

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

Mulai tahap persiapan, percobaan hingga tahap analisa, penelitian dilaksanakan berdasarkan sumber-sumber yang berkaitan dengan topik yang dipilih, yaitu penelitian tentang mensubstitusi batu pecah yang akan digunakan dengan batu pecah yang sejenis tapi berbeda ukurannya atau dengan harga yang lebih ekonomis. Sumber-sumber yang digunakan berupa peraturan-peraturan, referensi-referensi dan juga percobaan-percobaan sejenis yang pernah dilakukan sebelumnya.

Pada bab ini dibahas mengenai teori-teori yang mendasari percobaan yang dilaksanakan. Materi-materi yang dibahas berdasarkan referensi-referensi maupun peraturan-peraturan mengenai teknologi beton, yaitu :

- Karakteristik beton.
- Material beton.
- Perencanaan pencampuran beton (*mix design*).
- Analisa hasil.

#### **2.2 Karakteristik Beton**

Beton merupakan bahan konstruksi yang didapat dari pencampuran bahan – bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. (*Istimawan Dipohusodo, Struktur Beton Bertulang, 1999*).

Nilai kuat tekan beton relatif tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, dan beton merupakan bahan yang bersifat getas. Nilai kuat tarik beton sangat kecil, berkisar antara 10% - 15% saja dari nilai kuat tekannya. Sehingga untuk menambah kuat tarik beton dapat dilakukan dengan diberi tulangan yang mampu menahan gaya tarik.

Nilai kekuatan tekan dari beton (SK SNI M-10-1991-03) diketahui dengan melakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji silinder (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) yang dibebani dengan gaya tekan sampai benda uji hancur.

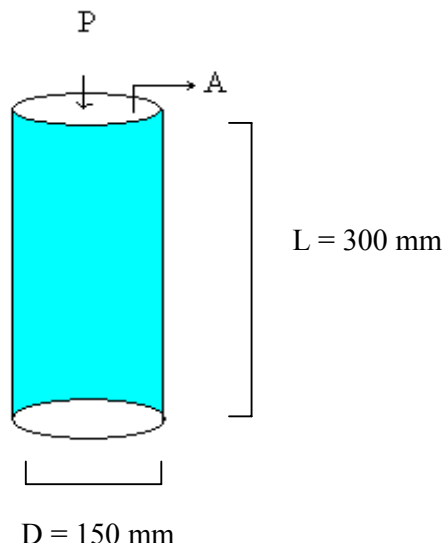
### 2.2.1 Kekuatan Tekan (*Compressive Strength*)

Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar antara nilai 10 - 65 MPa. Untuk struktur beton bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan antara 17 - 30 MPa, sedangkan untuk beton prategang digunakan beton dengan kuat tekan lebih tinggi, berkisar antara 30 - 45 MPa. Untuk keadaan dan keperluan khusus, beton *ready mix* mampu mencapai nilai kuat tekan 62 MPa dan untuk memproduksi beton kuat tekan tinggi tersebut umumnya dilaksanakan dengan pengawasan ketat laboratorium (*Istimawan Dipohusodo, 1999*).

$$\text{Kuat tekan beton } f'_c = \frac{P}{A} \quad (\text{N/mm}^2 = \text{MPa})$$

Keterangan : P = beban maksimum (N)

A = luas benda uji (mm<sup>2</sup>)



**Gambar 2.1.** Kuat Tekan Beton

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan beton, yaitu :

1. Faktor air semen (FAS) dan kepadatan

Fungsi dari faktor air semen yaitu :

- Untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan

- Sebagai pelicin campuran kerikil, pasir dan semen agar lebih mudah dalam pencetakan beton.

Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air, dan berbagai jenis campuran. Perbandingan dari air terhadap semen merupakan faktor utama didalam penentuan kekuatan beton (Chu Kia Wang dkk, 1986). Sehingga dapat disimpulkan bahwa hampir untuk semua tujuan, beton yang mempunyai faktor air semen minimal dan cukup untuk memberikan workabilitas tertentu yang dibutuhkan untuk pemadatan, merupakan beton yang terbaik. (L.J. Murdock and K.M. Brooks, 1979)

### 2. Umur beton

Kuat tekan beton akan bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton tersebut.

**Tabel 2.1.** Perbandingan Kuat Tekan Beton pada Berbagai Umur

Umur (hari)	3	7	14	21	28	90	365
PC biasa	0.40	0.65	0.88	0.95	1.00	1.20	1.35
PC dengan kekuatan awal tinggi	0.55	0.75	0.90	0.95	1.00	1.15	1.20

(Sumber : PBI, 1971)

### 3. Jenis dan jumlah semen

Jenis semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton, sesuai dengan tujuan penggunaannya ( lihat acuan SK SNI S-04-1989-F).

**Tabel 2.2.** Klasifikasi Semen *Portland*

Tipe Semen	Karakteristik Semen	Penggunaan Utama
Tipe I	Tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya	Digunakan secara luas sebagai semen umum untuk konstruksi teknik sipil dan arsitektur
Tipe II	Memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang	Secara umum dipakai untuk beton masif yang besar, seperti pekerjaan dasar untuk bendungan, jembatan atau bangunan besar
Tipe III	Memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi	Dipergunakan untuk konstruksi pada daerah yang bertemperatur rendah (mempunyai musim dingin)

Tipe IV	Memerlukan panas hidrasi yang rendah	Digunakan untuk pekerjaan yang besar dan masif, seperti untuk pekerjaan bendung, pondasi berukuran besar atau pekerjaan besar lainnya
Tipe V	Memerlukan ketahanan sulfat yang tinggi	Digunakan untuk pekerjaan beton dalam tanah yang mengandung sulfat dalam prosentase yang tinggi atau pada bangunan yang berhubungan dengan air laut dan air buangan industri

#### 4. Sifat agregat

Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya. Pada agregat dengan permukaan kasar akan terjadi ikatan yang baik antara pasta semen dengan agregat tersebut. Pada agregat berukuran besar luas permukaannya menjadi lebih sempit sehingga lekatan dengan pasta semen menjadi berkurang. (Tjokrodimuljo,1996)

#### 2.2.2 Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Kekuatan beton dalam tarik adalah juga sifat yang penting yang mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak didalam struktur. Nilai kuat tarik beton berkisar antara 10% sampai 15% dari kuat tekannya (Phil M. Ferguson, 1986).

Kekuatan tarik biasanya ditentukan dengan menggunakan percobaan pembebanan silinder (*the split cylinder*) menurut *ASTM C496 [37]* dimana silinder yang ukurannya sama dengan benda uji dalam percobaan tekan diletakkan pada sisinya diatas mesin uji dan beban tekan P dikerjakan secara merata dalam arah diameter disepanjang benda uji. Benda uji akan terbelah dua pada saat dicapainya kekuatan tarik (Chu Kia Wang dkk, 1986).

#### 2.2.3 Workabilitas

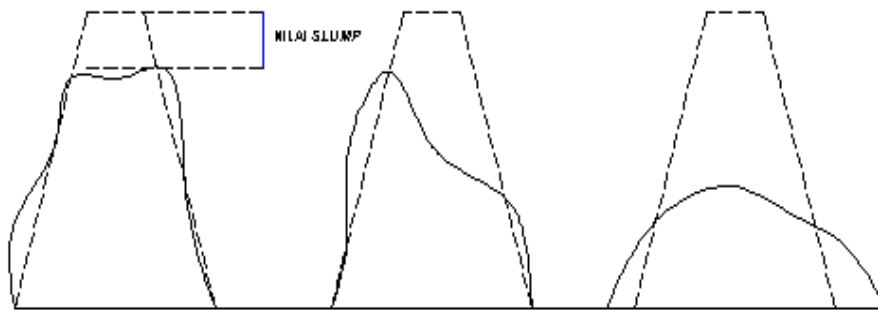
Workabilitas merupakan tingkat kemudahan pengerjaan beton dalam pencampuran, pengangkutan, penuangan, dan pematatannya. Suatu adukan dapat dikatakan cukup *workable* jika memenuhi kriteria sebagai berikut :

- a. *Plasticity*, artinya adukan beton harus cukup plastis (kondisi antara cair dan padat), sehingga dapat dikerjakan dengan mudah tanpa perlu usaha tambahan ataupun terjadi perubahan bentuk pada adukan.
- b. *Cohesiveness*, artinya adukan beton harus mempunyai gaya-gaya kohesi yang cukup sehingga adukan masih saling melekat selama proses pengerjaan beton.
- c. *Fluidity*, artinya adukan harus mempunyai kemampuan untuk mengalir selama proses penuangan.
- d. *Mobility*, artinya adukan harus mempunyai kemampuan untuk bergerak / berpindah tempat tanpa terjadi perubahan bentuk.

Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan atau keenceran adukan beton. Makin cair adukan maka makin mudah cara pengerjaannya. Untuk mengetahui kelecakan suatu adukan beton biasanya dengan dilakukan pengujian *slump*. Semakin tinggi nilai *slump* berarti adukan beton makin mudah untuk dikerjakan.

Dalam praktek, ada tiga macam tipe *slump* yang terjadi yaitu :

- a. *Slump* sebenarnya, terjadi apabila penurunannya seragam tanpa ada yang runtuh.
- b. *Slump* geser, terjadi bila separuh puncaknya bergeser dan tergelincir ke bawah pada bidang miring
- c. *Slump* runtuh, terjadi bila kerucut runtuh semuanya.



**Gambar 2.2.** Tipe-tipe keruntuhan *slump* (1) *slump* sebenarnya (2) *slump* geser (3) *slump* runtuh ( Neville dan Brooks, 1987)

#### 2.2.4 Air Content / Rongga Udara

Pada umumnya beton dengan kandungan udara mempunyai kekuatan 10% lebih kecil daripada beton tanpa pemasukan udara pada kadar semen dan workabilitas yang sama.

Udara yang masuk berbentuk gelembung kecil bulat, dengan diameter berkisar antara 20 – 2000  $\mu\text{m}$  (0,0008 – 0,08 inch). Kandungan udara rata-rata beton segar untuk bermacam-macam ukuran agregat maksimum adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.3.** Air Content Rata-Rata Beton Segar

Ukuran Agregat Maksimum Mm (inch)	Kandungan Udara Rata-Rata (%)
40 (1,5)	4
20 (3/4)	5
14(1/2)	6
10 (3/8)	7

(Sumber : BS Code of Practice CP110)

Harga-harga ini diberikan dalam BS Code of Practice CP110, untuk beton dimana dituntut ketahanan terhadap pengaruh-pengaruh garam untuk mencegah pembekuan.

Pada beton yang berisi udara biasanya mempunyai pengurangan kecenderungan untuk *bleeding* mengakibatkan terbentuknya retak-retak halus dibawah partikel agregat yang lebih besar, sehingga membuat jalur rembesan air. Oleh karena itu dari segi permeabilitas dan durabilitas pengurangan *bleeding* ini membawa keuntungan.

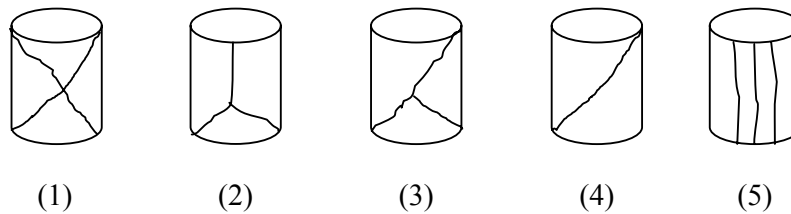
Bahan pengisi udara jangan digunakan, kecuali bila kontrol ditempat pekerjaan baik, karena jumlah pemasukan udara sangat bervariasi dengan adanya perubahan gradasi pasir, kesalahan penakaran, workabilitas campuran, dan suhu. Pemeriksaan kandungan udara harus diadakan pada interval pendek, karena setiap satu persen penambahan kandungan udara tampaknya mengakibatkan kehilangan kekuatan antara 5 sampai 6 persen (L. J. Murdock dan K. M. Brook, 1979).

Adapun pengujian *air content* yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan udara yang terdapatr dalam beton. Pengujian ini dilakukan pada beton segar (*fresh concrete*). Berdasarkan pengujian ini diperoleh hubungan antara nilai air content terhadap variasi campuran agregat kasar.

### 2.2.5 Pola Retak

Jenis pola retak dalam *ASTM standard 2002 Volume 04*. dibedakan menjadi 5 jenis pola retak ( lihat gambar 2.3 ), yaitu sebagai berikut :

1. Pola retak kerucut (*cone*).
2. Pola retak kerucut dan pecah (*cone* dan *split*).
3. Pola retak kerucut dan geser (*cone* dan *shear*).
4. Pola retak geser (*shear*).
5. Pola retak *columnar*.



**Gambar 2.3.** Macam Pola Retak pada Silinder Beton

Kelima macam pola retak diatas dapat terjadi dalam satu campuran. Hal ini disebabkan oleh faktor berikut :

1. Tidak homogennya agregat kasar, akibatnya distribusi kekuatan dalam benda uji tidak merata sehingga retakan akan mengikuti titik-titik perlemahannya.
2. Terjadi pemisahan (*segregation*) material beton selama pembuatan benda uji, material yang berat akan berada dibagian bawah dan yang lebih ringan berada dibagian atas yang mengakibatkan keroposnya beton. Hal ini sangat dipengaruhi keahlian dalam pembuatan benda uji.

### 2.3 Material

Material penyusun pada beton dalam penelitian ini tidak berbeda dengan material penyusun beton pada umumnya, yaitu terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, dan air. Hanya saja pada penelitian ini digunakan agregat kasar dengan ukuran yang berbeda dalam satu campuran beton. Semua bahan-bahan diatas mempunyai karakteristik yang berbeda bila digunakan sebagai bahan adukan dalam beton. Dengan alasan ini maka perlu diketahui sifat dan karakteristik masing-masing material penyusun beton agar dalam pelaksanaan nanti tidak terjadi kesalahan pemilihan dan penggunaan material, sehingga dapat menghasilkan beton dengan kekuatan karakteristik yang dikehendaki.

### 2.3.1 Semen Portland (PC)

*Portland cement* (PC) atau lebih dikenal dengan semen berfungsi membantu pengikatan agregat halus dan agregat kasar apabila tercampur dengan air. Selain itu, semen juga mampu mengisi rongga-rongga antara agregat tersebut.

#### 2.3.1.1 Sifat Kimia Semen Portland (PC)

Sifat kimia dari semen portland sangat rumit, dan belum dimengerti sepenuhnya. Perkiraan terhadap komposisi semen portland diberikan pada tabel 2.4 hampir dua pertiga bagian semen terbentuk dari zat kapur yang proporsinya berperan penting terhadap sifat-sifat semen. Zat kapur yang berlebihan kurang baik untuk semen karena menyebabkan terjadinya disintegrasi (perpecahan) semen setelah timbul ikatan. Kadar kapur yang tinggi tetapi tidak berlebihan cenderung memperlambat pengikatan, tetapi menghasilkan kekuatan awal yang tinggi. Kekurangan zat kapur menghasilkan semen yang lemah. (L.J. Murdock dan K.M. Brook, 1979).

**Tabel 2.4.** Prosentase dari komposisi dan kadar senyawa kimia semen

Senyawa	Prosentase
Batu kapur (CaO)	60 % - 65 %
Pasir silikat (SiO <sub>2</sub> )	17 % - 25 %
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3 % - 8 %
Besi Oksida (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.5 % - 6 %
Magnesia (MgO)	0.5 % - 4 %
Sulfur (SO <sub>3</sub> )	1 % - 2 %

(Sumber : L.J. Murdock dan K.M. Brook, 1996)

#### 2.3.1.2 Sifat Fisik Semen Portland (PC)

Semen portland mempunyai beberapa sifat fisik, yaitu :

a. Kehalusan butir

Semakin halus semen, maka permukaan butirannya akan semakin luas, sehingga persenyawaannya dengan air akan semakin cepat dan membutuhkan air dalam jumlah yang besar pula.

b. Berat jenis dan berat isi

Berat jenis semen pada umumnya berkisar 3.15 kg/liter. Berat jenis semen akan mempengaruhi proporsi campuran semen dalam campuran. Pengujian dapat



dilakukan dengan menggunakan *Le Chatelier Flask* menurut standar ASTM C-188.

c. Waktu ikat awal

Waktu ikat adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, terhitung dari mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Waktu ikat awal semen dibedakan menjadi 2 yaitu : 1) waktu pengikatan awal (*initial setting*) dan 2) waktu pengikatan akhir (*final setting*). Waktu pengikatan awal dihitung sejak semen tercampur dengan air hingga mengeras. Pengikatan awal untuk semua jenis semen harus diantara 60 – 120 menit (PBI, 1971). Alat *vicat* dapat digunakan untuk mengetahui pengikatan awal.

d. Kekekalan bentuk

Bubur semen yang dibuat dalam bentuk tertentu dan bentuknya tidak berubah pada waktu mengeras, maka semen tersebut mempunyai sifat kekal bentuk. Demikian juga sebaliknya jika bubur semen tersebut mengeras dan menunjukkan adanya cacat (retak, melengkung, membesar dan menyusut), berarti semen tersebut tidak mempunyai sifat kekal bentuk. Pemeriksaan kekekalan semen harus sesuai dengan standar yang berlaku dalam hal ini SK SNI S 04 1989F.

e. Pengaruh suhu

Pengikatan semen sangat tergantung oleh suhu di sekitarnya. Pengikatan semen berlangsung dengan baik pada suhu 35 °C dan berjalan dengan lambat pada suhu di bawah 15 °C.

### 2.3.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Pengaruh kekuatan agregat terhadap beton begitu besar, karena umumnya kekuatan agregat lebih besar dari kekuatan pasta semennya. Kira-kira 70 % volume mortar atau beton diisi oleh agregat. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton (*Tjokrodimuljo, 1996*).

Agregat dapat dibedakan berdasarkan ukuran butiran. Agregat yang mempunyai ukuran butiran besar disebut agregat kasar, sedangkan agregat yang

berbutir kecil disebut agregat halus. Dalam bidang teknologi beton nilai batas daerah agregat kasar dan agregat halus adalah 4,75 mm atau 4,80 mm.

Agregat yang butirannya lebih kecil dari 4,8 mm disebut agregat halus. Secara umum agregat kasar sering disebut kerikil, kerikak, batu pecah atau *split*. Adapun agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai, tanah galian atau dari hasil pemecahan batu. Agregat yang butirannya lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus, sedangkan butiran yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut lanau, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut lempung.

Agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu:

- Batu, umumnya besar butiran lebih dari 40 mm
- Kerikil, untuk butiran antara 5 sampai 40 mm
- Pasir, untuk butiran antara 0,15 sampai 5 mm

Agregat harus mempunyai bentuk yang baik, bersih, keras, kuat dan gradasinya baik. Agregat harus pula mempunyai kestabilan kimiawi dan dalam hal-hal tertentu harus tahan aus dan tahan cuaca.

### 2.3.2.1 Berat Jenis Agregat

Menurut berat jenisnya agregat dibagi menjadi 3 jenis yaitu:

#### a. Agregat Normal

Agregat normal memiliki berat jenis antara 2,5 kg/dm<sup>3</sup> dan 2,7 kg/dm<sup>3</sup>. Agregat ini biasanya berasal dari batuan granit, basalt, kuarsa dan sebagainya. Beton yang dihasilkan memiliki berat jenis sekitar 2,3 kg/dm<sup>3</sup> dengan kuat tekan antara 15 Mpa sampai dengan 40 Mpa dan dinamakan beton normal (*Tjokrodimuljo, 1996*).

#### b. Agregat Berat

Agregat berat memiliki berat jenis 2,8 kg/dm<sup>3</sup> ke atas, contohnya *magnetic* (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), *barytes* (BaSO<sub>4</sub>), atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan cocok untuk dinding pelindung radiasi sinar x.

#### c. Agregat Ringan

Agregat ringan memiliki berat jenis kurang 2,0 kg/dm<sup>3</sup>. Agregat ringan misalnya *diatomite*, *pumice*, tanah bakar, abu terbang, busa terak tanur tinggi. Pada umumnya dibuat untuk beton non struktural, beton tahan api dan isolator panas.

### 2.3.2.2 Gradasi Agregat

Gradasi agregat ialah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butiran agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butirannya bervariasi maka volume pori menjadi kecil. Hal ini karena butiran yang kecil dapat mengisi pori diantara butiran yang lebih besar sehingga pori-pori menjadi sedikit, dengan kata lain kemampuan tinggi.

Menurut peraturan *British Standard* yang diadopsi di Indonesia (SK-SNI-T-15-1990-03) kekasaran pasir dapat dibagi menjadi 4 kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus (daerah I), agak halus (daerah II), agak kasar (daerah III), dan kasar (daerah IV), seperti tampak pada tabel 2.5.

**Tabel 2.5.** Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah 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 : *Tjokrodimuljo, 1996*)

Adapun gradasi kerikil yang baik, sebaiknya masuk dalam batas-batas yang tercantum dalam tabel 2.3.

**Tabel 2.6.** Gradasi kerikil

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat yang Lewat Ayakan	
	Besarnya Butir Maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95 - 100	100
20	30 - 70	95 - 100
10	10 - 35	25 - 55
4.8	0 - 5	0 - 10

(Sumber : *Tjokrodimuljo, 1996*)

### 2.3.2.3 Modulus Halus Butir

Modulus halus butir (*fineness modulus*) adalah suatu indeks yang dipakai untuk ukuran kehalusan atau kekasaran butiran agregat. Modulus halus butir (FM) didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butiran agregat yang tertinggal di atas ayakan. Selain itu FM (*fineness modulus*) juga dapat untuk mencari nilai perbandingan berat antara pasir dan kerikil, bila dibuat campuran beton. Modulus halus butir agregat dari campuran pasir dan kerikil untuk bahan pembuat beton berkisar antara 5,0 sampai 6,5.

$$FM = \frac{\text{Jumlah \% butiran di atas ayakan 0.15}}{100} \quad (2-1)$$

### 2.3.2.4 Kadar Air Agregat

Kadar air pada suatu agregat (di lapangan) perlu diketahui untuk menghitung jumlah air yang diperlukan dalam campuran beton dan untuk mengetahui berat satuan agregat. Keadaan kandungan air di dalam agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat, yaitu :

- a. Kering oven : benar-benar tidak berair, dan ini berarti dapat menyerap air secara penuh.
- b. Kering udara : butiran agregat kering permukaan, tetapi mengandung sedikit air di dalam pori. Oleh karena itu agregat dalam kondisi ini masih dapat menyerap air.
- c. Jenuh kering muka : pada kondisi ini tidak ada air di permukaan. Butiran agregat pada kondisi ini tidak menyerap dan juga tidak menambah jumlah air bila dipakai dalam campuran adukan beton.
- d. Basah : pada kondisi ini agregat mengandung banyak air, baik di permukaan maupun di dalam butiran, sehingga bila dipakai dalam campuran adukan beton akan menambah air.

Dari keempat keadaan di atas, hanya dua keadaan yang sering dipakai sebagai dasar hitungan, yaitu kering oven dan jenuh kering muka karena konstan untuk agregat tertentu.

Keadaan jenuh kering muka (*saturated surface dry, SSD*) lebih disukai sebagai standar, karena :

- a. Merupakan keadaan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak menambah atau mengurangi air dari pasta.

- b. Kadar air di lapangan lebih banyak dalam keadaan SSD dibandingkan kering tungku.

Dalam hal ini hitungan kebutuhan air pada adukan beton, biasanya agregat dianggap dalam keadaan jenuh kering muka, sehingga jika keadaan di lapangan kering udara maka dalam adukan beton akan menyerap air, namun jika agregat dalam keadaan basah maka akan menambah air. Penyerapan penambahan air tersebut dapat dihitung dengan rumus :

$$A \text{ tamb} = \frac{K - K_{jkm}}{100} \times W_{ag} \quad (2 - 2)$$

Keterangan :

A tamb : air tambahan dari agregat (liter)

K : kadar air di lapangan (%)

K<sub>jkm</sub> : kadar air jenuh kering muka (%)

W<sub>ag</sub> : berat agregat (kg)

### 2.3.2.5 Persyaratan Agregat

Persyaratan agregat halus sebagai berikut:

1. Agregat halus harus terdiri dari butiran tajam dan keras. Butiran agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
2. Kandungan lumpur tidak boleh lebih dari 5 % berat (ditentukan terhadap berat kering). Lumpur adalah butiran yang dapat melalui ayakan 0,063 mm.
3. Tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak, yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-Harder (dengan larutan NaOH). Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warna ini dapat juga dipakai, asal kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95 % dari kekuatan adukan agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan 3 % NaOH yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air, pada umur yang sama.
4. Agregat halus harus terdiri dari butiran yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan berturut-turut 31,5mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm ( PBI 1971 ), harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :
  - Sisa di atas ayakan 4 mm, harus minimum 2 % berat
  - Sisa di atas ayakan 1 mm, harus minimum 10 % berat

- Sisa di atas ayakan 0,25 mm, harus berkisar 80 % - 95 % berat
- Untuk pasir modulus halus butir antara 2,50 – 3,80
- Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

Persyaratan agregat kasar sebagai berikut:

1. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Agregat kasar adalah agregat dengan besar butiran lebih dari 5 mm.
2. Agregat kasar harus terdiri dari batuan yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir hanya dapat dipakai apabila jumlah butiran pipih tersebut tidak melampaui 20 % dari berat agregat seluruhnya. Butiran agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 % berat (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melebihi 1 % berat maka agregat tersebut harus dicuci.
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat alkali yang reaktif.
5. Kekerasan dari butiran agregat kasar diperiksa dengan bejana penguji dari *Rudelooff* dengan beban pengujian 20 ton, dan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :
  - Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5 – 19 mm lebih dari 24 % berat
  - Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19 – 30 mm lebih dari 22 % berat
6. Agregat kasar harus terdiri dari butiran yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan secara berurutan sebagai berikut : 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm (PBI 1971) harus memenuhi syarat-syarat :
  - Sisa di atas ayakan 31,5 mm, harus 0 % berat
  - Sisa di atas ayakan 4 mm, harus berkisar 90 % - 98 % berat
  - Selisih antara sisa-sisa komulatif di atas ayakan yang berurutan maksimum 60 % dan minimum 10 % berat.

### **2.3.2.6 Pengujian Agregat**

Pengujian agregat terdiri dari pemeriksaan kandungan lumpur dan kotoran organis yang terkandung dalam agregat, analisa saringan, analisa kadar air, berat jenis dan penyerapan air. Tujuan dari pemeriksaan kandungan lumpur dan kotoran organis pada agregat adalah untuk menentukan banyaknya kandungan butiran yang lebih kecil dari 50 mikron (lumpur) yang terdapat dalam agregat dan menentukan prosentase zat organis yang terkandung dalam agregat. Tujuan dari analisa saringan untuk menentukan modulus kehalusan pasir, yaitu harga yang menyatakan tingkat kehalusan agregat.

Pemeriksaan kadar air agregat bertujuan untuk menentukan prosentase air yang terkandung dalam agregat. Sedangkan tujuan dari pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat adalah untuk menentukan berat jenis dan prosentase berat air yang diserap agregat, dihitung terhadap berat kering. Pada pemeriksaan kadar air, berat isi dan berat jenis dilakukan dalam kondisi asli dan SSD. Kadar air asli adalah kandungan air pada agregat dalam keadaan normal. Sedangkan kadar air SSD adalah kandungan air pada kondisi agregat jenuh kering permukaan.

### **2.3.3 Air**

Air merupakan salah satu bahan yang penting dalam pembuatan beton karena dapat menentukan mutu dalam campuran beton. Fungsi air pada campuran beton adalah untuk membantu reaksi kimia yang menyebabkan berlangsungnya proses pengikatan serta sebagai pelicin antara campuran agregat dan semen agar mudah dikerjakan.

Air diperlukan pada pembentukan semen yang berpengaruh terhadap sifat kemudahan pengerjaan adukan beton (*workability*), kekuatan, susut dan keawetan beton. Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 25 % dari berat semen saja, namun dalam kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit jika kurang dari 0,35. Kelebihan air dari jumlah yang dibutuhkan dipakai sebagai pelumas, tambahan air ini tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton menjadi rendah dan beton menjadi keropos.

Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton (tetapi tidak berarti air untuk campuran beton harus memenuhi standar persyaratan air minum)

Air laut mengandung 3,5 % larutan garam, sekitar 78 % nya adalah sodium klorida dan 15 % nya adalah magnesium sulfat. Garam-garam dalam air laut ini dapat mengurangi kekuatan beton sampai 20 %. Air laut tidak boleh digunakan untuk campuran beton pada beton bertulang atau beton prategang, karena resiko terhadap korosi tulangan lebih besar.

Pemakaian air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan (PBI 1971) :

1. Tidak mengandung Lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gr/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gr/liter
3. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/liter
4. Tidak mengandung senyawa-senyawa sulfat lebih dari 1 gr/liter.

#### **2.4 Perencanaan Campuran Beton (*mix design*)**

Perencanaan campuran beton (*concrete mix design*) dimaksudkan untuk mendapatkan beton dengan mutu sebaik-baiknya yaitu kuat tekan yang tinggi dan mudah dikerjakan. Adapun untuk perencanaan campuran beton pada penelitian ini digunakan cara *DOE (Department of Environment)*.

Langkah-langkah dalam perhitungan perencanaan beton dengan metode DOE adalah sebagai berikut :

##### **1. Penentuan Kuat Tekan Beton**

Menentukan kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari. Pada penelitian ini direncanakan kuat tekan beton  $f'c$  22,5 Mpa.

##### **2. Penetapan Nilai Standar Deviasi (S)**

Penentuan nilai standar deviasi berdasarkan 2 hal yaitu :

- Mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran beton.
- Volume pekerjaan

Nilai standar deviasi pada penelitian ini yaitu  $S = 46$  (volume beton kurang dari  $1000 \text{ m}^3$  dan mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran beton baik sekali ), penetapannya sesuai dengan PBI 1971.



**Tabel 2.7.** Mutu pelaksanaan pekerjaan diukur dengan deviasi standar (kg/cm<sup>2</sup>)

Volume Pekerjaan		Mutu Pelaksanaan		
Ukuran	Satuan (M <sup>3</sup> )	Baik Sekali	Baik	Dapat Diterima
Kecil	< 1000	45 < S ≤ 55	55 < S ≤ 65	65 < S ≤ 85
Sedang	1000 – 3000	35 < S ≤ 45	45 < S ≤ 55	55 < S ≤ 75
Besar	> 3000	25 < S ≤ 35	35 < S ≤ 45	45 < S ≤ 65

(Sumber : PBI,1971)

### 3. Penetapan Kuat Tekan Rata-Rata yang Direncanakan

Dengan menganggap nilai dari hasil pemeriksaan benda uji menyebar normal (mengikuti lengkung dari Gauss), maka kuat tekan beton karakteristik adalah :

$$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - 1.645 * S. \quad (2-3)$$

Kuat tekan beton rata-rata dapat dihitung dengan rumus :

$$\sigma'_{bm} = \sigma'_{bk} + 1.645 * S \quad (2-4)$$

Keterangan :

$\sigma'_{bm}$  = kuat tekan beton rata-rata (kg/cm<sup>2</sup>)

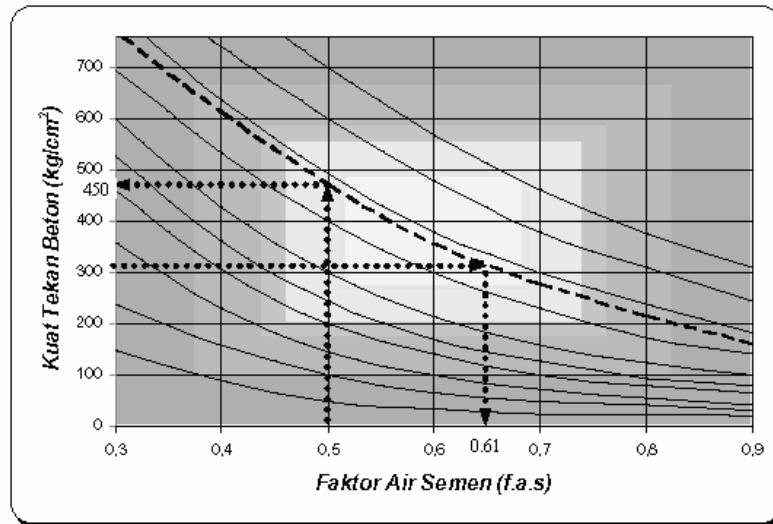
$\sigma'_{bk}$  = kuat tekan beton yang direncanakan (kg/cm<sup>2</sup>)

M = 1.645\*S = nilai tambah margin (kg/cm<sup>2</sup>)

S = standar deviasi (kg/cm<sup>2</sup>)

### 4. Mencari Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen dicari dengan grafik hubungan kuat tekan dengan faktor air semen, sesuai Teknologi Beton (Tri Mulyono, 2003).



Grafik 2.1. Hubungan kuat tekan beton dengan faktor air semen (FAS)

Tabel 2.8. Jumlah semen minimum dan nilai faktor air semen maksimum

URAIAN	Jumlah Semen Minimum/m <sup>3</sup> beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton didalam ruang bangunan :		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0.6
b. Keadaan keliling korosif	325	0.52
Beton diluar ruang bangunan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari	325	0.6
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari	275	0.6
Beton yang masuk kedalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0.55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	375	0.52
Beton yang berhibungan dengan air :		
a. Air tawar	275	0.27
b. Air laut	375	0.52

(Sumber : PBI,1971)

### 5. Penentuan Nilai Slump

Penentuan nilai slump berdasarkan pemakaian beton untuk jenis konstruksi tertentu sesuai PBI 1971.

Tabel 2.9. Penetapan nilai *slump*

Pemakaian Beton	Nilai Slump (cm)	
	maksimum	minimum
a. Dinding, pelat pondasi, dan telapak bertulang	12.5	5
b. Struktur dibawah tanah	9.0	2.5
c. Pelat, kolom, balok dan dinding	15.0	7.5
d. Pengerasan jalan	7.5	5
e. Pembetonan masal	7.5	2.5

(Sumber : PBI,1971)

## 6. Penentuan Nilai Kadar Air Bebas

Kadar air bebas ditentukan berdasarkan ukuran agregat, jenis batuan dan nilai slump sesuai PBI 1971.

Tabel 2.10. Perkiraan kebutuhan air permeter kubik beton

Besar Ukuran Kerikil Maks. (mm)	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	50	180	205	225
	Batu Pecah	180	205	230	250
20	Alami	35	160	180	195
	Batu Pecah	170	190	210	225
40	Alami	15	140	160	175
	Batu Pecah	155	175	190	205

(Sumber : PBI,1971)

## 7. Perhitungan Jumlah Semen yang Dibutuhkan

Kadar atau jumlah semen dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar semen} = \frac{\text{kadar air bebas}}{\text{fas}} \quad (2-5)$$

Keterangan :

Kadar semen : jumlah semen yang dibutuhkan ( $\text{kg/m}^3$ )

Kadar air bebas : jumlah kebutuhan air ( $\text{kg/m}^3$ )

Fas : faktor air semen : perbandingan antara jumlah kebutuhan air dengan jumlah semen yang dibutuhkan

## 8. Penentuan Prosentase Jumlah Agregat Halus dan kasar

Proporsi agregat halus halus ditentukan dengan metode penggabungan agregat dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Y = \frac{xa}{100} * ya + \left[ \frac{100 - xa}{1000} \right] * yb \quad (2-6)$$

Keterangan :

Y = perkiraan prosentase kumulatif lolos saringan diameter 9.6 dan 0.6

Menurut BS (*British standard*) – 882, prosentase kumulatif lolos saringan diameter 9.6 dan 0.6 bisa menggunakan Spec – Ideal 135 – 882, dimana :

perkiraan prosentase lolos ayakan saringan diameter 9.6 = 50 %

perkiraan prosentase lolos ayakan saringan diameter 0.6 = 18.5 %

y<sub>b</sub> = prosentase kumulatif pasir lolos ayakan saringan diameter 9.6 dan 0.6

y<sub>a</sub> = prosentase kumulatif split lolos ayakan saringan diameter 9.6 dan 0.6

x<sub>a</sub> = konstanta yang dicari dari agregat halus

$$X \text{ rata-rata} = \frac{xa1 + xa2}{2} \rightarrow \text{prosentase dari agregat halus}$$

Prosentase dari agregat kasar ( X<sub>b</sub>) = 100 % - X<sub>a</sub>

x<sub>a1</sub> = konstanta dari agregat halus lolos saringan diameter 9.6.

x<sub>a2</sub> = konstanta dari agregat halus lolos saringan diameter 0.6.

## 9. Penentuan Berat Jenis Gabungan

Berat jenis gabungan adalah gabungan dari berat jenis agregat halus dan agregat kasar dengan prosentase dari campuran agregat tersebut. Berat jenis gabungan dapat dihitung dengan rumus :

$$BJ_{gab} = \frac{xa}{100} * BJ_{xa} + \frac{xb}{100} * BJ_{xb} \quad (2-7)$$

Keterangan :

BJ<sub>gab</sub> = berat jenis gabungan

x<sub>a</sub> = prosentase agregat halus

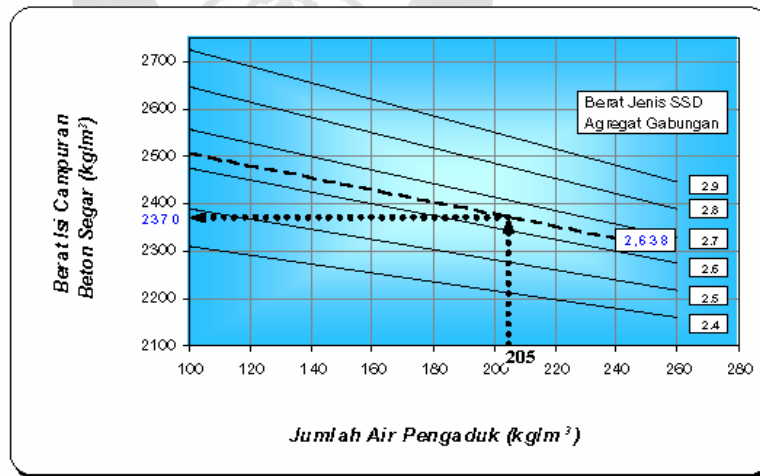
x<sub>b</sub> = prosentase agregat kasar

BJ<sub>xa</sub> = berat jenis agregat halus

BJ<sub>xb</sub> = berat jenis agregat kasar

## 10. Penentuan Berat Beton Segar

Berat beton segar dapat ditentukan dengan menggunakan grafik (sesuai Teknologi Beton, Trimulyono, 2003) berdasarkan data berat jenis gabungan dan kebutuhan air pengaduk untuk setiap meter kubik.



Grafik 2.2 Hubungan antara berat isi campuran beton, jumlah air pengaduk, dan berat jenis SSD agregat gabungan