

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### A. Beton

Beton adalah material yang dibuat dari campuran agergat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air dan semen portland atau bahan pengikat hidrolis yang lain sejenis, dengan atau tidak menggunakan bahan tambah lain (SK.SNI T-15-1990-03:1). Menurut (Nugraha dan Antoni, 2007), beton adalah material komposit yang rumit. Sebagai material komposit, sifat beton sangat tergantung pada sifat unsur masing-masing serta interaksi mereka. Ada 3 sistem umum yang melibatkan semen, yaitu pasta semen, mortar dan beton.

Kekuatan, keawetan, dan sifat beton yang lain tergantung pada sifat-sifat bahan dasar, nilai perbandingan bahannya, cara pengadukan maupun cara pengerjaan selama penuangan adukan beton, cara pemadatan dan cara perawatan selama proses pengerasan. Luasnya pemakaian beton disebabkan oleh karena terbuat dari bahan-bahan yang umumnya mudah diperoleh, serta mudah diolah sehingga menjadikan beton mempunyai sifat yang dituntut sesuai dengan keadaan situasi pemakaian tertentu.

Beton dalam keadaan mengeras mempunyai nilai kuat tekan yang tinggi. Dalam keadaan segar beton mudah dibentuk sesuai dengan yang diinginkan. Selain itu beton juga tahan terhadap serangan korosi. Secara umum kelebihan dan kekurangan beton adalah :

1. Kelebihan
  - a. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
  - b. Pengangkutan bahan mudah, karena masing-masing bisa diangkut secara terpisah.
  - c. Beton bersifat *monoloit* sehingga tidak memerlukan sambungan seperti baja.
  - d. Tahan terhadap temperatur tinggi.
  - e. Kuat tekannya tinggi sehingga jika dikombinasikan dengan baja tulangan

## 2. Kekurangan

- a. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah.
- b. Struktur beton sulit dipindahkan.
- c. Berat sendiri beton yang besar.
- d. Kekuatan tariknya rendah, meskipun kuat tekannya besar.
- e. Mengalami kembang susut akibat perubahan suhu.

### B. Jenis-Jenis Beton

Pada umumnya beton sering digunakan sebagai struktur dalam konstruksi suatu bangunan. Dalam teknik sipil, beton digunakan untuk bangunan fondasi, kolom, balok, dan pelat. Menurut Mulyono (2005) terdapat beberapa jenis beton yang dipakai dalam konstruksi suatu bangunan yaitu :

1. Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat normal.
2. Beton bertulang adalah beton yang menggunakan tulangan dengan jumlah dan luas tulangan tidak kurang dari nilai minimum yang diisyaratkan, dengan atau tanpa pratekan dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.
3. Beton pracetak adalah beton yang elemen betonnya tanpa atau dengan tulangan yang dicetak di tempat yang berbeda dari posisi akhir elemen dalam struktur.
4. Beton *prestress* (pratekan) adalah beton bertulang dimana telah diberikan tegangan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat pemberian beban yang bekerja.
5. Beton ringan struktural adalah beton yang memakai agregat ringan atau campuran antara agregat kasar ringan dan pasir alami sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton  $1850 \text{ kg/m}^3$  kering udara dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik beton ringan untuk tujuan struktural.
6. Beton ringan total atau beton ringan berpasir adalah beton yang seluruh agregat halus dengan berat normal

## C. Bahan Penyusunan Beton

### 1. Semen Portland

Semen Portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI, 1982). Semen portland merupakan bahan ikat yang penting dan banyak digunakan dalam pembangunan fisik. Di dunia sebenarnya terdapat berbagai semen, dan tiada macamnya digunakan untuk kondisi-kondisi tertentu sesuai dengan sifat-sifatnya yang khusus.

Fungsi utama semen untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga diantara butiran agregat. Walaupun semen hanya mengisi 10% saja dari volume beton, namun karena merupakan bahan yang aktif maka perlu dipelajari maupun dikontrol secara ilmiah.(Tjokrodimuljo,1996).

#### a. Susunan Kimia

Bahan dasar Semen Portland terdiri dari bahan-bahan yang mengandung kapur, silika, aluminium, dan oksidasi besi, sebagaimana yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1.** Susunan Oksida Semen Portland

Oksida	Persen
Kapur (CaO)	60 - 65
Silika (SiO <sub>2</sub> )	17 - 25
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	3 - 8
Besi (Fe <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	0,5 - 6
Magnesia (MgO)	0,5 - 4
Sulfur (SO <sub>3</sub> )	1 - 2
Soda/Potash (Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O)	0,5 - 1

(Sumber : Tjokrodimulyo, 2004)

Pada dasarnya dapat disebutkan 4 unsur yang paling penting, yaitu :

1. Trikalsium silikat (C<sub>3</sub>S) atau 3CaO.SiO<sub>2</sub>

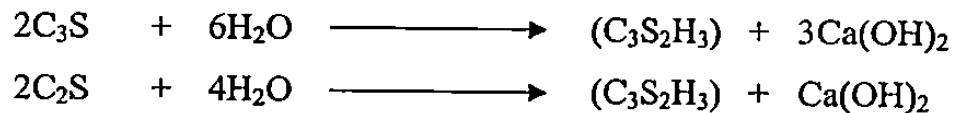
2. Dikalsium silikat (C<sub>2</sub>S) atau 2CaO.SiO<sub>2</sub>

3. Trikalsium aluminiat ( $C_3A$ ) atau  $3CaO \cdot Al_2O_3$
4. Tetrakalsium aluminiat ( $C_4AF$ ) atau  $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_2$

Dua unsur yang merupakan bagian terbesar dari semen (70% - 80%) adalah  $C_3S$  dan  $C_2S$ , sehingga sangat dominan memberikan pengaruh sifat-sifat semen.

b. Hidrasi Semen

Silikat dan aluminiat pada semen bereaksi dengan air menjadi media perekat yang memadat lalu membentuk massa yang keras. Reaksi membentuk perekat ini disebut hidrasi. Proses hidrasi pada semen portland sangat kompleks, tidak semua reaksi dapat diketahui secara rinci. Rumus perkiraan proses kimia untuk reaksi hidrasi dari unsur  $C_2S$  dan  $C_3S$  dapat ditulis sebagai berikut,



Hasil utama dari proses diatas adalah  $C_3S_2H_3$  yang biasa disebut "tobermorite" dan berbentuk gel, proses hidrasi dapat berlangsung sampai 50 tahun.

c. Kekuatan Pasta Semen dan Faktor Air – Semen

Kekuatan semen yang telah megeras tergantung pada jumlah air yang dipakai pada waktu proses hidrasi berlangsung. Pada dasarnya jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi hanya kira-kira 25 persen dari berat semennya, penambahan jumlah air akan mengurangi kekuatan semen setelah mengeras. Jumlah air yang berlebihan akan mengakibatkan pasta semen berpori lebih banyak, sehingga hasilnya kurang kuat dan lebih berpori.

d. Sifat Fisik Semen

1. Kehalusan Butiran

Reaksi antara semen dan air dimulai dari permukaan butir-butir semen, butir-butir semen yang halus akan menghasilkan panas hidrasi yang lebih cepat daripada semen dengan butir-butir yang lebih kasar

## 2. Waktu Ikatan

Waktu dari pencampuran air dan semen sampai kehilangan sifat keplastisannya disebut waktu ikatan awal, dan waktu sampai mencapai pastinya menjadi keras disebut waktu ikatan akhir. Pada semen portland waktu ikatan awal tidak boleh kurang dari 60 menit dan waktu ikatan akhir tidak boleh lebih dari 480 menit (8 jam).

## 3. Panas Hidrasi

Silika pada aluminat pada semen bereaksi dengan air menjadi media perekat yang memadat lalu membentuk massa yang keras. Reaksi membentuk perekat ini disebut hidrasi yang bersifat eksotermis dengan panas yang dikeluarkan kira-kira 120 kalori/gram.

## 4. Berat Jenis

Berat jenis semen berkisar pada 3,15. berat jenis bukan merupakan petunjuk kualitas semen, nilai ini hanya digunakan dalam perbandingan campuran saja.

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah prosentase empat komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa tipe semen yang sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen portland di Indonesia () dibagi menjadi 5 jenis sebagai berikut :

Jenis I : Semen portland untuk konstruksi umum, yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

Jenis II. : Semen portland untuk konstruksi yang afak tahan terhadap sulfat dan panas hidarsi sedang.

Jenis III : Semen portland untuk konstruksi dengan syarata kekuatan awal yang tinggi.

Jenis IV : Semen portland untuk konstruksi dengan syarat panas hidrasi yang rendah.

Jenis V

## 2. Agregat

Agregat adalah bahan-bahan campuran beton yang saling diikat oleh perekat yakni semen. Dalam struktur beton, agregat menempati dengan volume 60% sampai dengan 70% dari volume totalnya. Untuk mencapai kuat beton yang baik diperhatikan kepadatan dan kekerasan massanya, karena umumnya semakin padat dan keras massa agregat akan makin tinggi kekuatan dan keawetannya.

Karakteristik agregat perlu dipelajari, karena akan menentukan sifat mortar atau beton yang akan dihasilkan. Dilihat dari sumbernya, agregat dibedakan menjadi dua golongan yaitu agregat yang berasal dari alam dan agregat buatan. Salah satu contoh agregat buatan adalah pecahan genteng.

Agregat yang dipakai campuran beton dibedakan menjadi dua jenis yaitu agregat halus dan agregat kasar.

### a. Agregat Halus

Yang dimaksud dengan agregat halus (pasir) adalah butiran-butiran mineral keras dan halus yang bentuknya mendekati bulat, ukuran butirannya sebagian besar terletak antara 0,075 mm sampai 5 mm, dan kadar bagian yang ukurannya lebih kecil dari 0,063 mm tidak lebih dari 5 % (Departemen Pekerjaan Umum, 1982). Agregat halus beton dapat berupa pasir alami, sebagai disintegrasi alami atau berupa pasir buatan yang dihasilkan dari alat-alat pemecah batu.

### b. Agregat kasar

Yang dimaksud dengan agregat kasar (batu pecah) adalah butiran mineral keras yang sebagian besar butirannya berukuran antara 5 mm sampai 40 mm, dan besar butiran maksimum yang diijinkan tergantung pada maksud dan pemakaian (Departemen Pekerjaan Umum, 1982). Agregat kasar yang akan dicampurkan sebagai adukan beton harus mempunyai syarat mutu yang ditetapkan.

Menurut Tjokrodimuljo (2007), berdasarkan berat jenisnya agregat juga dibedakan menjadi 3, yaitu:

a. Agregat normal

Agregat yang berat jenisnya antara 2,5 sampai 2,7. Agregat ini biasanya berasal dari agregat granit, basalt, kuarsa, dan sebagainya. Beton yang dihasilkan berberat jenis sekitar 2,3 juga dapat disebut beton normal.

b. Agregat berat

Berat jenis agregat ini lebih dari 2,8 misalnya magnetik ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), barites ( $\text{BaSO}_4$ ), atau sebuk besi. Beton yang dihasilkan juga berat jenisnya tinggi (sampai 5) yang efektif sebagai dinding pelindung/perisai radiasi sinar X.

c. Agregat ringan

Agregat ini mempunyai berat jenis kurang dari 2,0 yang biasanya dibuat untuk beton ringan. Berat beton ringan kurang dari  $1800 \text{ kg/m}^3$ . Beton biasanya dipakai untuk elemen-non-struktural, akan tetapi mungkin pula untuk elemen struktural-ringan. Kebaikannya adalah berat sendiri yang rendah sehingga struktur pendukungnya dan fondasinya lebih kecil. Agregat ringan dapat diperoleh secara alami maupun buatan, misalnya:

1. Agregat ringan alami misalnya: *diatomite*, *pumice*, *volcanic cinder*.
2. Agregat ringan buatan misalnya: tanah bakar (*bloated clay*), abu terbang (*sintered fly-ash*), busa terak tanur tinggi (*foamed blast furnace slag*).

Agregat diperoleh dari sumber daya alam yang telah mengalami pengecilan ukuran secara alamiah (misalnya kerikil) atau dapat pula diperoleh dengan cara memecah batu alam, membakar tanah liat, dan sebagainya. Agregat pecahan batu (kerikil maupun pasir) diperoleh dengan memecah batu menjadi butiran sebesar yang diinginkan dengan cara meledakkan, memecah, mengayak, dan seterusnya.

Agregat kasar menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia perlu diuji terhadap keausan (dengan menggunakan mesin *Los Angeles*). Persyaratan mengenai ketahanan agregat kasar beton terhadap keausan ditunjukkan pada Tabel 2.2

**Tabel 2.1.** Persyaratan kekerasan agregat kasar

Kekuatan Beton	Maksimum bagian yang hancur dengan mesin <i>Los Angeles</i> , Lolos Ayakan 1,7 mm (%)
Kelas I (sampai 10 MPa)	50
Kelas II (10 MPa - 20 MPa)	40
Kelas III (diatas 20 MPa)	27

Sumber: (Tjokrodimuljo, 2007)

Pori-pori dalam butir agregat mungkin terisi air. Berdasarkan banyaknya kandungan air di dalam agregat, maka kondisi agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat kandungan airnya, yaitu (Tjokrodimuljo, 2007) :

- a. Kering tungku yaitu keadaan dimana butiran agregat benar-benar tidak berisi air.
- b. Kering udara yaitu keadaan dimana butir-butir agregat mengandung sedikit air (tidak penuh) di dalam porinya dan permukaan butirnya kering. Oleh karena itu agregat pada kondisi ini masih dapat menyerap air.
- c. Jenuh kering muka yaitu keadaan dimana pada permukaan butir agregat tidak ada air, akan tetapi di dalam butir agregat berisi air. Agregat pada kondisi ini tidak menyerap air dan tidak menambah jumlah air.
- d. Basah yaitu kondisi dimana butir-butir agregat mengandung banyak air, baik di permukaan maupun di dalam butiran agregat. Sehingga bila digunakan dalam adukan akan menambah jumlah air.

Keadaan jenuh kering muka lebih disukai sebagai standar dalam campuran beton (*mix design*), hal ini disebabkan karena keadaan jenuh kering muka merupakan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak akan menambah maupun mengurangi air dari pastinya, selain itu kadar air di lapangan lebih banyak yang mendekati keadaan SSD daripada yang kering tungku.

Gradasi adalah distribusi ukuran butir dari agregat. Butiran agregat yang memiliki ukuran yang sama (seragam) akan membuat volume pori antara agregat menjadi semakin besar dan butiran agregat dengan ukuran yang bervariasi akan membuat volume pori antara agregat menjadi semakin kecil.



besar dan butiran agregat dengan ukuran yang bervariasi akan membuat volume pori antara agregat menjadi kecil (Tjokrodimuljo, 1996).

### 3. Air

Semen tidak bisa menjadi pasta tanpa air. Air harus selalu ada didalam beton cair, tidak saja untuk hidrasi semen, tetapi juga untuk mengubahnya menjadi suatu pasta sehingga betonnya lecah (*workable*). Air yang mengandung senyawa-senyawa berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton bisa menyebabkan :

- a. Gangguan pada hidrasi dan pengikatan.
- b. Gangguan pada kekuatan dan ketahanan.
- c. Perubahan volume yang dapat menyebabkan keretakan.
- d. Korosi pada tulangan baja maupun kehancuran beton.
- e. Bercak-bercak pada permukaan beton.

Air sebagai bahan bangunan sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut (standar SK SNI S-04-1989-F, Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A dalam Tjokodimuljo, 2007) :

- a. Air harus bersih.
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya yang dapat dilihat secara visual. Benda-benda tersuspensi ini tidak boleh lebih dari 2 gram per liter.
- c. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram per liter.
- d. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram per liter. Khusus untuk beton pra-tegang kandungan klorida tidak boleh lebih dari 0,05 gram per liter.
- e. Tidak mengandung senyawa sulfat (SO<sub>4</sub>) lebih dari 1 gram per liter.

#### 4. Bahan Tambah

Bahan tambah adalah bahan selain unsur pokok beton (air, semen dan agregat) yang ditambahkan dalam adukan beton, sebelum, segera, atau selama pengadukan beton. Tujuannya adalah untuk mengubah satu lebih sifat-sifat beton sewaktu dalam keadaa segar atau setelah mengeras, misalnya: mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah kekuatan beton dan sebagainya.

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 kimia (*chemical admixture*) lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja pelaksanaan. Bahan tambah aditif merupakan bahan tambah yang lebih banyak bersifat penyemenan jadi bahan tambah aditif lebih banyak digunakan untuk perbaikan kinerja kekuatannya.

#### D. Lumpur Lapindo

Jenis bahan tambah yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah bubuk lumpur Lapindo yang merupakan hasil dari pengeboran PT. Lapindo Brantas di Sidoarjo, Jawa Timur. Pengujian kandungan kimia bubuk lumpur lapindo di Labotarium Kimia Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kegunungapian (BPPTK) Yogyakarta dibagi menjadi dua jenis pengujian yaitu pengujian lumpur asli dan pengujian pada lumpur yang telah dipanaskan 800° C selama 4 jam. Hasil pengujiannya ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Kandungan Lumpur Lapindo

Oksida	Lumpur asli (%)	Lumpur setelah dipanaskan 800° C selama 4 jam (%)
Silika (SiO <sub>2</sub> )	53,08	56,68
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	18,27	20,47
Besi (Fe <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	5,60	7,92
Natrium (Na <sub>2</sub> O)	2,97	2,96
Sulfur (SO <sub>2</sub> )	2,96	2,27
Magnesium (MgO)	2,89	1,96
Kapur (CaO)	2,07	1,81
Kalium (K <sub>2</sub> O)	1,44	0,91
Titanium (TiO <sub>2</sub> )	0,57	-

Dari 2 data hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa bubuk lumpur Lapindo yang telah dipanaskan 800°C selama 4 jam mengalami peningkatan pada kandungan oksida silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan oksida alumina ( $\text{AlO}_3$ ).

Partikel lumpur Lapindo tidak mempunyai sifat hidrasi seperti semen, namun karena mempunyai kandungan utama oksida silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang cukup tinggi, maka pada suhu biasa dapat bereaksi secara kimiawi dengan kalsium hidroksida ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), membentuk terutama senyawa kalsium silikat hidrat (CSH gel) sehingga dapat meningkatkan kekuatan beton, disamping itu dengan adanya bubuk lumpur lapindo yang berbutir sangat halus dapat mengisi pori-pori pada beton secara lebih baik, sehingga didapatkan beton yang bermutu tinggi dan porositasnya lebih rendah (Pujianto, 2010).

#### E. *Superplasticizer*

*Superplasticizer* adalah bahan tambah kimia (*chemical admixture*) yang melarutkan gumpalan-gumpalan dengan cara melapisi pasta semen sehingga semen dapat tersebar dengan merata pada adukan beton dan mempunyai pengaruh dalam meningkatkan *workability* beton sampai pada tingkat yang cukup besar. Bahan ini sangat meningkatkan kelecakan campuran. Campuran dengan slump 7,5 cm akan menjadi 20 cm. Digunakan dalam jumlah yang relatif sedikit karena sangat mudah mengakibatkan terjadinya *bleeding*. *Superplasticizer* dapat mereduksi air sampai 30% dari campuran awal.

Beton berkekuatan tinggi dapat dihasilkan dengan pengurangan kadar air, akibat pengurangan kadar air dapat membuat campuran lebih padat sehingga pemakaian *Superplasticizer* sangat diperlukan untuk mempertahankan nilai slump yang tinggi. Keistimewaan penggunaan *Superplasticizer* dalam campuran pasta semen maupun campuran beton antara lain :

- a. Meningkatkan *Workability* sehingga menjadi lebih besar daripada *water reducer* biasa.
- b. Mengurangi kebutuhan air (25% - 30%)
- c. Memudahkan pembuatan beton yang sangat cair. Memungkinkan penuangan pada tulangan yang rapat atau pada bagian yang sulit dijangkau oleh pematatn yang memadai.

- d. Dapat membantu penuangan dalam air karena gangguan menyebarnya beton dihindari.

Secara umum, partikel semen dalam air cenderung untuk berkoheisi satu sama lainnya dan partikel semen akan menggumpal. Dengan menambahkan *superplasticizer*, partikel semen ini akan saling melepaskan diri dan terdispersi. Dengan kata lain *superplasticizer* mempunyai dua fungsi yaitu, mendispersikan partikel semen dari gumpalan partikel dan mencegah kohesi antar semen. Fenomena dispersi partikel semen dengan penambahan *Superplasticizer* dapat menurunkan viskositas pasta semen, sehingga pasta semen lebih fluid/alir. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan air dapat diturunkan dengan penambahan *superplasticizer*.

#### **F. Hasil Penelitian Terdahulu**

Penelitian sejenis yang pernah dilakukan oleh Tirtawijaya (2012), yang meninjau tentang kuat tekan dan kuat tarik beton dengan bahan tambah bubuk lumpur Lapindo dengan fas 0,41. Variasi bubuk lumpur Lapindo yang digunakan adalah 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60%. Dari variasi bubuk lumpur Lapindo tersebut diperoleh nilai optimal sebesar 10% dengan kuat tekan rata-rata



Ilustrasi uji tarik pembelahan silinder dapat dilihat pada Gambar 3.1 diatas. Uji kuat tarik dilakukan dengan memberikan tegangan tarik pada beton secara tidak langsung. Spesimen silinder direbahkan dan ditekan sehingga terjadi tegangan tarik pada beton. Uji ini disebut juga *Splitting test* atau *Brazilian test* karena metode ini diciptakan di Brazil (Nugraha dan Antoni, 2007).

Telah diketahui secara umum bahwa timbulnya variasi pada kekuatan dari pengujian beton padat disebabkan oleh faktor bervariasi juga. Kecuali kesalahan pengujian, yang seharusnya kecil, dan variasi dalam kecepatan pengerasan semen, variasinya tergantung tergantung pada ketelitian dan perhatian yang diberikan oleh pembuat betonnya dan perawatan. Sebab utama variasi silinder beton dapat disimpulkan sebagai berikut (Tjokrodinuljo,1992 dalam Wibawa, 2009) :

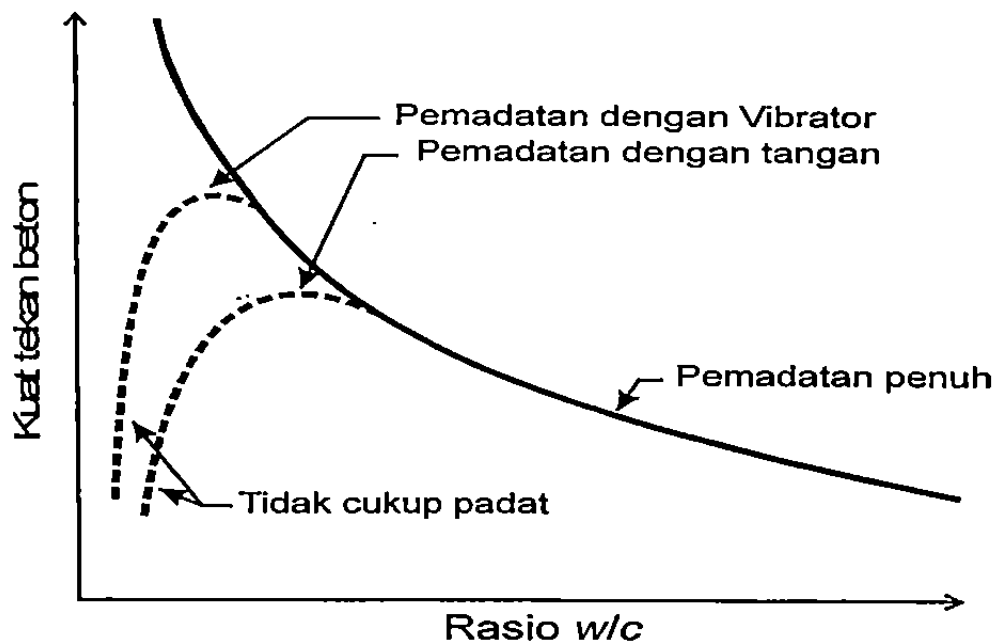
1. Ketidaktepatan didalam mengadakan proporsi kerikil, pasir dan semen. Hal ini mungkin penyebab tunggal terbesar pada variasi di lapangan.
2. Variasi faktor air/semennya. Variasi semacam ini lebih dipersulit lagi oleh kebutuhan akan *workability* (kemudian pengerjaan) yang baik untuk mengecor bilamana digunakan suatu campuran diaman proporsi kerikil, pasir, dan semen sangat bervariasi.
3. Variasi gradasi agregat yang memerlukan perubahan faktor air semen, bilamana hendak dipertahankan suatu *workabilitas* yang seragam.
4. Pemadatan kurang. Gelembung udara yang sangat kecil prosentasenya menyebabkan reduksi kekuatannya sangat besar.
5. Perawatannya tidak memuaskan. Bila silinder diperkenankan mengering selama 24 jam yang pertama kehilangan kekuatan mungkin mencapai 50%, yang tidak akan dicapai kembali sepenuhnya dengan mebasahi pada periode berikutnya.
6. Variasi kualitas semen.

### **B. Faktor yang Berpengaruh terhadap Mutu dan Keawetan Beton**

Pada umumnya jika berhubungan dengan tuntutan mutu dan keawetan yang diinginkan, ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dan diperhatikan dalam menghasilkan sebuah beton yang bermutu tinggi (Mulyono, 2005).

## 1. Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen (fas) adalah angka yang menunjukkan perbandingan antara berat air dan berat semen. Pada beton mutu tinggi dan sangat tinggi, pengertian fas bisa diartikan sebagai *water to cementitious ratio*, yaitu rasio berat air terhadap berat total semen dan aditif *cementitious*, yang umumnya ditambahkan pada campuran beton mutu tinggi. Faktor air semen yang rendah, merupakan faktor yang paling menentukan dalam menghasilkan beton mutu tinggi, dengan tujuan untuk mengurangi seminimal mungkin porositas beton yang dihasilkan. Dengan demikian semakin besar volume faktor air-semen (fas), maka semakin rendah kuat tekan betonnya, seperti tampak pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Fas (w/c) (Tjokrodimuljo, 2007)

Dari Gambar 1 tampak bahwa idealnya semakin rendah fas kekuatan beton semakin tinggi, akan tetapi karena kesulitan pemadatan, maka di bawah fas tertentu (sekitar 0,30) kekuatan beton menjadi lebih rendah, karena betonnya kurang padat akibat kesulitan pemadatan. Untuk mengatasi kesulitan pemadatan dapat digunakan alat getar (*vibrator*) atau dengan bahan kimia tambahan (*chemical admixture*) yang bersifat menambah kemudahan

## 2. Kualitas agregat halus

Walaupun pasir hanya berfungsi sebagai bahan pengisi, akan tetapi sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton. Pemakaian pasir dalam beton dimaksudkan untuk:

- a. Menghasilkan kuat tekan beton yang cukup besar.
- b. Mengurangi susut pengerasan.
- c. Menghasilkan susunan pampat pada beton.
- d. Mengontrol *workability* (sifat mudah dikerjakan) pada beton.
- e. Mengurangi jumlah penggunaan semen Portland.

Selain itu pasir dapat membantu pengikatan kapur karena memungkinkan penetrasi karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dari udara. Sebagaimana telah diketahui bahwa kapur bakar yang telah padam dapat melakukan pengikatan apabila terjadi kontak terhadap karbondioksida di udara dan mengembang. Oleh karenanya hal ini akan dapat mengurangi susut pengerasan beton.

Kualitas agregat halus yang dapat menghasilkan beton yang baik adalah:

- a. Berbentuk bulat.
- b. Tekstur halus (*smooth texture*).
- c. Modulus kehalusan (*fineness modulus*), menurut hasil penelitian menunjukkan bahwa pasir dengan modulus 2,5 s/d 3,0 pada umumnya akan menghasilkan beton mutu tinggi (dengan fas yang rendah) yang mempunyai kuat tekan dan *workability* yang optimal (Larrard, 1990 dalam Mulyono, 2005).
- d. Bersih.
- e. Gradasi yang baik dan teratur (diambil dari sumber yang sama).

## 3. Kualitas agregat kasar

Kualitas agregat kasar yang dapat menghasilkan beton yang baik adalah:

- a. Porositas rendah.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa porositas rendah akan menghasilkan suatu adukan yang seragam (*uniform*), dalam arti mempunyai keteraturan atau keseragaman yang baik pada mutu (kuat tekan) maupun nilai-nilai lainnya.



agregat kasar dengan tingkat penyerapan air (*water absorption*) yang kurang dari 1%. Bila tidak, hal ini bisa menimbulkan kesulitan dalam mengontrol kadar air total pada beton segar, dan bisa mengakibatkan kekurangan teraturan (*irregularity*) dan deviasi yang besar pada mutu dan nilai *slump* beton yang dihasilkan.

b. Bentuk fisik agregat

Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa batu pecah dengan bentuk kubikal dan tajam ternyata menghasilkan mutu beton yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan kerikil bulat (Larrard, 1990, dalam Mulyono, 2005). Hal ini tidak lain adalah karena bentuk kubikal dan tajam bisa memberikan daya lekat mekanik yang lebih baik antara batuan dengan mortar.

c. Ukuran maksimum agregat

Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa pemakaian agregat yang lebih kecil ( $< 15$  mm) bisa menghasilkan mutu beton yang lebih tinggi (Larrard, 1990, dalam Mulyono, 2005). Namun pemakaian agregat kasar dengan ukuran maksimum 25 mm masih menunjukkan tingkat keberhasilan yang baik dalam produksi beton mutu tinggi.

d. Bersih.

e. Kuat tekan hancur yang tinggi.

f. Gradasi yang baik dan teratur (diambil dari sumber yang sama).

#### 4. Penggunaan Bahan Tambah dalam Kadar yang Tepat

Bahan mineral mempunyai komponen aktif yang bersifat pozzolan, yaitu dapat bereaksi dengan kapur besar (kalsium hidroksida) yang dilepaskan semen pada saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air. Reaksi *pozzolan* berlangsung dengan lambat sehingga pengaruhnya lebih pada kekuatan akhir dari beton.

#### 5. Prosedur Pelaksanaan

Prosedur pelaksanaan pada proses produksi beton, yaitu pada :

- b. Sensor dan pengelompokan material (*material sensor and grouping*).
- c. Penakaran dan pencampuran (*batching*).
- d. Pengadukan (*mixing*).
- e. Pengangkutan (*transportating*).
- f. Pengecoran (*placing*).
- g. Perawatan (*curing*).

#### 6. Pengawasan dan pengendalian pada keseluruhan prosedur dan mutu pelaksanaan

Pengawasan mutu pelaksanaan pembetonan harus dilakukan selama proses pekerjaan berlangsung dengan cara mengambil contoh benda uji yang mewakili pekerjaan yang sedang dilaksanakan, hal ini untuk menghindarkan terjadinya penyimpangan mutu yang dapat terjadi akibat faktor pengaruh kesalahan manusia maupun alam. Apabila kesalahan yang terjadi dapat diketahui sejak dini, maka dapat diambil tindakan guna memperbaikinya.

### C. Perancangan Campuran Beton

Tujuan dari perancangan campuran beton adalah untuk menentukan jumlah komposisi yang tepat antara semen, agregat halus, agregat kasar dan air. Perancangan adukan beton bertujuan untuk mendapatkan beton yang baik sesuai dengan bahan dasar yang tersedia (Tjokrodimuljo, 2007). Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan campuran beton adalah sebagai berikut :

1. kuat tekan sesuai yang dengan rencana pada usia 28 hari.
2. sifat mudah dikerjakan (*workability*).
3. sifat awet.
4. ekonomis.

Dalam perancangan campuran beton (*mix design*) ini menggunakan SK SNI: 03-2834-2002 (Tjokrodimuljo, 2007). Langkah-langkah pokok cara perancangan campuran beton (*mix design*) menurut standar ini ialah :

1. Menghitung nilai deviasi standar (S),
2. Menghitung nilai tambah atau margin (m),
3. Menentukan kuat tekan beton yang diharapkan ( $f_c'$ ) pada umur t hari

4. Menetapkan kuat tekan rata-rata ( $f_{cr}$ ),
5. Menetapkan jenis semen portland,
6. Menetapkan jenis agregat,
7. Menetapkan nilai faktor air semen,
8. Menetapkan nilai *slump*,
9. Menetapkan besar butir agregat maksimum,
10. Menetapkan air yang diperlukan per meter kubik beton,
11. Menghitung berat semen yang diperlukan,
12. Menetapkan jenis agregat halus,
13. Menetapkan proporsi berat agregat halus terhadap agregat campuran,
14. Menghitung berat jenis campuran,
15. Memperkirakan berat beton,
16. Menghitung kebutuhan berat agregat campuran,
17. Menghitung berat agregat halus yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah 13 dan 16
18. Menghitung berat agregat kasar yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah 13-16.

#### **D. Nilai Slump**

Nilai slump merupakan pengukuran terhadap tingkat kelecakan (cair atau kental) suatu campuran beton. Semakin besar nilai slump berarti beton segar semakin encer dan ini berarti semakin mudah untuk dikerjakan. Sebaliknya semakin kecil nilai slump maka pengerjaan beton akan semakin sulit.

Uji nilai slump ini sangat populer digunakan karena alatnya yang sederhana dan mudah dalam pengerjaannya. Tentang uji slump pada dasarnya, beton segar didisikan kedalam suatu corong baja berupa kerucut terpancung, kemudian bejana ditarik ke atas sehingga sehingga beton segar meleleh ke bawah. Besar penurunannya inilah yang nantinya diukur.

#### **E. Perawatan**

Perawatan beton adalah suatu tahap akhir pekerjaan pembetonan, yaitu menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab, sejak dipadatkan sampai proses hidrasi selesai.

menyebabkan penyusutan kering yang terlalu awal dan cepat, sehingga berakibat timbulnya tegangan tarik yang mungkin menyebabkan retak, kecuali beton telah mencapai kekuatan yang cukup untuk menahan tegangan ini. Oleh karena itu direncanakan suatu cara perawatan beton supaya terus menerus berada dalam keadaan basah.

Tujuan utama dari perawatan beton adalah untuk mempertahankan beton supaya terus menerus dalam keadaan basah selama periode beberapa hari atau bahkan beberapa minggu. Perawatan yang baik terhadap beton akan memperbaiki beberapa segi kekuatannya (Mudrack and D... 1990: 11... 711... 5555)