

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Pengertian Beton**

Tjokrodimuljo (1992) menyatakan beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari beberapa kombinasi bahan seperti pasir, kerikil, semen, air serta bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu karena beton merupakan material komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuknya. Campuran beton jika dituang dalam cetakan kemudian dibiarkan maka akan mengeras seperti batuan. Pengerasan itu terjadi oleh peristiwa reaksi kimia antara air dan semen, dan hal ini berjalan selama waktu yang panjang dan akibatnya campuran itu selalu bertambah keras setara dengan umurnya. Kekuatan, keawetan dan sifat beton yang lain tergantung pada sifat-sifat bahan dasarnya, nilai perbandingan bahan-bahannya, cara pengadukan maupun cara pengerjaan selama penuangan adukan beton, cara pemadatan, dan cara perawatan selama proses pengerasan.

Beton juga dapat didefinisikan sebagai campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan membentuk massa padat. Secara umum beton merupakan hasil reaksi antara semen hidraulik dengan air. Komposisi bahan penyusun beton disajikan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Komposisi Bahan Penyusun Beton**

<b>Pengisi</b>	<b>Berat (%)</b>
Semen Portland	7% - 15%
Agregat Kasar + Agregat Halus	60% - 80%
Air	14% - 21%
Udara	1% - 8%

Sumber: Sutikno (2003)

Mulyono (2004) menyatakan bahwa beton memiliki kuat tekan yang tinggi namun lemah dalam kuat tariknya. Jika struktur beton tidak diberi perkuatan yang cukup maka akan mudah gagal. Maka dari itu perkuatan sangat diperlukan dalam struktur beton. Sebagaimana disebutkan sebelumnya, kuat tekan atau kuat hancur dari beton dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti berikut.

1. Jenis dan kualitas semen.
2. Jenis dan bidang permukaan agregat.
3. Perawatan beton.
4. Suhu.
5. Umur beton.

Sedangkan keunggulan dan kekurangan dari penggunaan beton dalam pengerjaan struktur bangunan sebagai berikut.

1. Keunggulan
  - a. Mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
  - b. Mampu memikul beban yang berat.
  - c. Tahan terhadap temperatur yang tinggi.
  - d. Biaya pemeliharaan yang kecil.
2. Kekurangan
  - a. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah.
  - b. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.
  - c. Berat.
  - d. Daya pantul suara yang keras.

Sebagian besar bahan pembuat beton adalah bahan lokal (kecuali semen portland atau bahan tambah kimia), sehingga sangat menguntungkan secara ekonomi, namun pembuatan beton akan menjadi mahal jika perencana tidak memahami karakteristik bahan-bahan penyusun beton yang harus disesuaikan dengan perilaku struktur yang akan dibuat.

Sampai saat ini beton masih menjadi pilihan utama dalam pembuatan struktur. Selain karena kemudahan dalam mendapatkan material penyusunnya, hal itu juga disebabkan oleh penggunaan tenaga yang cukup besar sehingga dapat mengurangi masalah penyediaan lapangan kerja.

## 3.2 Material Penyusun Beton

### 3.2.1 Semen Portland (*Portland Cement*)

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia nomor 15-2049-2004, semen adalah bahan yang memiliki sifat adhesif maupun kohesif, yaitu bahan pengikat. Definisi semen portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis bersama bahan-bahan yang biasa digunakan, yaitu gypsum. Semen merupakan bahan pengikat pada campuran beton. Semen yang dicampur dengan air maka akan menjadi pasta semen atau *grout*. Semen yang dicampur dengan air dan agregat halus bisa disebut dengan mortar. Di dunia sebenarnya terdapat berbagai macam semen, dan tiap macamnya digunakan untuk kondisi-kondisi tertentu sesuai dengan sifat-sifatnya yang khusus. Kualitas semen sangat mempengaruhi kualitas beton, yang mana semakin besar pemakaian semen maka beton semakin kuat, namun jika terlalu banyak juga tidak menjamin kekuatan yang baik (Nugraha dan Antoni, 2007).

Jenis dari semen bermacam-macam, oleh karena itu semen yang digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan. Perbedaan sifat jenis semen yang satu dengan yang lainnya dapat terjadi karena perbedaan susunan kimia maupun kehalusan butir-butirnya. Bahan pembentuk semen terdiri dari 4 senyawa pokok sebagaimana diuraikan sebagai berikut.

#### 1. Trikalsium Silikat ( $C_3S$ )

Senyawa ini segera mulai berhidrasi dalam beberapa jam-jam dengan melepas sejumlah panas. Kuantitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruh terhadap kekuatan beton pada awal umurnya, terutama dalam 14 hari sebelumnya.

#### 2. Dikalsium Silikat ( $C_2S$ )

Senyawa ini bereaksi dengan air lebih lambat, sehingga hanya berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah berumur lebih dari 7 hari.

#### 3. Trikalsium Aluminat ( $C_3A$ )

Senyawa ini berhidrasi dan bereaksi sangat cepat, sangat berpengaruh pada panas hidrasi tertinggi dan memberikan kekuatan setelah 24 jam.

#### 4. Tetra Kalsium (C<sub>4</sub>AF)

Senyawa ini kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekuatan dan sifat-sifat semen keras lainnya.

Senyawa semen yang disebutkan diatas adalah hasil dari proses pembakaran oksida. Susunan oksida yang membentuk semen disajikan pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Komposisi Umum Oksida-Oksida Semen Portland**

Oksida	Nama Umum	Berat (%)
CaO	Kapur	63
SiO <sub>2</sub>	Silika	22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alumina	6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ferrit Oksida	2,5
MgO	Magnesia	2,6
K <sub>2</sub> O	Alkalis	0,6
Na <sub>2</sub> O	Disodium Oksida	0,3
SO <sub>2</sub>	Sulfur Dioksida	2
CO <sub>2</sub>	Karbon Dioksida	-
H <sub>2</sub> O	Air	-

Sumber: Nugraha dan Antoni (2007)

Berdasarkan tujuan pemakaiannya, semen portland di Indonesia (PUBI-1982) dibagi menjadi 5 jenis sebagai berikut.

1. Jenis I: semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II: semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis III: semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
4. Jenis IV: semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
5. Jenis V: semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Sifat kimia semen meliputi kesegaran semen, sisa yang tak larut dan yang paling utama adalah komposisi syarat yang diberikan. Berikut penjelasan dari tiap-tiap sifat kimia sebagai berikut.

#### 1. Kesegaran Semen

Pengujian kehilangan berat akibat pembakaran (*loss of ignition*) dilakukan pada semen dengan suhu 900-1000°C. Kehilangan berat ini terjadi karena kelembaban yang menyebabkan prehidrasi dan karbonisasi dalam bentuk kapur bebas atau magnesium yang menguap.

#### 2. Sisa yang Tak Larut

Sisa bahan yang tak habis bereaksi adalah sisa bahan tak aktif yang terdapat pada semen. Semakin sedikit sisa bahan ini, semakin baik kualitas semen.

#### 3. Panas Hidrasi Semen

Seperti yang telah diuraikan, hidrasi terjadi jika semen bersentuhan dengan air. Proses hidrasi terjadi dengan arah kedalam dan keluar. Maksudnya, hasil hidrasi mengendap di bagian luar, semen yang bagian dalamnya belum terhidrasi secara bertahap akan terhidrasi sehingga volumenya mengecil. Reaksi ini berlangsung lambat (sekitar 2-8 jam) sebelum percepatan setelah kulit permukaan pecah.

#### 4. Kekuatan Pasta Semen dan Faktor Air Semen (FAS)

Banyaknya air yang dipakai selama proses hidrasi akan mempengaruhi karakteristik kekuatan beton jadi. Jika air yang digunakan kurang dari 25%, maka kelecakan atau kemudahan dalam pengerjaan tidak akan tercapai.

#### 3.2.2 Air

Air merupakan salah satu bahan yang penting dalam pembuatan beton karena menentukan mutu dalam campuran beton. Fungsi air pada campuran beton adalah untuk membantu reaksi kimia yang menyebabkan berlangsungnya proses pengikatan serta sebagai pelicin campuran agregat dan semen agar mudah dikerjakan. Air diperlukan pada pembentukan semen yang berpengaruh pada sifat dapat dikerjakan (*workability*) dari adukan beton, kekuatan, susut dan keawetan betonnya.

Semen tidak bisa menjadi pasta tanpa air. Air harus selalu ada di dalam beton cair, tidak saja untuk hidrasi semen, tetapi juga untuk mengubahnya menjadi suatu

pasta sehingga betonnya lecek (*workable*). Jumlah air yang terikat dalam beton dengan faktor air-semen 0,65 adalah sekitar 20% dari berat semen pada umur 4 minggu. Dihitung dari komposisi mineral semen, jumlah air yang diperlukan untuk hidrasi secara teoritis adalah 35-37% dari berat semen (Paul Nugroho dan Antoni, 2007).

Air yang diperlukan dipengaruhi faktor-faktor di bawah sebagai berikut.

1. Ukuran agregat maksimum: diameter yang semakin membesar maka kebutuhan air menurun (begitu pula jumlah mortar yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit).
2. Bentuk butir: bentuk butiran yang semakin bulat maka kebutuhan air menurun (batu pecah perlu lebih banyak air).
3. Gradasi agregat: gradasi yang semakin baik maka kebutuhan air menurun untuk kelecakan yang sama.
4. Kotoran dalam agregat: makin banyak *silt*, tanah liat dan lumpur menyebabkan kebutuhan air meningkat.
5. Jumlah agregat halus (dibandingkan agregat kasar atau h/k): agregat halus lebih sedikit maka kebutuhan air menurun.

### 3.2.3 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Nugroho dan Antoni (2007) menyatakan bahwa agregat menempati 70-75% dari total volume beton maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerjakan (*workability*), kuat, tahan lama (*durability*) dan ekonomis.

Sedangkan menurut Kardiyono Tjokrodinuljo (1992), untuk mendapatkan beton yang baik, diperlukan agregat yang berkualitas baik pula. Agregat yang baik untuk pembuatan beton sebaiknya memenuhi persyaratan yang dijelaskan sebagai berikut.

1. Butir-butirnya tajam, kuat dan bersudut.
2. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5 % untuk agregat halus dan 1 % agregat kasar.
3. Tidak mengandung zat organis.
4. Tidak mengandung garam yang menghisap air dari udara.

5. Bersifat kekal, tidak hancur atau berubah karena cuaca.
6. Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik.

Hal-hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan penggunaan agregat dalam campuran beton ada lima (Landgren, 1994 dalam Mulyono, 2004) antara lain sebagai berikut.

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

Cara membedakan jenis agregat yang paling baik banyak dilakukan didasarkan pada ukuran butir-butirnya. Agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar disebut agregat kasar, sedangkan agregat yang berbutir kecil disebut agregat halus. Dalam pelaksanaannya agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok antara lain sebagai berikut.

1. Batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm.
2. Kerikil, untuk besar butiran antara 5 mm dan 40 mm.
3. Pasir, untuk besar butiran antara 0,15 mm dan 5 mm.

Menurut Tjokrodimuljo (1992), berdasarkan berat jenisnya agregat juga dibedakan menjadi 3 yang dijelaskan sebagai berikut.

1. Agregat Normal

Agregat ini mempunyai berat jenis antara 2,5 sampai 2,7. Umumnya berasal dari granit, kuarsa, dan lain-lain. Beton yang dihasilkan adalah beton normal dengan kuat tekan antara 15 Mpa sampai 40 Mpa.

2. Agregat Berat

Berat jenis agregat ini lebih dari 2,8. Contoh agregat ini adalah magnetic ( $\text{Fe}_2\text{O}_4$ ), barites ( $\text{BaSO}_4$ ), dan serbuk besi. Beton yang dihasilkan biasanya digunakan sebagai dinding pelindung dari radiasi sinar X.

### 3. Agregat Ringan

Agregat ini memiliki berat jenis kurang dari 2. Beton yang dihasilkan biasanya digunakan untuk non-struktural. Selain ringan, beton yang dihasilkan mempunyai sifat tahan api dan sebagai bahan isolasi yang baik.

Pada penelitian yang dihasilkan digunakan 2 macam agregat yaitu, agregat kasar dan agregat halus.

#### 1. Agregat Halus (Pasir Besi)

Secara umum agregat halus pasir besi terdiri mineral opak yang bercampur dengan butiran-butiran dari mineral non-logam seperti kuarsa, kalsit, *feldspar*, ampibol, piroksen, biotit, dan tourmaline. Mineral tersebut terdiri dari magnetit, titaniferous magnetit, ilmenit, dan hematit. Titaniferous magnetit adalah bagian yang cukup penting merupakan perubahan dari magnetit dan ilmenit. Mineral bijih pasir besi terutama berasal dari batuan *basaltic* dan andestik vulkanik. Kegunaan agregat halus selain untuk industri logam besi juga dapat dimanfaatkan pada industri semen, peranan agregat halus dalam proses produksi semen adalah sebagai pengatur suhu saat terbentuknya klinker semen (Tjokrodimuljo, 1992). Oleh karena itu, pasir dapat digolongkan menjadi 3 macam yang dijelaskan sebagai berikut.

##### a. Pasir Galian

Pasir golongan ini diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali terlebih dahulu. Pasir ini biasanya tajam, bersudut, berpori, dan bebas dari kandungan garam, tetapi biasanya harus dibersihkan dari kotoran tanah dengan jalan dicuci.

##### b. Pasir Sungai

Pasir ini diperoleh langsung dari sungai, yang pada umumnya berbutir halus, bulat-bulat akibat proses gesekan. Daya lekat antara butir agak kurang karena butir yang bulat. Karena besar butirnya kecil maka biasanya dipakai untuk memplester tembok.



c. Pasir Laut

Pasir laut ialah pasir yang diambil dari laut. Butir-butirnya halus dan bulat karena gesekan. Pasir ini merupakan pasir yang paling jelek, karena banyak mengandung garam-garaman. Garam-garaman ini menyerap kandungan air dari udara dan ini mengakibatkan pasir selalu agak basah dan juga menyebabkan pengembangan bila sudah menjadi bangunan.

2. Agregat Kasar

Pada umumnya yang dimaksud dengan agregat kasar adalah agregat dengan besar butiran yang lebih dari 5 mm. Sesuai dengan syarat-syarat pengawasan mutu agregat untuk berbagai mutu beton, maka agregat kasar perlu pada umumnya memperhatikan hal-hal sebagai berikut ini.

- a. Agregat kasar untuk beton berupa batu pecah yang diperoleh dari semacam batu, sesuai ketentuan dan persyaratan dari ASTM-C33.
- b. Agregat kasar terdiri dari butir-butir yang tidak porous atau berpori. Dalam hal ini, porositas yang tendah merupakan faktor yang sangat menentukan untuk menghasilkan suatu adukan beton yang seragam (*uniform*), dalam arti mempunyai keteraturan atau keseragaman yang baik pada mutu (kuat tekan) maupun nilai *slump*.
- c. Dalam hal bentuk agregat, beberapa penelitian menunjukkan bahwa batu pecah dengan bentuk kubikal dan tajam ternyata bisa menghasilkan mutu beton yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan kerikil bulat.
- d. Dalam hal ukuran maksimum agregat kasar, banyak penelitian menunjukkan bahwa pemakaian agregat yang lebih kecil ( $< 15$  mm) bisa menghasilkan mutu beton yang lebih tinggi. Walaupun demikian, pemakaian agregat kasar dengan ukuran maksimum 25 mm masih menunjukkan tingkat keberhasilan yang lebih baik dalam produksi beton bermutu tinggi.
- e. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih 1% (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat perlu dicuci dulu sebelum digunakan dalam adukan beton.

- f. Kekerasan dari butir-butir agregat kasar yang diperiksa dengan mesin pengujian keausan *Los Angeles*, tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih besar dari 50%.
- g. Agregat kasar perlu diusahakan sebisa mungkin diambil dari sumber yang sama untuk satu pekerjaan yang sama, terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya.
- h. Agregat kasar tidak mengandung unsur-unsur yang dapat merusak beton seperti unsur-unsur reaktif alkali.

Agregat pecahan (kerikil maupun pasir) diperoleh dengan memecah batu menjadi berukuran butiran yang dikehendaki dengan cara meledakkan, memecah, menyaring, dan seterusnya. Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batu pecah. Batu pecah merupakan butir-butir hasil pemecahan batu. Butir-butirnya berbentuk tajam, sehingga sedikit lebih memperkuat betonnya.

#### 3.2.4 Bahan Tambah

Bahan tambah (*admixture*) adalah bahan-bahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat atau selama percampuran berlangsung. Fungsi dari bahan ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu atau menghemat biaya. Bahan tambah didefinisikan dalam *Standard Definitions of Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates* (ASTM C.125-1995:61) dan dalam *Cement and Concrete Terminology* (ACI SP-19) adalah sebagai material selain air, agregat dan semen hidrolik yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik dari beton misalnya untuk dapat dengan mudah dikerjakan, mempercepat pengerasan, menambah kuat tekan, penghematan, atau untuk tujuan lain seperti penghematan energi.

##### 1. Bahan Tambah Kimia (*Admixture*)

Bahan tambah kimia adalah bahan tambah cairan kimia yang ditambahkan untuk mengendalikan waktu pengerasan (memperlambat atau mempercepat), mereduksi kebutuhan air, menambah kemudahan pengerjaan beton, meningkatkan nilai *slump* dan sebagainya. Menurut standar ASTM C. 494

(1995: 254) dan Pedoman Beton 1989 SKBI.1.4.53.1989 (Ulasan Pedoman Beton 1989: 29), jenis bahan tambah dibedakan menjadi tujuan tipe bahan tambah, antara lain sebagai berikut.

a. Tipe A “*Water-Reducing Admixture*”

*Water-Reducing Admixture* adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu. Contoh produk: Plastiment NS, Plastocrete 161 W, Plastocrete 169 dan Viscocrete 4100.

b. Tipe B “*Retarding Admixtures*”

*Retarding Admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Fungsi *retarding* digunakan dengan tujuan utama menunda waktu *initial* dan *final setting* dari adukan beton segar dan mempertahankan *workability* beton pada cuaca panas.

c. Tipe C “*Accelerating Admixtures*”

*Accelerating Admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton. Bahan tambah dengan fungsi *accelerating* digunakan dengan tujuan utama mendapatkan kekuatan awal yang lebih tinggi pada beton yang dikerjakan.

d. Tipe D “*Water Reducing and Retarding Admixtures*”

*Water Reducing and Retarding Admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal dan pengerasan beton.

e. Tipe E “*Water Reducing and Accelerating Admixtures*”

*Water Reducing and Accelerating Admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pengaduk yang diperlukan pada beton tetapi tetap memperoleh adukan dengan konsistensi tertentu sekaligus mempercepat proses pengikatan awal dan pengerasan beton.

f. Tipe F “*Water Reducing High Range Admixtures*”

*Water Reducing High Range Admixtures* adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk

menghasilkan beton dengan kondisi tertentu, sebanyak 12% atau lebih (sampai 40%).

## 2. Bahan Tambah Mineral (*Additive*)

Jenis bahan tambah mineral (*additive*) yang ditambahkan pada beton dimaksudkan untuk meningkatkan kinerja kuat tekan beton dan lebih bersifat penyemenan. Beton kekurangan butiran halus dalam agregat menjadi tidak kohesif dan mudah *bleeding*. Mengatasi kondisi seperti itu biasanya ditambahkan bahan tambah *additive* yang berbentuk butiran pada yang halus. Menurut Mulyono (2004), keuntungan penggunaan *additive* berupa:

- a. memperbaiki *workability* beton,
- b. mengurangi panas hidrasi,
- c. mengurangi biaya pekerjaan beton,
- d. mempertinggi daya tahan terhadap serangan sulfat,
- e. mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika,
- f. menambah keawetan (*durability*) beton,
- g. meningkatkan kuat tekan beton,
- h. meningkatkan usia pakai beton,
- i. mengurangi penyusutan, dan
- j. membuat beton lebih kedap air (porositas dan daya serap air pada beton rendah).

Bahan mineral saat ini banyak ditambahkan ke dalam campuran beton dengan berbagai tujuan, antara lain untuk mengurangi pemakaian semen, mengurangi temperatur akibat reaksi hidrasi, mengurangi atau menambah kelecakan beton segar. Pembuatan beton dengan bahan tambah akan memberikan kualitas beton yang baik apabila pemilihan kualitas bahannya baik, komposisi campurannya sesuai dan metode pelaksanaan pengecoran, pemeliharaan serta perawatannya baik. Contoh bahan mineral yang termasuk jenis *additive* adalah pozzolan, abu terbang (*fly ash*), *slag* dan *silica fume*.

### 3.2.5 Abu Arang

Arang adalah residu hitam berisi karbon tidak murni yang dihasilkan dengan menghilangkan kandungan air dan komponen *volatile* dari hewan atau tumbuhan.

Arang umumnya didapatkan dengan memanaskan kayu, gula, tulang dan benda lain. Arang yang hitam, ringan, mudah hancur, dan menyerupai batu bara ini terdiri dari 85% sampai 98% karbon, sisanya adalah abu atau benda kimia lainnya. Jenis-jenis arang antara lain arang kayu, arang gergaji, arang sekam padi, arang tempurung kelapa, arang serasah, briket arang dan arang kulit buah mahoni. Abu arang adalah sisa pembakaran secara kimiawi dari pembakaran arang kayu. Jadi abu arang adalah hasil pembakaran dari arang kayu yang berwarna abu-abu. Abu arang umumnya digunakan sebagai abu gosok. Komposisi kimia dari abu arang terdiri atas senyawa kimia dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3 Komposisi Kimia Abu Arang**

Oksida	Nama Umum	Berat (%)
CaO	Kalsium Oksida (Kapur)	19,2
SiO <sub>2</sub>	Silika	36,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alumina	10,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ferrit Oksida	7,5
MgO	Magnesium Oksida	10,3
K <sub>2</sub> O	Kalium Oksida	1,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Potasium Pentaoksida	1,7

Sumber: M. Onesta Adesembe (2009)

Sedangkan menurut M. Onesta (2009) bahwa abu arang merupakan *fly ash* kelas C, maka acuan untuk abu arang sesuai spesifikasi *fly ash* kelas C yang digunakan dalam beton ditentukan sesuai acuan SNI 03-2460-2014 atau ASTM C618-08a. Perbandingan antara komposisi kimia dari abu arang dan persyaratan kimia *fly ash* kelas C menurut SNI 03-2460-2014 dapat dilihat pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4 Perbandingan Antara Komposisi Kimia Abu Arang dan Persyaratan Kimia Menurut SNI 03-2460-2014**

Komposisi Kimia Abu Arang	Persyaratan <i>Fly Ash</i> Kelas C (SNI 03-2460-2014)	Hasil
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 54,9%	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , minimal 50%	Sesuai
CaO = 19,2%	Kadar kalsium total atau kalsium oksida (CaO), lebih tinggi dari 10%	Sesuai

Dari uraian pada Tabel 3.4 dapat disimpulkan bahwa komposisi kimia pada abu arang dapat dikategorikan sebagai *fly ash* tipe C sehingga sesuai spesifikasi *fly ash* yang digunakan dalam beton.

### 3.2.6 Sika Viscocrete 1003

Bahan tambah aditif adalah bahan-bahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran berlangsung. Menurut ASTM, bahan tambah atau bahan kimia pembantu adalah material di samping agregat dan semen hidraulis yang ditambahkan ke dalam adukan beton sebelum atau selama proses pengecoran. Fungsinya adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu. Akan tetapi yang harus menjadi perhatian bahwa kesalahan dalam dosis penggunaan serta tata cara pemakaiannya dapat berpengaruh merugikan terhadap kualitas beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004).

Salah satu bahan tambah kimia atau *superplasticizer* untuk campuran beton adalah Sika Viscocrete 1003. Sika Viscocrete 1003 adalah bahan *superplasticizer* generasi ketiga untuk beton dan mortar. Sika Viscocrete 1003 dikembangkan untuk produksi beton dengan aliran tinggi dengan pengecualian sifat retensi aliran dan signifikan dalam pengurangan cairan air dalam campuran beton. Selain mengurangi air dalam campuran beton, manfaat dari Sika Viscocrete 1003 yaitu berguna bagi *self compacting concrete*, mengurangi air yang sangat tinggi hingga 30%, meningkatkan perilaku penyusutan dan *creep*, meningkatkan ketahanan karbonasi beton, mempercepat *finishing* atau pengerjaan, dan mengurangi *bleeding* dan segregasi. Data teknis Sika Viscocrete 1003 dapat dilihat pada Tabel 3.5.

**Tabel 3.5 Data Teknis Sika Viscocrete 1003**

<b>Berat jenis</b>	1,065 kg/liter
<b>Bentuk</b>	Cair
<b>Umur</b>	12 bulan
<b>Warna cairan</b>	Cokelat tua
<b>Penyimpanan</b>	Di tempat yang teduh, kering dengan temperatur antara 5 °C - 30 °C.
<b>Dosis</b>	0,6% - 2,0% dari berat semen

Sumber: *Product Data Sheet* Sika Viscocrete 1003

### 3.3 Mix Design

*Mix design* adalah proses merancang dan memilih bahan material yang cocok dan menentukan proporsi relatif dengan tujuan memproduksi beton dengan kekuatan tertentu, daya tahan tertentu dan secara ekonomis.

#### 3.3.1 Tahapan Perencanaan *Mix Design* Beton

Tahapan perancangan *mix design* beton berdasarkan metode SNI 03-2834-2002 adalah sebagai berikut.

1. Menentukan kuat tekan beton yang disyaratkan ( $f'c$ ) pada umur tertentu. Pemilihan proporsi campuran beton harus dilaksanakan sebagai berikut.
  - a. Rencana campuran beton ditentukan berdasarkan hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen.
  - b. Beton dengan nilai  $f'c$  lebih dari 20 MPa proporsi campuran coba serta pelaksanaan produksinya harus didasarkan pada perbandingan berat bahan.
  - c. Beton dengan nilai  $f'c$  hingga 20 MPa pelaksanaan produksinya boleh menggunakan perbandingan volume. Perbandingan volume bahan ini harus didasarkan pada perencanaan proporsi campuran dalam berat yang dikonversikan ke dalam volume melalui berat isi rata-rata antara gembur dan padat dari masing-masing bahan.
2. Hitung deviasi standar. Data hasil uji yang akan digunakan untuk menghitung standar deviasi harus sebagai berikut.
  - a. Mewakili bahan-bahan prosedur pengawasan mutu dan kondisi produksi yang serupa dengan pekerjaan yang diusulkan.
  - b. Mewakili kuat tekan beton yang disyaratkan  $f'c$ , yang nilainya dalam batas 7 MPa dari nilai  $f'_{cr}$  yang ditentukan.
  - c. Paling sedikit terdiri dari 30 hasil uji yang berurutan atau dua kelompok hasil uji berurutan yang jumlahnya minimum 30 hasil uji diambil dalam produksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari.
  - d. Bila suatu produksi beton tidak mempunyai dua hasil uji, tetapi hanya ada sebanyak 15 sampai 29 hasil uji yang berurutan, maka nilai deviasi standar

adalah perkalian deviasi standar yang dihitung dari data hasil uji tersebut dengan faktor pengali dari Tabel 3.6.

**Tabel 3.6 Faktor Pengali Untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil Uji Yang Tersedia Kurang Dari 30**

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Rumus Deviasi Standar
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber: SNI 03-2834-2002

- e. Bila data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar yang memenuhi persyaratan di atas tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan  $f'_{cr}$  harus diambil tidak kurang dari ( $f'c + 12$  MPa).
3. Hitung nilai tambah dengan persamaan (3.1).

$$M = 1,64 \times s \quad (3.1)$$

dengan:

M = nilai tambah

1,64 = tetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%

s = deviasi standar rencana

4. Hitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan ( $f'_{cr}$ ) dengan persamaan (3.2).

$$f'_{cr} = f'c + M \quad (3.2)$$

dengan:

$f'c$  = kuat tekan yang disyaratkan

M = nilai tambah

5. Tetapkan jenis semen.
6. Tentukan jenis agregat kasar dan agregat halus, agregat ini dapat dalam bentuk tak dipecahkan (pasir atau koral) atau dipecahkan. Perkiraan kekuatan tekan



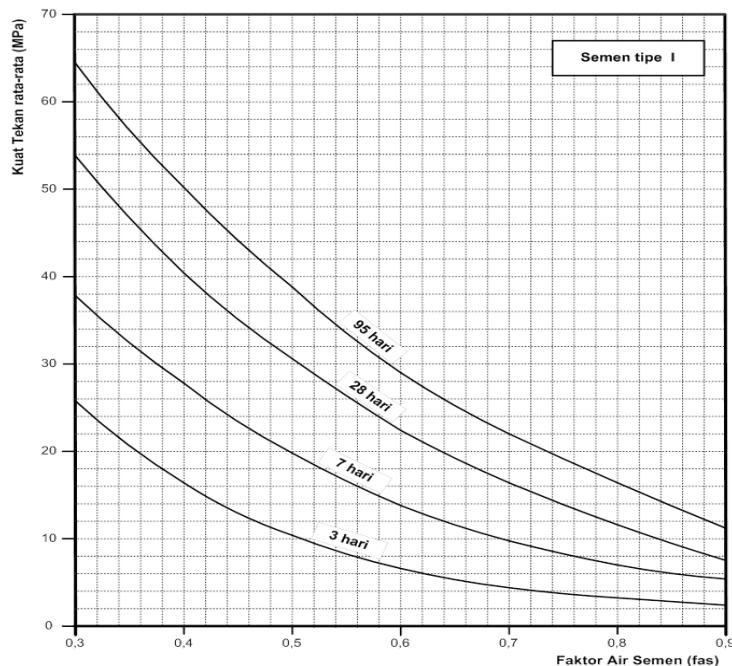
(MPa) beton dengan faktor air semen dan agregat kasar yang bisa dipakai di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 3.7.

**Tabel 3.7 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton Dengan Faktor Air Semen Dan Agregat Kasar Yang Biasa Dipakai Di Indonesia**

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
		25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
		30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2002

7. Tentukan faktor air semen yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan didasarkan menurut Gambar 3.1 dan 3.2. Langkah-langkah mempergunakan grafik pada Gambar 3.1 dan 3.2 sebagai berikut.
  - a. Tentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari dengan menggunakan Tabel 3.6, sesuai dengan semen dan agregat yang akan dipakai.
  - b. Lihat Gambar 3.1 untuk benda uji berbentuk silinder atau Gambar 3.2 untuk benda uji berbentuk kubus.
  - c. Tarik garik tegak lurus ke atas melalui faktor air semen 0,5 sampai memotong kurva kuat tekan yang ditentukan pada (sub butir a).
  - d. Tarik garis lengkung melalui titik pada (sub butir b) secara proporsional.
  - e. Tarik garis mendatar melalui nilai kuat tekan sampai memotong kurva baru.
  - f. Tarik garis tegak lurus kebawah melalui titik potong tersebut untuk mendapatkan faktor air semen yang diperlukan.



Grafik 1 : Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Aie Semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

**Gambar 3.1 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (Benda Uji Berbentuk Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm)**  
(Sumber: SNI 03-2834-2002)

- 8. Tetapkan nilai faktor air semen maksimum.
- 9. Tetapkan nilai slump dengan menurut Tabel 3.8.

**Tabel 3.8 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m<sup>3</sup>) Yang Dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton**

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

Sumber: SNI 03-2834-2002

- 10. Tetapkan ukuran agregat maksimum. Besar butir agregat maksimum tidak boleh melebihi:

- a. seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan,
  - b. sepertiga dari tebal pelat, dan
  - c. tiga perempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.
11. Tentukan nilai kadar air bebas. Kadar air bebas ditentukan sebagai berikut.
- a. Agregat tak dipecah dan agregat dipecah digunakan nilai-nilai pada Tabel 3.6 dan Gambar 3.1 atau 3.2.
  - b. Agregat campuran (tak dipecah dan dipecah), dihitung menurut persamaan (3.3).

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad (3.3)$$

dengan:

$W_h$  = perkiraan jumlah air untuk agregat halus

$W_k$  = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar, pada Tabel 3.6.

12. Hitung jumlah semen yang besarnya adalah kadar air bebas dibagi faktor air semen.
13. Menentukan jumlah semen maksimum. Jika tidak ditetapkan, dapat diabaikan.
14. Tentukan jumlah semen semimumum mungkin. Menentukan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum dapat dilihat pada Tabel 3.9.

**Tabel 3.9 Persyaratan Jumlah Semen Minimum Dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus**

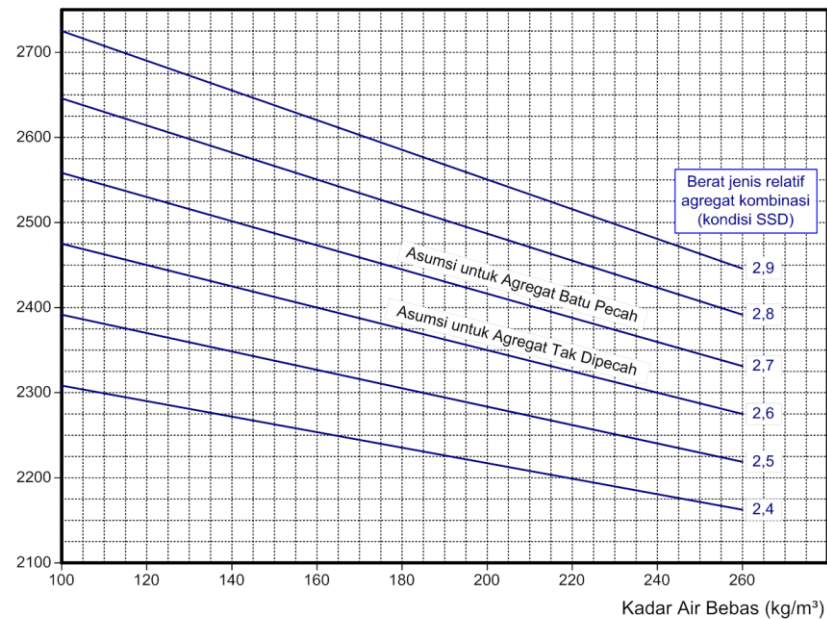
Lokasi	Jumlah Semen Minimum per m <sup>3</sup> beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uang korosif	325	0,52
Beton di luar ruang bangunan:		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60

**Lanjutan Tabel 3.9 Persyaratan Jumlah Semen Minimum Dan Faktor Air  
Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam  
Lingkungan Khusus**

Lokasi	Jumlah Semen Minimum per m <sup>3</sup> beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton masuk ke dalam tanah: a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	325	0,55
Beton yang kontinu berhubungan: a. Air tawar b. Air laut		

Sumber: SNI 03-2834-2002

15. Tentukan faktor air semen yang disesuaikan jika jumlah semen berubah karena lebih kecil dari jumlah semen minimum yang ditetapkan, maka faktor air semen harus diperhitungkan kembali.
16. Tentukan susunan butir agregat halus.
17. Tentukan susunan butir agregat kasar.
18. Tentukan persentase pasir dengan perhitungan.
19. Hitung berat jenis relatif agregat. Berat jenis relatif agregat ditentukan sebagai berikut.
  - a. Diperoleh dari data hasil uji atau bila tidak tersedia dapat dipakai nilai dibawah ini.
    - 1) Agregat tak dipecah : 2,5
    - 2) Agregat dipecah : 2,6 atau 2,7
  - b. Berat jenis agregat gabungan dihitung sebagai persamaan (3.4).
 
$$\text{Berat jenis agregat gabungan} = \text{persentase agregat halus} \times \text{berat jenis agregat halus} + \text{persentase agregat kasar} \times \text{berat jenis agregat kasar} \quad (3.4)$$
20. Tentukan berat isi beton sesuai dengan kadar air bebas yang sudah ditemukan dan berat jenis relatif dari agregat gabungan.



Grafik 6 : Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang telah selesai dipadatkan

### Gambar 3.2 Perkiraan Berat Isi Beton

21. Hitung kadar agregat gabungan yang besarnya adalah berat jenis beton dikurangi jumlah kadar semen dan kadar air bebas.
22. Hitung kadar agregat halus yang besarnya adalah hasil kali persen pasir (langkah 18) dengan agregat gabungan (langkah 21).
23. Hitung kadar agregat kasar yang besarnya adalah kadar agregat gabungan (langkah 21) dikurangi kadar agregat halus (langkah 22). Dari langkah-langkah dari nomor 1 sampai dengan 23 sudah dapat diketahui susunan campuran bahan-bahan untuk 1 m<sup>3</sup> beton.
24. Proporsi campuran beton. Proporsi campuran beton (semen, air, agregat halus dan agregat kasar) harus dihitung dalam kg per m<sup>3</sup> adukan.
25. Koreksi proporsi campuran. Apabila agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan, proporsi campuran harus dikoreksi terhadap kandungan air dalam agregat. Koreksi proporsi campuran harus dilakukan terhadap kadar air dalam agregat paling sedikit 1 kali dalam sehari dan dihitung menurut persamaan (3.5), (3.6), dan (3.7).

$$\text{Air} = B - (C_k - C_n) \times \frac{C}{100} - (D_k - D_n) \times \frac{D}{100} \quad (3.5)$$

$$\text{Agregat halus} = C + (C_K - C_n) \times \frac{C}{100} \quad (3.6)$$

$$\text{Agregat kasar} = D + (D_k - D_n) \times \frac{D}{100} \quad (3.7)$$

dengan:

B = jumlah air

C = jumlah agregat halus

D = jumlah agregat kasar

$C_n$  = absorpsi air pada agregat halus (%)

$D_n$  = absorpsi agregat kasar (%)

$C_K$  = kandungan air dalam agregat halus (%)

$D_k$  = kandungan air dalam agregat kasar (%)

26. Buatlah campuran uji, ukur dan catatlah besarnya slump serta kekuatan tekan yang sesungguhnya, perhatikan hal berikut.
- Jika harga yang didapat sesuai dengan harga yang diharapkan, maka susunan campuran beton tersebut dikatakan baik. Jika tidak, maka campuran perlu dibetulkan.
  - Kalau slumpnya ternyata terlalu tinggi atau rendah, maka kadar air perlu dikurangi atau ditambah (demikian juga kadar semennya, karena faktor air semen harus dijaga agar tetap tak berubah).
  - Jika kekuatan beton dari campuran ini terlalu tinggi atau rendah, maka faktor air semen dapat atau harus ditambah atau dikurangi.

### 3.4 Berat Jenis Dan Penyerapan Pada Agregat

Mulyono (2004) menyatakan bahwa berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat satuan volume dari suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan. Terdapat beberapa macam berat jenis pada agregat beton, yaitu berat jenis curah kering, berat jenis curah, berat jenis semu, dan penyerapan air.

Berat jenis curah kering merupakan perbandingan antara berat dari satuan volume agregat (termasuk rongga yang *permeable* dan di dalam butir partikel, tetapi tidak termasuk rongga antara butiran partikel) pada suatu temperatur tertentu

terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suatu temperatur tertentu. Berat jenis curah kering dirumuskan pada persamaan (3.8).

$$\text{Berat jenis curah kering} = \frac{B_k}{B + 500 - B_t} \quad (3.8)$$

dengan:

$B_k$  = berat benda uji kering oven (gram)

$B$  = berat piknometer berisi air (gram)

$B_t$  = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

500 = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

Berat jenis curah (jenuh kering permukaan) adalah perbandingan antara berat dari satuan volume agregat (termasuk berat air yang terdapat di dalam rongga akibat perendaman selama  $(24 \pm 4)$  jam, tetapi tidak termasuk rongga antara butiran partikel) pada suatu temperature tertentu terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suatu temperatur tertentu. Berat jenis curah (jenuh kering permukaan) dirumuskan pada persamaan (3.9).

$$\text{Berat jenis curah (jenuh kering permukaan)} = \frac{500}{B + 500 - B_t} \quad (3.9)$$

dengan:

$B$  = berat piknometer berisi air (gram)

$B_t$  = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

500 = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat dari suatu volume pada bagian agregat yang *impermeable* pada suatu temperature tertentu terhadap berat di udara dari air suling bebas gelembung dalam volume yang sama pada suatu temperatur tertentu. Berat jenis semu dirumuskan pada persamaan (3.10).

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B + B_k - B_t} \quad (3.10)$$

dengan:

Bk = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat piknometer berisi air (gram)

Bt = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

500 = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

Penyerapan air yaitu penambahan berat dari suatu agregat akibat air yang meresap ke dalam pori-pori, tetapi belum termasuk air yang tertahan pada permukaan luar partikel, dinyatakan sebagai persentase dari berat keringnya, agregat dikatakan kering ketika telah dijaga pada suatu temperatur  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  dalam rentang waktu yang cukup untuk menghilangkan seluruh kandungan air yang ada (sampai beratnya tetap). Penyerapan air dapat dirumuskan pada persamaan (3.11).

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\% \quad (3.11)$$

dengan:

Bk = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat piknometer berisi air (gram)

Bt = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

500 = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

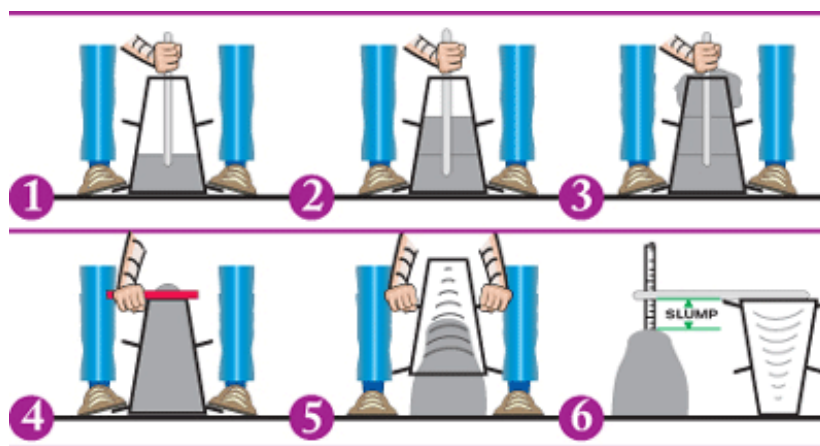
Berat jenis digunakan untuk menentukan volume yang diisi oleh agregat. Berat jenis dari agregat pada akhirnya akan menentukan banyaknya berat jenis dari beton sehingga secara langsung menentukan banyaknya campuran agregat dari campuran beton. Hubungan antara berat jenis agregat dengan daya serap adalah jika semakin tinggi nilai berat jenis agregat maka akan semakin kecil daya serap air agregat tersebut.

### 3.5 *Slump*

Nugroho dan Antoni (2007) menyatakan bahwa *slump* adalah nilai yang diperoleh dari hasil uji *slump* dengan cara beton segar diisikan ke dalam suatu corong baja berupa kerucut terpancung, kemudian bejana ditarik ke atas sehingga beton segar meleleh ke bawah. Besar penurunan permukaan beton segar diukur dan



disebut nilai *slump*. Makin besar nilai *slump*, maka beton makin mudah untuk dikerjakan. Cara pengukuran nilai *slump* dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



**Gambar 3.3 Cara Pengukuran Nilai *Slump***

(Sumber: [www.signalreadymix.com](http://www.signalreadymix.com) diakses 17 Januari 2018)

Penetapan nilai *slump* dilakukan dengan mempertimbangkan faktor-faktor berikut.

1. Cara pengangkutan adukan beton.
2. Cara penuangan adukan beton.
3. Cara pemadatan beton segar.
4. Jenis struktur yang dibuat.

Sebagai petunjuk awal penetapan nilai *slump*, dapat mengacu Tabel 3.10 penetapan nilai *slump* adukan beton.

**Tabel 3.10 Penetapan Nilai *Slump* Adukan Beton**

<b>Pemakaian Beton (Berdasarkan jenis struktur yang dibuat)</b>	<b>Maks (cm)</b>	<b>Min (cm)</b>
Dinding, Plat Pondasi dan Pondasi Telapak Bertulang	12,5	5,0
Pondasi Telapak Tidak Bertulang, Caison, dan Struktur di Bawah Tanah	9,0	2,5
Pelat, Balok, Kolom dan Dinding	15,0	7,5
Pengerasan Jalan	7,5	5,0
Pembetonan Massal (Beton Massa)	7,5	2,5

Sumber: Tri Mulyono (2004)

### 3.6 Faktor Air Semen

Dalam kutipan Mulyono (2004), secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai faktor air semen (FAS), semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti kekuatan beton semakin tinggi. Nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Dalam praktek pembuatan beton, nilai FAS berkisar antara 0,4 - 0,65. Rata-rata ketebalan lapisan yang memisahkan antar partikel dalam beton sangat bergantung pada FAS yang digunakan dan kehalusan butir semennya. Hubungan antara faktor air semen dan kuat tekan beton secara umum dapat ditulis menurut D.A Abrams (dalam Tjokrodimulyo, 1992) dengan persamaan (3.12).

$$f'c = \frac{a}{b^x} \quad (3.12)$$

dengan:

$f'c$  = kuat tekan beton pada umur tertentu (MPa)

$a$  = konstanta empiris

$b$  = konstanta tergantung sifat semen

$x$  = perbandingan volume antara air dan semen (faktor air semen).

### 3.7 Keleccakan (*Workability*)

Mulyono (2004) menyatakan jika keleccakan atau kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari nilai *slump* yang identik dengan tingkat keplastisan beton. Semakin plastis beton, semakin mudah pengerjaannya. Keleccakan tidak lepas dari percobaan *slump*. Percobaan *slump* dilakukan untuk mengetahui kemudahan pengerjaan. Unsur-unsur yang mempengaruhi keleccakan antara lain.

1. Semakin banyak air semakin mudah untuk dikerjakan.
2. Jika FAS tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air sehingga keplastisannya akan lebih tinggi.
3. Jika gradasi campuran pasir dan kerikil memenuhi syarat dan sesuai dengan standar, akan lebih mudah dikerjakan.

4. Bentuk butiran agregat kasar yang berbentuk bulat-bulat lebih mudah untuk dikerjakan.

### **3.8 Pemisahan Kerikil (*Segregation*)**

Kecenderungan butir-butir kasar untuk lepas dari campuran beton dinamakan segregasi. Hal ini akan menyebabkan sarang kerikil yang pada akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton. Segregasi ini disebabkan oleh beberapa hal. Pertama, campuran kurang semen atau kurus. Kedua, terlalu banyak air. Ketiga, besar ukuran agregat maksimum lebih dari 40 mm. Keempat, permukaan butir agregat kasar, semakin kasar permukaan butir agregat, semakin mudah terjadi segregasi (Mulyono, 2004).

Kecenderungan terjadinya segregasi ini dapat dicegah oleh beberapa hal, antara lain.

1. Tinggi jatuh diperpendek.
2. Penggunaan air sesuai dengan syarat.
3. Cukup ruangan antara batang tulangan dengan acuan.
4. Ukuran agregat sesuai dengan syarat.
5. Pemadatan baik.

### **3.9 *Bleeding***

Mulyono (2004) menyatakan bahwa kecenderungan air untuk naik ke permukaan pada beton yang baru dipadatkan dinamakan *bleeding*. Air yang naik ini membawa semen dan butir-butir halus pasir, yang pada saat beton mengeras nantinya akan membentuk selaput (*laitance*). *Bleeding* ini dipengaruhi oleh sebagai berikut.

1. Jika komposisi susunan butir agregatnya sesuai, kemungkinan untuk terjadinya *bleeding* kecil.
2. Air sangat berpengaruh untuk menyebabkan terjadinya *bleeding*. Semakin banyak air berarti semakin besar pula kemungkinan terjadinya *bleeding*.
3. Kecepatan hidrasi berpengaruh pada terjadinya *bleeding*. Semakin cepat beton mengeras, semakin kecil kemungkinan terjadinya *bleeding*.

4. Proses pemadatan yang berlebihan pada campuran beton akan menyebabkan terjadinya *bleeding*.

Hal-hal yang dapat mengurangi terjadinya *bleeding* adalah dengan beberapa cara sebagai berikut.

1. Memberi lebih banyak semen.
2. Menggunakan air sesedikit mungkin.
3. Menggunakan butir halus lebih banyak.
4. Memasukkan sedikit udara dalam adukan untuk beton khusus.

### **3.10 Perawatan Beton (*Curing*)**

*Curing* secara umum adalah perawatan beton yang bertujuan untuk menjaga supaya beton tidak terlalu cepat kehilangan air atau sebagai tindakan menjaga kelembaban dan suhu beton, setelah proses *finishing* beton selesai dan waktu total *setting* tercapai. Tujuan pelaksanaan *curing* atau perawatan beton adalah memastikan reaksi hidrasi senyawa semen termasuk bahan tambahan atau pengganti supaya dapat berlangsung secara optimal sehingga mutu beton yang diharapkan dapat tercapai dan menjaga supaya tidak terjadi susut yang berlebihan pada beton akibat kehilangan kelembaban yang terlalu cepat atau tidak seragam sehingga dapat menyebabkan retak. Metode dan lama pelaksanaan *curing* tergantung dari beberapa hal antara lain sebagai berikut.

1. Jenis dan tipe semen dan beton yang digunakan, termasuk bahan tambahan atau pengganti yang dipakai,
2. Jenis/tipe dan luasan elemen struktur yang dilaksanakan,
3. Kondisi cuaca, suhu dan kelembaban di area atau lokasi pekerjaan, dan
4. Penetapan nilai dan waktu yang digunakan untuk kuat tekan karakteristik beton.

Sedangkan kualitas dan durasi pelaksanaan *curing* atau perawatan beton tergantung dengan beberapa faktor antara lain sebagai berikut.

1. Mutu atau kekuatan beton (*strength*),
2. Keawetan struktur beton (*durability*),
3. Kekedapan air beton (*water-tightness*),
4. Ketahanan permukaan beton, misalnya terhadap keausan (*wear resistance*), dan

5. Kestabilan volume yang berhubungan dengan susut atau pengembangan (*volume stability: shrinkage and expansion*).

### 3.11 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat pada benda uji silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) sampai hancur. Untuk standar pengujian kuat tekan digunakan SNI 03- 6805 – 2002 dan ASTM C 39/C 39M-04a.

Untuk pengujian kuat tekan beton, benda uji berupa silinder beton berdiameter 15 cm dan tingginya 30 cm ditekan dengan beban P sampai runtuh. Karena ada beban tekan P, maka terjadi tegangan tekan pada beton ( $\sigma_c$ ) sebesar beban (P) dibagi dengan luas penampang beton (A), sehingga dirumuskan pada persamaan (3.13).

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (3.13)$$

dengan:

$\sigma_c$  = tegangan tekan beton (MPa)

P = besar beban tekan (N)

A = luas penampang beton (mm<sup>2</sup>)

Dalam Konsep Tata Cara Perancangan dan Pelaksanaan Konstruksi Beton 1989 5.6.2.3 atau dalam Pedoman Beton 1989. Pasal 4.7 dalam konsep tersebut tercantum bahwa, pelaksanaan beton dapat diterima jika hasil kekuatan tekan betonnya memenuhi dua syarat yang diberikan, nilai-nilainya sebagai berikut.

1. Nilai rata-rata dari semua pasangan hasil uji (terdiri dari empat pasangan benda uji) tidak kurang dari ( $f^c + 0,82s$ , dengan s adalah standar deviasi).
2. Tidak satupun dari benda uji yang nilainya kurang dari  $0,85f^c$ .

Jika langkah pertama tidak terpenuhi, maka diambil tindakan perbaikan untuk meningkatkan kekuatan tekan. Jika langkah kedua yang tidak terpenuhi tindakan yang diambil adalah dengan menguji apakah kekuatan struktur masih cukup kuat dengan nilai kekuatan aktual, dengan cara menganalisa ulang struktur menggunakan kekuatan tekan aktualnya atau dengan menguji cara uji tidak merusak.

### 3.12 Modulus Elastisitas Beton

Menurut Kukuh (2011), pada umumnya beton memiliki daerah awal pada diagram tegangan-regangannya dimana bahan berkelakuan secara elastis dan linier. Kemiringan diagram tegangan-regangan dalam daerah elastis linier itulah yang dinamakan Modulus Elastisitas (E) atau *Modulus Young*.

Hubungan tegangan-regangan beton diketahui untuk menurunkan persamaan analisis dan perencanaan suatu bagian struktur. Kemampuan bahan untuk menahan bebas yang didukungnya dan perubahan bentuk yang terjadi pada bahan tersebut sehingga sangat tergantung pada sifat tegangan dan regangan.

Pada beton terjadi berubah bentuk mengikuti regangan elastis dan sebagian regangan plastis. Bagian kurva ini (sampai sekitar 40%  $f'c$ ) pada umumnya untuk tujuan praktis dapat dianggap linier. Setelah mendekati 70% tegangan, benda uji beton akan hancur dan material pada beton akan banyak kehilangan kekakuannya sehingga kurva tidak linier lagi.

Modulus elastisitas yang besar menunjukkan kemampuan menahan tegangan yang cukup besar dalam kondisi regangan yang masih kecil, artinya bahwa beton tersebut mempunyai kemampuan menahan tegangan (desak) yang cukup besar akibat beban-beban yang terjadi pada suatu regangan (kemungkinan terjadi retak) yang kecil. Tolak ukur yang umum dari sifat elastisitas suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang dimana merupakan perbandingan dari desakan yang diberikan dengan perubahan bentuk per satuan panjang, sebagai akibat dari desakan yang diberikan. Modulus elastisitas ditentukan berdasarkan rekomendasi ASTM C-469, yaitu modulus chord. Adapun perhitungan modulus elastisitas dapat dilihat pada persamaan (3.14) berikut.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \quad (3.14)$$

Sedangkan menurut Nawy, jika nilai tegangan  $0,4 f'c_{\text{maksimum}}$  kurva tegangan-regangan masih linier, nilai modulus elastisitas beton dapat dihitung pada persamaan (3.15) berikut.

$$E_c = \frac{0,4 \times f'c_{\text{maks}}}{\varepsilon_{0,4}} \quad (3.15)$$

dengan:

$E_c$  = modulus elastisitas,

$f'c_{\text{maks}}$  = kuat tekan maksimal yang dicapai (MPa),

$S_2$  = tegangan sebesar  $0,4 f'c$ ,

$S_1$  = tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal sebesar  $0,00005$ ,

$\varepsilon_{0,4}$  = regangan longitudinal disaat  $0,4 f'c$ ,

$\varepsilon_2$  = regangan longitudinal akibat tegangan  $S_2$

Modulus elastisitas pada beton bervariasi. Ada beberapa hal yang mempengaruhi modulus elastisitas beton antara lain sebagai berikut.

#### 1. Kelembaban

Beton dengan kandungan air yang lebih tinggi memiliki modulus elastisitas yang juga lebih tinggi daripada beton dengan spesifikasi yang sama.

#### 2. Agregat

Nilai modulus dan proporsi volume agregat dalam campuran mempengaruhi modulus elastisitas beton. Semakin tinggi modulus agregat dan semakin besar proporsi agregat dalam beton, semakin tinggi pula modulus elastisitas beton tersebut.

#### 3. Umur Beton

Modulus elastisitas beton meningkat seiring pertambahan umur beton seperti halnya kuat tekannya, namun modulus elastisitas meningkat lebih cepat daripada kekuatannya.

#### 4. *Mix Design* Beton

Jenis beton memberikan nilai E (modulus elastisitas) yang berbeda-beda pada umur dan kekuatan yang sama.

### 3.13 Evaluasi dan Penerimaan Mutu Beton

Pada SNI 03-2847-2002 pasal 7.6 menjelaskan bahwa perlunya evaluasi statistik atas hasil pengujian sampel dan analisa untuk penerimaan beton dalam pelaksanaan pekerjaan pengecoran. Pada pasal 7.6 tersebut menjelaskan ada beberapa kriteria dimana kuat tekan beton harus memenuhi syarat dari kriteria tersebut. Kriteria-kriteria tersebut antara lain sebagai berikut.

#### 1. Jumlah dan frekuensi pembuatan benda uji

Jumlah minimum benda uji per hari pelaksanaan pengecoran = 1 benda uji. Frekuensi pembuatan benda uji, diambil kondisi yang paling dulu dipenuhi:

- a. 1 pasang benda uji untuk tiap pengecoran 120 m<sup>3</sup> beton,
- b. 1 pasang benda uji untuk tiap pengecoran 500m<sup>2</sup> plat lantai beton, dan
- c. 1 pasang benda uji untuk tiap pengecoran 500 m<sup>2</sup> dinding beton.

Jumlah total benda uji minimum = 5 buah per mutu beton. Jika dari frekuensi pembuatan benda uji yang diatur di atas menghasilkan jumlah benda uji kurang dari 5 buah, maka harus dilakukan randomisasi dengan interval volume pengujian yang sama, supaya diperoleh minimal sejumlah 5 buah benda uji. Toleransi untuk jumlah total pengecoran kurang dari 40 m<sup>3</sup>, diperbolehkan tidak dilakukan sampling dan pembuatan benda uji, jika dapat dijamin dan bukti terpenuhinya kuat tekan diserahkan dan disetujui oleh Pengawas.

#### 2. Pasangan benda uji

Satu uji kuat tekan harus merupakan nilai kuat tekan rata-rata dari 2 (dua) contoh uji silinder yang berasal dari adukan beton yang sama dan diuji pada umur beton 28 hari atau pada umur uji yang ditetapkan untuk penentuan  $f'_c$  (kuat tekan beton yang disyaratkan).

#### 3. Benda uji yang dirawat di laboratorium

Dalam kriteria ini menjelaskan bahwa kuat tekan suatu mutu beton dapat dikatakan memenuhi syarat jika:



- a. setiap nilai rata-rata dari 3 uji kuat tekan yang berurutan mempunyai nilai yang sama atau lebih besar dari  $f'_c$ .
- b. tidak ada nilai uji kuat tekan yang dihitung sebagai nilai rata-rata dari 2 hasil uji contoh silinder mempunyai nilai di bawah  $f'_c$  melebihi dari 3,5 MPa ( $f'_c - 3,5$  MPa).

Ketentuan untuk mutu beton dari benda uji yang dirawat di lapangan, adalah tidak boleh kurang dari 85% kuat tekan atau mutu beton yang dirawat di laboratorium.

Tindakan yang diambil jika terjadi hasil evaluasi menunjukkan mutu beton tidak memenuhi syarat:

1. analisis untuk menjamin bahwa tahanan struktur dalam memikul beban masih dalam batas aman (analisa kemampuan beban layan aktual),
2. jika analisis menunjukkan bahwa struktur berkurang kekuatannya secara signifikan, dilakukan uji contoh beton inti (cor) pada lokasi yang bermasalah, sebanyak minimal 3 contoh uji beton inti pada tiap nilai yang bermasalah.

Penerimaan mutu beton dari pengujian beton inti, dianggap memenuhi syarat jika:

1. tidak ada nilai hasil pengujian dengan beton inti yang kurang dari (75%  $f'_c$ ),
2. tidak ada nilai kuat tekan rata-rata dari 3 (tiga) sample beton inti yang kurang dari (85%  $f'_c$ ).

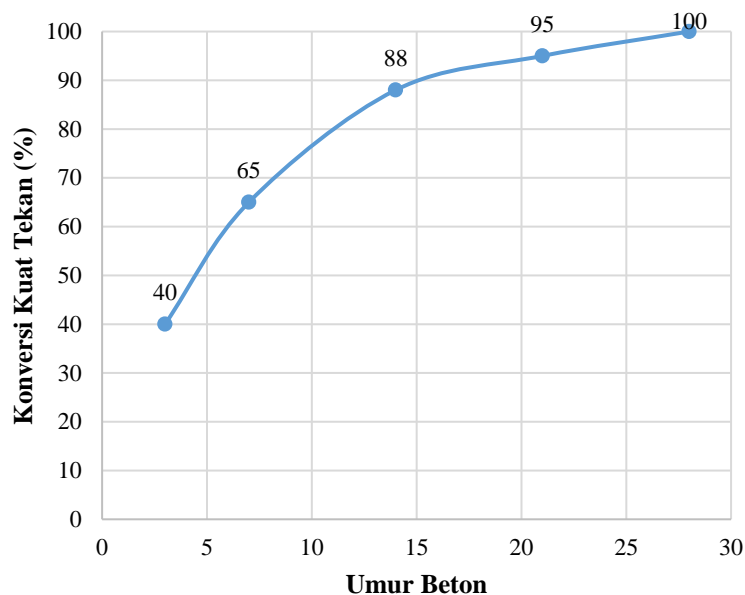
Jika dari hasil pengujian beton inti masih tidak memenuhi syarat, maka langkah yang bisa dilakukan:

1. dilaksanakan uji beban jika diperintahkan oleh pengawas atau perencana, yang diatur dalam pasal 22 SNI 03-2847-2002,
2. ditambah perkuatan pada struktur yang bermasalah, jika memungkinkan dan diijinkan oleh Pengawas, dan
3. struktur yang bermasalah dibongkar dan dicor ulang.

### **3.14 Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Umur Beton**

Kuat tekan beton merupakan faktor yang utama dan penting untuk diperhatikan di dalam pelaksanaan pengecoran di lapangan. Pada umumnya beton

mencapai kekuatan tekan karakteristik rencananya pada umur 28 hari. Pada umur tersebut kuat tekan karakteristik beton mencapai kekuatan rencananya. Hubungan antara umur beton dengan faktor konversi kuat tekannya menurut PBI 1971 disajikan pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4 Grafik Hubungan antara Umur Beton dengan Faktor Konversi Kuat Tekannya**

Mengetahui kekuatan tekan beton karakteristik ini penting, mengingat pada proyek konstruksi, uji kuat tekan sampel beton di lapangan terkadang tidak diuji tidak pada umurnya, sehingga perlu dilakukan pengkoreksian dengan faktor kekuatan untuk kemudian diketahui apakah pada umur tersebut kekuatan karakteristiknya memenuhi atau tidak. Jadi, fungsi faktor kekuatan tersebut adalah mengetahui kesesuaian kekuatan tekan karakteristik rencana dengan umur pada saat sampel tersebut diuji.

### 3.15 Perhitungan Anggaran Biaya

Perhitungan anggaran biaya yang dimaksud adalah besar biaya yang diperlukan dan susunan-susunan pelaksanaan dalam bidang administrasi maupun pelaksanaan kerja dalam bentuk teknik. Perencanaan biaya yang nyata adalah proses perhitungan volume pekerjaan, harga dari berbagai macam bahan dan

pekerjaan pada suatu bangunan atau proyek berdasarkan data-data yang sebenarnya. Secara umum, perencanaan biaya pada volume pekerjaan yang akan dikerjakan dapat disimpulkan pada (3.16) berikut.

$$\text{RAB} = \sum (\text{volume pekerjaan} \times \text{harga satuan bahan}) \quad (3.16)$$

Anggaran biaya merupakan harga dari bangunan yang dihitung dengan teliti, cermat, dan memenuhi syarat. Anggaran biaya pada bangunan yang sama akan berbeda-beda dimasing-masing daerah, disebabkan karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja.