

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Umum

Dalam melakukan sebuah proses penelitian perlu ditetapkan kriteria-kriteria yang akan digunakan sebagai tolak ukur pelaksanaan, sejak tahap persiapan hingga tahap analisis, penelitian dilaksanakan berdasarkan sumber yang berkaitan dengan topik yang dipilih.

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

- Teori tentang beton.
- Karakteristik lumpur Lapindo sebagai agregat buatan
- Material pada beton.
- *Workability*
- Perencanaan pencampuran beton (*Mix Design*).
- Teknologi furnace dengan suhu tinggi
- Penelitian terdahulu

#### 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 definisi dari beton kini 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).

##### 2.2.1 Beton Ringan

Beton merupakan bahan dari campuran antara semen, agregat halus dan kasar, serta air dengan adanya rongga-rongga udara (Universitas Semarang, 1999:4). Bahan-bahan pembentuk beton harus ditetapkan sedemikian rupa. Umumnya komposisi material pembentuk beton dan kemampuan beton normal adalah :

Tabel 2.1. Unsur Beton

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

Sumber : (Universitas Semarang, 1999: hal 4)

Tabel 2.2. Rancangan Spesifikasi Beton Normal

Semen	Pasir	Kerikil	Berat	$\sigma$ Tekan
375 kg	764,5 kg	951,9 kg	2315 kg	20,45 MPa

Sumber: (Ika Bali, Agus Prakoso.2002)

Sedangkan beton ringan adalah beton yang dihasilkan oleh agregat ringan. Agregat ringan adalah agregat dengan berat jenis rendah. Keuntungan dari struktur yang memakai agregat ringan adalah struktur yang mempunyai berat sendiri ringan sehingga beban yang akan disalurkan pada struktur bawah akan menjadi lebih ringan. Dan selanjutnya pondasi akan menerima beban yang ringan dan dimensi pondasi dapat diperkecil. Namun penggunaan beton ringan juga disesuaikan dengan kepadatan dan kekuatannya sesuai tabel dibawah ini:

Tabel 2.3. Klasifikasi Kepadatan Beton Ringan

No	Kategori Beton Ringan	Berat Isi Unit Beton Kg/m <sup>3</sup>	Tipikal Kuat Tekan Beton	Tipikal Aplikasi
1	Non Struktural	300-1100	<7 Mpa	Insulating Material
2	Non Struktural	1100-1600	7- 14 Mpa	Unit Masonry
3	Struktural	1450-1900	17-35 Mpa	Struktural
4	Normal	2100-2550	20-40 Mpa	Struktural

Sumber: Ringkasan (J Francis Young, 1972; hal 242)

Beton ringan struktural juga didefinisikan sebagai beton dengan berat jenis yang berkisar antara 90 sampai 120 lb/ft<sup>3</sup>. Mengandung agregat buatan ringan natural, seperti batu apung (*pumice*); agregat buatan yang terbuat dari serpihan batu (*shales*), *slates* atau *clay* yang telah melalui proses pembakaran; atau agregat buatan dapat berupa serpihan *slag* yang telah mengalami proses *furnacing* atau agregat buatan dapat berupa terak tanur (*cinders*). Beton ringan digunakan apabila pengurangan berat mati (*dead load*) sangat diperlukan. Biaya pembuatan beton ringan lebih besar  $\pm$  20% dari biaya pembuatan beton normal. Beton ringan memiliki dua jenis, yaitu “*all-lightweight concrete*” dan “*sand-lightweight concrete*”. “*All-lightweight concrete*” terdiri dari *lightweight coarse and fine aggregate*, sedangkan “*sand-lightweight concrete*” terdiri dari agregat kasar ringan dan *natural sand* (James G. Macgregor, 1997).

### 2.2.2 Kuat Tekan Beton

Beton yang baik adalah jika beton tersebut memiliki kuat tekan tinggi. dengan kata lain dapat dikatakan bahwa mutu beton ditinjau hanya dari kuat tekannya saja (Tjokrodimulyo, 1996), kuat hancur antara 20 sampai dengan 50 N/mm<sup>2</sup> pada umur 28 hari bisa diperoleh di lapangan bila pengawasan pekerjaan baik.

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 bergantung 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 batasan 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 FAS minimal dan cukup untuk memberikan *workability* tertentu yang dibutuhkan untuk pemadatan yang sempurna tanpa pekerjaan pemadatan yang berlebihan, merupakan beton yang terbaik.

#### 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 dengan SK SNI M-106-1990-03.

#### 4. Sifat agregat

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

### 2.2.3 Kuat Tarik Beton

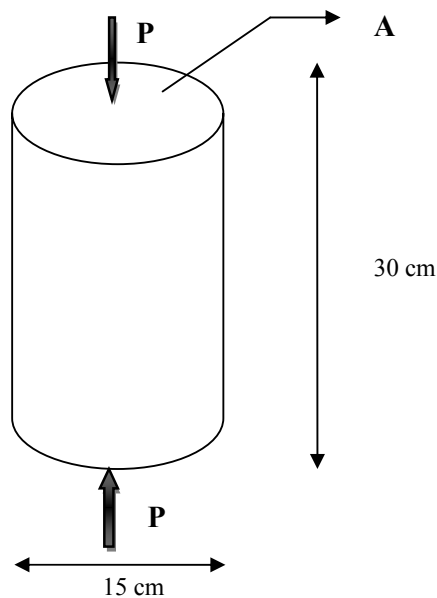
Seperti diketahui bahwa beton merupakan material yang lemah terhadap tegangan tarik. Besarnya kuat tarik untuk beton normal pada umumnya adalah antara 9% - 15% dari kuat tekannya. Kuat tarik bahan beton yang tepat sulit diukur. Nilai pendekatan yang diperoleh dari hasil pengujian berulang kali mencapai kekuatan  $0.5 - 0.6$  kali  $\sqrt{f_c}$ , sehingga digunakan nilai  $0.57\sqrt{f_c}$ , pengujian tersebut menggunakan benda uji silinder beton berdiameter 150 mm dengan panjang 300 mm (Istimawan Dipohusodo, 1999).

### 2.2.4. Tegangan dan Regangan Beton

Tegangan didefinisikan sebagai tahanan terhadap gaya-gaya luar. Intensitas gaya yaitu gaya ( $P$ ) per satuan luas disebut tegangan dan diberi notasi huruf Yunani " $\sigma$ " (sigma). Dengan melihat arah gaya luar yang terjadi maka tegangan dibedakan menjadi dua yaitu:

- **Tegangan tekan (*compressive stress*)**

Yaitu apabila benda uji ditekan dengan gaya  $P$ , dengan mengasumsikan bahwa tegangan terbagi terbagi rata di seluruh penampang, kita dapat melihat bahwa resultannya harus sama dengan intensitas  $\sigma$  dikalikan dengan luas penampang  $A$ .



Gambar 2.1. Tegangan tekan (*compressive stress*) pada beton silinder

Dengan mengasumsikan bahwa tegangan terbagi rata di seluruh penampang,  
 Dengan demikian didapatkan rumus :

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

dimana :

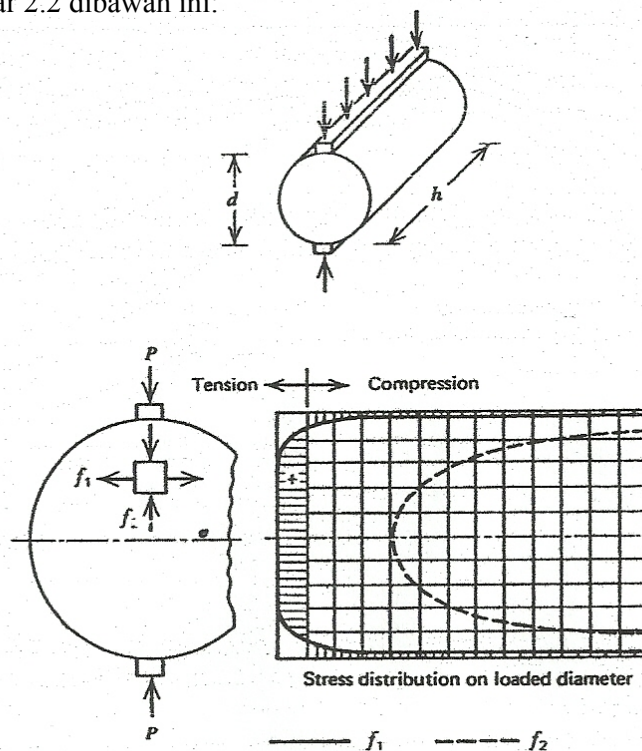
$\sigma$  = tegangan (N/mm<sup>2</sup>)

P = gaya aksial (N)

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

▪ **Tegangan tarik (*tensile stress*)**

Kekuatan tarik pada beton bisa diukur secara tidak langsung bila diketahui nilai tegangan tariknya dengan menempatkan beton silinder secara horizontal pada mesin tes dan dibebani pada penampang memanjang dengan beban yang ditingkatkan bertahap, sampai silinder mengalami kehancuran pada penampang memanjang (R. Park and T. Paulay, 1975). Metode ini dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini:



Gambar 2.2. Uji split silinder menentukan Tegangan tarik (*tensile stress*)  
 (Sumber: Reinforced Concrete Structures, R. Park and T. Paulay, 1975)

$$f_r = \frac{2 p}{\pi h d} \quad (2.2)$$

Keterangan :  $f_r$  = tegangan tarik  $\text{kg/cm}^2$

$p$  = gaya terbesar (ton)

$h$  = tinggi silinder

$d$  = diameter silinder

Jika suatu benda ditekan atau ditarik gaya  $P$  yang diterima benda mengakibatkan adanya ketegangan antar partikel dalam material yang besarnya berbanding lurus. Perubahan tegangan partikel ini menyebabkan adanya pergeseran struktur material himpitan atau regangan yang besarnya juga berbanding lurus. Karena adanya pergeseran, maka terjadilah deformasi bentuk material misalnya perubahan panjang menjadi  $L + \Delta L$  (atau  $L - \Delta L$ ). Dimana  $L$  adalah panjang awal benda dan  $\Delta L$  adalah perubahan panjang yang terjadi. Rasio perbandingan antara  $\Delta L$  terhadap  $L$  inilah yang disebut *strain* (regangan) dan dilambangkan dengan “ $\epsilon$ ” (*epsilon*). Dengan demikian didapatkan rumus:

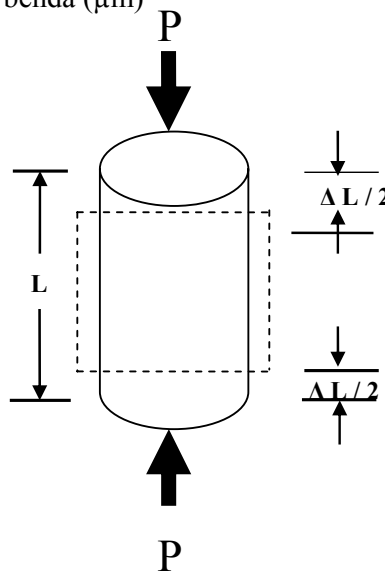
$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.3)$$

dimana :

$\epsilon$  = regangan/ strain ( $\mu\text{m/m}$  atau  $\mu\epsilon$ )

$L$  = panjang benda mula-mula (m)

$\Delta L$  = perubahan panjang benda ( $\mu\text{m}$ )

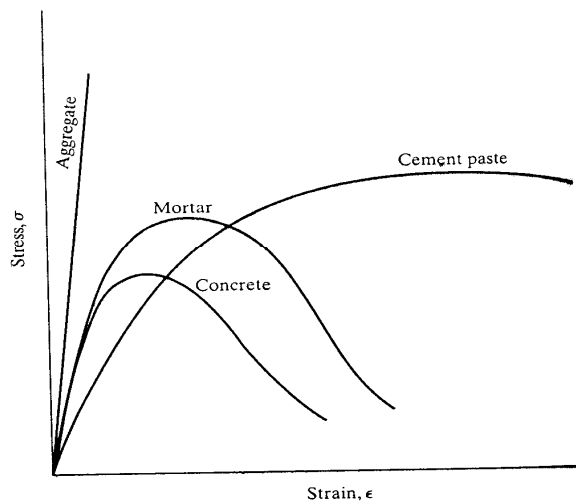


Gambar 2.3. Regangan (*strain*)

Jika batang tersebut mengalami tekan, maka regangannya adalah regangan tekan (compressive strain) dan batang tersebut memendek. Jika batang tersebut mengalami tarik, maka regangannya disebut regangan tarik (tensile strain), yang menunjukkan perpanjangan bahan. regangan tekan bertanda negatif dan regangan tarik bertanda positif. Regangan ( $\epsilon$ ) disebut regangan normal karena regangan ini berkaitan dengan tegangan normal (Gere, Timoshenko, 1997).

### 2.2.5. Kurva Tegangan – Regangan Beton

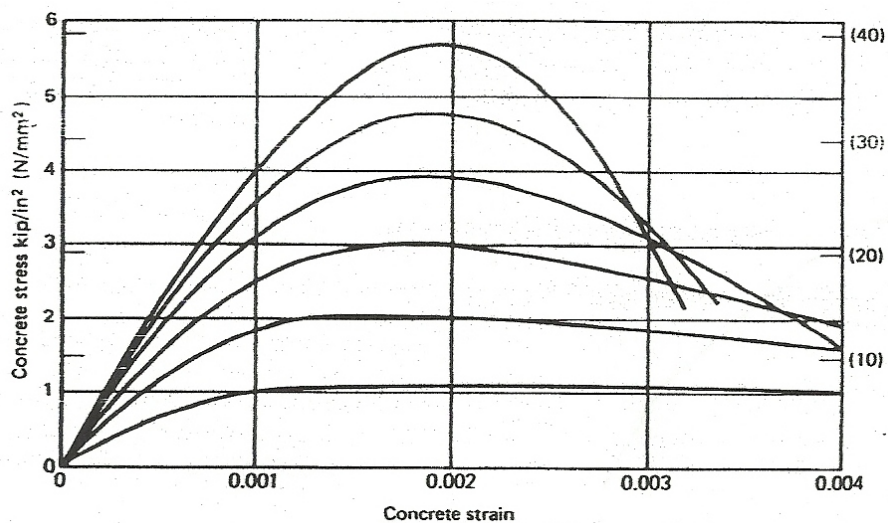
Sebagaimana beban aksial yang bertambah bertahap, pertambahan panjang terhadap panjang *gage* diukur pada setiap pertambahan beban dan ini dilanjutkan sampai terjadi kerusakan (*fracture*) pada spesimen. Dengan mengetahui luas penampang awal spesimen, maka tegangan normal, yang dinyatakan dengan  $\sigma$ , dapat diperoleh untuk setiap nilai beban aksial dengan menggunakan hubungan dimana P menyatakan beban aksial dalam (Newton) dan A menyatakan luas penampang awal ( $\text{mm}^2$ ). Dengan memasangkan pasangan nilai tegangan normal ( $\sigma$ ) dan regangan normal ( $\epsilon$ ), data percobaan dapat digambarkan dengan memperlakukan kuantitas-kuantitas ini sebagai absis dan ordinat. Gambar yang diperoleh adalah diagram atau kurva tegangan-regangan. Kurva tegangan-regangan mempunyai bentuk yang berbeda-beda tergantung dari bahannya. Berdasarkan A.M.Neville (2003) gambar dibawah adalah salah satu kurva tegangan-regangan tipikal untuk agregat, pasta semen, dan beton sebagai berikut :



Gambar 2.4. Kurva stress-strain untuk kondisi tekan pada agregat, pasta semen dan beton  
(Sumber : Properties of Concrete, A.M.Neville, 2003)

Beton adalah suatu material heterogen yang sangat kompleks dimana reaksi terhadap tegangan tidak hanya tergantung dari reaksi komponen individu tetapi juga interaksi antar komponen. Kompleksitas interaksi diilustrasikan dalam gambar 2.4. dimana ditunjukkan kurva tegangan-regangan tertekan untuk beton dan mortar, pasta semen dan agregat kasar. Agregat kasar adalah suatu material getas elastis linier, dengan kekuatan signifikan diatas beton. Pasta semen mempunyai nilai modulus elastisitas rendah, tetapi kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan mortar atau beton. Penambahan agregat halus ke pasta semen menjadi mortar mengakibatkan suatu peningkatan modulus elastisitas, tetapi mereduksi kekuatan. Penambahan agregat kasar ke mortar, dalam ilustrasi diatas, hanya sedikit mempengaruhi modulus elastisitas, tetapi mengakibatkan penambahan reduksi kuat tekan. Secara keseluruhan, perilaku beton adalah serupa dengan unsur pokok mortar, sedangkan perilaku mortar dan beton secara signifikan berbeda dari perilaku baik pasta semen atau agregat.

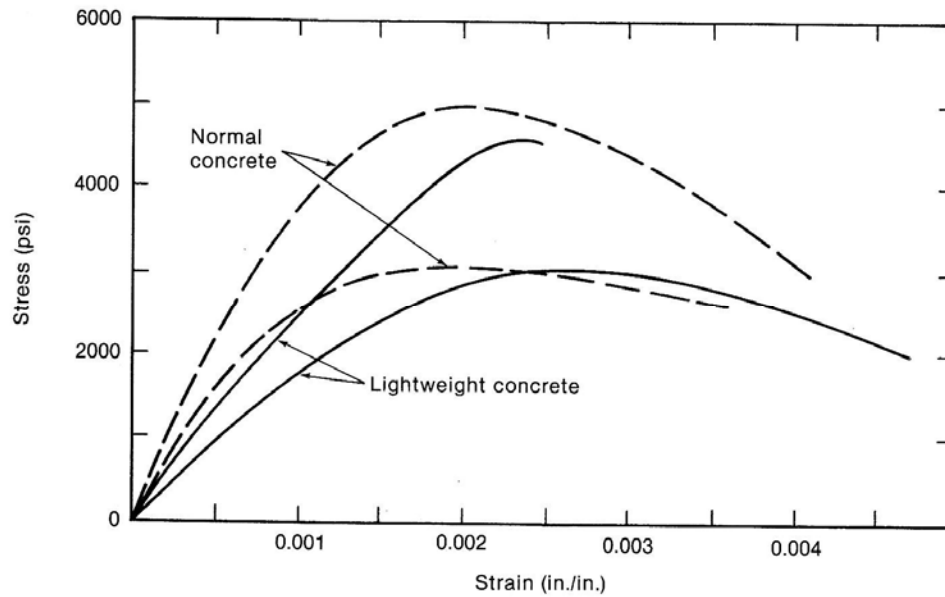
Kurva tegangan-regangan pada Gambar 2.5. dibawah menampilkan hasil yang dicapai dari hasil uji tekan terhadap sejumlah silinder uji beton normal berumur 28 hari dengan kekuatan beragam. Dari kurva tersebut dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu : semakin tinggi mutu beton, maka modulus elastisitasnya akan semakin besar sehingga beton dengan kekuatan lebih tinggi bersifat lebih getas (*brittle*); sedangkan beton dengan kekuatan lebih rendah lebih *ductile* (ulet) daripada beton berkekuatan lebih tinggi, artinya beton tersebut akan mengalami regangan yang lebih besar sebelum mengalami kegagalan (*failure*).



Gambar 2.5. Contoh kurva tegangan-regangan pada beton dengan berbagai variasi kuat tekan

(Sumber : *Properties of Concrete*, A.M.Neville, 2003)





Gambar 2.6. Grafik *Compressive Stress-Strain* pada Beton Normal dan Beton Ringan ,  
 $f'_c = 3000$  dan  $5000$  psi  
 (Sumber : *Reinforced Concrete, James G. Macgregor, 1997*)

Bentuk dari grafik *stress-strain* beton ringan dipengaruhi oleh modulus elastisitasnya yang rendah serta kekuatan rata-rata dari agregat dan pasta semennya. Apabila agregat memiliki kekuatan yang lebih rendah dari pada pasta semen, maka kegagalan cenderung terjadi tiba-tiba pada agregat yang mengakibatkan bagian *descending* pada grafik *stress-strain*-nya sangat pendek (*nonexistent*), seperti yang terlihat pada grafik dengan garis menerus yang terletak di bagian atas. Apabila agregat tidak mengalami kegagalan, bagian *descending* grafik *stress-strain* akan terbentuk dengan baik, seperti yang terlihat pada grafik dengan garis menerus yang terletak di bagian bawah. Modulus elastisitas yang rendah pada beton ringan mengakibatkan nilai *strain* pada saat tegangan maksimum ( $\epsilon_0$ ) mempunyai nilai yang lebih tinggi dari pada beton normal (*James G. Macgregor, 1997*).

### 2.2.6. Model Hubungan Tegangan – Regangan Beton

Model hubungan tegangan regangan yang akan digunakan dalam tugas akhir ini dan telah diusulkan oleh peneliti terdahulu adalah:

#### Model Hognestad

Berdasarkan penelitiannya, Hognestad mengusulkan grafik hubungan antara tegangan-regangan pada beton dengan persamaan rumus seperti berikut ini :

$$\frac{f_c}{f'_c} = \left\{ \left( \frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_o} \right) - \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_o} \right)^2 \right\}$$

(2.4)

dimana :

$f_c$  = tegangan pada beton

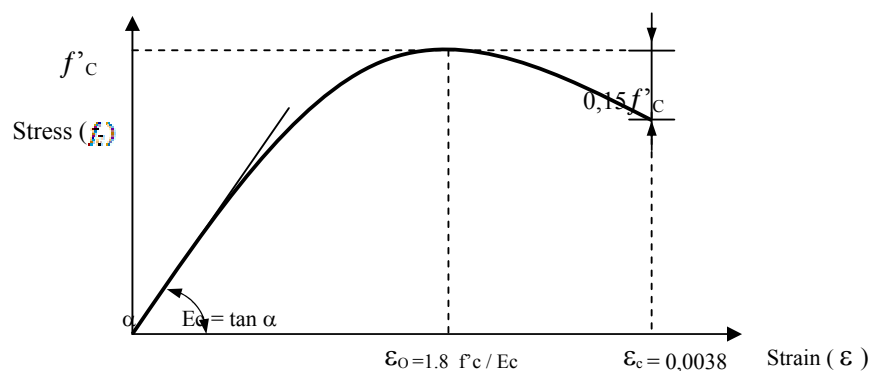
$f'_c$  = tegangan maksimum beton

$\varepsilon_o$  = regangan yang terjadi pada saat tegangan maksimum

$\varepsilon_c$  = regangan pada beton

$E_c = 4730 \sqrt{f'_c}$  MPa

Bila ditampilkan dalam bentuk grafik maka akan terlihat sebagai berikut :



Gambar 2.7. Model tegangan-regangan usulan Hognestad

(Sumber : *Reinforced Concrete Structures*, R. Park and T. Paulay, 1975)

### 2.2.7. Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas atau modulus Young merupakan ukuran kekakuan suatu material. Semakin besar harga modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi pada suatu tingkat pembebanan tertentu, atau dapat dikatakan material tersebut semakin kaku (*stiff*). Pada grafik tegangan-regangan (Gambar 2.7.), modulus kekakuan tersebut dapat dihitung dari slope kemiringan garis elastis yang linier, diberikan oleh :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ atau } E = \tan \alpha \quad (2.5)$$

dimana  $\sigma$  adalah tegangan aksial searah sumbu benda uji,  $\epsilon$  adalah regangan aksial,  $\alpha$  adalah sudut yang dibentuk oleh daerah elastis kurva tegangan-regangan dan E adalah konstanta proporsionalitas yang dikenal dengan modulus elastisitas bahan tersebut. Modulus elastisitas suatu material ditentukan oleh energi ikat antar atom-atom, sehingga besarnya nilai modulus ini tidak dapat dirubah oleh suatu proses tanpa merubah struktur bahan. Modulus elastisitas adalah kemiringan kurva tegangan-regangan di dalam daerah elastis linier pada sekitar 40% beban puncak (*ultimate load*) (Gere, Timoshenko, 1997).

Modulus elastisitas beton memiliki nilai yang bervariasi tergantung dari beberapa faktor, diantaranya adalah kuat tekan beton. Makin tinggi kuat tekannya maka modulus elastisitasnya juga makin besar, dimana perubahan panjang yang terjadi akibat pembebanan tekan akan makin kecil. Hal ini disebabkan kondisi beton makin keras sehingga dengan energi yang sama akan dihasilkan pemendekan dan regangan yang lebih kecil bila dibandingkan beton yang kuat tekannya kecil (Sukoyo, 2008).

### 2.3. Karakteristik Lumpur Lapindo dan Tanah Liat (Clay)

Peristiwa Porong adalah peristiwa yang pertama terjadi di dunia (Makky S. Jaya). Dimana dari hasil penelitian berbagai pakar didapatkan bahwa lumpur Porong Lapindo ini memiliki kandungan seperti mangan, natrium, besi (terlarut dalam 0,1 N), Chlor, Aluminium, Boron, batrium, timbale, Raksa ( 2,565 mg/liter Hg → baku mutunya: 0,002 mg/l Hg ), sianida bebas, arsen, HCL > 700 ppm, zat B3 (bahan beracun berbahaya) (Gempur Adnan), minyak dan lemak, BOD dan COD serta kandungan minyak dan lemak

yang cukup tinggi dan akan cukup berbahaya bila langsung dibuang di perairan seperti sungai, irigasi dan lain- lain.

**Tabel 2.4. Kandungan Kimia Lumpur Lapindo**

Nama Material	Kandungan Kimia (%)										
	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Hilang Pijar
Lumpur Lapindo	53,1	2,07	5,6	18,27	0,57	2,89	2,97	1,44	2,96	-	10,15

**Sumber:**, Ngk. Made Wiryasa Anom ,I Nyoman Sugita, dan Agus Surya Wedasono.2008  
Pemanfaatan lumpur panas Lapindo di Porong, Sidoarjo untuk bahan bangunan dinilai aman bagi kesehatan. Meski mengandung senyawa phenol, seng, tembaga dan krom, karena tidak langsung kontak fisik dengan manusia, bahan bangunan dari lumpur, aman bagi kesehatan (Mukono,2006). Selain aman untuk kesehatan, lumpur Lapindo mengandung senyawa material yang mirip pozolanik material. Lumpur Lapindo juga diklarifikasikan ke dalam kelas IV, dimana berpotensi sebagai bata ber dinding tipis, berongga, keramik dan material bahan bangunan lainnya (Diagram Winkler,2006).  
Berikut merupakan hasil uji tekstur tanah lumpur Lapindo yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya:

**Tabel 2.5. Tekstur Tanah Lumpur Sidoarjo**

Tekstur Tanah	Persentase(%)
<i>Sand</i> (pasir)	11,20 %
<i>Silt</i> (debu)	59,36 %
<b><i>Clay</i> (lempung)</b>	<b>29,44%</b>

Sumber: Arya Mufti, 2009

## 2.4 Material

Material penyusun pada beton dengan lumpur Lapindo dan *clay* 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 dicampur 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 Teknologi Beton (Tri Mulyono, 2004)

#### 2. Sifat fisik semen

Sifat fisik semen portland yaitu:

##### a Kehalusan butir

Semakin halus semen, maka permukaan butirnya 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

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 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 tidak berubah. Pengerasan palsu biasanya terjadi jika semen mengeras kurang dari 60 menit.

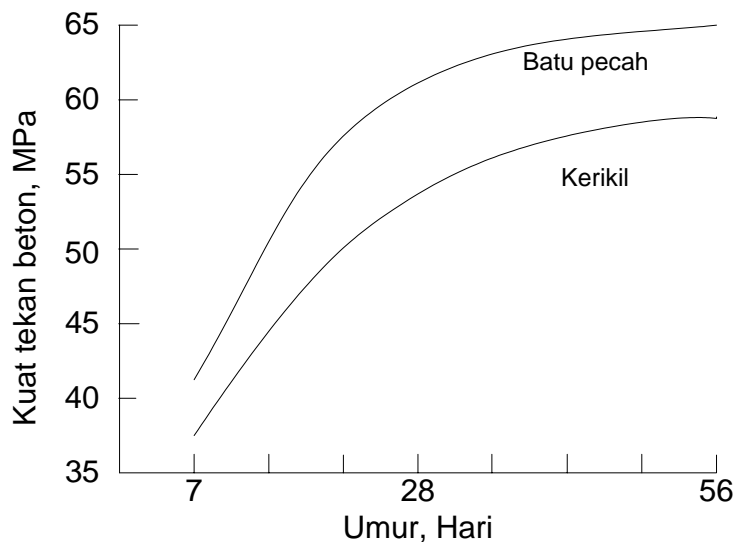
##### f Pengaruh suhu

Pengikatan semen berlangsung dengan baik pada suhu 30°C dan berjalan dengan lambat pada suhu dibawah 15°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, agregat kasar mempunyai porsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan agregat halus, sehingga secara keseluruhan material pembentuk beton sangat didominasi oleh agregat kasar. Suatu kepastian dalam batasan pemilihan agregat adalah harus memiliki bentuk yang baik (bulat atau mendekati kubus), bersih, keras, kuat, dan gradasinya baik.

Fungsi agregat 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. 2.2** batu pecah yang memiliki permukaan yang lebih kasar dari pada kerikil sehingga memberikan kuat tekan yang lebih tinggi pada beton.



(Sumber, Kardiyono Tjokrodimulyo)

**Gambar 2.8.** Grafik pengaruh Jenis Agregat Terhadap Kuat Tekan Beton

Agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu:

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

Adukan beton yang berdasar pada nilai slump yang besar, pengaruh itu tidak tampak karena agregat yang permukaan halus memerlukan jumlah air yang lebih rendah sehingga nilai FAS rendah dan mengakibatkan kuat tekan beton lebih tinggi. Besar ukuran maksimum agregat mempengaruhi kuat tekan beton. Jumlah pasta diperlukan lebih sedikit pada pemakaian ukuran butir agregat maksimum lebih besar untuk mengisi rongga antar butir yang berarti lebih sedikit pori - pori pada beton sehingga menyebabkan kuat tekan beton lebih tinggi. Sebaliknya untuk ukuran agregat yang lebih besar maka luasannya lebih kecil yang terisi oleh pasta sehingga lekatan antara permukaan agregat dan pastanya kurang kuat dan menyebabkan menurunnya mutu beton. Dengan alasan inilah maka untuk mendapatkan beton dengan kuat tekan yang cukup tinggi maka dianjurkan untuk memakai agregat dengan ukuran butir maksimum 10 mm.

#### **2.4.2.1 Berat Jenis Agregat**

Menurut 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, blast, kuarsa dan sebagainya.

##### 2. Agregat berat

Agregat berat memiliki berat jenis  $2,8 \text{ kg/dm}^3$  keatas, contohnya *magnetic* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), *baryets* ( $\text{BaSO}_4$ ), atau serbuk besi.

##### 3. Agregat ringan

Agregat ringan memiliki berat jenis kurang dari  $2,0 \text{ kg/dm}^3$ . Agregat ringan misalnya *diatomite*, *Pumice*, tanah bakar, abu terbang, busa terak tanur tinggi. Esensi agregat ringan adalah agregat yang mempunyai berat jenis yang ringan dan porositas yang tinggi, yang dapat dihasilkan dari agregat alam maupun fabrikasi. Berdasarkan pengertian tersebut ada dua metode untuk membuat beton ringan menggunakan agregat ringan. Pertama adalah membentuk dengan menggunakan agregat ringan yang porous dan berat jenis yang kecil, beton yang terbentuk dinamakan beton agregat ringan. Kedua adalah membuat pori yang tinggi pada beton dengan membentuk massa

massa mortar salah satunya dengan menambah kandungan udara pada beton. Beton yang dibentuk dinamakan beton hampa udara, beton sellular, *foamed or gas concrete* (Tri Mulyono, 2003).

#### 2.5.2.2 Gradasi Agregat

Gradasi agregat ialah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butiran-butiran agregat mempunyai ukuran 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 besar, sehingga pori-pori menjadi sedikit, dengan kata lain kemampuan menjadi tinggi (Tjokrodimulyo, 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. Semakin tinggi angka pori dalam agregat berarti semakin tinggi angka pori dalam beton yang pada akhirnya akan menyebabkan turunya kekuatan beton (Tri Mulyono, 2004)

#### 2.4.2.4 Modulus Halus Butir

Modulus halus butir (*fineness modulus*) adalah suatu indeks yang dipakai untuk kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Makin besar nilai modulus halus butir suatu agregat berarti semakin besar ukuran 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 (dilatangan) perlu diketahui untuk menghitung jumlah air yang diperlukan untuk campuran beton dan untuk mengetahui berat suatu agregat. Keadaan yang dipakai sebagai dasar hitungan adalah agregat kering oven dan jenuh kering muka karena konstan untuk agregat tertentu.

$$w = \frac{K - K_{jkm}}{100} * W_{ag} \quad 2.6$$



Keterangan:

- w : air tambahan dari agregat (liter)  
K : kadar air dilapangan  
Kjkm : kadar air jenuh kering muka (%)  
Wag : berat agregat

#### 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 0,063mm. 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 31,5mm, 16mm, 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm (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 pakai sebagai sebagai agregat halus 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 5mm.
2. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih 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 Rudeleoff dengan beban pengujian 20 Kg, dan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:
  - a Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5-19mm lebih berat dari 24% berat.
  - b Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19-30mm lebih dari 22% atau dengan mesin Los Angles, 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: 31,5mm, 16mm, 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm, 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 plat 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, analisa saringan, analisa 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  $\mu\text{m}$  (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 diatas saringan dengan diameter 0.15mm.

Pemeriksaan kadar air dalam 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 dapat diserap agregat, dihitung terhadap berat kering. Pada pemeriksaan kadar air, berat isi dan berat jenis dilakukan dalam kondisi asli dan SSD (*saturated surface dry*). 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 *workability*.

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.

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 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 dapat dipakai untuk membuat adukan beton dapat ditentukan dengan ukuran isi atau ukuran berat dan harus dilakukan setepat-tepatnya.

## 2.5 Workability

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

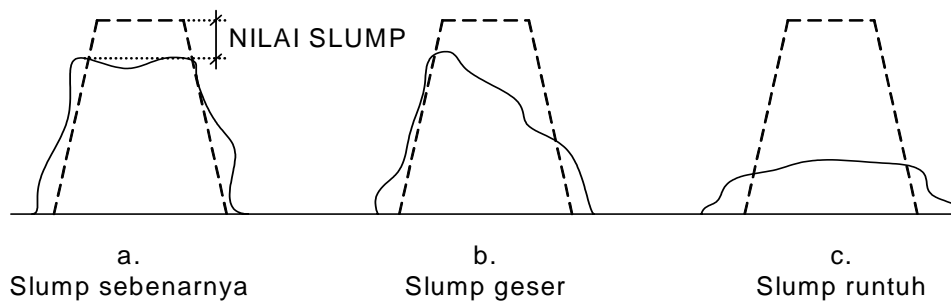
- a *Plasticity*, artinya adukan beton harus cukup plastis (Kondisi antara cair dan padat), sehingga dapat dikerjakan dengan mudah tanpa perlu usaha tambahan ataupun terjadi perubahan bentuk pada adukan.
- b *Cohesiveness*, artinya adukan beton harus mempunyai gaya-gaya kohesi yang cukup sehingga adukan masih saling melekat selama proses pengerjaan.
- 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 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. 2.9** Tipe-tipe keruntuhan Slump

## 2.6 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.

### 2.6.1 *Mix Design* Beton Normal Berdasarkan DOE

Langkah-langkah dalam perhitungan perencanaan beton normal 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

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 gauss) maka kekuatan tekan beton karakteristik adalah:

$$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - 1.645 \cdot S. \quad (2.7)$$

kuat tekan beton rata-rata dapat dihitung dengan rumus:

$$\sigma'_{bm} = \sigma'_{bk} + 1.645 \cdot S. \quad (2.8)$$

keterangan

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

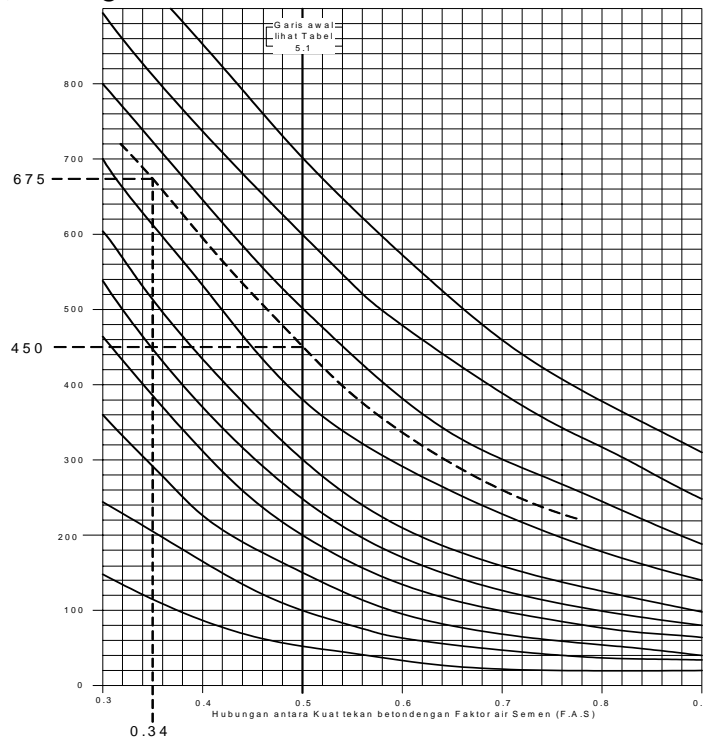
$\sigma'_{bk}$  = kuat tekan beton yang direncanakan ( $\text{kg/cm}^2$ )

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

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

### 4. Mencari faktor air semen

Faktor air semen dicari dengan grafik hubungan kuat tekan dengan faktor air semen, sesuai grafik 2.2:



**Gambar 2.10.** Grafik hubungan Kuat Tekan Beton Dengan Faktor Air Semen (FAS)  
(Teknologi Beton, Trimulyono, 2003)

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 abtuandan nilai *Slump* sesuai Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971

7. Perhitungan jumlah semen yang dibutuhkan

Kadar atau jumlah semen dapat dihitung dengan rumus:

$$Kadar\ semen = \frac{kadar\ air\ bebas}{FAS} \quad (2.9)$$

8. Penentuan prosentase jumlah agrgat halus dan kasar

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

$$Y = \frac{xa}{100} * ya + \left[ \frac{100 - xa}{1000} \right] * yb \quad (2.10)$$

Keterangan:

Y= perkiraan persenase kumulatif lolos #9.6 dan #0.6

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

Perkiraan persen lolos ayakan #9.6 = 50%

Perkiraan persen 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

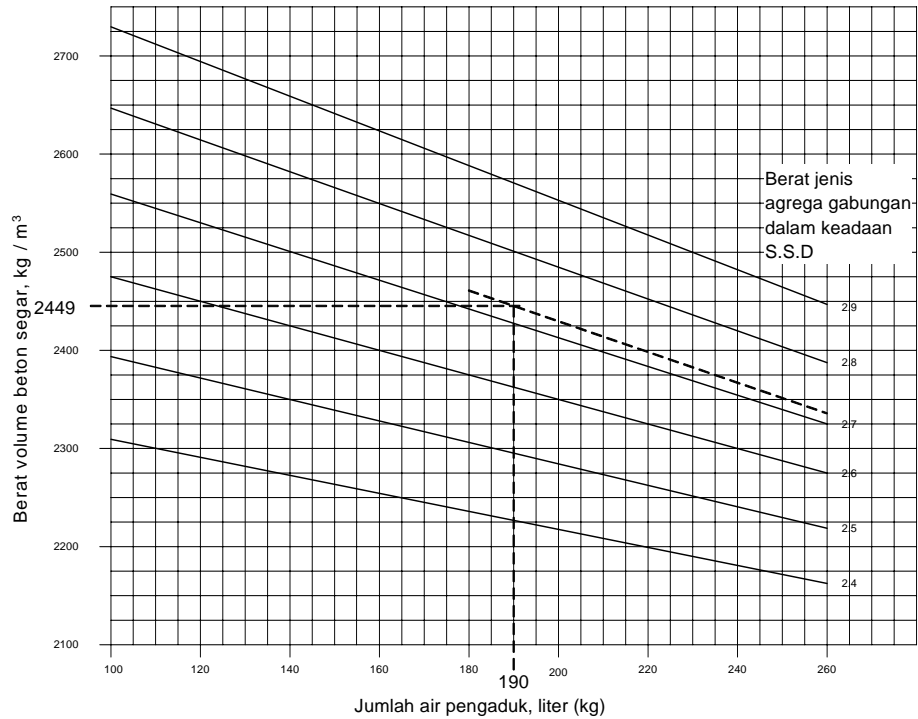
9. Penentuan berat jenis gabungan

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

$$\gamma_{gabungan} = \frac{xa}{100} * \gamma_{xa} + \frac{xb}{100} * \gamma_{xb} \quad (2.11)$$

10. Penentuan berat beton segar

Berat segar dapat ditentuakn dengan menggunakan grafik 2.3 berdasarkan data berat jenis gabungan dan kebutuhan air pengaduk untuk setiap meter kubik.



**Gambar 2.11.** Grafik hubungan Antara Berat Isi Campuran Beton, Jumlah Air Pengaduk dan Berat Jenis SSD Agregat Gabungan (Teknologi Beton, Trimulyono, 2003)

### 2.6.2 Mix Design Beton Lapindo

Beton Lapindo adalah beton yang agregat kasarnya merupakan artificial aggregate dari lumpur Lapindo dan tanah liat setelah mengalami proses pembakaran (*furnacing*). Beton yang akan dibuat direncanakan sesuai standar (SNI 03-2847-2002 atau DOE) dengan kekuatan 20, 30 dan 40 Mpa berbentuk silinder berukuran 100 x 200 mm. Pada dasarnya campuran beton Lapindo dapat diperoleh dari komposisi campuran beton normal yang dihasilkan dari mix design. Volume agregat kasar pada beton normal selanjutnya disibtitusi dengan agregat ringan pada kondisi SSD. Dari hasil mix design, diperoleh proporsi campuran untuk kuat tekan tertentu pada beton normal dalam perbandingan berat PC: PS: KR. Proporsi agregat kasar selanjutnya dikonversi kedalam volume dengan menggunakan bobot isi agregat kasar. Adapun penyelesaiannya sebagai berikut:

$$V_{ag} = \frac{W_{ag}}{\gamma_{ag}} \quad (2.12)$$

Dimana:

$V_{ag}$  : Volume agregat alam (dm<sup>3</sup>)

$W_{ag}$  : Berat agregat kasar alam SSD (kg)

$\gamma_{ag}$  : Bobot isi agregat kasar alam (kg/dm<sup>3</sup>)



Selanjutnya agregat kasar alam diganti dengan agregat ringan buatan dengan volume yang sama, dengan menggunakan bobot isi agregat ringan. Volume agregat ringan dapat ditentukan sebagai berikut:

$$W_{agr} = \gamma_{agr} \times V_{agr} \quad (2.13)$$

Dimana:

$V_{agr}$  = Volume Agregat ringan ( $\text{dm}^3$ )

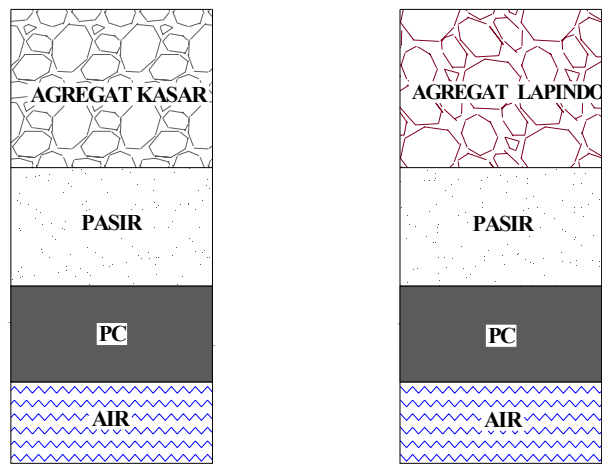
$W_{agr}$  = Berat agregat ringan SSD (kg)

$\gamma_{agr}$  = Bobot isi agregat ringan ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )

Karena  $V_{agr} = V_{ag}$ , maka pada persamaan 2.12 dapat ditulis menjadi:

$$W_{agr} = \frac{\gamma_{agr}}{\gamma_{ag}} \times W_{ag} \quad (2.14)$$

Adapun sketsa gambar bahan campuran beton normal dan beton ringan adalah sebagai berikut:



Beton Normal

Beton Lapindo

Gambar 2.12. Sketsa Bahan Campuran Beton Normal Dan Beton Lapindo

Alat – alat yang digunakan akan digunakan dibersihkan terlebih dahulu, kemudian bahan-bahan yang akan digunakan seperti semen, pasir, *artificial aggregate* dan air dipersiapkan sesuai dengan ketentuan dan ditimbang sesuai

dengan yang direncanakan. Dimana sebelumnya data-data seperti  $\gamma$  (berat jenis), SSD pasir alam,  $\gamma$  dan SSD agregat kasar, kadar air SSD (pasir), kadar air SSD (agregat kasar), kadar air asli (pasir), kadar air asli (agregat kasar), berat isi asli (semen), berat isi asli (pasir), berat isi asli (agregat kasar) di cari terlebih dahulu.

Selanjutnya siapkan molen yang bagian dalamnya sudah dilembabkan dan pencampuran siap dimulai. Mula- mula tuangkan *artificial aggregate*, pasir dan semen. Apabila ketiga bahan tersebut telah tercampur merata kemudian dilanjutkan dengan penambahan air dengan jumlah sesuai perencanaan. Setelah tercampur merata adukan beton dituangkan kedalam talam dan dilakukan pengukuran nilai slump. Adukan yang telah diuji nilai slumpnya akan dimasukkan ke dalam cetakan beton secara bertahap sebanyak 3 lapisan dimana setiap lapisan ditusuk sebanyak 25 kali dengan batang baja sebanyak setinggi 50 cm. Setelah beton dicetak dan didiamkan sampai mengeras selama 1 x 24 jam, kemudian beton akan dikeluarkan dari cetakan dan akan dilakukan perawatan (*curing*), guna menjaga suhu optimal beton selama 2 hari. Selanjutnya beton ditempatkan pada ruangan terbuka sampai dengan umur uji (28 hari).

## **2.7. Teknologi *Furnace* dengan suhu tinggi**

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas, atau panas dan cahaya disertai pengubahan massa yang rapuh menjadi massa yang padat, keras dan kuat. Pembakaran benda uji nantinya dilakukan dalam sebuah tungku (*furnace*) dengan suhu tinggi. Ada beberapa parameter yang mempengaruhi hasil pembakaran diantaranya suhu ,atmosfer tungku, dan mineral yang terlibat (Magetti, 1982).

Selama pembakaran, benda uji mengalami beberapa reaksi-reaksi penting, hilang/muncul fase-fase mineral, dan hilang berat (*weight loss*). Dari penelitian yang sudah dilakukan didapat bahwa lumpur Lapindo tersebut mengandung mineral-mineral silikat seperti albit, kaolinit, halit, dan kuarsa yang berguna dalam pembuatan produk keramik.

Di dalam proses pembakaran tahap pertama yang terjadi adalah pengeringan, dimana ketika sebuah partikel dipanaskan dikenai temperatur tinggi atau radiasi api, air dalam bentuk *moisture* di permukaan bahan bakar akan menguap, sedangkan yang berada di dalam akan mengalir keluar melalui pori-pori partikel dan menguap. *Moisture* dalam bahan bakar padat terdapat dalam dua bentuk, yaitu sebagai air bebas (*free water*) yang mengisi rongga pori-pori di dalam bahan bakar dan sebagai air terikat *bound water* yang terserap di

permukaan ruang dalam struktur bahan bakar (Borman dan Ragland, 1998). Waktu pengeringan adalah waktu yang diperlukan untuk memanaskan partikel sampai ke titik penguapan dan melepaskan air tersebut. Kesetimbangan energi pada partikel kecil menyatakan laju perubahan energi dalam partikel sama dengan laju kalor untuk menguapkan air ditambah laju perpindahan kalor ke partikel melalui konveksi dan radiasi (Borman dan Ragland, 1998).

Proses pengeringan akan dilanjutkan dengan proses *devolatilisasi/pirolisis*. Setelah proses pengeringan, bahan bakar mulai mengalami dekomposisi, yaitu pecahnya ikatan kimia secara termal dan zat terbang (*volatile matter*) akan keluar dari partikel (Borman dan Ragland, 1998).

## 2.8 Penelitian sejenis yang pernah dilakukan

Berbagai penelitian dilakukan terhadap lumpur Lapindo, baik mengenai karakteristik maupun komponen penyusunnya. Berikut merupakan hasil penelitian mengenai lumpur Sidoarjo :

1. Material padatan lumpur terdiri atas kandungan material liat  $Al_2O_3$ , silikat  $SiO_4$  dan zeolit (Mochamad Toha, 2008)
2. Karakteristik lumpur mengandung clay 71,43 %, silt 10,71 % dan sand 17,86 (Totok Nurwarsito ITS, 2006)
3. Lumpur mengandung unsur yang positif S, K, Ca, Mg, Kapasitas Tukar Kation dan unsur negatif seperti : Na, Al, Fe, Cl dan *Electric Conductivity* (Syekfani Unibraw, 2006).

Berdasarkan hasil penelitian di atas, terlihat bahwa lumpur Sidoarjo memiliki beberapa potensi yang dapat dikembangkan, antara lain sebagai berikut :

- a. Kehalusan material padatan penyusun lumpur menyebabkan lumpur berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai material pembuat beton, terutama sebagai *filler* (pengisi) yang berfungsi untuk peningkatan gradasi yang memiliki kemampuan bisa menutup pori-pori. Kandungan silikat dan zeolit dapat mengikat semen dan meningkatkan kekuatan beton.
- b. Kandungan material silikat dan zeolit yang dapat mengikat semen juga memungkinkan lumpur digunakan sebagai bahan baku pembuatan paving block, genteng maupun batu bata.
- c. Kandungan material liat dan silikat serta kandungan ion-ion positif dan negatif dalam lumpur, memungkinkannya untuk dimanfaatkan sebagai bahan penyerap atau adsorben.