

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Beton**

##### **1. Pengertian Beton**

Beton adalah campuran antara semen Portland, agregat (agregat kasar dan agregat halus), air dan terkadang ditambah dengan menggunakan bahan tambah yang bervariasi mulai dari bahan tambah kimia, serat sampai dengan bahan buangan non kimia pada perbandingan tertentu (Tjokrodimuljo, 1996). Nilai kuat tekan beton relatif tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya. Beton merupakan material yang bersifat getas. Menurut Nawy (1985) dalam Mulyono (2005), beton didefinisikan sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya.

##### **2. Kelebihan dan Kekurangan Beton**

Dalam keadaan segar beton mudah dibentuk sesuai dengan yang diinginkan. Apabila campuran beton dibiarkan maka akan mengeras seperti batu. Pengerasan itu terjadi akibat peristiwa reaksi kimia antara air dan semen. Hal ini berjalan selama waktu yang panjang. Campuran beton bertambah keras setara dengan umurnya. Beton dalam keadaan mengeras mempunyai nilai kuat tekan yang tinggi. Untuk mencapai kuat tekan beton perlu diperhatikan kepadatan dan kekerasan massanya. Umumnya semakin padat dan keras massa agregat akan makin tinggi kekuatan dan *durability*-nya (daya tahan terhadap penurunan mutu dan akibat pengaruh cuaca). Selain itu beton juga tahan terhadap serangan korosi. Menurut Dipohusodo (1994) dalam Saputro (2007) nilai kuat tekan beton yang dicapai ditentukan oleh mutu bahan agregatnya. Secara umum kelebihan beton adalah (Mulyono, 2005):

- a. dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
- b. termasuk bahan awet, tahan aus, tahan kebakaran, tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh lingkungan, sehingga biaya perawatannya murah.
- c. tahan terhadap temperatur yang tinggi

- d. biaya pemeliharaan yang kecil.
- e. kuat tekannya tinggi sehingga jika dikombinasikan dengan baja tulangan (yang kuat tariknya tinggi) maka mampu memikul beban yang berat.

Kekurangan beton antara lain:

- a. bentuk yang telah dibuat sulit diubah.
- b. pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi.
- c. berat.
- d. kuat tarik yang kecil sehingga mudah retak.
- e. daya pantul suara yang keras.

### 3. Jenis-Jenis Beton

Pada umumnya beton sering digunakan sebagai struktur dalam konstruksi suatu bangunan. Dalam teknik sipil, beton digunakan untuk bangunan fondasi, kolom, balok, dan pelat. Menurut Mulyono (2005) terdapat beberapa jenis beton yang dipakai dalam konstruksi suatu bangunan yaitu :

- a. Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat normal.
- b. Beton bertulang adalah beton yang menggunakan tulangan dengan jumlah dan luas tulangan tidak kurang dari nilai minimum yang diisyaratkan, dengan atau tanpa pratekan dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.
- c. Beton pracetak adalah beton yang elemen betonnya tanpa atau dengan tulangan yang dicetak di tempat yang berbeda dari posisi akhir elemen dalam struktur.
- d. Beton *prestress* (pratekan) adalah beton bertulang dimana telah diberikan tegangan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat pemberian beban yang bekerja.
- e. Beton ringan struktural adalah beton yang memakai agregat ringan atau campuran antara agregat kasar ringan dan pasir alami sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton  $1850 \text{ kg/m}^3$  kering udara dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik beton ringan untuk tujuan struktural

- f. Beton ringan total atau beton ringan berpasir adalah beton yang seluruh agregat halus dengan berat normal.

### **B. Beton Mutu Tinggi**

Dalam perkembangan ilmu teknologi beton telah dikembangkan beton mutu tinggi. Beton mutu tinggi mempunyai kuat tekan antara 40-80 MPa atau lebih (Mulyono, 2004). Ditinjau dari segi bahan-bahan pembentuk beton, dalam pembuatan beton normal, semen merupakan bahan termahal, oleh karena itu penggunaan sejumlah semen yang dipergunakan jauh lebih banyak sehingga harga beton mutu tinggi lebih mahal dibandingkan beton normal.

### **C. Bahan Penyusun Beton**

Kualitas beton yang dihasilkan dari campuran bahan-bahan dasar penyusun beton meliputi kekuatan dan keawetan. Sifat-sifat sangat ditentukan oleh sifat bahan penyusunnya, nilai perbandingan dari bahan-bahan penyusunnya, cara pengadukan, cara pengerjaan selama penuangan adukan beton ke dalam cetakan beton, cara pemadatan dan cara perawatan selama proses pengerasan. Beton mempunyai karakteristik yang spesifiknya terdiri dari beberapa bahan penyusun sebagai berikut:

#### **1. Semen *Portland Pozzolan***

Semen *Portland Pozzolan* adalah suatu semen *hidrolis* yang terdiri dari campuran homogen antara semen Portland dengan *pozzolan* halus, yang diproduksi dengan menghaluskan klinker semen Portland dan *pozzolan* bersama-sama. *Pozzolan* merupakan bahan yang mengandung silika atau senyawanya dan alumina yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen. Bahan dasar semen terdiri dari bahan-bahan yang mengandung kapur, silika, alumina dan oksida besi, maka bahan-bahan ini menjadi unsur-unsur pokok semennya (Tjokrodimuljo, 2007)

Di dunia sebenarnya terdapat berbagai macam semen, dan tiap macamnya digunakan untuk kondisi-kondisi tertentu sesuai dengan sifat-sifatnya yang

11. ... dari semen ... oleh karena itu semen yang

digunakan untuk pekerjaan beton harus disesuaikan dengan rencana kekuatan dan spesifikasi teknik yang diberikan.

Kualitas semen sangat mempengaruhi kualitas beton, yang mana semakin besar pemakaian semen maka beton semakin kuat, namun jika terlalu banyak juga tidak menjamin kekuatan yang baik (Nugraha dan Antoni, 2007 dalam Kurniawan, 2010).

Walaupun kompleks, namun pada dasarnya dapat disebutkan 4 unsur yang paling penting untuk pembentukan semen yaitu:

a. Trikalsium silikat ( $C_3S$ ) atau  $3CaO.SiO_2$

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

b. Dikalsium silikat ( $C_2S$ ) atau  $2CaO.SiO_2$

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

c. Trikalsium aluminat ( $C_3A$ ) atau  $3CaO.Al_2O_3$

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

d. Tetrakalsium aluminoforit ( $C_4AF$ ) atau  $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

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

Unsur  $C_3S$  dan  $C_2S$  merupakan bagian terbesar (70% - 80%) dari semen, sehingga merupakan bagian yang paling dominan dalam memberikan sifat semen (Tjokrodinuljo, 2007). Bila semen terkena air,  $C_3S$  segera mulai berhidrasi dan menghasilkan panas. Selain itu juga berpengaruh besar terhadap proses pengerasan semen, terutama sebelum mencapai umur 14 hari. Sebaliknya, unsur  $C_2S$  bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah berumur lebih dari 7 hari.

Unsur  $C_3S$  ini juga membuat semen tahan terhadap serangan kimia (chemical

Unsur  $C_3A$  bereaksi sangat cepat dan memberikan kekuatan setelah 24 jam. Unsur  $C_3A$  bereaksi dengan air sebanyak kira-kira 40% beratnya, namun karena jumlah unsur ini sangat sedikit maka pengaruhnya pada jumlah air hanya sedikit. Semen yang mengandung unsur  $C_3A$  lebih dari 5% akan berakibat kurang tahan terhadap serangan asam sulfat, karena hasil hidrasi  $C_3A$  mudah bereaksi dengan larutan sulfat. Hasil reaksi ini menghasilkan zat kimia baru yang dinamakan *ettringite*, volumenya lebih besar (mengembang), sehingga membuat beton menjadi retak.

Unsur yang keempat dan yang paling sedikit kandungannya dalam semen adalah  $C_3AF$  sehingga kurang begitu berpengaruh terhadap kekerasan semen atau beton. Pada semen biasa susunan kimia tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Susunan Unsur Semen Portland

Oksida	Persen
Kapur ( $CaO$ )	60 – 65
Silika ( $SiO_2$ )	17 – 25
Alumina ( $Al_2O_3$ )	3 – 8
Besi ( $Fe_2O_2$ )	0,5 – 6
Magnesia ( $MgO$ )	0,5 – 4
Sulfur ( $SO_3$ )	1 – 2
Soda/Potash ( $Na_2O + K_2O$ )	0,5 – 1

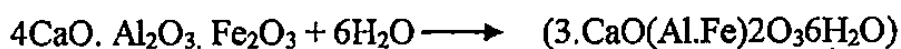
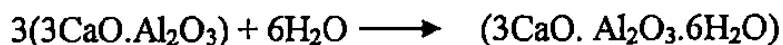
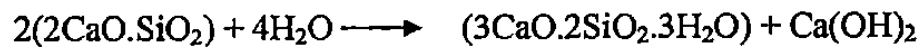
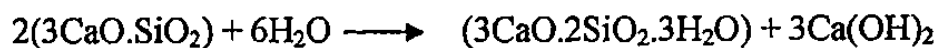
Sumber: (Tjokrodinuljo, 2007)

Perbedaan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah persentase 4 komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya. Semen portland di Indonesia [Spesifikasi Bahan Bangunan Bukan Logam, (SK SNI S-04-1989-F)] semen *portland* dibagi menjadi 5 jenis, yaitu :

- a. Jenis I, yaitu semen *portland* untuk konstruksi umum yang penggunaan tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan pada jenis-jenis lain.
- b. Jenis II, yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- c. Jenis III, yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang menuntut

- d. Jenis IV, yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
- e. Jenis V, yaitu semen *portland* untuk konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Proses hidrasi yang terjadi pada semen portland dapat dinyatakan dalam persamaan kimia sebagai berikut :



Hasil utama yang terjadi pada semen Portland adalah  $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  atau  $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$  atau CSH yang biasa disebut *tobermorite* yang berbentuk gel. Hasil yang lain berupa kapur bebas  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  merupakan sisa dari reaksi antara  $\text{C}_3\text{S}$  dan  $\text{C}_2\text{S}$  dengan air. Kapur bebas ini dalam jangka panjang cenderung melemahkan beton karena dapat bereaksi dengan zat asam maupun sulfat yang ada di lingkungan sekitar sehingga menimbulkan proses korosi pada beton.

## 2. Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton, namun demikian peranan agregat pada beton sangatlah penting. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% volume mortar atau beton. Walaupun namanya sebagai bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar/beton (Tjokrodimuljo, 2007).

Untuk mendapatkan beton yang baik, diperlukan agregat yang berkualitas baik pula. Agregat yang baik untuk pembuatan beton sebaiknya memenuhi persyaratan (Tjokrodimuljo, 1996 dalam Kurniawan, 2010) sebagai berikut :

- a. Butir-butirnya tajam, kuat dan bersudut.

- d. Tidak mengandung garam yang menghisap air dari udara.
- e. Bersifat kekal, tidak hancur atau berubah karena cuaca.
- f. Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik.

Cara membedakan jenis agregat yang paling banyak dilakukan adalah didasarkan pada ukuran butir-butirnya. Agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar disebut agregat kasar, sedangkan agregat yang berbutir kecil disebut agregat halus. Dalam pelaksanaannya agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok (Tjokrodimuljo, 2007) yaitu :

- a. Batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm.
- b. Kerikil, untuk besar butiran antara 5 mm dan 40 mm.
- c. Pasir, untuk besar butiran antara 0,15 mm dan 5 mm.

Menurut Tjokrodimuljo (2007), berdasarkan berat jenisnya agregat juga dibedakan menjadi 3, yaitu:

- a. Agregat normal

Agregat yang berat jenisnya antara 2,5 sampai 2,7. Agregat ini biasanya berasal dari agregat granit, basalt, kuarsa, dan sebagainya. Beton yang dihasilkan berberat jenis sekitar 2,3 juga dapat disebut beton normal.

- b. Agregat berat

Berat jenis agregat ini lebih dari 2,8 misalnya magnetik ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), barites ( $\text{BaSO}_4$ ), atau sebuk besi. Beton yang dihasilkan juga berat jenisnya tinggi (sampai 5) yang efektif sebagai dinding pelindung/perisai radiasi sinar X.

- c. Agregat ringan

Agregat ini mempunyai berat jenis kurang dari 2,0 yang biasanya dibuat untuk beton ringan. Berat beton ringan kurang dari  $1800 \text{ kg/m}^3$ . Beton biasanya dipakai untuk elemen-non-struktural, akan tetapi mungkin pula untuk elemen struktural-ringan. Kebaikannya adalah berat sendiri yang rendah sehingga struktur pendukungnya dan fondasinya lebih kecil. Agregat ringan dapat diperoleh secara alami maupun buatan, misalnya:

1) Agregat ringan alami misalnya: diatomita, pumice, volcanic cinder

2) Agregat ringan buatan misalnya: tanah bakar (*bloated clay*), abu terbang (*sintered fly-ash*), busa terak tanur tinggi (*foamed blast furnace slag*).

Agregat diperoleh dari sumber daya alam yang telah mengalami pengecilan ukuran secara alamiah (misalnya kerikil) atau dapat pula diperoleh dengan cara memecah batu alam, membakar tanah liat, dan sebagainya.

Agregat pecahan batu (kerikil maupun pasir) diperoleh dengan memecah batu menjadi butiran sebesar yang diinginkan dengan cara meledakkan, memecah, mengayak, dan seterusnya.

Agregat kasar menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia perlu diuji terhadap keausan (dengan menggunakan mesin *Los Angeles*). Persyaratan mengenai ketahanan agregat kasar beton terhadap keausan ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Persyaratan kekerasan agregat kasar

Kekuatan Beton	Maksimum bagian yang hancur dengan mesin <i>Los Angeles</i> , Lolos Ayakan 1,7 mm (%)
Kelas I (sampai 10 MPa)	50
Kelas II (10 MPa - 20 MPa)	40
Kelas III (diatas 20 MPa)	27

Sumber: (Tjokrodimuljo, 2007)

Pori-pori dalam butir agregat mungkin terisi air. Berdasarkan banyaknya kandungan air di dalam agregat, maka kondisi agregat dibedakan menjadi beberapa tingkat kandungan airnya, yaitu (Tjokrodimuljo, 2007) :

- a. Kering tungku yaitu keadaan dimana butiran agregat benar-benar tidak berisi air.
- b. Kering udara yaitu keadaan dimana butir-butir agregat mengandung sedikit air (tidak penuh) di dalam porinya dan permukaan butirnya



- c. Jenuh kering muka yaitu keadaan dimana pada permukaan butir agregat tidak ada air, akan tetapi di dalam butir agregat berisi air. Agregat pada kondisi ini tidak menyerap air dan tidak menambah jumlah air.
- d. Basah yaitu kondisi dimana butir-butir agregat mengandung banyak air, baik di permukaan maupun di dalam butiran agregat. Sehingga bila digunakan dalam adukan akan menambah jumlah air.

Keadaan jenuh kering muka lebih disukai sebagai standar dalam campuran beton (*mix design*), hal ini disebabkan karena keadaan jenuh kering muka merupakan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak akan menambah maupun mengurangi air dari pastinya, selain itu kadar air di lapangan lebih banyak yang mendekati keadaan SSD daripada yang kering tungku.

Gradasi adalah distribusi ukuran butir dari agregat. Butiran agregat yang memiliki ukuran yang sama (seragam) akan membuat volume pori antara agregat menjadi semakin besar dan butiran agregat dengan ukuran yang bervariasi akan membuat volume pori antara agregat menjadi semakin besar dan butiran agregat dengan ukuran yang bervariasi akan membuat volume pori antara agregat menjadi kecil (Tjokrodimuljo, 1996).

### 3. Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting namun harganya paling murah. Pada pembuatan beton, semen tidak bisa menjadi pasta tanpa air. Untuk itu air diperlukan untuk memicu proses kimiawi semen (hidrasi semen). Selain air juga berfungsi menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan (*workability*).

Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih 25%-30% dari berat semen yang digunakan, namun dalam kenyataannya jika nilai faktor air semen kurang dari 0,35 adukan beton sulit dikerjakan, sehingga umumnya nilai faktor air semen lebih dari 0,40 (berarti terdapat kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen). Kelebihan air ini

diperlukan sebagai pelumas agar adukan beton dapat dikerjakan. Makin banyak air maka adukan beton semakin mudah dikerjakan. Akan tetapi setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi *porous* (keropos) sehingga kekuatannya rendah. Pada beton segar akan tidak dapat dikerjakan dengan sempurna sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos dan memiliki kekuatan yang rendah.

Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton, tetapi tidak berarti air untuk pencampur beton harus memenuhi standar persyaratan air minum. Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, zat organik atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau tulangan ( Mulyono, 2003).

Kualitas beton akan berkurang jika air mengandung kotoran. Air yang mengandung kotoran berpengaruh terhadap lamanya waktu ikatan awal adukan beton serta kekuatan beton setelah mengeras. Air sebagai bahan bangunan sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut (standar SK SNI-S-04-1989-F, Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A dalam Tjokodimuljo, 2007) :

- a. Air harus bersih.
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya yang dapat dilihat secara visual. Benda-benda tersuspensi ini tidak boleh lebih dari 2 gram per liter.
- c. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram per liter.
- d. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram per liter. Khusus untuk beton pra-tegang kandungan klorida tidak boleh lebih dari 0,05 gram per liter.
- e. Tidak mengandung senyawa sulfat ( $SO_3$ ) lebih dari 1 gram per liter.

#### 4. Bahan Tambahan Beton (*Admixture*)

Bahan tambahan beton (*admixture*) adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang ditambahkan ke dalam campuran beton selama

betonnya. Bahan tambahan yang dimaksud dapat berupa bahan kimia (*chemical admixture*) atau bahan lainnya.

Jumlahnya yang relatif sedikit tetapi pengaruhnya cukup besar pada beton mengakibatkan bahan tambah sering digunakan. Bahan tambah biasanya digunakan pada dosis tertentu, kesalahan dalam dosis penggunaan serta cara pemakaiannya dapat berpengaruh terhadap kualitas beton yang dihasilkan.

Fungsi-fungsi bahan tambah antara lain :

- a. Mempercepat pengerasan.
- b. Menambah kelecakan (*workability*) beton segar.
- c. Menambah kuat tekan beton.
- d. Meningkatkan daktilitas atau mengurangi sifat getas beton.
- e. Mengurangi retak-retak pengerasan
- f. Mengurangi panas hidrasi.
- g. Menambah kekedapan.
- h. Menambah keawetan.

#### **D. Pengolahan dan Karakteristik Lumpur**

Pada dasarnya pengaruh lumpur yang tidak diolah akan lebih banyak merugikan terhadap sifat-sifat beton. Beberapa pengaruh yang terjadi bila kadar lumpur terlalu banyak atau melebihi jumlah yang diisyaratkan, adalah :

1. Lumpur dan tanah liat adalah jenis agregat dengan kekuatan yang rendah. Semakin banyak kandungan lumpur dalam campuran beton maupun dalam campuran mortar maka kekuatan konstruksinya akan semakin kecil.
2. Semakin banyak jumlah lumpur dalam campuran beton maupun mortar, maka jumlah permukaan lumpur akan semakin banyak, sehingga akan membutuhkan semen yang semakin banyak untuk mengikat permukaan antar masing-masing agregat. Jika digunakan komposisi yang tetap antara semen, pasir, dan kerikil padahal jumlah lumpur melebihi yang diisyaratkan maka kekuatan

3. Lumpur dan tanah liat adalah material yang banyak menyerap air, sehingga adukan atau campuran beton biasa berubah. Ketika beton masih muda, pengikatan antara semen dengan agregat pasir ataupun kerikil akan terganggu. Penambahan air terhadap adukan beton akan membuat kekuatan beton tidak kuat dan akan didapatkan hasil beton yang kurang baik. Penambahan air yang diizinkan terhadap campuran maksimum 9% dari jumlah komposisi air yang diisyaratkan (Pujiyanto, 2010).
4. Ketika beton telah mengeras, lumpur mempunyai hubungan kontak langsung dengan air melalui pori-pori beton, maka lumpur akan mengembang ataupun menyusut di dalam beton. Jika hal ini terjadi maka dalam waktu yang lama akan mengakibatkan beton menjadi lemah.
5. Apabila lumpur terlalu banyak di dalam beton, maka akan membuat pelaksanaannya (*workability*) menjadi sulit. Apabila jumlah air terlalu banyak maka akan membuat pori-pori yang ditinggalkan air setelah mengering akan banyak. Hal ini mengakibatkan beton menjadi keropos dan menurunkan kekuatan beton.

Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan pengolahan dan karakteristik lumpur, yaitu dengan cara dikeringkan dan dihancurkan dengan menggunakan mesin penghancur kopi sebagaimana yang telah dilakukan oleh Soekrisno dkk, (2007 dalam Pujiyanto, 2010) dalam menghancurkan lempung. Bubuk lumpur atau lempung tersebut dikarakterisasi awal, yaitu dengan pemanasan dan dilanjutkan pengayakan (*meshing*). Ukuran butir bubuk lumpur yang digunakan adalah yang melalui *mesh* 200 (*grain size* < 0,075 mm). Untuk menghilangkan berbagai bahan pelarut dan unsur lain yang merugikan seperti karbon dan sulfur, bubuk lumpur dipanaskan pada suhu 800°C selama 4 jam.

#### E. Bubuk Lumpur Lapindo

Jenis bahan tambah yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah bubuk lumpur Lapindo yang merupakan hasil dari pengeboran PT. Lapindo Brantas di Sidoarjo, Jawa Timur. Pengujian kandungan kimia bubuk lumpur lapindo di

Kegunungpian (BPPTK) Yogyakarta dibagi menjadi dua jenis pengujian yaitu pengujian lumpur asli dan pengujian pada lumpur yang telah dipanaskan 800° C selama 4 jam. Hasil pengujiannya ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Kandungan Lumpur Lapindo

Oksida	Lumpur asli (%)	Lumpur setelah dipanaskan 800° C selama 4 jam (%)
Silika (SiO <sub>2</sub> )	53,08	56,68
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	18,27	20,47
Besi (Fe <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	5,60	7,92
Natrium (Na <sub>2</sub> O)	2,97	2,96
Sulfur (SO <sub>2</sub> )	2,96	2,27
Magnesium (MgO)	2,89	1,96
Kapur (CaO)	2,07	1,81
Kalium (K <sub>2</sub> O)	1,44	0,91
Titanium (TiO <sub>2</sub> )	0,57	-

Sumber: BPPTK, 2011

Dari 2 data hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa bubuk lumpur Lapindo yang telah dipanaskan 800°C selama 4 jam mengalami peningkatan pada kandungan oksida silika (SiO<sub>2</sub>) dan oksida alumina (AlO<sub>3</sub>).

Partikel lumpur Lapindo tidak mempunyai sifat hidrasi seperti semen, namun karena mempunyai kandungan utama oksida silika (SiO<sub>2</sub>) yang cukup tinggi, maka pada suhu biasa dapat bereaksi secara kimiawi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>), membentuk terutama senyawa kalsium silikat hidrat (CSH gel) sehingga dapat meningkatkan kekuatan beton, disamping itu dengan adanya bubuk lumpur lapindo yang berbutir sangat halus dapat mengisi pori-pori pada beton secara lebih baik, sehingga didapatkan beton yang bermutu tinggi dan porositasnya lebih rendah (Pujiyanto, 2010).

## F. Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian sejenis mengenai pemanfaatan bubuk lumpur lapindo pernah ditulis oleh Rifky (2011) dengan judul "Tinjauan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Pada Beton Menggunakan Pasir Normal dan Pasir Merapi serta Penambahan Pozzolan Lumpur". Dengan variasi penggantian pasir merapi yang digunakan adalah 0%,20%,40%,60%,80% dan 100%. Serta variasi penambahan pozzolan lumpur Lapindo 0% dan 5% dari berat semen. Uji tekan dan modulus elastisitas

dilakukan pada umur 28 hari, dan menggunakan pasir merapi 100% terhadap berat pasir normal dapat meningkatkan kuat tekan beton dari 27,14 MPa menjadi 35,93 MPa (naik 22,9%). Penggunaan bahan tambah pozzolan lumpur Lapindo sebesar 5% terhadap berat semen dapat meningkatkan kuat tekan beton dari 35,93 MPa