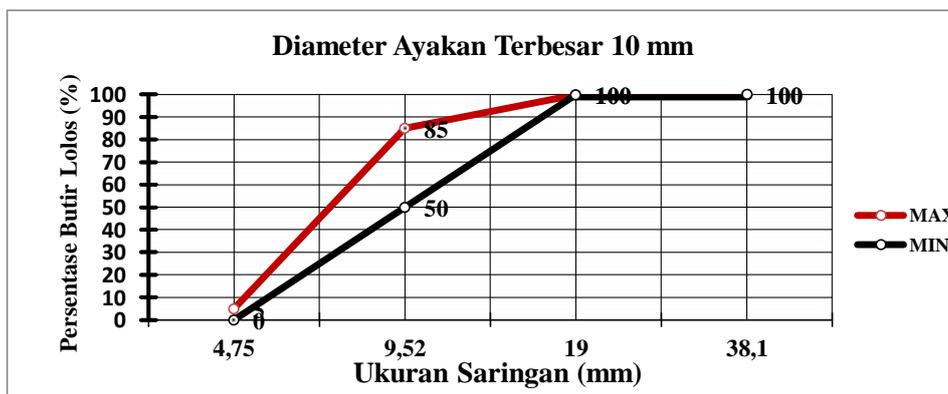
(Sumber : Ir, Tri Mulyono, MT., 2003, Teknologi Beton ; 94, Tabel 4.9)



Grafik 2.5 Syarat Agregat Kasar



Grafik 2.6 Syarat Agregat Kasar



Grafik 2.7 Syarat Agregat Kasar

### 2.1.2 Sifat-sifat Beton Segar

Sifat-sifat beton segar hanya penting sejauh mana mempengaruhi pemilihan peralatan yang dibutuhkan dalam pengerjaan dan pemadatan serta kemungkinan mempengaruhi sifat-sifat beton pada saat mengeras. Ada dua hal yang harus dipenuhi dalam pembuatan beton yaitu pertama sifat-sifat yang harus dipenuhi dalam jangka waktu lama oleh beton yang mengeras seperti kekuatan, keawetan dan kesetabilan volume. Yang kedua sifat yang harus dipenuhi dalam jangka waktu pendek ketika beton dalam kondisi plastis (*workability*) atau kemudahan pengerjaan tanpa adanya *bleeding* dan *segregation*. Akan tetapi sifat ini tidak dapat dirumuskan dengan pasti dan berlaku untuk semua jenis bahan baku, kondisi lingkungan dan cuaca disekitar lokasi pekerjaan. Sebagai contoh, campuran yang mudah dikerjakan untuk pekerjaan lantai belum tentu akan mudah dikerjakan pada cetakan balok dengan penampang sempit serta mempunyai penulangan yang rapat.

Campuran beton direncanakan berdasarkan asumsi adanya hubungan antara sifat-sifat komposisi campuran dan sifat-sifat beton setelah mengeras. Untuk dapat bertahan dengan sifat-sifat ini, maka beton harus didapatkan secara seragam pada cetakannya. Dengan demikian, pengetahuan tentang sifat beton merupakan hal penting dalam upaya menghasilkan beton yang berkualitas baik setelah mengeras.

Istilah kemudahan pekerjaan masih memberikan pengertian yang umum dan untuk dapat memahami sifat ini lebih jauh. Kemudahan pengerjaan atau *workability* pada pekerjaan beton didefinisikan sebagai kemudahan untuk

dikerjakan, dituangkan dan dipadatkan serta dibentuk dalam acuan (Ilsley,1942:224). Kemudahan pengerjaan ini di indikasikan melalui nilai *slump*.

Maka sifat ini dijabarkan kedalam sifat-sifat yang lebih spesifik, yaitu:

1. Sifat kemampuan untuk dipadatkan (*compactibility*).
2. Sifat kemampuan untuk dialiran (*mobility*)
3. Sifat kemampuan untuk tetap dapat bertahan seragam (*stability*).

Kemampuan sifat yang dibutuhkan untuk suatu campuran yang baik, dipengaruhi oleh faktor internal dan faktor eksternal.

### 2.1.3 Sifat dan Karakteristik Campuran Beton

Sifat dan karakteristik 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. Pemasatan (*Vibrating*)

Pemadatan yang tidak baik akan menyebabkan menurunnya kekuatan beton, karena tidak terjadinya pencampuran bahan yang homogen. Pemadatan 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 :

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

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

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 Tjokrodinuljo, 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.

## **2.2 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.

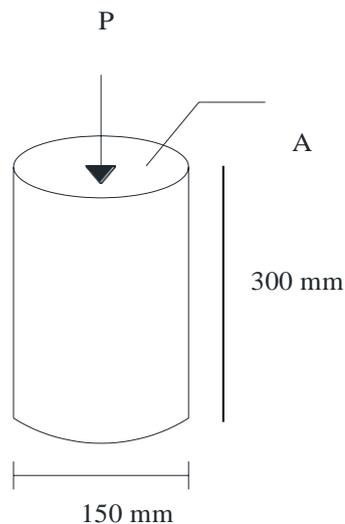
Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut. Kuat tekan beton dapat dicari dengan rumus :

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

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

$A$  = luas penampang silinder (mm<sup>2</sup>),

$P$  = beban max (N).



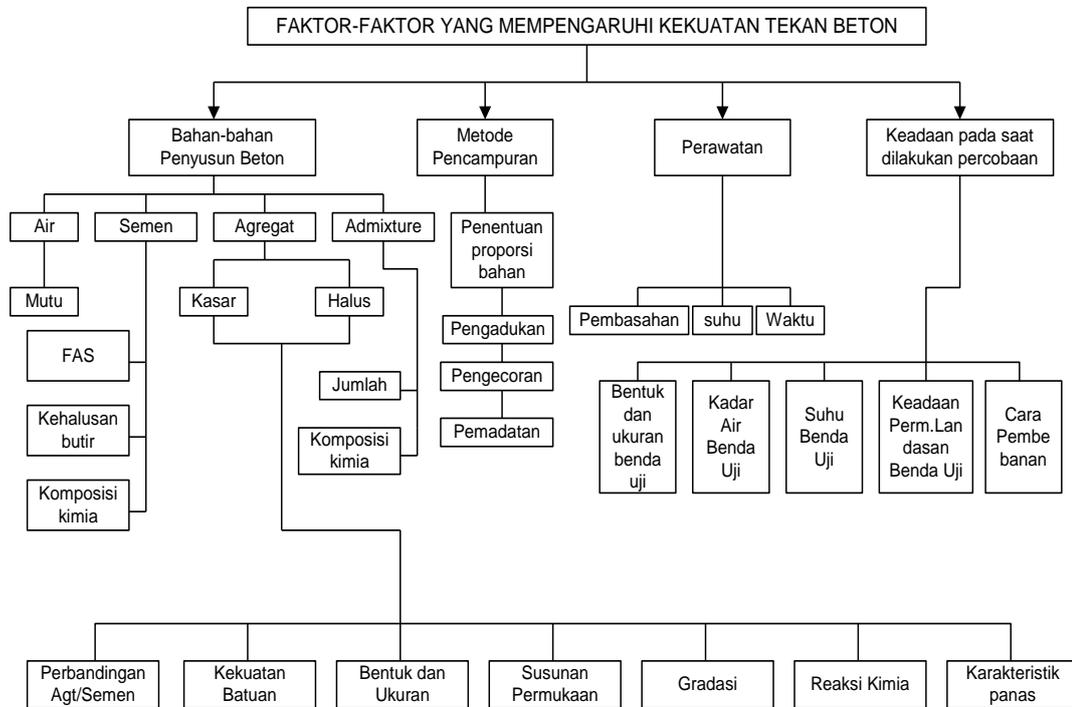
**Gambar 2.2** Benda Uji Kuat Tekan (Silinder)

### 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 2.3** Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton

### 2.2.2 Jenis Beton Berdasarkan Kuat Tekannya

Berdasarkan kuat tekannya beton dapat dibagi 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)

### 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 15 cm dan tinggi 30 cm. Kuat tarik belah dari beton dapat dihitung dengan rumus

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

Keterangan:  $f_{sp}$  = Kuat tarik belah (MPa)

P = Beban batas pengujian (N)

L = Panjang Benda Uji (mm)

D = Diameter Benda Uji (mm)

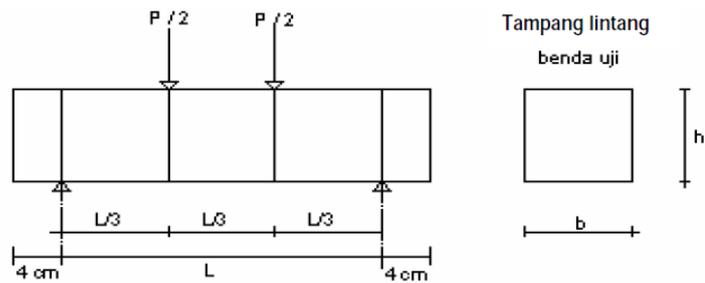
#### 2.4 Kuat Lentur

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 balok berukuran 60cm x 15cm x 15cm, 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. Modulus keruntuhan beton berkisar antara 11 % - 23 % dari kuat tekannya.



**Gambar 2.4** Garis-garis perletakan dan pembebanan

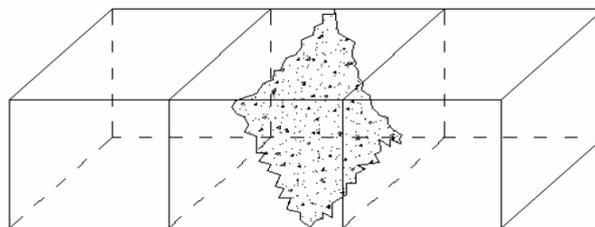
Keterangan:  $L$  = Jarak antara dua garis perletakan

$b$  = Lebar tampak patah arah horizontal

$p$  = Beban tertinggi yang ditunjukkan oleh mesin uji

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 2.5** Patah pada  $1/3$  Bentang

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

Dimana:  $f_r$  = kekuatan lentur (N/mm<sup>2</sup>)

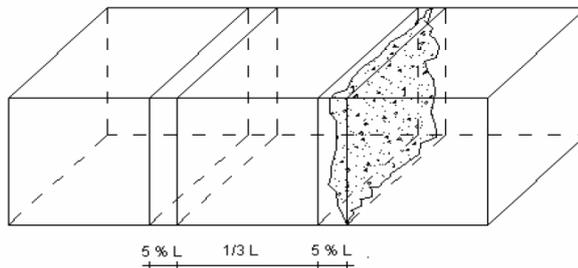
P =Beban Maximum (N)

L = Jarak Bentang (mm)

b = Lebar Tampak Lintang (mm)

d = Tinggi Tampak Lintang (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 2.6** Patah pada 1/3 Bentang dan garis patah <5% dari bentang

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

Keterangan:  $f_r$  = kuat lentur (N/mm<sup>2</sup>)

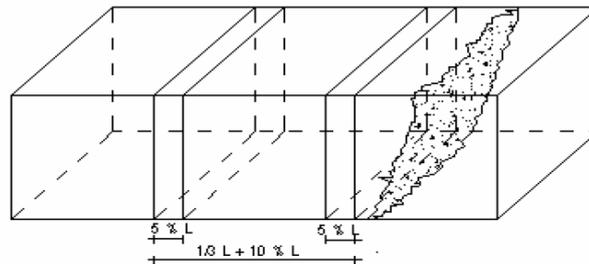
p = beban maksimal yang diberikan (N)

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 2.7** Patah pada  $1/3$  Bentang dan garis patah  $>5\%$

## 2.5 Beton Serat

Salah satu bahan tambah beton ialah serat (*fibre*). Beton yang diberi bahan tambah serat disebut beton serat (*fibre reinforced concrete*). Beton serat merupakan campuran beton ditambah serat. Bahan serat dapat berupa serat asbestos, serat plastik (*poly-propylene*), atau potongan kawat baja, serat tumbuh-tumbuhan (rami, sabut kelapa, bambu, ijuk) (Trimulyono, 2004). Karena ditambah serat, maka menjadi suatu bahan komposit yaitu beton dan serat.

Beton yang dicampurkan dengan serat, salah satunya serat nilon yang berfungsi meningkatkan properti beton. Serat pada campuran beton dapat menunda retaknya beton, membatasi penambahan retak dan juga membantu ketidak mampuan semen portland yang tidak dapat menahan regangan dan benturan menjadi ikatan komposit kuat dan lebih tahan retak.

Penambahan serat dalam campuran beton mempunyai prinsip dasar yaitu memberi serat pada beton yang disebar merata ke dalam adukan beton dengan

orientasi random untuk mencegah terjadinya retakan-retakan beton yang terlalu dini di daerah tarik akibat panas hidrasi maupun akibat pembebanan. Penambahan serat juga diharapkan dapat meningkatkan penyerapan energi, daktilitas, mengendalikan retak, dan meningkatkan sifat deformasi.

Namun demikian, penambahan serat tidak dapat dilakukan sembarangan. Ada porsi tertentu yang harus diberikan pada campuran beton untuk menghasilkan peningkatan performa beton yang optimum. Umumnya penambahan serat ini berkisar 0,25% sampai 1% dari berat semen. Porsi serat yang terlalu banyak tentu malah akan mengganggu proses pengikatan pasta semen pada agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir) dari beton tersebut.

Di samping itu, rasio panjang dan diameter juga serat akan berpengaruh terhadap besarnya tegangan yang mampu ditahan. Apabila serat terlalu pendek, maka kekuatan tarik dari serat tidak tercapai dan serat akan terlebih dahulu tercabut dari beton sehingga kerusakan yang terjadi diakibatkan oleh hancurnya ikatan antar beton dan serat. Apabila serat cukup panjang untuk mencapai kuat tariknya maka mekanisme kerusakan yang terjadi diakibatkan oleh putusya serat.

### **2.5.1 Fungsi Penambahan Serat**

Penambahan serat nilon kedalam adukan beton adalah untuk untuk mengatasi sifat-sifat kurang baik dari beton. Ide dasar penambahan serat adalah memberikan serat pada beton yang disebar merata secara acak (random) untuk mencegah retak-retak yang terjadi akibat pembebanan (Sudarmoko,1990).

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dengan menambahkan serat nilon kedalam adukan beton maka selain kemampuan untuk

menahan lentur ditingkatkan, sekaligus daktilitasnya (kemampuan menyerap energi) secara dramatis juga meningkat (Suhendro,1990).

Selain itu juga dengan menambahkan serat nilon kedalam adukan beton maka akan mempertinggi kuat lentur beton, (Sudarmoko,1991). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Swammy dkk, 1979 menyimpulkan bahwa kehadiran serat (*fiber*) pada beton akan menaikkan kekakuan dan mengurangi lendutan (defleksi) yang terjadi. Penambahan serat (*fiber*) juga dapat meningkatkan keliatan beton, sehingga struktur akan terhindar dari keruntuhan yang tiba-tiba akibat pembebanan yang berlebihan.

### **2.5.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton Serat**

Adapun kelebihan dan kekurangan beton serat adalah sebagai berikut:

1. Kelebihan Penggunaan Serat
  - a. Dapat meningkatkan kuat lentur beton.
  - b. Kemungkinan terjadi segregasi kecil.
  - c. Daktilitas (kemampuan menyerap energi) juga meningkat.
  - d. Tahan benturan.
  - e. Retak-retak yang terjadi dapat direduksi.
  - f. Beton menjadi lebih kaku.
  - g. Meningkatkan kuat lentur/tarik, kuat tekan dan kuat desak beton.
2. Kekurangan Penggunaan Serat
  - a. Biaya menjadi lebih mahal karena adanya penambahan material yang berupa serat.
  - b. Proses pengerjaan lebih sulit dari beton biasa.

## 2.6 Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Berat jenis digunakan untuk menentukan volume yang diisi oleh agregat. Berat jenis dari agregat pada akhirnya akan menentukan berat jenis dari beton sehingga secara langsung menentukan banyaknya campuran agregat dalam campuran beton. Hubungan antara berat jenis dengan daya serap adalah jika semakin tinggi nilai berat jenis agregat maka semakin kecil daya serap air agregat tersebut. Dengan syarat  $2 < BJ < 3$  (Panduan Modul Uji Bahan Politeknik Negeri Sriwijaya). Pengujian ini dilakukan dengan rumus akhir yaitu :

$$BJ \text{ Kering} = \frac{BK}{(W2+Bj-W1)} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$BJ \text{ SSD} = \frac{Bj}{(W2+Bj-W1)} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

- Dengan: BJ = Berat Jenis  
 Bj = Berat kering permukaan jenuh (gr)  
 Bk = Berat kering oven (gr)  
 W1 = Berat piknometer + benda uji + air (gr)  
 W2 = Berat piknometer + air (gr).

### 2.6.1 Uji Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur terhadap agregat yang digunakan dalam komposisi pembuatan agregat ringan ini berguna untuk mengetahui seberapa banyak lumpur yang terdapat pada suatu agregat yang akan digunakan untuk pembuatan beton ringan, karena kadar lumpur juga mempengaruhi mutu beton ringan itu sendiri.

Untuk agregat kasar, kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) maksimum 1%. Sedangkan untuk agregat halus, kadar lumpur

atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm atau No. 200) dalam persen maksimum (SK-SNI-T -15-1990-03).

1. Untuk beton yang mengalami abrasi sebesar 3%.
2. Untuk agregat halus sebesar 5%.

Pengujian ini dilakukan dengan rumus :

$$KL = \frac{BA-BAK}{BA} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan : KL = Kadar Lumpur Agregat, (%)

BA = Berat Agregat, (gram)

BAK = Berat Agregat Konstan, (gram)

### 2.6.2 Kadar Air Agregat

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

$$KA = \frac{Wd-wk}{Wd} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan : KA = Kadar Air (%)

Wd = Berat Agregat (gr)

Wk = Berat kering oven sebelum dicuci (gr)

### 2.6.3 Uji Berat Isi

Standar metode pengujian ini untuk menghitung berat isi dalam kondisi padat atau gembur dan rongga udara dalam agregat. Ukuran butir agregat kasar adalah 5 mm – 40 mm, agregat halus terbesar 5 mm. Pengujian dalam kondisi padat dilakukan dengan cara tusuk atau ketok. Dalam kondisi gembur dengan cara sekop atau sendok (SNI 03-4804-1998).

Bobot isi kering udara agregat dihitung dalam kondisi kering oven dan keringpermukaan. Pada kondisi padat dan gembur memiliki berat isi yang berbeda karena pada berat isi gembur masih terdapat rongga-rongga udara, berbeda dengan berat isi padat yang dipadatkan dengan cara ditusuk sehingga berat isi padat lebih berat dari pada berat isi gembur karena berat isi padat tidak memiliki rongga udara. Pengujian ini dilakukan dengan rumus :

$$BI = \frac{BA}{V} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan : BI = Bobot Isi Agregat, (gr/cm<sup>3</sup>)

BA = Berat Agregat, (gram)

V = Volume Agregat, (cm<sup>3</sup>)

#### 2.6.4 Kekerasan Agregat

Kekerasan merupakan lawan dari keausan. Ketahanan terhadap abrasi sering dipakai sebagai indeks secara umum untuk kualitas agregat. Untuk mengetahui kekerasan atau sifat tahan abrasi dengan pengujian berikut, yaitu dengan menggunakan mesin *Los Angeles*, mesin *Rudolf*, mesin *Rockwell*. Pada penelitian ini menggunakan mesin *Los Angeles* untuk menguji kekerasan agregat.

$$LA = \frac{A-B}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana : LA = *Los Angeles*

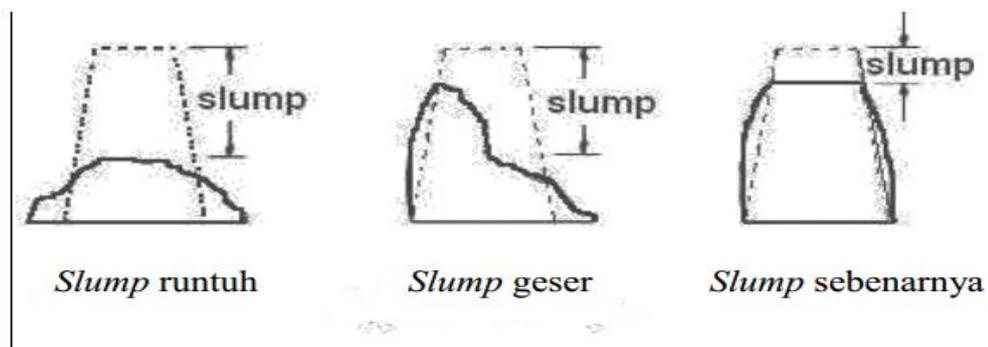
A = Berat benda uji awal (gr)

B = Berat benda uji tertahan di saringan no. 2,36 mm (gr)

#### 2.6.5 Slump Beton

Percobaan slump beton adalah suatu cara untuk mengukur kecairan atau kekentalan adukan yang berguna dalam pekerjaan beton. *Slump* merupakan

besarnya nilai keruntuhan beton secara vertikal yang diakibatkan karena beton belum memiliki batas *yield stress* yang cukup untuk menahan berat sendiri karena ikatan antar pertikelnya masih lemah sehingga tidak mampu untuk mempertahankan ikatan semulanya. Pemeriksaan *slump* dimaksud untuk mengetahui konsistensi beton dan sifat mudah dikerjakan (*workability*) sesuai dengan syarat yang telah ditetapkan.



**Gambar 2.8** Kemungkinan *slump* yang terjadi

**Tabel 2.7** Nilai-nilai *slump* untuk berbagai pekerjaan

Jenis Pekerjaan	<i>Slump</i> (mm)	
	Max	Min
Dinding, plat pondasi, dan pondasi tapak tulang	125	50
Pondasi telapak tidak bertulang, kaisan, dan konstruksi dibawah tanah	90	25
Plat, balok, kolom, dan dinding	150	50
Perkerasan jalan	75	50
Pembetonan missal	75	25