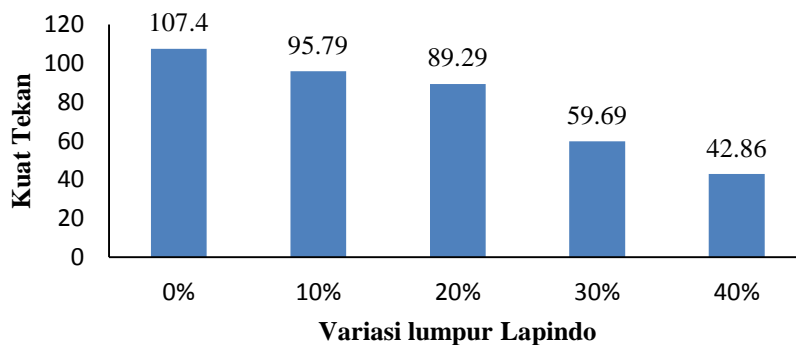


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

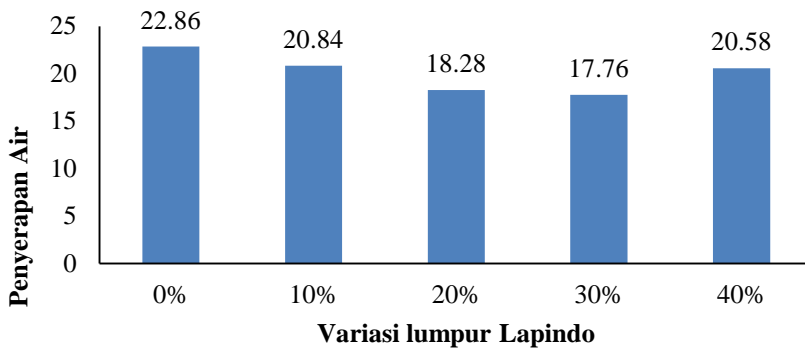
### 2.1 Penelitian Terdahulu

#### 1. Pemanfaatan lumpur lapindo sebagai bahan substitusi semen dalam pembuatan bata beton pejal

Penelitian yang dilakukan oleh (Wiryasa dan Sudarsana, 2009) tentang pemanfaatan lumpur lapindo sebagai bahan substitusi semen dalam pembuatan bata beton pejal . penelitian ini mensubstitusikan semen dengan lumpur lapindo untuk mengetahui adukan yang ideal untuk kuat tekan dan penyerapat air dari bata beton pejal. Perbandingan berat antara pasir yang digunakan adalah 1 : 8 dengan factor air dengan semen 0,4 dan benda uji dites pada saat umur 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan lumpur lapindo sebesar 24,56% dapat menurunkan persentase penyerapan air secara optimum sebesar 18,21% dan menghasilkan kuat tekan sebesar 71,5 kg/cm<sup>2</sup> yang termasuk dalam bata beton bejal mutu B1. Kandungan SiO<sub>2</sub> berfungsi sebagai bahan pengisi. Kecilna nilai penyerapan air dapat meningkatkan ketahanan (durability) bata beton pejal. Penggunaan lumpur lapindo sebesar 7,25% dapat menghasilkan beton pejal mutu B2, dengan kuat tekan sebesar 00,1 kg/cm<sup>2</sup> dan penyerapan air sebesar 20,72%.



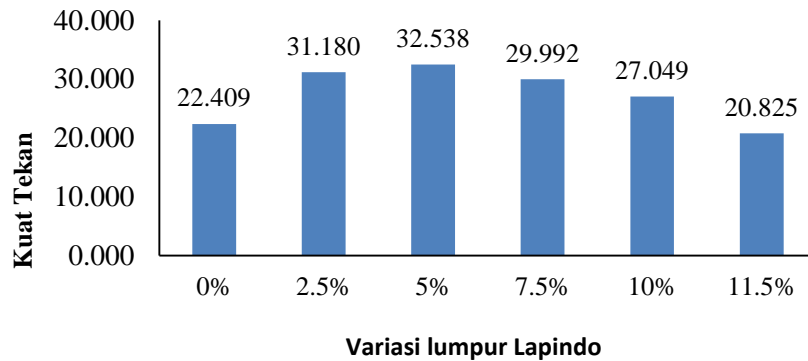
Gambar 2.1 Perbandingan lumpur lapindo terhadap kuat tekan  
(Sumber: Wiryasa dan Sudarsana, 2009)



Gambar 2.2 Perbandingan lumpur lapindo terhadap penyerapan air  
(Sumber: Wiryasa dan Sudarsana, 2009)

## 2. Tinjauan kuat tekan beton dengan pemanfaatan lumpur kering tungku ex. Lapindo sebagai semen

Penelitian yang dilakukan oleh (Suprianto, 2012) tentang tinjauan kuat tekan beton dengan pemanfaatan lumpur kering tungku ex. Lapindo sebagai semen. Penelitian ini memanfaatkan lumpur Sidoarjo dengan cara pengolahan teknologi yang sederhana sebagai bahan pengganti semen pada campuran beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kuat tekan beton pada saat umur 28 hari. Variasi lumpur Sidoarjo kering tungku adalah 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 11,5% terhadap berat semen. Pengujian yang telah dilakukan memperoleh kuat tekan rata-rata beton berturut-turut sebesar 22,409 Mpa, 31,180 Mpa, 32,538 Mpa, 29,992 Mpa, 27,049 Mpa, 20,825 Mpa. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan lumpur Sidoarjo sebagai pengganti semen dapat meningkatkan kuat tekan beton. Nilai kuat tekan optimum yang diperoleh saat prosentase 5% sebesar 32, 538 Mpa dan pada saat prosentase 10% nilai kuat tekan lebih tinggi dari nilai kuat tekan beton normal. Prosentae maksimal dimana nilai kuat tekan sama dengan nilai kuat tekan beton normal adalah 11,8%. Sedangkan prosentase dengan kuat tekan beton yang sama dengan kuat tekan rencana beton normal adalah 10,8%.



Gambar 2.3 Perbandingan lumpur lapindo terhadap kuat tekan  
(Sumber: Suprianto, 2012)

## 2.2 Beton

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi terpopuler yang digunakan sejak ratusan tahun yang lalu. Beton dipilih Karena mempunyai banyak kelebihan dibandingkan bahan yang lain. Beton adalah campuran antara semen Portland, agregat (agregat kasar dan agregat halus), air dan terkadang ditambah dengan menggunakan bahan tambahan yang bervariasi mulai dengan bahan tambahan kimia, serat sampai dengan bahan buangan non kimia pada perbandingan tertentu (Tjokrodimuljo, 2007).

Beton mempunyai karakteristik berupa kuat tekan hancur yang tinggi tetapi memiliki kuat tarik hancur yang rendah. Kualitas suatu beton dipengaruhi oleh bahan-bahan penyusun dari beton tersebut, sehingga harus diperhatikan kualitas dari masing-masing bahan agar mendapatkan hasil perencanaan beton sesuai yang diharapkan.

Pada umumnya beton yang baik merupakan beton yang memiliki nilai kuat tekan tinggi, sehingga dapat dikatakan bahwa suatu mutu beton ditinjau dari nilai kuat tekannya. Beton mutu rendah mempunyai kuat tekan kurang dari 20 MPa, beton mutu sedang mempunyai kuat tekan 21 MPa sampai dengan 40 MPa, sedangkan beton mutu tinggi mempunyai kuat tekan lebih dari 41 MPa (SNI 03-6468-2000) dan beton normal mempunyai berat jenis sebesar 2200 Kg/m<sup>3</sup> sampai dengan 2500 Kg/m<sup>3</sup>. Kekuatan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain yaitu: faktor air semen(fas), kepadatan, umur beton, jenis dan jumlah semen, serta sifat dari agregat (Tjokrodimuljo, 2007).

Beton didapatkan dengan cara mencampur agregat alami (kerikil dan pasir) atau batu pecah yang berfungsi untuk pengisi dan pasta semen yang berfungsi sebagai perekat atau pengikat dalam proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat sehingga terbentuklah satu kesatuan yang padat dan tahan lama.

Dalam perencanaan campuran beton harus dipenuhi persyaratan sebagai berikut (SNI 03-2834-2002) :

1. Perhitungan perencanaan beton harus didasarkan pada sifat-sifat bahan yang akan dipergunakan dalam produksi beton;
2. Susunan campuran beton yang coba diperoleh dari perencanaan ini harus dibuktikan melalui campuran coba yang menunjukkan bahwa proporsi tersebut dapat memenuhi kebutuhan beton yang diisyaratkan.

### **2.3 Kelebihan dan Kekurangan Beton**

Kelebihan yang dimiliki oleh Beton.

1. Beton mampu menahan gaya tekan dengan baik, serta mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan pembusukan oleh kondisi lingkungan.
2. Beton lebih murah dibandingkan dengan baja.
3. Beton tahan aus dan tahan bakar, sehingga memiliki perawatan yang lebih murah.
4. Beton segar dapat dengan mudah dicetak sesuai dengan keinginan.
5. Beton segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang telah retak maupun dapat diisikan kedalam retakan beton pada saat proses perbaikan.
6. Beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat yang posisinya tinggi maupun sulit.

Namun Beton juga mempunyai sejumlah kekurangan diantaranya :

1. Beton dianggap tidak mampu menahan gaya tarik, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu diberi baja tulangan sebagai penahan gaya tarik.
2. Beton keras menyusut dan mengembang bila terjadi perubahan suhu, sehingga perlu dibuat dilatasi (*expansion joint*) untuk mencegah terjadinya retakan akibat dari terjadinya perubahan suhu.
3. Untuk mendapatkan beton yang kedap air secara sempurna, maka harus dilakukan dengan pengerjaan yang teliti.
4. Beton bersifat getas atau tidak daktil, sehingga harus dihitung dan diteliti secara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktil, terutama pada struktur bangunan tahan gempa.

## 2.4 Bahan Penyusun Beton

Bahan dasar pembentuk beton pada penelitian ini terdiri dari, semen, pasir, air dan lumpur Lapindo.

### 2.4.1 Semen Portland

Semen merupakan material perekat untuk kerikil (agregat kasar), pasir, batu bata dan material sejenis lainnya. Dalam dunia konstruksi, apabila semen dicampur dengan air dalam jumlah yang proporsional, maka akan mempunyai kemampuan mengikat fragmen-fragmen agregat halus dan kasar menjadi material yang kita sebut sebagai beton. Oleh karena itu pengaplikasian semen selalu berhubungan dengan air, sehingga semen tersebut dapat dikategorikan sebagai semen hidrolis. Disebut demikian karena apabila semen dicampur dengan air akan mampu menghasilkan suatu reaksi hidrasi, setting, hardening serta produk padatan yang tetap stabil didalam air. Karakteristik semen antara lain mencakup komposisi kimia dan fisika (kehalusan partikel, kuat tekan, waktu pengikatan, kekekalan dan kalor hidrasi). Salah satu contohnya adalah semen Portland. Semen Portland merupakan hasil dari penggilingan kalsium silikat hidrat yang ditambah dengan satu ataupun lebih senyawa kalsium sulfat dalam bentuk Kristal. Diperlukan standar yang memberikan batasan terhadap beberapa parameter baik fisika maupun kimia. Batasan tersebut berbeda antara satu Negara dengan Negara lain, sehingga standar yang berlaku juga akan berbeda. Berikut adalah 2 standar yang sering dijadikan sebagai acuan (Hidayat, 2009).

#### 1. Standar ASTM (Amerika)

##### 1. ASTM C 150 : Standard Specification for Portland Cement

ASTM C 150 yang dikeluarkan sejak 1940 dan terbagi menjadi lima tipe semen, sebagai berikut.

- Tipe I : untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
- Tipe II : untuk penggunaan yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang
- Tipe III : untuk penggunaan yang memerlukan kekuatan tekan awal tinggi.
- Tipe IV : untuk penggunaan yang memerlukan kalori hidrasi rendah.
- Tipe V : untuk penggunaan yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

## 2. Standar SNI (Indonesia)

### 1. Semen Portland, mengacu pada SNI 15-2049-2004

Standar ini membagi semen menjadi lima jenis sebagai berikut :

- Jenis I : semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada semen jenis lainnya.
- Jenis II : semen Portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang
- Jenis III : semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan.
- Jenis IV : semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- Jenis V : semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

### 2. Semen Portland Putih, mengacu pada SNI 15-0129-2004

Semen Portland putih dapat digunakan untuk semua pembuatan adukan semen serta beton yang tidak memerlukan adanya persyaratan khusus, kecuali warna putihnya. Warna putih pada semen dihasilkan dari bahan baku pembuatan yang mempunyai kandungan besi oksida dan magnesium oksida (dalam semen akan memberikan warna abu-abu yang menjadi ciri khas semen Portland).

### 3. Semen Portland Komposit, mengacu pada SNI 15-7064-2004.

Semen Portland komposit dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti pekerjaan beton, pasang bata, selokan, jalan, pagar dinding, dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, dan bata beton/paving block. Semen ini merupakan hasil penggilingan terak semen Portland, gypsum, dan satu atau lebih bahan anorganik.

### 4. Semen Portland Pozzolan, mengacu pada SNI 15-0302-2004.

Semen Portland pozzolan merupakan hasil dari penggilingan terak (clinker) semen Portland dengan gypsum dan bahan pozzolan. Berdasarkan jenis penggunaannya standar ini membagi semen Portland pozzolan menjadi lima jenis sebagai berikut.

- Jenis IP-U : semen Portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton.

- Jenis IP-K : semen Portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton, semen untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi sedang.
- Jenis P-U : semen Portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk Pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi.
- Jenis P-K : semen Portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk Pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi, serta untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi rendah.

#### 2.4.2 Agregat Halus (Pasir)

Menurut SNI 03-2847-2013 agregat adalah bahan berbutir seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnace slag*) yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton ataupun mortar semen hidrolis. Penggunaan agregat sendiri sangat penting pada pembuatan beton karena komposisinya sekitar 60%-75%. Dalam pembuatan *foam concrete* hanya menggunakan pasir. Pasir merupakan agregat yang semua butir dapat menembus ayakan 4,8 mm atau 5 cm. Pasir yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Pasir harus terdiri dari modulus halus butir 2,3 sampai 3,1.
2. Pasir hanya diperbolehkan mengandung kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,070 mm atau No.200) dalam persen berat maksimum.
  - Untuk beton yang mengalami abrasi sebesar 3,0%
  - Untuk beton jenis lainnya sebesar 5%
3. Pasir mengandung gumpalan tanah liat dan partikel yang mudah dirapikan maksimum 3%.
4. Kandungan arang dan lignit dalam pasir
  - a. Bila tampak permukaan beton dipandang penting (beton akan diekspos) maksimum 0,5%
  - b. Beton jenis lainnya maksimum 1,0%.
5. Kadar zat organik yang telah ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat ( $\text{NaSO}_4$ ) sebesar 3% tidak menghasilkan warna yang lebih tua dari warna standar.
6. Pasir tidak boleh bersifat reaktif terhadap alkali jika dipakai untuk beton yang berhubungan dengan basah, lembab dan bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali semen, dimana penggunaan semen yang mengandung natrium oksida tidak lebih dari 0,6%.

7. Kekekalan pasir jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang akan hancur maksimum 10% dan jika diuji dengan magnesium sulfat akan hancur maksimum 15%.
8. Susunan gradasi harus memenuhi syarat yang ditetapkan oleh ASTM.

Syarat gradasi halus menurut ATM C-33 seperti yang tercantum pada tabel dibawah ini, dimana agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos pada satu set ayakan lebih besar dari 45% dan tertahan pada ayakan berikutnya.

Tabel 2.1 Syarat besar butiran agregat halus

Ukuran lubang ayakan (mm)	Persen lolos kumulatif
9,5	100
4,75	95 - 100
2,36	80 - 100
1,18	50 - 85
0,6	25 - 60
0,3	10 - 30
0,15	2 - 10

(Sumber : ASTM C-33)

Tabel 2.2 Batas gradasi agregat halus

Lubang ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	I	II	III	IV
9,6	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Agregat halus yang akan digunakan dalam campuran beton harus dilakukan pengujian terlebih dahulu. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat yang terkandung pada agregat halus. Pengujian agregat halus yang dilakukan pada penelitian ini dijelaskan sebagai berikut :



## a. Pengujian Analisa Saringan Pasir

$$\text{Prosentase tertahan} = \frac{\text{Berat pasir tertahan}}{\text{Berat pasir mula-mula}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

## b. Pengujian Kelembaban Pasir

$$\text{Prosentase kelembaban} = \frac{\text{Berat pasir basah} - \text{berat pasir kering oven}}{\text{berat pasir kering oven}} \times 100\% \dots\dots(2.2)$$

## c. Pengujian Berat Jenis Pasir

$$\text{Berat jenis} = \frac{W3(\text{berat pasir+labu takar}) - W1(\text{berat labu takar})}{(W5(\text{berat air+labu takar}) + W2(\text{berat pasir SSD})) - W4(\text{berat labu+pasir+air})} \dots\dots\dots(2.3)$$

## d. Pengujian Air Resapan Pasir

$$\text{Air resapan} = \frac{\text{Berat pasir SSD} - \text{Berat pasir kering oven}}{\text{Berat pasir kering oven}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

## e. Pengujian Berat Volume Pasir

$$\text{Berat volume} = \frac{\text{Berat selinder + pasir} - \text{Berat selinder}}{\text{Volume selinder}} \dots\dots\dots(2.5)$$

## f. Pengujian Kadar Lumpur Pada Pasir Dengan Cara Basah

$$\text{Kebersihan} = \frac{\text{Tinggi endapan lumpur}}{\text{Tinggi endapan pasir}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

## g. Pengujian Pengembangan Volume Pasir

$$\text{Volume Udara} = \frac{V1(\text{volume pasir awal}) - V2(\text{volume pasir dalam air})}{V2(\text{volume pasir dalam air})} \times 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

### 2.4.3 Agregat Kasar (Kerikil)

Agregat kasar merupakan agregat yang mempunyai ukuran butiran antara 5 mm sampai dengan 40 mm (SNI 03-2847-2002). Agregat kasar dapat berupa kerikil, pecahan kerikil, batu pecah, kerak tanur tiup (*blast furnace slag*) atau beton semen hidrolis yang dipecah.

Agregat kasar yang baik untuk pengikatan dengan pasta dan mortar semen adalah agregat yang bertekstur cukup besar, bentuknya bersudut atau kubikal, tidak pipih maupun panjang. Berikut ini merupakan ukuran besar butiran nominal maksimum pada agregat kasar :

- a.  $\frac{1}{5}$  jarak terkecil antara bidang samping dari cetakan
- b.  $\frac{1}{3}$  dari tebal plat
- c.  $\frac{3}{4}$  jarak bersih minimum antar batang tulangan atau tendon pratekan atau selongsong.

Kerikil yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Kadar lumpur maksimal 1% berat kering, apabila mengandung lebih dari 1% maka agregat kasar harus dicuci.
2. Variasi modulus halus agregat yang digunakan dalam satu campuran perencanaan beton (mic desain) tidak boleh lebih dari 7%.
3. Angka kehalusan (*Fineness Modulus*) untuk coarse agregat antara 6 – 7,1.
4. Agregat kasar harus melewati tes kekerasan dengan mesin bejana pengujian rudeloff dengan beban uji 20 ton.
5. Keausan (abrasi) agregat kasar dengan alat *Los Angeles* pada 500 putaran dengan bagian yang hancur lebih kecil 1,7 mm dengan catatan persentase keausan dalam 100 putaran kurang dari sama dengan 20% keausan dalam 500 putaran.
6. Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan yang reaktif terhadap alkali.
7. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori serta mempunyai sifat kekal.

Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan ayakan harus memenuhi syarat SNI sebagai berikut :

Tabel 2.3 Batas gradasi agregat kasar

Lubang ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan		
	Maksimal 10 mm	Maksimal 20 mm	Maksimal 40 mm
75			100 - 100
37,5		100 - 100	95 - 100
19	100 - 100	95 - 100	35 - 70
9,5	50 - 85	30 - 60	10 - 40
4,75	0 - 10	0 - 10	0 - 5

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Agregat kasar yang akan digunakan dalam campuran beton harus dilakukan pengujian terlebih dahulu. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat yang terkandung pada agregat kasar. Pengujian agregat kasar yang dilakukan pada penelitian ini dijelaskan sebagai berikut :

## a. Pengujian Analisa Saringan Krikil

$$\text{Prosentase tertahan} = \frac{\text{berat krikil tertahan}}{\text{berat krikil mula-mula}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

## b. Pengujian Kelembaban Krikil

$$\text{Prosentase kelembaban} = \frac{\text{berat krikil basah} - \text{berat krikil kering}}{\text{berat krikil kering}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.9)$$

## c. Pengujian Berat Jenis Krikil

$$\text{Berat jenis} = \frac{\text{berat bersih krikil}}{\text{berat bersih krikil} - (\text{berat keranjang} + \text{krikil dalam air}) - \text{berat keranjang dalam air}} \dots\dots\dots(2.10)$$

## d. Pengujian Air Resapan Krikil

$$\text{Kadar air resapan} = \frac{\text{berat krikil SSD} - \text{berat krikil kering oven}}{\text{berat krikil kering oven}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.11)$$

## e. Pengujian Berat Volume Krikil

$$\text{Berat volume} = \frac{(\text{berat silinder} + \text{berat krikil}) - \text{berat silinder}}{\text{volume silinder}} \dots\dots\dots(2.12)$$

## f. Pengujian Kadar Lumpur Pada Krikil Dengan Cara Kering

$$\text{Prosentase kadar lumpur} = \frac{\text{Berat krikil sebelum dicuci} - \text{Berat krikil setelah dicuci}}{\text{Berat krikil sebelum dicuci}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.13)$$

## g. Pengujian Keausan Krikil

$$\text{Keausan} = \frac{\text{Berat krikil semula} - \text{berat krikil tertahan ayakan no.12 (stl dioven)}}{\text{berat krikil semula}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.14)$$

#### 2.4.4 Lumpur Lapindo

Lumpur Lapindo merupakan akibat dari kesalahan pengeboran minyak di perut bumi yang dilakukan di Kecamatan Porong Kabupaten Sidoarjo. Kejadian ini mengakibatkan keluarnya semburan yang berisi lumpur. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Noerwasito (2006) terdapat kandungan pasir (*sand*) 17,86%, lanau (*silt*) 10,71%, dan lempung (*clay*) 71,43%. Berdasarkan pengujian toksikologis di 3 laboratorium terakreditasi (sucofindo, corelab, bogorlab), diperoleh hasil bahwa lumpur Lapindo tidak termasuk dalam limbah B3 (Bahan berbahaya dan beracun), sehingga lumpur lapindo dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan dan aman

bagi kesehatan meskipun lumpur Lapindo juga mengandung senyawa phenol, seng, tembaga dan krom karena tidak langsung terjadi kontak fisik dengan manusia.

Tabel 2.4 Hasil pengujian toksikologis lumpur Lapindo

<b>Beberapa hasil pengujian</b>		
<b>Parameter</b>	<b>Hasil uji maksimum</b>	<b>Baku mutu</b>
		<b>(PP Nomor 18/1999)</b>
Arsen	0,045 Mg/L	5 Mg/L
Barium	1,066 Mg/L	100 Mg/L
Borom	5,097 Mg/L	500 Mg/L
Timbal	0,05 Mg/L	5 Mg/L
Raksa	0,004 Mg/L	0,2 Mg/L
Sianida bebas	0,02 Mg/L	20 Mg/L
Trichlorophenol	0,017 Mg/L	2 Mg/L (2,4,6 Trichlorophenol) 400 Mg/L (2,4,4 Trichlorophenol)

(Sumber : Jurnal Konferensi Nasional Teknik Sipil)

Dalam penelitian ini dilakukan pemanfaatan lumpur Lapindo yang digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen. Pemeriksaan pendahuluan lumpur Lapindo untuk penelitian beton yang dilakukan oleh Yuli suprianto di Balai Pengujian dan Sertifikasi Mutu Barang (BPSMB) Surakarta untuk mengetahui kandungan kimia didalam lumpur lapindo dengan metode gravimetri. Metode gravimetri merupakan metode kimia analitik yang digunakan untuk menentukan kuantitas suatu zat atau komponen dengan cara mengukur berat komponen murni setelah proses pemisahan. Kandungan kimia yang diuji merupakan empat kandungan terbesar yang ada dalam semen. Berikut hasil pengujian yang telah dilakukan.

Table 2.5 Hasil pengujian gravimetri lumpur Lapindo

<b>Jenis uji</b>	<b>Hasil uji</b>
SiO <sub>2</sub>	0,51%
CaO	35,79%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	82,71%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	83,93%

(Sumber : Suprianto, 2012)

Hasil pengujian kandungan kimia dalam lumpur Lapindo memiliki kadar dengan prosentase terbesar adalah senyawa Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (aluminia) sebesar 83,93% dan

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  (besi) sebesar 82,71%. Berdasarkan kandungan tersebut maka lumpur Lapindo dapat digunakan sebagai bahan baku bangunan seperti batu bata merah, beton geopolimer dan semen Portland.

#### 2.4.5 Air

Air sebagai bahan pencampur semen berperan sebagai bahan perekat, sehingga penambahan air dalam pembuatan spesi beton merupakan unsur yang sangat penting. Air yang dapat digunakan seperti air tawar yang berasal dari danau, telaga, kolam dan yang lainnya. Secara umum, air yang dapat diminum cocok digunakan sebagai bahan pencampur. Namun apabila menggunakan air tanah yang diperoleh dari sumur, maka harus diperhatikan kondisi lingkungan disekitarnya, seperti adanya pencemaran atau adanya peluruhan bahan-bahan organik.

Air yang digunakan untuk membuat campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam sulfat, zat organis atau bahan lainnya yang dapat merusak beton. Sebelum penggunaan air, harus diketahui kontaminan yang terkandung didalamnya, kontaminan yang jumlahnya melebihi batas dapat menyebabkan terjadinya deteriorasi/pelapukan pada beton dalam kurun waktu tertentu. Pada umumnya air laut mengandung 3,5% larutan garam, sehingga tidak dapat digunakan sebagai bahan campuran beton pra-tegang ataupun beton bertulang. Air buangan industri tidak boleh digunakan karena mengandung alkali. Kandungan ion sulfat yang melebihi batas akan mengakibatkan deteriorasi beton (kerusakan beton), sedangkan ion klorida akan mengakibatkan korosi pada baja tulangan. Penggunaan air yang tidak dapat diminum harus memenuhi syarat yang ditentukan dan telah melalui pengujian dengan menggunakan sampel kubus mortar -50 mm yang dilakukan pada umur 7 dan 28 hari. Nilai kekuatan standar minimal adalah 90% dari kekuatan sampel serupa yang dibuat dengan air minum standar.

#### 2.5 Mix Design

Mix Design atau perencanaan campuran beton menggunakan metode DOE (*Departement of Environment*). Adapun langkah-langkah dalam perencanaan campuran beton dengan metode DOE adalah sebagai berikut :

##### 1. Menentukan kuat tekan beton karakteristik yang disyaratkan ( $f_c'$ )

Pada umur tertentu. Nilai  $f_c'$  berarti kuat tekan beton dengan benda uji berbentuk silinder. Jika yang diketahui adalah nilai K, maka nilai kuat tekan beton perlu dikonversi.

**2. Menetapkan nilai deviasi standar / nilai tambah (SD)**

Nilai deviasi standart atau nilai tambah SD berdasarkan oleh data sebelumnya, apabila tidak ada data sebelumnya maka tidak ada nilai deviasi standart.

**3. Menghitung nilai tambah (M)**

Nilai tambah (Margin) sesuai dengan SNI 2847-2013 yaitu:

$$f'c < 21 \quad = 7,0 \text{ MPa.}$$

$$21 \leq f'c \leq 35 \quad = 8,3 \text{ MPa.}$$

$$f'c > 35 \quad = 5,0 \text{ MPa.}$$

**4. Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan ( $f'cr$ )**

Nilai kuat tekan rata-rata yang direncanakan dapat dihitung dengan rumus pada tabel berikut:

Tabel 2.6 Kuat Tekan Rata–Rata Perlu Jika Data Tidak Tersedia Untuk Deviasi Standart.

<b>Kekuatan tekan disyaratkan (MPa)</b>	<b>Kekuatan tekan rata-rata perlu (MPa)</b>
$f'c < 21$	$f'cr = f'c + 7,0$
$21 \leq f'c \leq 35$	$f'cr = f'c + 8,3$
$f'c > 35$	$f'cr = 1,10 f'c + 5,0$

(Sumber : SNI 2847-2013)

**5. Menetapkan jenis semen**

Pada tahap ini jenis semen harus ditetapkan sesuai dengan pengaplikasian beton.

**6. Menentukan Jenis agregat**

Pada tahap ini jenis agregat harus ditetapkan terlebih dahulu, sehingga nantinya didapat nilai perkiraan kuat tekan agregat pada umur tertentu. Jenis agregat halus yang digunakan merupakan batu yang tidak dipecah (alami), sedangkan untuk jenis agregat kasar yang digunakan merupakan batu pecah (buatan).

Tabel 2.7 Perkiraan Kekuatan Tekan Agregat batu pecah N/mm<sup>2</sup>

Jenis		Kuat Tekan Beton (N/mm <sup>2</sup> )				Bentuk Benda Uji	
Semen	Agregat	Pada Umur (Hari)					
		3	7	28	29		
<b>Portlant Tipe I, Semen Tahan Sulfat Tipe II, V</b>	Batu Alami	17	23	33	40	Silinder	
	Batu Pecah	19	27	37	45		
	Batu Alami	20	28	40	48	Kubus	
	Batu Pecah	25	32	45	54		
	<b>Semen Portland Tipe III</b>	Batu Alami	21	28	38	44	Silinder
		Batu Pecah	25	33	44	48	
Batu Alami		25	31	46	53	Kubus	
Batu Pecah		30	40	53	60		

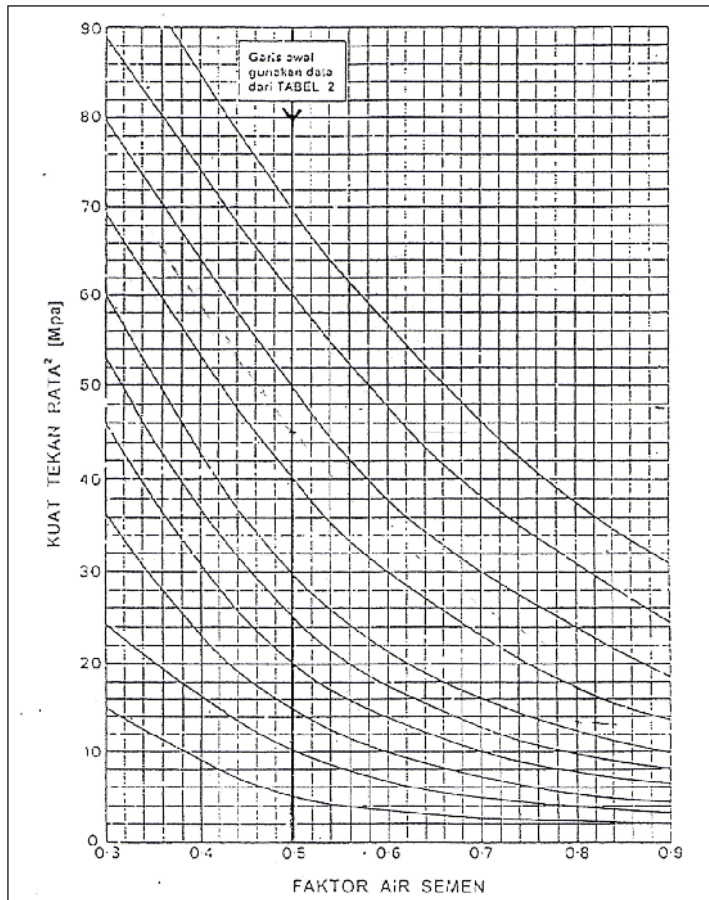
(Sumber : SNI-03-2834-2000)

## 7. Menentukan Faktor Air Semen

Faktor air semen yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan didasarkan pada hubungan kuat tekan dan FAS yang diperoleh dari penelitian lapangan sesuai dengan bahan dan kondisi pekerjaan yang diusulkan. Faktor air semen dapat ditentukan dengan menggunakan grafik pada Gambar 2.4 dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Tentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari dengan menggunakan Tabel 2.7, sesuai dengan semen dan agregat yang akan dipakai.
2. Lihat Gambar 2.4 untuk benda uji berbentuk silinder.
3. Tarik garis tegak lurus ke atas melalui factor air semen 0,5 sampai memotong kurva kuat tekan yang ditentukan pada langkah 1 di atas.
4. Tarik garis lengkung melalui titik pada langkah 3 secara proporsional.
5. Tarik garis mendatar melalui nilai kuat tekan yang ditargetkan sampai memotong kurva baru yang ditentukan pada langkah 4 di atas.

6. Tarik garis tegak lurus kebawah melalui titik potong tersebut untuk mendapatkan factor air semen yang diperlukan.



Gambar 2.4 Grafik Faktor Air Semen  
(Sumber : SNI-03-2834-2000)

### 8. Menentukan faktor air semen maksimum

Tentukan faktor air semen menurut lingkungan yang akan digunakan beton tersebut dengan melihat Tabel 2.8. jika hasil yang didapat dari langkah nomer 7 lebih kecil dari yang didapat pada Tabel 2.8 maka yang digunakan adalah yang terkecil.



Tabel 2.8 Faktor air Maksimum

Uraian	Jumlah Semen Minimum per 1 m <sup>3</sup> beton (Kg)	Nilai Faktor Air-Semen Maksimum
Beton didalam Ruangan Bangunan :		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,6
b. Keadaan keliling korosif yang disebabkan kondensasi atau uap-uap korosif	325	0,52
Beton diluar Ruangan Bangunan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,6
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,6
Beton yang masuk kedalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dan tanah atau air tanah	275	0,52
Beton yang selalu berhubungan dengan air		
a. Air tawar	275	0,57
b. Air laut	375	0,52

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

### 9. Menetapkan nilai slump

Penetapan nilai slump dapat dilihat pada Tabel 2.10

### 10. Menentukan ukuran agregat maksimum

Untuk menentukan ukuran agregat maksimum dapat dilihat pada hasil percobaan yang didapat dari pemeriksaan ayakan.

### 11. Kadar Air Bebas

Menentukan kadar air bebas dapat diketahui dari ukuran agregat maksimum, jenis agregat kasar, dan nilai slump yang diperoleh.

Tabel 2.9 Kadar Air Bebas

Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum (mm)	Jenis agregat	Slump (mm)			
		0-10	30-60	30-60	60-180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	190
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

#### 12. Kadar semen

Kadar semen diperoleh dari hasil bagi kadar air bebas dengan nilai FAS yang dipergunakan adalah nilai FAS yang terkecil. Karena FAS maks > FAS hitung maka nilai FAS yang dipergunakan adalah FAS hitung.

#### 13. Kadar Semen Minimum

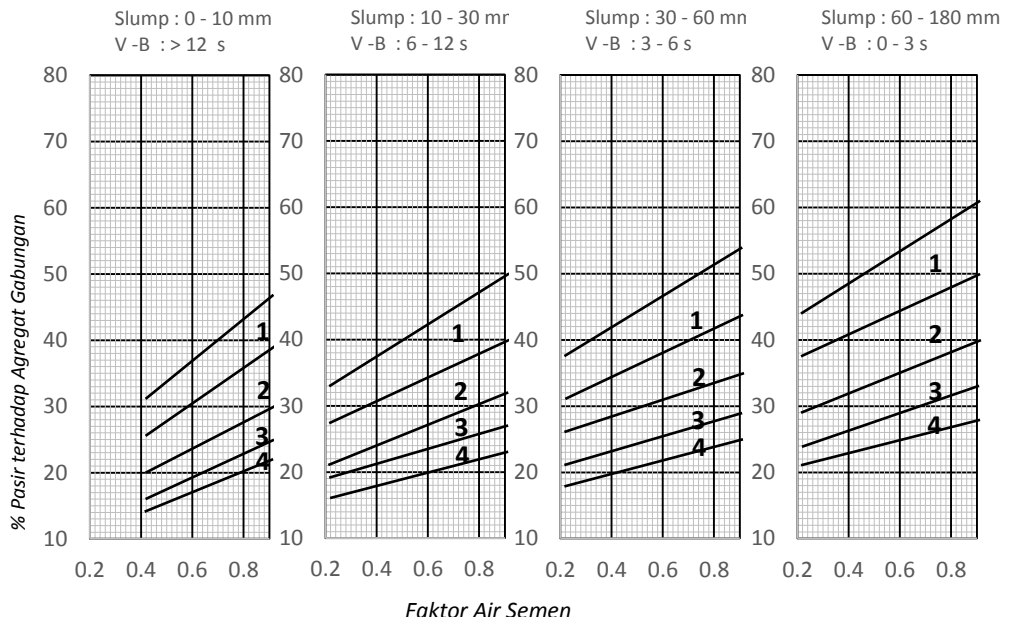
Kadar Semen Minimum ditetapkan pada Tabel 2.8 Faktor air Maksimum dimana terdapat tabel dari Kebutuhan Semen Minimum per 1 kubik.

#### 14. Susunan Butir Agregat Halus

Pada tahap ini agregat halus perlu dilakukan pemeriksaan ayakan agar dapat diketahui agregat tersebut masuk pada Zona berapa.

#### 15. Persen agregat halus

Untuk mengetahui persen agregat halus gunakan Grafik pada Gambar 2.5, dengan mendapatkan nilai ukuran butir agregat maksimum, slump, FAS, dan Zona agregat halus, maka akan didapat 2 garis mendatar sehingga didapat adalah persen agregat halus.



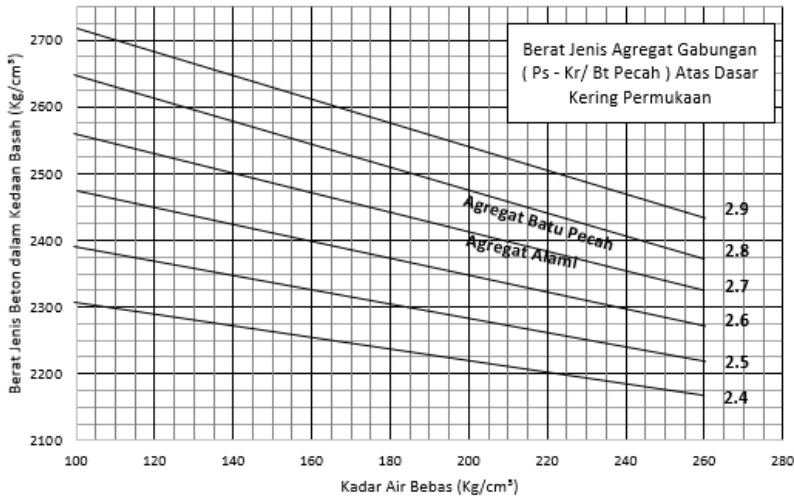
Gambar 2.5 Grafik Persen Agregat Halus  
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

#### 16. Berat Jenis Relative Agregat Gabungan

Berat jenis agregat gabungan adalah berat jenis gabungan antara agregat halus dan agregat kasar.

#### 17. Berat Jenis Beton

Menentukan berat jenis beton Dengan menggunakan Grafik pada Gambar 2.5 dengan langkah sebagai berikut : Tentukan nilai  $B_j$  agregat gabungan, kemudian tarik garis sejajar dengan garis grafik, tentukan kadar air bebas dan tarik garis vertikal keatas hingga memotong garis  $B_j$  agregat gabungan kemudian tarik garis horizontal sehingga didapat berat jenis beton.



Gambar 2.5 Grafik Perkiraan berat jenis beton basah  
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

**18. Berat Agregat Gabungan**

Berat agregat gabungan = berat jenis beton – kadar semen – kadar air

**19. Berat Agregat Halus**

Berat agregat halus = persen agregat halus x Berat agregat gabungan

**20. Berat Agregat Kasar**

Berat agregat kasar = persen agregat kasar x Berat agregat gabungan

**21. Koreksi proporsi campuran**

Dalam perhitungan diatas, agregat halus dan agregat kasar dianggap dalam keadaan jenuh kering muka (SSD), sehingga di lapangan yang pada umumnya keadaan agregatnya tidak jenuh kering muka, harus dilakukan koreksi terhadap kebutuhan bahannya. Koreksi harus dilakukan minimum satu kali per hari. Jika kadar air agregat melebihi kemampuan penyerapan agregat, maka agregat sudah mengalami kejenuhan dan mengandung air berlebih, maka harus mengurangi kadar air bebas agar komposisi tetap seimbang, dan demikian pula sebaliknya.

Hitungan koreksi dilakukan dengan rumus :

$$Air = B - \left[ (Ck - Ca) \times \frac{C}{100} \right] - \left[ (Dk - Da) \frac{D}{100} \right] \dots\dots\dots(2.18)$$

$$\text{Agregat halus} = \left[ (Ck - Ca) \frac{C}{100} \right] \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\text{Agregat kasar} = \left[ (Dk - Da) \frac{D}{100} \right] \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan:

B = Jumlah kebutuhan air ( $\text{Kg/m}^3$ )

C = Jumlah kebutuhan agregat halus ( $\text{Kg/m}^3$ )

D = Jumlah kebutuhan agregat kasar ( $\text{Kg/m}^3$ )

Ck = Kandungan air dalam agregat halus (%)

Dk = Kandungan air dalam agregat kasar (%)

Ca = Absorpsi air pada agregat halus (%)

Da = Absorpsi air pada agregat kasar (%)

## 2.6 Slump Test

Slump beton adalah besaran kekentalan (*viscosity*) atau plastisitas dan kohesif dari beton segar. Slump test merupakan suatu teknik untuk memantau homogenitas dan workability adukan beton segar dengan suatu kekentalan tertentu yang dinyatakan dengan suatu nilai slump (SNI-1972-2008). Pengukuran slump dilakukan dengan mengacu pada aturan yang ditetapkan dalam 2 peraturan standart :

1. PBI 1971 N12 (Peraturan beton bertulang Indonesia).
2. SNI-1972-2008 (Cara uji slump beton).

Diperbolehkan adanya penyimpangan nilai slump dari nilai yang direkomendasikan apabila terbukti dan dipenuhi :

1. Beton tetap dapat dikerjakan dengan baik.
2. Tidak Terjadi pemisahan dalam adukan beton segar.
3. Mutu beton yang diisyaratkan tetap terpenuhi.

Rekomendasi nilai slump untuk pemakaian beton segar pada elemen-elemen struktur untuk mendapatkan workability yang diperlukan.

Tabel 2.10 Penetapan Nilai *Slump* Adukan Beton

Elemen Struktur	Nilai slump (cm)	
	Maximum	Minimum
Plat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5
Pondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan struktur dibawah tanah	9	2,5
Plat (lantai), balok, kolom, dan dinding	15	7,5
Jalan beton bertulang	7,5	5
Pembetonan masal	7,5	2,5

(Sumber : PBI 1971 N.I.-2)

## 2.7 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton menunjukkan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur, maka semakin tinggi juga mutu beton yang akan dihasilkan. Kuat tekan beton merupakan besar beban maksimum persatuan luas, yang akan menyebabkan beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan. Kuat tekan beton ditentukan oleh campuran perbandingan semen, agregat halus, air, berbagai jenis bahan tambahan lainnya serta kondisi kelembaban tempat dimana beton akan mengeras. Kekuatan tekan beton dinotasikan sebagai berikut :

$f^c$  = kekuatan tekan beton yang disyaratkan (Mpa).

$f_{ck}$  = kekuatan tekan beton yang didapatkan dari hasil uji kubus 150 mm atau dari silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm (Mpa).

$f_c$  = kekuatan tarik dari hasil uji belah silinder beton (Mpa).

$f^c_{cr}$  = kekuatan tekan beton rata-rata yang dibutuhkan, sebagai dasar pemilihan perancangan campuran beton (Mpa).

S = deviasi standar (s) (Mpa).

Beberapa faktor yang mempengaruhi mutu dari kekuatan tekan beton adalah sebagai berikut :

1. Proporsi dari bahan-bahan penyusun beton.
2. Metode perancangan beton.
3. Perawatan beton.
4. Keadaan pada saat pengecoran beton dilaksanakan, yang terutama dipengaruhi oleh lingkungan setempat.

Beton harus dibuat dengan proporsi campuran yang sesuai agar dapat menghasilkan kuat tekan rata-rata yang disyaratkan. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan memberikan beban atau tekanan sehingga benda uji mengalami keruntuhan. Besar kuat tekan beton dapat dihitung dengan cara membagi beban maksimum pada saat benda uji hancur dengan luas penampang benda uji. Untuk mengetahui tegangan hancur dari benda uji tersebut dilakukan dengan perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan :

$f'c$  = kuat tekan beton (Mpa)

$P$  = beban maksimum (N)

$A$  = luas penampang (A)

## 2.8 Berat Jenis Beton

Menurut SNI (Standar Nasional Indonesia) beton merupakan beton yang mempunyai berat satuan dengan kepadatan 2200 kg/m<sup>3</sup> sampai dengan 2500 kg/m<sup>3</sup>. Menurut ASTM C 127-84, berat jenis adalah perbandingan massa atau berat di udara dari satu unit volume suatu material terhadap massa air pada volume yang sama pada suhu yang statis atau tetap. Untuk menentukan berat jenis suatu bahan, berat jenis relatifnya harus dikalikan dengan berat jenis air 1 g/cm<sup>3</sup> atau 1000 kg/m<sup>3</sup>. Pengujian berat jenis bertujuan untuk mengetahui kategori atau kelas dari beton yang telah dibuat. Berat jenis merupakan perbandingan antara berat isi yang dibagi dengan volume. Untuk mengetahui berat jenis benda uji, maka dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan :

$\rho$  = berat jenis beton (kg/m<sup>3</sup>)

$m$  = berat beton (kg)

$v$  = volume beton (m<sup>3</sup>)

## 2.9 Resapan Air Beton

Pengujian resapan air bertujuan untuk mengetahui besarnya tingkat penyerapan oleh benda uji terhadap air. Pengujian ini dapat dilakukan dengan cara merendam beton ringan selama 24 jam. Kemudian beton ditimbang lalu dioven selama 22-24 jam dengan suhu  $100^{\circ}$ - $110^{\circ}$ . Resapan air pada benda uji akan dipengaruhi oleh pori-pori atau rongga dalam beton. Semakin banyak pori-pori atau rongga yang terdapat pada benda uji maka akan semakin besar juga penyerapan air, sehingga ketahanan beton akan berkurang. Pengukuran resapan air adalah persentase perbandingan antara selisih massa basah dengan massa kering. Daya resapan air dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$WA (\%) = \frac{m_j - m_k}{m_k} \times 100\% \dots\dots\dots(2.23)$$

Keterangan :

WA = daya resapan air (%)

$m_j$  = massa jenuh air (gram)

$m_k$  = massa kering (gram)

Massa jenuh air ( $m_j$ ) adalah ketika benda uji direndam kedalam air selama 24 jam, yang kemudian diangkat dari rendaman air dan dibiarkan menetes selama kurang lebih 1 menit. Benda uji dikeringkan dengan menggunakan kain kering untuk menghilangkan kelebihan air yang ada di permukaannya, lalu menimbang berat benda uji untuk mengetahui massa basahnya.

Massa kering ( $m_k$ ) adalah ketika benda uji dikeringkan kedalam oven pada suhu  $\pm 105^{\circ}$  selama 24 jam dan dikeluarkan dari oven yang kemudian didiamkan pada suhu kamar lalu ditimbang massa keringnya. Selisih yang diperoleh dari penimbangan massa basah dan massa kering merupakan jumlah penyerapan air dan harus dihitung berdasarkan persen berat.