

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Umum**

Mulai tahap perencanaan hingga tahap analisis, penelitian dilaksanakan berdasarkan sumber yang berkaitan dengan topik yang dipilih, yaitu Tinjauan Eksperimental Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Limbah *Slag*.

Materi yang dibahas berdasarkan referensi maupun peraturan mengenai teknologi beton yaitu :

- Teori tentang beton
- Limbah padat (*slag*)
- Material pada beton
- Perencanaan pencampuran beton (*mix design*)
- Penelitian sejenis yang pernah dilakukan.

#### **2.2. Teori Tentang Beton**

Beton didefinisikan sebagai bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen portland dan air tanpa tambahan zat aditif (PBI, 1971). Tetapi belakangan ini definisi dari beton sudah semakin luas, dimana beton adalah bahan yang terbuat dari berbagai macam tipe semen, agregat dan juga bahan pozzolan, abu terbang, terak dapur tinggi, sulfur, serat dan lain-lain (Neville dan Brooks, 1987).

Nilai kekuatan tekan dari beton 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. Kuat Tekan Beton

Kuat hancur antara 20 dan 50 N/mm<sup>2</sup> pada umur 28 hari biasa diperoleh di lapangan bila pengawasan pekerjaannya baik (L.J Murdock & K.M Brook).

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 beton tergantung pada perbandingan faktor air semennya. Semakin tinggi nilai FAS, semakin rendah mutu kekuatan beton, namun demikian, nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Ada batas – batas dalam hal ini, nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum yang diberikan sekitar 0.4 dan maksimum 0.65 (Tri Mulyono, 2004). 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 yang sempurna tanpa pekerjaan pemadatan yang berlebihan, 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. Perbandingan kuat tekan beton pada berbagai umur Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971.

3. Jenis dan jumlah semen

Jenis semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton, sesuai dengan tujuan penggunaannya. Jenis-jenis semen dapat sesuai SK SNI S-04-1989-F.

4. Sifat agregat

Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah :

- Kekasaran permukaan : Pada agregat dengan permukaan kasar akan terjadi ikatan yang baik antara pasta semen dengan agregat tersebut
- Kekerasan agregat kasar
- Gradasi agregat

### **2.3. Limbah Padat (*slag*)**

*Slag* adalah limbah padat dari proses peleburan baja. *Slag* dihasilkan selama proses pemisahan cairan baja dari bahan pengotornya pada tungku-tungku baja.

Pada peleburan baja, bijih besi atau besi bekas dicairkan dengan kombinasi batu gamping, dolomite atau kapur. Pembuatan baja dimulai dengan penghilangan ion-ion pengotor baja, diantaranya aluminium, silikon, dan phosphor. Ion-ion tersebut dapat menyebabkan baja menjadi tidak keras dan rapuh atau sulit untuk dibentuk lembaran – lembaran baja . Untuk penghilangan ion pengotor tersebut diperlukan kalsium yang terdapat pada batu kapur. Campuran kalsium dan aluminium, silikon dan phosphor membentuk *slag*. *Slag* mengambang pada permukaan cairan baja, kemudian dibuang. *Slag* terbentuk pada suhu 1580 °C dan akan tersesuai seperti kaca, berbentuk tidak beraturan dan mengeras ketika dingin. *Slag* dapat berupa butiran halus sampai berupa balok-balok besar yang sangat keras. *Slag* juga mengandung logam berat yang tinggi. (Sumber : PT. Inti General Yaja Steel, Semarang).

#### **2.3.1. Kegunaan Limbah Padat (*slag*)**

Secara fisik *slag* lebih kaku, lebih padat dan keras dibandingkan agregat kasar alam. *Slag* dapat digunakan sebagai material jalan sebagai pondasi, produksi semen, stabilisasi tanah, pertanian, media pengolahan air limbah, dan sebagainya. (Sumber : *The National Slag Association*). Hal ini membuktikan bahwa *slag* dapat dimanfaatkan kembali dengan tetap memperhatikan lingkungan.

### 2.3.2. Karakteristik Limbah Padat (*slag*)

Karakteristik dari Limbah Padat (*slag*) yaitu :

#### 1. Karakteristik Fisik

Limbah padat (*slag*) mempunyai butiran partikel berpori pada permukaannya. Limbah padat (*slag*) merupakan material dengan gradasi yang baik, dengan variasi ukuran partikel yang berbeda-beda. Ukuran gradasi limbah padat (*slag*) lebih mendekati ukuran agregat kasar 2/3.

#### 2. Karakteristik Kimia

Komposisi kimia limbah padat (*slag*) pada PT. Inti General Yaja Steel, Semarang dari hasil analisis pengujian Laboratorium Balai Riset dan Standarisasi Industri dan Perdagangan Semarang, dapat disesuaikan pada tabel 2.1 dibawah ini.

**Tabel 2.1.** Komposisi kimia dari Limbah padat (*slag*)

NO	Parameter	Satuan	Hasil Analisis	Metode uji
<b>I</b>	<b>LOGAM BERAT</b>			
1	Arsen (As)	mg/kg	< 0.118	Destruksi SM.3114 B
2	Barium (Ba)	mg/kg	<3.931	Destruksi SM.3111 D
3	Boron (B)	mg/kg	< 1.965	Destruksi SM.4500-BC
4	Cadmium (Cd)	mg/kg	< 0.118	Destruksi SM.3111 B
5	Chromium (Cr)	mg/kg	49.25	Destruksi SM.3111 B
6	Copper (Cu)	mg/kg	48.42	Destruksi SM.3111 B
7	Lead (Pb)	mg/kg	< 1.179	Destruksi SM.3111 B
8	Mercury (Hg)	mg/kg	< 0.393	Destruksi SM.3112 B
9	Selenium (Se)	mg/kg	< 0.118	Destruksi SM.3114 B
10	Silver (Ag)	mg/kg	< 1.179	Destruksi SM.3111 B
11	Zinc (Zn)	mg/kg	28.62	Destruksi SM.3111 B

Metode uji mengacu pada :- *Standard Methods For the Examination of water and waste, APHA, AWWA, WEF*

(Sumber : TA Vena-Zuni : 2006)

## 2.4. Material

Material penyusun pada beton dengan campuran limbah padat (*slag*) ini mempunyai karakteristik yang berbeda bila digunakan sebagai bahan adukan dalam beton. Maka perlu diketahui sifat dan karakteristik masing-masing material penyusun agar dalam pelaksanaan mencapai mutu yang diinginkan.

### 2.4.1 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.

#### 1. Sifat Kimia Semen

Kadar kapur yang tinggi tetapi tidak berlebihan cenderung memperlambat pengikatan, tetapi menghasilkan kekuatan awal yang tinggi. Kekurangan zat kapur menghasilkan semen yang lemah, dan bilamana kurang sempurna pembakarannya, menyebabkan ikatan yang cepat (L.J. Murdock dan K.M. Brook, 1979). Sifat kimia serta komposisi semen sesuai Teknologi Beton (Tri Mulyono, 2004)

#### 2. Sifat Fisik Semen

Sifat fisik Semen portland 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

Berat jenis semen pada umumnya berkisar 3.15 kg/liter.

##### c. Waktu pengerasan semen

Pada pengerasan semen dikenal dengan adanya waktu pengikatan awal (*initial setting*) dan 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.

d. Kekekalan bentuk

Pasta semen yang dibuat dalam bentuk tertentu dan bentuknya tidak berubah pada waktu mengeras, maka semen tersebut mempunyai sifat kekal bentuk.

e. Pengerasan awal palsu

Gips yang terurai lebih dulu dapat menimbulkan efek pengerasan palsu, seolah-olah semen tersesuai mulai mengeras tetapi pengaruhnya terhadap sifat semen tidak berubah. Pengerasan palsu biasanya terjadi jika semen mengeras kurang dari 60 menit.

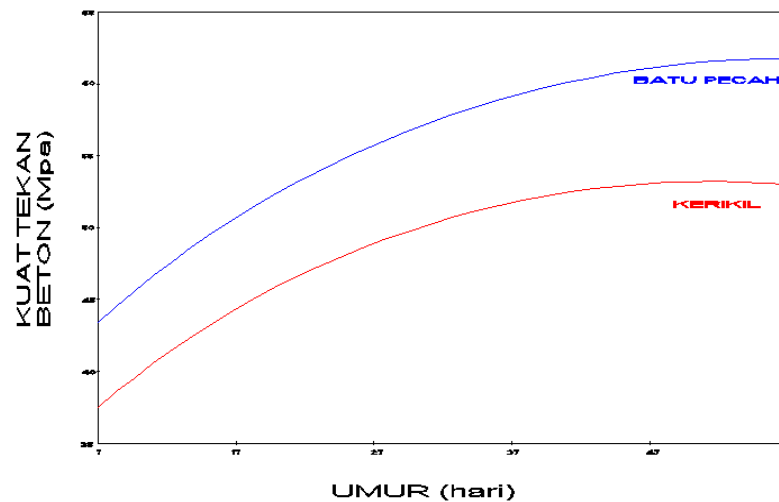
f. Pengaruh suhu

Pengikatan semen berlangsung dengan baik pada suhu  $35^{\circ}\text{C}$  dan berjalan dengan lambat pada suhu di bawah  $15^{\circ}\text{C}$ .

#### 2.4.2. Agregat

Pada beton konvensional, menggunakan agregat dalam campurannya, dimana pengertian agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Kira-kira 70 % volume mortar atau beton diisi oleh agregat. Dari hal tersebut, peranan agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton. Sedangkan dari keseluruhan kebutuhan agregat pada beton, agregat kasar mempunyai porsi yang lebih tinggi dibanding dengan agregat halus, sehingga secara keseluruhan material pembentuk beton sangat didominasi oleh agregat kasar.

Fungsi agregat kasar pada beton adalah sebagai kekuatan pada beton. Berdasarkan hal tersebut diatas, pengaruh kekuatan agregat terhadap beton sangat besar. Adapun faktor yang mempengaruhi kekuatan agregat pada beton yaitu kekerasan agregat, kekasaran permukaan agregat, dan gradasi agregat. Pada agregat dengan permukaan kasar akan terjadi ikatan yang baik antara pasta semen dengan agregat tersebut, seperti tampak pada grafik 2.1. Batu pecah yang memiliki permukaan yang lebih kasar daripada kerikil sehingga memberikan kuat tekan yang lebih tinggi pada beton.



**Grafik 2.1.** Pengaruh jenis agregat terhadap kuat tekan beton

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

#### 2.4.2.1. Berat Jenis Agregat

Menurut berat jenisnya agregat dibagi menjadi 3 jenis yaitu:

1. Agregat Normal  
Agregat normal memiliki berat jenis antara  $2,5 \text{ kg/dm}^3$  dan  $2,7 \text{ kg/dm}^3$ . Agregat ini biasanya berasal dari batuan granit, basalt, kuarsa dan sebagainya.
2. Agregat Berat  
Agregat berat memiliki berat jenis  $2,8 \text{ kg/dm}^3$  ke atas, contohnya *magnetic* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), *barytes* ( $\text{BaSO}_4$ ), atau serbuk besi.
3. Agregat Ringan  
Agregat ringan memiliki berat jenis kurang  $2,0 \text{ kg/dm}^3$ . Agregat ringan misalnya *diatomite*, *pumice*, tanah bakar, abu terbang, busa terak tanur tinggi.

#### 2.4.2.2. Gradasi Agregat

Gradasi agregat ialah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butir-butirnya bervariasi maka volume pori menjadi kecil. Hal ini karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-pori menjadi sedikit, dengan kata lain kemampuan tinggi (Tjokrodimuljo, 1996).

#### 2.4.2.3. Hubungan Antara Pori dalam Mortar dan Beton dengan Kekuatan

Kekuatan mortar akan bertambah jika kandungan pori dalam mortar semakin kecil (R. Feret, 1897). Semakin tinggi angka pori dalam agregat berarti semakin tinggi angka pori dalam beton yang pada akhirnya akan menyebabkan turunnya kekuatan beton (Tri Mulyono, 2004).

#### 2.4.2.4. Modulus Halus Butir

Modulus halus butir (*fineness modulus*) adalah suatu indeks yang dipakai untuk ukuran kehalusan atau kekasaran butir - butir agregat. Makin besar nilai Modulus Halus Butir suatu agregat berarti semakin besar butiran agregatnya. Umumnya agregat halus mempunyai Modulus Halus Butir sekitar 1.5 – 3.8 dan kerikil mempunyai Modulus Halus Butir 5 – 8. Untuk agregat campuran nilai Modulus Halus Butir yang biasa dipakai sekitar 5.0 – 6.0 (Tri Mulyono, 2004).

#### 2.4.2.5. Kadar Air Agregat

Kadar air pada suatu agregat (dilapangan) perlu diketahui untuk menghitung jumlah air yang diperlukan dalam campuran beton dan untuk mengetahui berat satuan agregat. Keadaan yang dipakai sebagai dasar hitungan adalah agregat kering oven dan jenuh kering muka karena konstan untuk agregat tertentu.

$$A_{\text{tamb}} = \frac{K - K_{jkm}}{100} x W_{ag} \quad (2-1)$$

Keterangan :

A tamb : air tambahan dari agregat (liter)

K : kadar air di lapangan (%)

$K_{jkm}$  : kadar air jenuh kering muka (%)

Wag : berat agregat (kg)

#### 2.4.2.6. Persyaratan Agregat

Persyaratan agregat halus :

1. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras. Butir-butir 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% (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan Lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm. Jika lebih dari 5% maka agregat harus dicuci.
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 butir – butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan berturut – turut 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 sebagai berikut :
  - (a) Sisa diatas ayakan 4 mm, harus minimum 2% berat
  - (b) Sisa diatas ayakan 1 mm, harus minimum 10% berat

- (c) Sisa diatas ayakan 0,25 mm, harus berkisar 80% - 95% berat
- (d) Untuk pasir modulus halus butir antara 2,5 - 3,8
- (e) 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 :

1. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu – batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Yang dimaksud dengan agregat kasar adalah agregat dengan besar butir lebih dari 5 mm.
2. Agregat kasar harus terdiri dari butir – butir yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir – butir hanya dapat dipakai, apabila jumlah butir – butir pipih tersebut tidak melampaui 20% dari berat agregat seluruhnya. Butir – butir 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% (ditentukan terhadap berat kering). Yang dimaksud dengan lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur lebih dari 1% maka agregat kasar harus dicuci.
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat – zat yang dapat merusak beton, seperti zat – zat yang reaktif alkali.
5. Kekerasan dari butir – butir agregat kasar diperiksa dengan bejana penguji dari Rudeloff dengan beban pengujian 20 ton, dan harus memenuhi syarat – syarat sebagai berikut :
  - (a) Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5 – 19 mm lebih dari 24% berat
  - (b) Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19 – 30 mm lebih dari 22% atau dengan mesin Los Angeles, dimana tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50%.

6. Agregat kasar harus terdiri dari butir – butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan secara berturut – turut sebagai berikut : 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, harus memenuhi syarat – syarat sebagai berikut :
  - (a) Sisa diatas ayakan 31,5, harus 0% berat
  - (b) Sisa diatas ayakan 4 mm, harus berkisar 90% - 98% berat
  - (c) Selisih antara sisa – sisa komulatif diatas ayakan yang berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.
7. Besar butir agregat maksimum yang tidak boleh lebih daripada seperlima jarak terkecil antara bidang - bidang sampai cetakan. Sepertiga dari tebal pelat atau tigaperempat dari jarak bersih minimum diantara batang – batang atau berkas – berkas tulangan. Penyimpangan dari pembatasan ini diijinkan, apabila menurut penilaian pengawas ahli, cara–cara pengecoran beton adalah sedemikian rupa hingga menjamin tidak terjadinya sarang – sarang kecil.

#### **2.4.2.7. Pengujian Agregat**

Pengujian agregat terdiri dari pemeriksaan kandungan lumpur dan kotoran organis yang terkandung dalam agregat, analisis saringan, analisis kadar air, berat jenis dan penyerapan air. Tujuan dari pemeriksaan kandungan lumpur dan kotoran organis pada agregat adalah menentukan banyaknya kandungan butir lebih kecil dari 50 mikron (lumpur) yang terdapat dalam agregat dan menentukan prosentase zat organis yang terkandung dalam agregat. Tujuan dari analisa saringan yaitu menentukan modulus kehalusan. Modulus kehalusan adalah harga yang menyatakan tingkat kehalusan agregat yang nilainya seperseratus dari jumlah sisa agregat di atas saringan dengan diameter 0,15 mm.

Pemeriksaan kadar air dalam agregat bertujuan untuk menentukan prosentase air yang terkandung agregat. Sedangkan tujuan dari pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat adalah untuk menentukan berat jenis dan prosentase berat air yang dapat 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 asli, sedangkan kadar air SSD adalah kandungan air pada kondisi agregat jenuh air kering permukaan.

### **2.4.3. Air**

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 dengan tetap menjaga workabilitas..

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 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. Kelebihan air ini dituang (*bleeding*) yang kemudian menjadi buih dan terbentuk suatu selaput tipis (*laitance*). Selaput tipis ini akan mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah (Tjokrodinuljo,1996).

Pemakaian air untuk beton sebaiknya memenuhi persyaratan Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971.

1. Air untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam – garam, bahan – bahan organis atau bahan – bahan lain yang merusak beton dan/ baja tulangan. Dalam hal ini sebaiknya dipakai air bersih yang dapat diminum.
2. Apabila terdapat keragu-raguan mengenai air, dianjurkan untuk mengirimkan contoh air itu ke lembaga pemeriksaan bahan – bahan yang diakui untuk diselidiki sampai seberapa jauh air itu mengandung zat – zat yang dapat merusak beton dan/atau tulangan.
3. Apabila pemeriksaan contoh air seperti disebut dalam ayat (2) itu tidak dapat dilakukan, maka dalam hal adanya keragu – raguan mengenai air harus

diadakan percobaan perbandingan antara kekuatan tekan mortel semen + pasir dengan memakai air itu dan dengan memakai air suling. Air tersebut dianggap dapat dipakai, apabila kekuatan tekan mortel dengan memakai air itu pada umur 7 dan 28 hari paling sedikit adalah 90% dari kekuatan tekan mortel dengan memakai air suling pada umur yang sama.

4. Jumlah air yang dipakai untuk membuat adukan beton dapat ditentukan dengan ukuran isi atau ukuran berat dan harus dilakukan setepat – tepatnya.

### **2.5. Workabilitas**

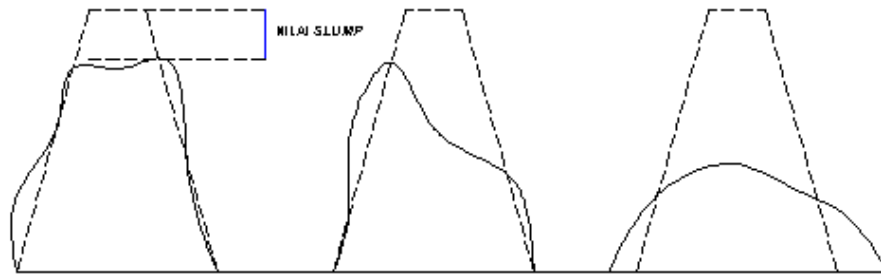
Workabilitas merupakan tingkat kemudahan pengerjaan beton dalam pencampuran, pengangkutan, penuangan, dan pematatannya. Suatu adukan dapat dikatakan cukup *workable* jika memenuhi kriteria sebagai berikut :

- 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 :

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



**Gambar 2.1.** Tipe-tipe keruntuhan *slump* (1) *slump* sebenarnya (2) *slump* geser (3) *slump* runtuh (Sumber : Neville dan Brooks, 1987).

## 2.6. Kandungan Udara (*Air Content*)

Secara umum, diketahui bahwa beton dengan kandungan udara mempunyai kekuatan yang 10 persen lebih kecil daripada beton tanpa pemasukan udara pada kadar semen dan workabilitas yang sama.

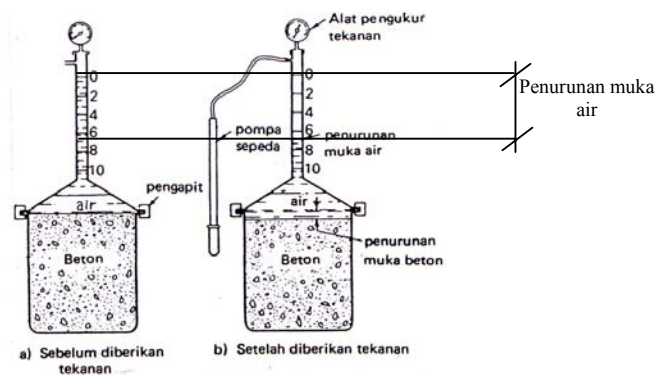
Udara yang dimasukkan berbentuk gelembung kecil, bulat dengan diameter berkisar antara 20 sampai 2000  $\mu$  m (0.0008 sampai 0.08 in) untuk memperoleh perlindungan maksimal terhadap kerusakan akibat pembekuan dan pencairan, maka diberikan rekomendasi agar kandungan udara dalam matrik beton sekitar 13 persen. Dengan dasar ini, kandungan udara rata-rata beton segar (fresh), untuk bermacam-macam ukuran agregat maksimum, harus seperti berikut :

Ukuran agregat maksimum Mm (in)	Kandungan udara rata-rata dalam persen
40 (1½)	4
20 (¾)	5
14 (½)	6
10 (⅜)	7

Harga-harga ini diberikan dalam BS Code of Practice CP 110, 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 di bawah 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 di tempat 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 dengan menggunakan peralatan seperti tergambar pada Gambar 2.2. di bawah, karena setiap satu persen penambahan kandungan udara, tampaknya mengakibatkan kehilangan kekuatan antara 5 dan 6 persen (L.J. Murdock dan K.M. Brook, 1979).



**Gambar 2.2.** Diagram sparatus jenis tekanan untuk menetapkan kandungan udara dari beton berisi udara

Adapun pengujian *air content* yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan udara yang terdapat dalam beton. Pengujian ini dilakukan pada beton segar (*Fresh concrete*). Berdasarkan pengujian ini diperoleh hubungan antara nilai air content terhadap variasi prosentase limbah padat (*slag*).

## 2.7. 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.

### 2.7.1. *Mix design* Berdasarkan DOE (*Departement of Environment*)

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

#### 1. Penentuan Kuat Tekan Beton

Penentuan kuat tekan beton berdasarkan kekuatan beton pada umur 28 hari.

#### 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 Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971.

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

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

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

Kuat tekan beton rata-rata dapat dihitung dengan rumus :

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

Keterangan

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

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

M =  $1.645 \cdot S$  = nilai tambah margin ( $\text{kg/cm}^2$ )

S = standar deviasi ( $\text{kg/cm}^2$ )

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 2.2.** Hubungan kuat tekan beton dengan faktor air semen (FAS)

5. Penentuan Nilai *Slump*

Penentuan nilai slump berdasarkan pemakaian beton untuk jenis konstruksi tertentu sesuai Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971.

6. Penentuan Nilai Kadar Air Bebas

Kadar air bebas ditentukan berdasarkan ukuran agregat, jenis batuan dan nilai slump sesuai Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971.

7. Perhitungan Jumlah Semen yang Dibutuhkan

Kadar atau jumlah semen dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar semen} = \frac{\text{kadarairbebas}}{fas} \quad (2-4)$$

## 8. Penentuan Prosentase Jumlah Agregat Halus dan kasar

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

$$Y = \frac{xa}{100} * ya + \left[ \frac{100 - xa}{1000} \right] * yb \quad (2-5)$$

Keterangan :

Y = perkiraan prosentase kumulatif lolos # 9.6 dan # 0.6

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

perkiraan prosentase lolos ayakan # 9.6 = 50 %

perkiraan prosentase lolos ayakan # 0.6 = 18.5 %

Yb = prosentase kumulatif pasir lolos ayakan # 9.6 dan # 0.6

Ya = prosentase kumulatif split lolos ayakan # 9.6 dan # 0.6

xa = konstanta yang dicari baik dari agregat halus

$$X \text{ rata-rata} = \frac{x1 + x2}{2} \rightarrow \text{prosentase dari agregat halus}$$

Prosentase dari agregat kasar ( Xb) = 100 % - Xa

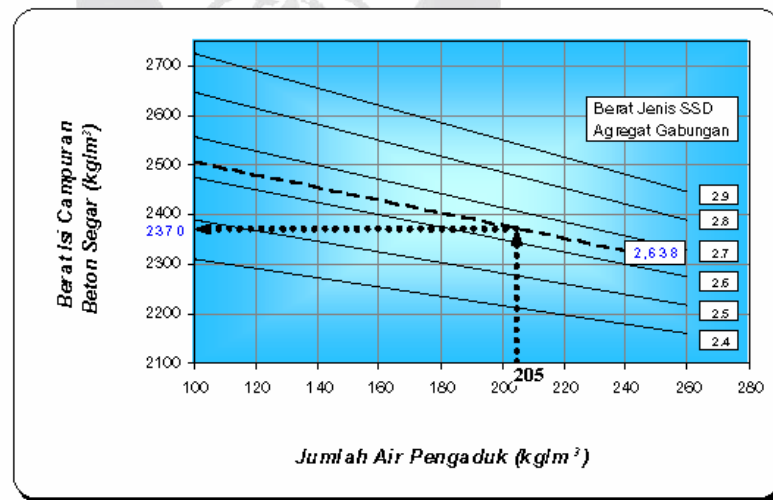
## 9. Penentuan Berat Jenis Gabungan

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 :

$$BJ_{gab} = \frac{xa}{100} * B_{jxa} + \frac{xb}{100} * B_{jxb} \quad (2-6)$$

## 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 2.3.** Hubungan antara berat isi campuran beton, jumlah air pengaduk, dan berat jenis SSD agregat gabungan

## 2.8. Penelitian Sejenis yang Pernah Dilakukan

Beberapa penelitian sejenis yang pernah dilakukan sebagai referensi tambahan yaitu :

1. Studi Eksperimentasi (*respon*) Substitusi Pasir dengan *Bottom Ash* pada Beton Konvensional, (M Hadyan et al, 2005).
  - Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggantian pasir dengan *bottom ash* terhadap perubahan perilaku beton konvensional dan untuk mengetahui variasi optimum campuran pasir dengan *bottom ash* pada beton serta dampaknya terhadap lingkungan serta variasi campuran optimum pasir dengan *bottom ash* dalam beton.
  - Variasi kadar *bottom ash* pengganti pasir dalam beton yang digunakan ialah 0% ; 25% ; 50% ; 75% ; 100%
  - Penelitian ini menggunakan benda uji kubus (15x15x15 cm) sejumlah 20 sampel setiap variasi dengan mutu beton K – 300.
  - Dari hasil penelitian tersebut didapat kesimpulan bahwa kuat tekan beton pada kadar *bottom ash* 25 % merupakan nilai optimum dan menghasilkan kuat tekan tertinggi 35,542 MPa (terjadi peningkatan kuat tekan sebesar

2,81% dari beton normal). Berat beton pada kadar optimum lebih ringan yaitu 8297 gr dibanding beton normal, 8465,5 gr dan harga beton per m<sup>3</sup> lebih murah dibanding beton normal. Sedangkan ditinjau segi dampak penggunaan *bottom ash* pada beton terhadap lingkungan, kadar *bottom ash* 25% memiliki laju perindian lebih kecil dibanding kadar *bottom ash* 50% dan 75%.

2. Studi Pemanfaatan Lumpur Limbah Cair B-3 yang Mengandung Pb dan Cr dari Industri percetakan sebagai Bahan Baku Tambahan Pembuatan *Paving Block*, (Nita Anggraeni, 2004)

- Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan komposisi optimum lumpur limbah cair B-3 sebagai bahan tambahan pembuatan *paving block*, serta untuk mengetahui proses pengikatan dan karakteristiknya.
- Variasi kadar lumpur limbah cair B-3 yang digunakan ialah 10% ; 15% ; 20% ; 25% ; 30% ; 35% ; 40%
- Penelitian ini menggunakan benda uji balok persegi (20x10x5 cm) dengan komposisi campuran pasir : semen, 1 : 3
- Dari hasil penelitian tersebut didapat kesimpulan yaitu kadar lumpur limbah cair B-3 yang dapat dimanfaatkan yaitu antara 10% - 30%. Kadar lumpur limbah cair B-3 yang mempunyai perlakuan paling baik terdapat pada kadar 10% dengan kuat tekan 229,375 kg/cm<sup>2</sup> dan daya serap 11,334%. Harga paving block Rp. 569,- lebih murah dibanding harga paving block sesuai daftar harga bahan bangunan Semarang November-Desember 2003 yaitu Rp. 800,-. Konsentrasi logam berat Pb dan Cr hasil perendaman masih di bawah baku mutu Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Nomor : KEP-04/BAPEDAL/09/1995 tentang Persyaratan Teknis Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun kadar maksimum Cr total dan Pb yang diperbolehkan terhadap lingkungan (air tanah dan air permukaan) masing – masing sebesar 0,5 ppm dan 0,1 ppm. Laju perindian paving block pada akhirnya memenuhi batas IAEA (*International Atomic Energy Agency*) yaitu sebesar 10<sup>-3</sup> gr/cm<sup>2</sup>

3. Pemanfaatan Limbah Sisa Pembakaran Batu Bara (*Fly Ash*) sebagai agregat Buatan pada Beton Ringan (Ria Masruri Nuraikah, 2003)
  - Tujuan dari penelitian ini yaitu :
    - a. Memanfaatkan *fly ash* semaksimal mungkin menjadi bahan utama pembentuk beton.
    - b. Mereduksi berat beton dengan agregat batu pecah dan *fly ash*.
    - c. Membandingkan kekuatan beton normal dan beton ringan dengan penambahan *fly ash*.
  - Variasi kuat tekan rencana yaitu  $f'c$  25 MPa, 35 MPa, 45 MPa
  - Penelitian ini menggunakan benda uji silinder
  - Dari hasil penelitian tersebut didapat kesimpulan yaitu :
    - a. *Fly ash* dapat dimanfaatkan terutama untuk beton mutu rendah.
    - b. Berat jenis material *fly ash* 1,63 sedangkan material normal 2,74
    - c. Mereduksi limbah secara signifikan karena limbah termanfaatkan
    - d. Pemakaian yang efektif dengan kadar *fly ash* 31,5% dengan  $f'c$  4,7 MPa untuk keperluan bangunan non struktural
  
4. Penelitian Pengaruh Limbah Tinta PT. Gramedia terhadap Kuat Tekan Beton Konvensional (Febran *et al*, 2005)
  - Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh penambahan lumpur kering limbah tinta PT. GRAMEDIA ke dalam campuran beton.
  - Variasi kadar lumpur 0% ; 2,5% ; 5% ; 7,5% ; 10%
  - Penelitian ini menggunakan benda uji kubus (15x15x15 cm) sebanyak 20 sampel dengan mutu  $f'c$  22,5 MPa
  - Dari hasil penelitian tersebut didapat kesimpulan yaitu :
    - a. Kuat tekan beton akan menurun sebagai fungsi penambahan limbah.
    - b. Karena berat jenis limbah relatif lebih kecil dari berat jenis pasir, maka penggantian pasir dengan limbah akan menurunkan berat jenis beton.
    - c. Dengan properti bahan dan limbah yang tetap, maka penambahan limbah ke dalam campuran beton akan menurunkan tingkat workabilitas beton.

- d. Pemanfaatan limbah memberikan kontribusi positif terhadap harga, yaitu akan menurunkan biaya produksi.
5. Penelitian Pemanfaatan Limbah Padat (*Slag*) pada Proses Peleburan Baja Sebagai Agregat Kasar Pada Beton (Vena, Zuni, 2006)
- Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pemanfaatan slag sebagai agregat kasar pada beton
  - Variasi slag 60% ; 80% ; 100%
  - Penelitian ini menggunakan benda uji silinder (15x30 cm) sebanyak 18 sampel per variasi dengan mutu  $f'c$  35 MPa
  - Dari hasil penelitian tersebut didapat kesimpulan yaitu :
    - a. Kuat tekan optimum pada variasi 100%
    - b. Kuat tarik optimum pada variasi 100%
    - c. Berat jenis beton berbanding lurus terhadap prosentase *slag*
    - d. Belum dapat ditentukan pola slump karena faktor yaitu suhu, agregat, faktor teknis
    - e. Penggunaan *slag* aman terhadap lingkungan
    - f. Harga beton berbanding terbalik terhadap prosentase *slag*