

## BAB II

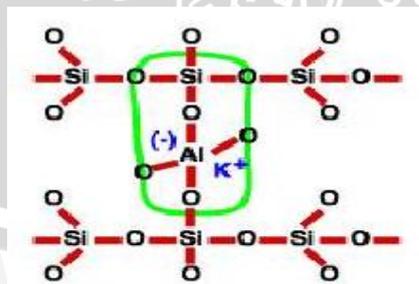
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Beton Geopolimer

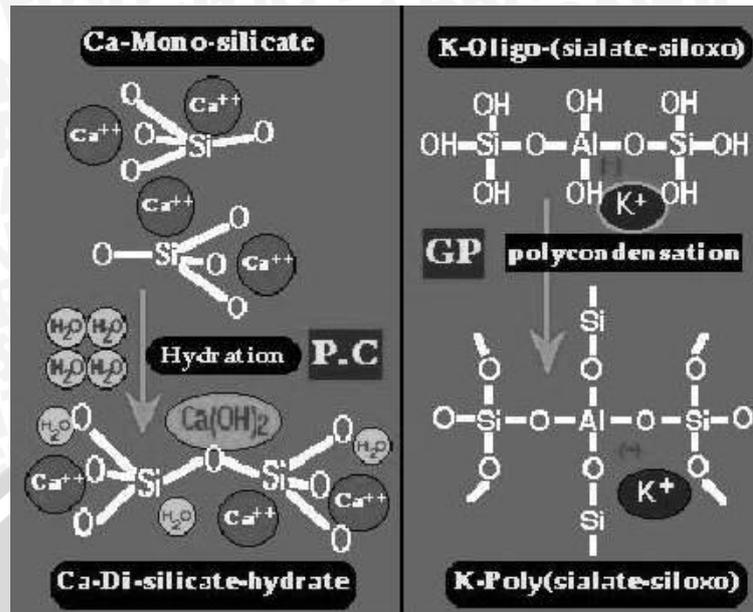
##### 2.1.1 Definisi Beton Geopolimer

Geopolimer adalah campuran beton yang bahan dasarnya tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikat dan digantikan oleh bahan sampingan seperti *fly ash* yang banyak mengandung silikon dan aluminium (Davidovits, 1994). Penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen dianggap efektif, karena selain untuk pemanfaatan bahan sisa limbah pabrik juga sebagai tindakan peduli lingkungan. Geopolimer merupakan produk geosintetik dimana reaksi yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Pada reaksi polimerisasi ini unsur aluminium (Al) dan Silikat (Si) berperan penting dalam ikatan polimer (Davidovits, 1994). Reaksi aluminium dan silika dengan larutan *alkaline* akan menghasilkan  $\text{AlO}_4$  dan  $\text{SiO}_4$  seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.1**, sedangkan perbandingan ikatan kimiawi yang terjadi antara beton geopolimer dan beton konvensional tampak pada **Gambar 2.2**.

Larutan *alkaline* merupakan campuran dari natrium hidroksida (NaOH) atau potassium hidroksida (KOH) yang dilarutkan dengan natrium silikat (*water glass*). Berdasarkan penelitian sebelumnya, penggunaan bahan dasar untuk beton geopolimer seperti *fly ash* direkomendasikan yang memiliki kandungan kalsium rendah (ASTM *fly ash* kelas F). Karena *fly ash* dengan kalsium tinggi akan mengganggu proses polimerisasi dan ikatan pada mikrostrukturnya.



**Gambar 2.1** Ikatan polimerisasi  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$   
 Sumber : [www.geopolymer.org](http://www.geopolymer.org)



**Gambar 2.2** Ikatan yang terjadi pada beton konvensional (kiri) dan ikatan yang terjadi pada beton geopolimer (kanan)  
 Sumber : [www.geopolymer.org](http://www.geopolymer.org)

### 2.1.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton Geopolimer

Suatu campuran beton dikatakan sebagai beton geopolimer jika memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- a) Kelebihan-kelebihan penggunaan beton geopolimer
  - Tahan terhadap serangan asam sulfat.
  - Mempunyai rangkakan dan susut yang kecil.
  - Tahan terhadap reaksi alkali-silika dan juga api.
- b) Kekurangan-kekurangan beton geopolimer
  - Pembuatannya sedikit lebih rumit dari beton konvensional karena jumlah material yang digunakan lebih banyak dari pada beton konvensional.
  - Belum ada perhitungan *mix design* yang pasti.

### 2.1.3 Karakteristik Beton Geopolimer

Suatu campuran beton dikatakan sebagai beton geopolimer jika memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- a) Pada beton segar (*fresh concrete*)

Beton geopolimer dalam keadaan segar memiliki sifat-sifat sebagai berikut :



- Memiliki waktu *setting* 10 jam pada suhu  $-20^{\circ}\text{C}$  sampai 7 – 60 menit pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$ .
- Penyusutan selama *setting* kurang dari 0,05 %.
- Kehilangan massa dari beton basah menjadi beton kering kurang dari 0,1 %.

b) Pada beton keras (*hardened concrete*)

- Memiliki kuat tekan lebih besar dari 90 MPa pada umur 28 hari.
- Memiliki kuat tarik sebesar 10 – 15 MPa pada umur 28 hari.
- Memiliki *water absorpsion* kurang dari 3 %.

## 2.2 Self Compacting Concrete (SCC)

### 2.2.1 Definisi

*Self Compacting Concrete* (SCC) merupakan inovasi dari beton yang tidak memerlukan proses penggetaran untuk menempati bekistingnya dan memadat. SCC mampu mengalir sendiri, mampu memenuhi atau mengisi bekisting (*formwork*), dan mencapai kepadatan tertingginya. Beton yang keras adalah beton yang padat (masif), homogen dan mempunyai sifat fisik, sifat mekanik dan durabilitas yang sama dengan beton konvensional yang memerlukan proses penggetaran.

SCC pertama kali dikembangkan di Jepang pada tahun 1980. Sejak saat itu banyak dilakukan penelitian untuk mendapatkan campuran SCC yang optimal. SCC tidak memerlukan pemadatan dan mampu mengalir memenuhi seluruh ruang kosong dan rongga bekisting. Setelah pengecoran selesai dilakukan, permukaan beton menjadi rata.

SCC dapat mempermudah pelaksanaan di lapangan karena mempunyai tingkat workabilitas yang tinggi. SCC yang mengeras bersifat padat, homogen, dan mempunyai durabilitas yang sama dengan beton konvensional yang digetarkan (*The European Guidelines for Self-Compacting Concrete*, 2005). Beberapa metode yang telah diterapkan untuk memperoleh sifat beton yang *self-compatibility* adalah membatasi kandungan agregat, rasio *water-powder* yang rendah, dan penggunaan bahan tambahan adiktif seperti *superplasticizer*. (Okamura dan Ouchi, 2003)

### 2.2.2 Kelebihan dan Kekurangan *Self Compacting Concrete* (SCC)

Berdasarkan Muntu dan Gunawan (2003), kelebihan-kelebihan dari penggunaan *Self Compacting Concrete* (SCC) adalah sebagai berikut :

#### a) Keuntungan bagi kontraktor

- Tidak memerlukan pemadatan dengan menggunakan *vibrator*.
- Mengurangi penyakit “*White Finger Syndrome*”, yaitu kurang lancarnya peredaran darah yang terjadi pada pekerja-pekerja pematat adukan beton.
- Tenaga kerja yang dibutuhkan lebih sedikit.
- Pemakaian alat-alat berat, misalnya *crane* menjadi lebih sedikit.
- Waktu pengerjaan pengecoran menjadi lebih singkat.
- Pengecoran pada bagian-bagian elemen struktur yang sulit dipadatkan dengan *vibrator* menjadi lebih mudah.
- Pekerjaan *finishing* menjadi berkurang karena permukaan beton yang dihasilkan homogen, khususnya pada elemen pelat.

#### b) Keuntungan bagi produsen *Ready-Mix*

- Peningkatan kapasitas produksi karena singkatnya waktu pengiriman dan pengecoran.
- *Self Compacting Concrete* (SCC) mudah dipompakan.

#### c) Keuntungan bagi pemilik proyek (*owner*)

- Waktu pelaksanaan proyek menjadi lebih cepat.
- Struktur bangunan dapat dibuat lebih ekonomis, memungkinkan pembuatan elemen struktur yang tipis.
- Memungkinkan pembangunan bermacam-macam bentuk arsitektural, karena *Self Compacting Concrete* (SCC) dapat mengisi ke semua bagian *formwork* struktur.
- Pekerjaan *finishing* lantai menjadi lebih mudah karena pelat lantai yang dihasilkan sangat halus.
- Meningkatkan durabilitas struktur.

Apabila ditinjau dari segi durabilitas struktur, keuntungan yang diperoleh antara lain :

- Meningkatkan homogenitas dari beton.

- Dapat membungkus tulangan dengan baik.
- Porositas dari matrik beton yang rendah.
- *No carbonation*.

Berdasarkan Muntu dan Gunawan (2003), kekurangan-kekurangan penggunaan *Self Compacting Concrete* (SCC) :

- Dari segi biaya, *Self Compacting Concrete* (SCC) lebih mahal daripada beton konvensional.
- Pembuatan bekisting cetakan beton harus diperhatikan karena mudah terjadi kebocoran akibat sangat encernya campuran beton yang dihasilkan.
- Karena pemakaian semen yang cukup tinggi maka perlu diperhatikan dalam segi pemeliharaan seperti *curing* untuk mencegah terjadinya susut dan retak pada beton.

### 2.2.3 Karakteristik *Self Compacting Concrete* (SCC)

Berdasarkan Muntu dan Gunawan (2003), suatu campuran beton dikatakan *Self Compacting Concrete* (SCC) jika memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- Pada beton segar (*fresh concrete*)

*Self Compacting Concrete* (SCC) dalam keadaan segar harus memiliki tingkat *workability* yang baik, yaitu :

- *Filling Ability*  
Kemampuan campuran beton segar untuk mengisi ruangan.
- *Passing Ability*  
Kemampuan campuran beton segar untuk melewati tulangan.
- *Segregation Resistance*  
Ketahanan campuran beton segar terhadap segregasi.

- Pada beton keras (*hardened concrete*)

- Memiliki tingkat absorpsi dan permeabilitas yang rendah.
- Mempunyai tingkat durabilitas yang tinggi.
- Mampu membentuk campuran beton yang homogen.

### 2.3 Material Beton Geopolimer *Fly Ash* dengan Metode *Self Compacting Concrete*

Bahan campuran beton geopolimer *fly ash* SCC adalah sebagai berikut :

#### 2.3.1 Agregat

Agregat mempunyai peranan sangat penting terhadap harga beton maupun kualitasnya. Volume total beton terdiri dari 65 – 75% volume agregat, oleh karena itu dengan menggunakan komposisi agregat semaksimal mungkin akan diperoleh harga beton yang lebih murah. (Sjafei Amri, 2005)

Berdasarkan distribusi kumpulan ukuran butirnya, agregat dapat dibedakan menjadi agregat kasar dan agregat halus. Agregat berfungsi untuk memberi bentuk pada beton, memberi kekerasan yang dapat menahan beban, goresan dan cuaca, mengontrol *workability*, serta agar lebih ekonomis karena menghemat pemakaian semen. Persyaratan teknis agregat beton mengacu pada Pasal 3.3-3.5 Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBU) tahun 1971 N.1-2 dan standar ASTM C 33-97.

##### 2.3.1.1 Agregat Kasar

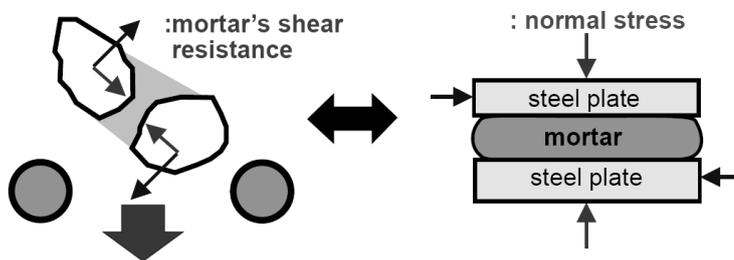
Yang dimaksud dengan agregat kasar adalah butiran mineral keras yang sebagian besar butirannya berukuran antara 5 mm sampai 40 mm, dan besar butiran maksimum yang diijinkan tergantung pada maksud dan pemakaian (Departemen Pekerjaan Umum, 1982). Agregat kasar yang akan dicampurkan sebagai adukan beton harus mempunyai syarat mutu yang ditetapkan



**Gambar 2.3** Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton geopolimer *fly ash* SCC ini harus lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah agregat halus yang digunakan. Hal ini dilakukan agar blok-blok yang terjadi ketika aliran beton melewati tulangan baja dapat ditekan seminimal mungkin. Blok-blok ini terjadi karena sifat viskositas yang tinggi dari aliran beton segar, sehingga agregat-agregat kasar saling bersinggungan. Akibat terjadinya saling kontak antara agregat kasar maka *shear stress* akan terjadi dan karena aliran beton sangat lambat maka beton akan terkumpul di satu tempat sehingga

mengurangi tingkat *workability* dari beton. Pembatasan jumlah agregat kasar dilakukan agar kemampuan aliran beton melewati tulangan lebih maksimal.



**Gambar 2.4** Shear stress akibat saling kontak antara agregat kasar  
Sumber : Hajime Okamura (2003)

Selain dari segi jumlah, ukuran dari agregat kasar juga harus dibatasi. Batasan untuk ukuran agregat kasar adalah maksimum 20 mm. Hal ini dilakukan untuk menghindari segregasi pada saat aliran beton melewati struktur dengan tulangan yang rapat.

Adapun persyaratan batu pecah yang digunakan dalam campuran beton menurut Departemen Pekerjaan Umum (1982) adalah sebagai berikut :

1. Syarat fisik, meliputi :

- a. Besar butir agregat maksimum, tidak boleh lebih besar dari  $\frac{1}{5}$  jarak terkecil bidang-bidang samping dari cetakan,  $\frac{1}{3}$  tebal pelat atau  $\frac{3}{4}$  dari jarak bersih minimum tulangan.
- b. Kekerasan yang ditentukan dengan menggunakan bejana *Rudellof* tidak boleh mengandung bagian hancur yang tembus ayakan 2 mm lebih dari 16% berat.
- c. Bagian yang hancur bila diuji dengan menggunakan mesin *Los Angeles*, tidak boleh lebih dari 27% berat.
- d. Kadar Lumpur, maksimal 1%.
- e. Bagian butir yang panjang dan pipih, maksimum 20% berat, terutama untuk beton mutu tinggi.

2. Syarat kimia, meliputi :

- a. Kekekalan terhadap  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  bagian yang hancur, maksimum 12% berat, dan kekekalan terhadap  $\text{MgSO}_4$  bagian yang hancur, maksimum 18%.
- b. Kemampuan bereaksi terhadap alkali harus negatif sehingga tidak berbahaya.

### 2.3.1.2 Agregat Halus

Yang dimaksud dengan agregat halus adalah butiran-butiran mineral keras dan halus yang bentuknya mendekati bulat, ukuran butirannya sebagian besar terletak antara 0,075 mm sampai 5 mm dan kadar bagian yang ukurannya lebih kecil dari 0,063 mm tidak lebih dari 5% (Departemen Pekerjaan Umum, 1982). Jumlah agregat halus yang digunakan dalam beton geopolimer *fly ash* SCC harus lebih banyak dibandingkan dengan jumlah agregat kasar yang digunakan. Agregat halus beton dapat berupa pasir alami, sebagai disintegrasi alami atau berupa pasir buatan yang dihasilkan dari alat-alat pemecah batu.

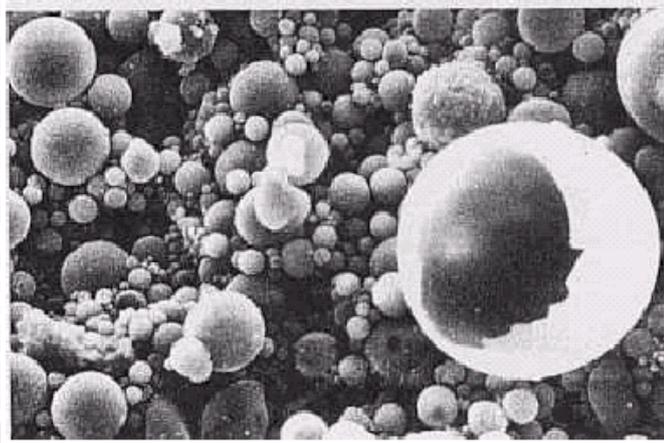


**Gambar 2.5** Agregat halus

Sesuai dengan syarat-syarat pengawasan mutu pada Departemen Pekerjaan Umum (1982), maka agregat halus harus memenuhi syarat sebagai berikut :

- a. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras. Butir agregat halus tidak boleh pecah dan hancur oleh pengaruh cuaca.
- b. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%, jika melebihi dari 5% pasir harus dicuci.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dengan menambahkan larutan NaOH 3%.
- d. Agregat halus harus terdiri dari butiran-butiran ragam besarnya, apabila diayak harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:
  - 1) Sisa di atas ayakan 4 mm, harus minimum 2%.
  - 2) Sisa di atas ayakan 1 mm, harus berkisar antara 10% berat.
  - 3) Sisa di atas ayakan 0,25 mm, harus berkisar antara 80% sampai 90%.





**Gambar 2.6** Scanning Electron Microscopy (SEM) partikel *fly ash* (Kosmatka et al., 2002)  
Sumber : Cristian Druta (2003)

#### 2.3.2.4 Klasifikasi Jenis *Fly Ash*

Menurut ACI (1993) *fly ash* dapat dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu kelas C dan kelas F. Sedangkan menurut ASTM C 618-86, klasifikasi jenis *fly ash* dibedakan menjadi 3 (tiga) yaitu kelas C, kelas F dan kelas N.

##### a. Kelas C

- Kadar  $\text{CaO} > 10\%$ .
- Kadar  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 50\%$ .
- Kadar  $\text{Na}_2\text{O}$  mencapai  $10\%$ .
- Dalam campuran beton digunakan sebanyak  $15\% - 35\%$  dari total berat binder.
- *Fly ash* dihasilkan dari pembakaran lignit atau batu bara dengan kadar karbon  $\pm 60\%$  atau sub bitumen.



**Gambar 2.7** *Fly ash* kelas C (warna coklat muda)

Sumber : <http://www.caer.uky.edu/kyasheducation/glossary.shtml>

### b. Kelas F

- Kadar CaO < 10%.
- Kadar ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ )  $\geq 70\%$ .
- Kadar  $\text{Na}_2\text{O}$  < 5%.
- Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 25% dari total berat binder.
- Abu terbang dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis *anthracite* pada suhu  $1560^\circ\text{C}$ .



**Gambar 2.8** Fly Ash Kelas F (warna coklat tua)

Sumber : <http://www.caer.uky.edu/kyasheducation/glossary.shtml>

### c. Kelas N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, *opaline chertz*, dan *shales, tuff* dan abu vulkanik, dimana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. Selain itu juga memiliki sifat pozzolanik yang baik.

**Tabel 2.1** Spesifikasi Kimia dan Fisik Tiap Kelas Fly Ash

	Kelas Fly Ash		
	N	F	C
<b>Syarat Kimia</b>			
( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) min. (%)	70	70	50
Sulfur trioksida ( $\text{SiO}_3$ ) maks. (%)	4	5	5
Kadar air maks. (%)	3	3	3
LOI ( <i>Loss on Ignition</i> ) maks. (%)	10	6 <sup>a</sup>	6
Kandungan alkali sebagai $\text{Na}_2\text{O}$ maks (%) <sup>b</sup>	1,5	1,5	1,5
<b>Syarat Fisik</b>			
Kehalusan, tertahan pada saringan 325 maks. (%)	34	34	34
<b>Strength Activity Index Cement Portland</b>			
7 hari, min. (%)	75 <sup>c</sup>	75 <sup>c</sup>	75 <sup>c</sup>

28 hari, min. (%)	75 <sup>c</sup>	75 <sup>c</sup>	75 <sup>c</sup>
Kebutuhan air, maks. (%)	115	105	105
Kekekalan; Pemuai dalam <i>autoclave</i> , maks.	0,8	0,8	0,8

**Catatan :**

- a) Penggunaan *fly ash pozzolan* tipe F dengan tingkat LOI >12% dapat digunakan apabila telah ada catatan mengenai performa atau tes laboratorium sebelumnya.
- b) Dipakai saat spesifikasi dibutuhkan oleh pengguna sebagai bahan tambahan mineral yang digunakan pada beton yang memakai agregat reaktif dan semen untuk mendapatkan nilai batas kandungan alkali.
- c) Hubungan *strength activity index* pada umur 7 dan 28 hari menunjukkan pemenuhan spesifikasi.

### 2.3.2.5 Keunggulan Penggunaan Fly Ash

Berdasarkan (ACI, 1993), penggunaan *fly ash* dalam campuran beton memiliki berbagai keunggulan, yaitu :

#### a. Pada beton segar

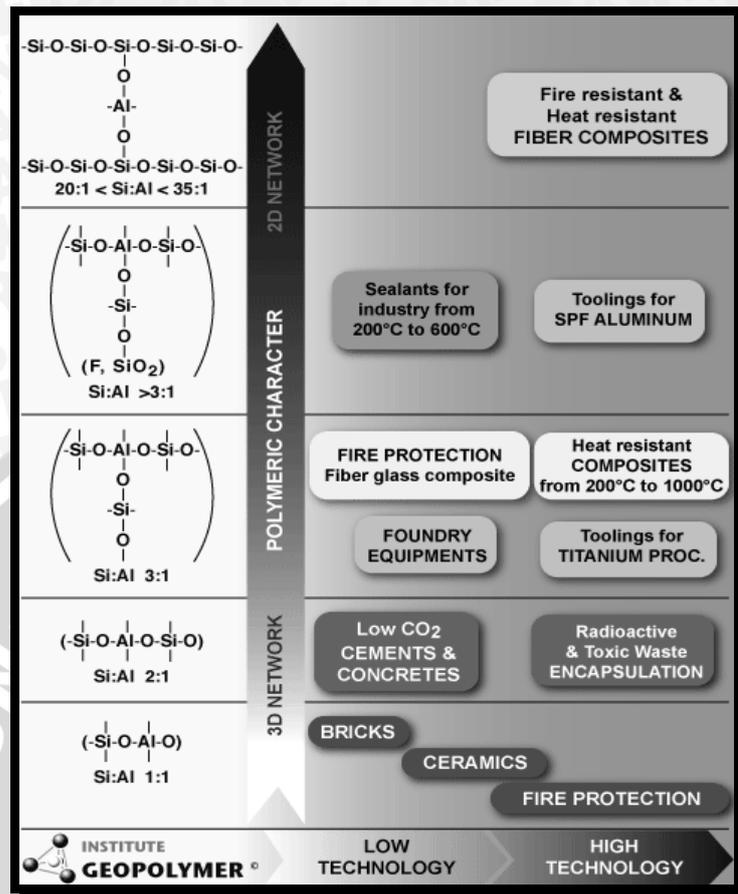
- Kehalusan dan bentuk partikel *fly ash* yang bulat dapat meningkatkan *workability*.
- Mengurangi terjadinya *bleeding* dan segregasi.

#### b. Pada beton keras

- Meningkatkan kuat tekan beton setelah umur  $\pm$  52 hari.
- Meningkatkan durabilitas beton.
- Meningkatkan kepadatan (*density*) beton.
- Mengurangi terjadinya penyusutan beton.

### 2.3.3 Alkaline Activator

Natrium silikat dan natrium hidroksida digunakan sebagai *alkaline activator* (Hardjito & Rangan, 2005). Natrium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Sedangkan natrium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.



**Gambar 2.9** Pengaruh rasio Si/Al pada ikatan polimer  
 Sumber: [www.geopolymer.org](http://www.geopolymer.org)

### 2.3.3.1 Natrium Silikat

Natrium silikat merupakan salah satu bahan tertua dan paling aman yang sering digunakan dalam industri kimia. Proses produksinya yang lebih sederhana menyebabkan natrium silikat berkembang dengan cepat sejak 1818.

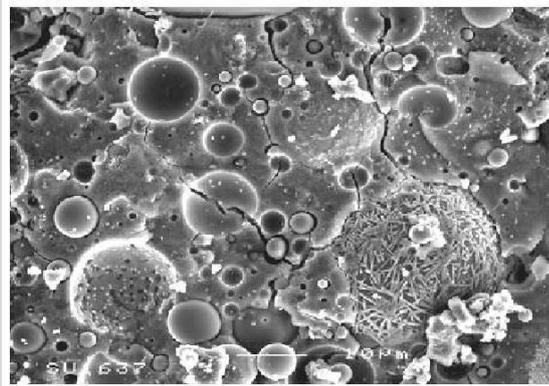


**Gambar 2.10** Natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )

Natrium silikat terdapat dalam dua bentuk, yaitu padatan dan larutan. Untuk campuran beton lebih banyak digunakan dalam bentuk larutan. Natrium silikat atau yang lebih dikenal dengan *water glass*, pada mulanya digunakan sebagai campuran dalam pembuatan sabun. Tetapi dalam perkembangannya natrium silikat dapat

digunakan untuk berbagai macam keperluan, antara lain untuk bahan campuran semen, pengikat keramik, *coating*, campuran cat serta dalam beberapa keperluan industri seperti kertas, tekstil, dan serat. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa natrium silikat dapat digunakan untuk bahan campuran dalam beton. Dalam penelitian ini, natrium silikat digunakan sebagai salah satu *alkaline activator*.

Natrium silikat ini merupakan salah satu larutan alkali yang memiliki peranan penting dalam proses polimerisasi karena natrium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Reaksi terjadi secara cepat ketika larutan alkali banyak mengandung larutan silikat, dibanding reaksi yang terjadi akibat larutan alkali yang banyak mengandung larutan hidroksida.



**Gambar 2.11** *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dari campuran antara *fly ash* dengan natrium silikat

Sumber : Dr. Neil B. Milestone dan Dr. Cyril Lynsdale (2004)

**Gambar 2.11** menunjukkan campuran *fly ash* dengan natrium silikat yang diamati dalam ukuran mikrostruktur. Terlihat bahwa campuran antara *fly ash* dan natrium silikat membentuk ikatan yang sangat kuat namun banyak terjadi retakan-retakan antar mikrostruktur.

### 2.3.3.2 Natrium Hidroksida

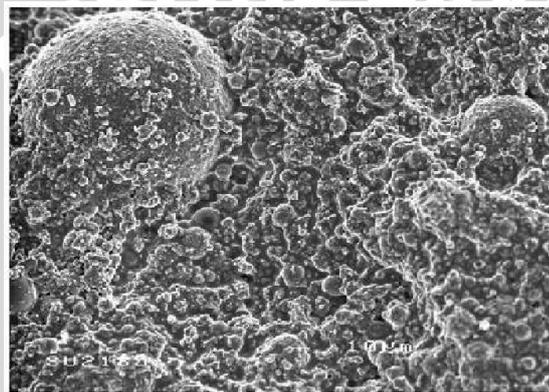
Natrium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

**Gambar 2.13** menunjukkan campuran *fly ash* dengan natrium hidroksida yang diamati dalam ukuran mikrostruktur.



**Gambar 2.12** Natrium hidroksida (NaOH)

Terlihat bahwa campuran antara *fly ash* dengan natrium hidroksida membentuk ikatan yang kurang kuat tetapi menghasilkan ikatan yang lebih padat dan tidak ada retakan seperti pada campuran *fly ash* dan natrium silikat.



**Gambar 2.13** Scanning Electron Microscopy (SEM) dari campuran antara *fly ash* dengan natrium hidroksida

Sumber : Dr. Neil B. Milestone dan Dr. Cyril Lynsdale (2004)

### 2.3.4 Viscocrete

#### 2.3.4.1 Definisi Viscocrete

Berdasarkan ASTM C. 494, *viscocrete* termasuk bahan *admixture* tipe G. *Viscocrete* merupakan *superplasticising admixture* berjenis *High Range Water Reducer Retarder* (HWRRe) berbasis *polycarboxylate* polimer yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan dalam jumlah besar untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan juga untuk menghambat pengikatan beton. Selain itu *viscocrete* juga berfungsi untuk meningkatkan daya alir beton segar, sehingga beton dapat mengalir dan memadat dengan mengandalkan berat sendirinya.

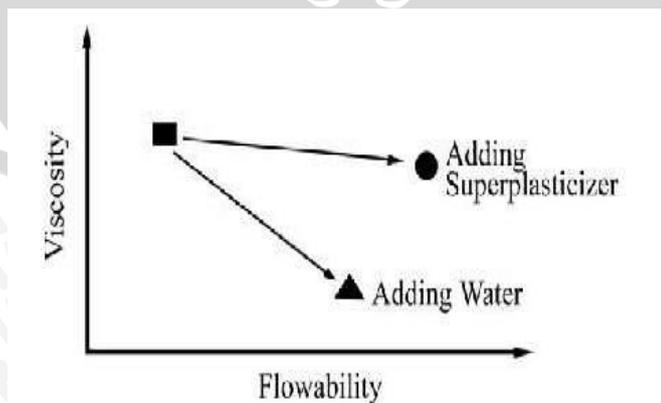


Gambar 2.14 Sika *viscocrete* 10

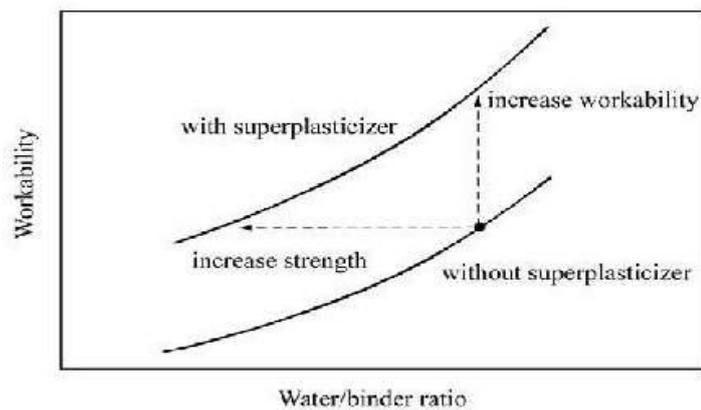
#### 2.3.4.2 Keuntungan Penggunaan *Viscocrete*

Keuntungan yang diperoleh dari penggunaan *viscocrete* ini yaitu :

- Pada beton segar (*Fresh Concrete*)
  - Mengurangi kadar air beton dalam jumlah besar
  - Meningkatkan workabilitas beton
  - Meningkatkan homogenitas beton
- Pada beton keras (*Hardened Concrete*)
  - Meningkatkan densitas beton
  - Meningkatkan kuat tekan beton
  - Mengurangi permeabilitas beton
  - Meningkatkan durabilitas beton
  - Mengurangi terjadinya susut dan retak
  - Mengurangi terjadinya karat pada besi tulangan



Gambar 2.15 Efek penggunaan *superplasticizer* terhadap viskositas (Okumura, 1997)  
Sumber : Cristian Druta (2003)



**Gambar 2.16** Efek penggunaan *admixture*

Sumber : A.K.H Kwan (2000)

### 2.3.5 Air

Air merupakan bahan pembuat beton yang sangat penting namun harganya paling murah. Pada pekerjaan beton, air memiliki beberapa fungsi yaitu sebagai pembersih agregat dari kotoran yang melekat, merupakan media untuk pencampur, mengecor, dan memadatkan serta memelihara beton. Selain itu yang tidak kurang pentingnya yaitu air berfungsi sebagai bahan baku yang mengakibatkan proses kimia terjadinya reaksi pada campuran beton.

Air di alam dapat diperoleh dari berbagai sumber, seperti dari sungai, laut, sumur artesis ataupun dari sumur terbuka. Namun tidak seluruh air di permukaan bumi dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan beton yang dapat menghasilkan beton berkualitas baik. Air yang dapat digunakan sebagai bahan pencampur pada pekerjaan beton ialah air yang tidak mengandung zat yang dapat menghalangi proses pengikatan secara kimia yang terjadi pada beton. Pada umumnya air yang tidak berbau dan dapat diminum boleh digunakan sebagai bahan pencampur.

Kandungan zat yang dapat memberikan pengaruh kurang baik terhadap kualitas beton antara lain *clay*, asam, alkali, beberapa jenis garam lainnya, air limbah dan zat organik.

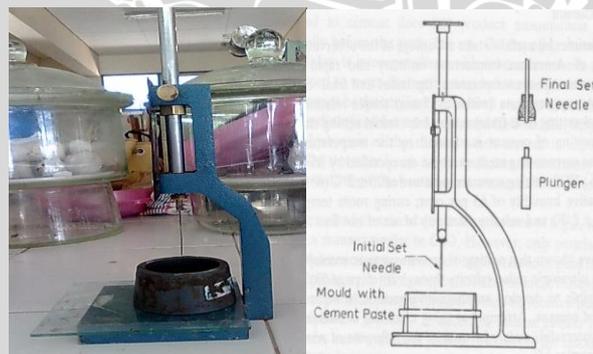
SNI 03-2847-2002 dalam Pasal 5.4 ayat 1 s/d 3 mensyaratkan sebagai berikut :

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan yang merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam dan bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton ataupun tulangan.

2. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang di dalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan, kecuali ketentuan berikut terpenuhi :
  - a. Pemilihan proporsi campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
  - b. Hasil pengujian pada umur 7 hari dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dari air yang dapat diminum.

#### 2.4 *Setting Time*

*Setting* beton adalah perubahan secara gradual dari beton cair menjadi beton keras. *Initial setting time* merupakan perubahan kondisi campuran dari cair menjadi plastis. Sedangkan *final setting time* merupakan perubahan kondisi campuran dari plastis menjadi kaku. (Sjafei Amri, 2005)



**Gambar 2.17** Alat *vicat*  
Sumber : A. M. Neville (1981)

Keadaan *setting time* dalam campuran beton sangat penting karena waktu *setting* ini menentukan waktu pengerasan campuran beton dan diikuti dengan terjadinya susut pada beton. Secara umum metode yang digunakan untuk menentukan *initial setting time* dan *final setting time* adalah alat ukur jarum *vicat* dan untuk metode tahanan penetrasi digunakan alat ukur penetrometer (ASTM C403, 1999). Jarum yang digunakan memiliki diameter  $1,13 \pm 0,05$  mm. *Initial setting time* beton geopolimer ditandai

dengan penetrasi jarum *vicat* sedalam 25 mm, sedangkan *final setting time* terjadi apabila jarum *vicat* tidak dapat menembus permukaan binder dalam *mould vicat*.

Beton geopolimer *fly ash* memiliki waktu *setting* yang lebih cepat dibandingkan dengan beton normal. Hal ini menjadikan beton geopolimer *fly ash* susah untuk dikerjakan di lapangan. Untuk memperpanjang waktu *setting* dapat ditambahkan bahan *admixture* untuk memperlama waktu pengerasan.

## 2.5 Proses Curing

Untuk mendapatkan beton geopolimer *fly ash* SCC dengan kekuatan yang optimal, maka harus diperhatikan proses *curing* pada beton geopolimer tersebut setelah beton tersebut direaksikan. Beton geopolimer *fly ash* SCC ini cenderung mengering lebih cepat dibandingkan dengan beton konvensional karena jumlah binder yang lebih banyak dan nilai *water/binder* yang rendah. Oleh karena itu proses *curing* harus sangat diperhatikan untuk mencegah terjadinya retak akibat penyusutan. (*The European Guidelines for Self-Compacting Concrete*, 2005)

Berdasarkan (Tri Mulyono, 2004:230), ada beberapa jenis metode perawatan (*curing*), antara lain:

### 1. Perawatan dengan pembasahan

Pekerjaan perawatan dengan pembasahan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu :

- a. Menaruh beton dalam ruangan yang lembab
- b. Menaruh beton dalam genangan air
- c. Menyelimuti permukaan beton dengan air
- d. Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah
- e. Menyirami permukaan beton secara kontinyu
- f. Melapisi permukaan beton dengan air dengan melakukan *compound*

### 2. Perawatan dengan penguapan

Perawatan dengan uap dapat dibagi menjadi dua, yaitu perawatan dengan tekanan rendah dan perawatan dengan tekanan tinggi. Perawatan dengan tekanan rendah berlangsung selama 10 – 12 jam pada suhu 40° – 55°C, sedangkan penguapan dengan suhu tinggi dilaksanakan selama 10 – 16 jam pada suhu 65° –

95°C, dengan suhu akhir 40° – 55°C. Sebelum perawatan dengan uap dilakukan, beton harus dipertahankan pada suhu 10° – 30°C selama beberapa jam.

Perawatan dengan penguapan berguna pada daerah yang mempunyai musim dingin. Perawatan ini harus diikuti dengan pembasahan setelah lebih dari 24 jam, minimal selama umur 7 hari, agar kekuatan tekan dapat tercapai sesuai dengan rencana pada umur 28 hari.

### 3. Perawatan dengan membran

Lembaran plastik atau lembaran lain yang kedap air dapat digunakan dengan sangat efisien. Membran yang digunakan untuk perawatan merupakan penghalang fisik untuk menghalangi penguapan air. Perawatan dengan menggunakan membran sangat berguna untuk perawatan pada lapisan perkerasan beton (*rigid pavement*). Cara ini harus dilaksanakan sesegera mungkin setelah waktu pengikatan beton. Perawatan dengan cara ini dapat juga dilakukan setelah atau sebelum perawatan dengan pembasahan.

### 4. Perawatan lainnya

Perawatan pada beton lainnya yang dapat dilakukan adalah perawatan dengan menggunakan sinar infra merah, yaitu dengan melakukan penyinaran selama 2 – 4 jam pada suhu 90°C. Hal tersebut dilakukan untuk mempercepat penguapan air pada beton mutu tinggi. Selain itu ada pula perawatan hidrotermal (dengan memanaskan cetakan untuk beton-beton pra-cetak selama 4 jam pada suhu 65°C) dan perawatan dengan karbonisasi.

## 2.6 Pengujian Beton Geopolimer *Fly Ash Self Compacting Concrete* (SCC)

### 2.6.1 Pengujian Beton Segar

Metode yang dilakukan untuk pengujian beton segar sangat berbeda antara teknologi SCC dan teknologi konvensional. Berbagai metode dan alat-alat pengujian telah dikembangkan saat ini guna untuk mendukung terpenuhinya kriteria-kriteria SCC seperti yang telah disebutkan di atas. Alat-alat pengujian beserta fungsinya dapat dilihat pada **Tabel 2.2** berikut :

**Tabel 2.2** Macam-Macam Alat Pengujian

No.	Alat Uji Workability	Fungsi Alat
1	<i>Slump Flow</i>	<i>Filling ability</i>
2	<i>J-ring</i>	<i>Passing ability</i>
3	<i>V-Funnel</i>	<i>Filling ability</i>
	<i>V-Funnel at T<sub>5 minutes</sub></i>	<i>Segregation resistance</i>
4	<i>L-Shaped Box</i>	<i>Passing ability</i>
5	<i>U-Shaped Box</i>	<i>Passing ability</i>
6	<i>Fill-Box</i>	<i>Passing ability</i>
7	<i>GTM Screen Stability Test</i>	<i>Segregation resistance</i>
8	<i>Orimet</i>	<i>Filling ability</i>

Sumber : Efnarc Association, *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete* (2002)

**Tabel 2.3** Batasan Kriteria SCC

No.	Method	Unit	Typical Range of Values	
			Min.	Max.
1	<i>Slump flow by Abrams Cone</i>	mm	650	800
2	<i>T<sub>50cm</sub> slump flow</i>	sec	2	5
3	<i>J-ring</i>	mm	0	10
4	<i>V-funnel</i>	sec	6	12
5	<i>Time increase, V-funnel at T<sub>5 minutes</sub></i>	sec	0	3
6	<i>L-shaped box</i>	(h <sub>2</sub> /h <sub>1</sub> )	0,8	1
7	<i>U-shaped box</i>	(h <sub>2</sub> -h <sub>1</sub> ) mm	0	30
8	<i>Fill-box</i>	%	90	100
9	<i>GTM Screen stability test</i>	%	0	15
10	<i>Orimet</i>	sec	0	5

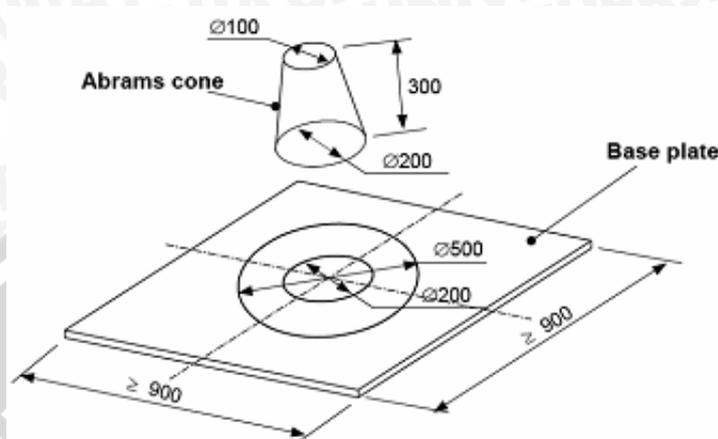
Sumber : Efnarc Association, *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete* (2002)

Pada penelitian ini kami tidak menggunakan semua alat tersebut karena adanya keterbatasan waktu dan biaya dalam proses pembuatannya. Maka dari itu hanya diambil beberapa alat yang dapat mewakili pengujian kriteria SCC tersebut, yaitu *slump flow test* dan *v-funnel test*.

### 2.6.1.1 Slump Flow Test

Pengujian *slump* ini berbeda dengan pengujian *slump* yang dilakukan pada beton konvensional, pada pengujian *slump flow* ini alat digunakan terbalik sehingga diameter yang kecil terletak di bawah dan diameter yang besar terletak di atas.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan campuran beton untuk mengisi ruangan (*filling ability*). Hal ini dapat dilihat dari diameter lingkaran campuran beton yang dicapai.



**Gambar 2.18** Alat pengujian *slump flow*

Metode pengujian dengan *slump flow* ini merupakan metode yang sederhana, cepat dan mudah untuk dilakukan di lapangan. Metode ini tidak dapat mengindikasikan kemampuan campuran beton untuk menahan segregasi. Pengujian ini sangat menguntungkan untuk menjaga konsistensi campuran beton yang dibuat.

Dalam pengujian dengan metode ini terdapat suatu batasan-batasan dimana kategori SCC dikatakan masuk dalam syarat *filling ability* yang baik. Batasan dalam uji *slump flow* ini adalah campuran beton yang dikategorikan SCC harus mampu mencapai diameter 50 cm dalam waktu 2 - 5 detik setelah *abrams cone* ditarik.

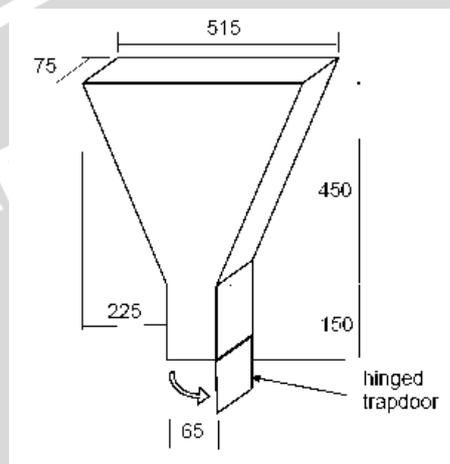
### 2.6.1.2 V-Funnel Test

Metode ini dikembangkan pertama kali di Jepang dan digunakan oleh Ozawa. Alat ini terdiri dari corong berbentuk V seperti pada **Gambar 2.19**.

Pengujian dengan menggunakan *v-funnel* ini berguna untuk mengukur flowabilitas dari campuran beton, dimana kemampuan campuran beton untuk mengisi ruang (*filling ability*) dapat dilihat. Selain itu pengujian dengan menggunakan *v-funnel test* ini dapat digunakan untuk mengetahui kemampuan campuran beton untuk menahan segregasi (*segregation resistance*). Penggunaan alat *v-funnel* relatif mudah untuk dilakukan di lapangan karena tidak membutuhkan keahlian yang khusus dalam

pelaksanaannya. Hasil dari pengujian dengan menggunakan *v-funnel test* ini saling mendukung dengan hasil pengujian *slump flow*.

Dalam pengujian dengan menggunakan *v-funnel* ini terdapat suatu batasan-batasan dimana kategori SCC dikatakan masuk dalam syarat *filling ability* yang baik. Batasan dalam *v-funnel test* ini adalah campuran beton yang dikategorikan SCC harus mampu mencapai waktu 6 – 12 detik setelah sekat dibuka untuk keluar dari alat uji *v-funnel*.



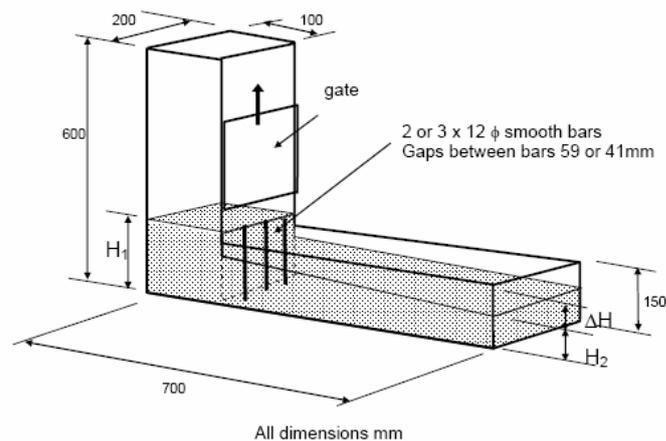
**Gambar 2.19** Alat pengujian v-funnel

Sumber : *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete* (2005)

### 2.6.1.3 L-Shaped Box

Metode ini dibuat berdasarkan standar Jepang yang diaplikasikan untuk beton pada konstruksi bawah air, diperkenalkan oleh *Petersson*. Alat ini berbentuk huruf L dan terbuat dari pelat besi. Pada alat ini, antara arah horizontal dengan vertikal dipasang pintu penutup yang cara membukanya dengan menarik ke arah atas dan diberikan alat tambahan di depannya yang berupa halangan dari tulangan baja, halangan ini berfungsi untuk mengkondisikan sesuai dengan keadaan di lapangan. Pengujian dengan menggunakan *L-Shaped Box* ini ditujukan untuk mengetahui kemampuan campuran beton melewati rangkaian tulangan struktur (*passing ability*).

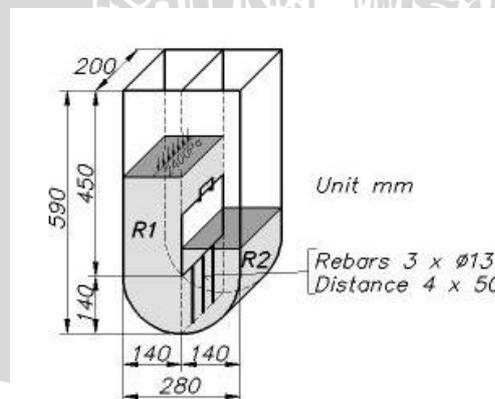
Dalam pengujian dengan menggunakan *L-Shaped Box* ini, terdapat suatu batasan-batasan dimana kategori SCC dikatakan masuk dalam syarat *passing ability* yang baik. Batasan dalam uji *L-Shaped Box* ini campuran beton yang dikategorikan SCC harus mampu memenuhi syarat  $h_2/h_1 = 0,8$  s/d 1.



**Gambar 2.20** Alat pengujian *I-shaped box*  
 Sumber : *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete* (2005)

#### 2.6.1.4 U-Shaped Box

Metode ini pertama kali dikembangkan di Jepang oleh *Technology Research Center*, Taisei. Pengujian dengan *u-shaped box* ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan campuran beton melewati rangkaian tulangan struktur (*passing ability*). Alat ini berbentuk bejana yang dibagi menjadi dua bagian dengan sekat yang bisa membuka dan menutup. Di depan sekat terdapat baja tulangan berdiameter 13 mm dengan jarak antar pusat tulangan 50 mm, sehingga jarak bersih antar tulangan adalah 35 mm.



**Gambar 2.21** Alat pengujian *u-shaped box*  
 Sumber : *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete* (2005)

Batasan dalam uji *u-shaped box* ini campuran beton yang dikategorikan SCC harus mampu memenuhi syarat  $h_2 - h_1 = 0$  s/d 30 mm.

## 2.6.2 Pengujian Beton Keras

### 2.6.2.1 Uji Kuat Tekan

Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Untuk benda uji berbentuk silinder, penentuan kekuatan tekan dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dan sesuai dengan prosedur uji yang telah ditetapkan dalam ASTM C-39. (Tri Mulyono, 2004:9)

Prosedur pengujian kuat tekan mengacu pada *Standart Test Methode for Compressive of Cylindrical Concrete*. Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut :

1. Benda uji ditimbang dan dicatat beratnya.
2. Benda uji diletakkan pada mesin penekan dan posisinya diatur supaya tepat berada ditengah-tengah plat penekan.
3. Pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan secara kontinu dengan mesin hidrolik sampai benda uji mengalami kehancuran, dengan laju pembebanan (*loading rate*) antara 0,14 sampai 0,34 MPa/detik. (Wibowo & Setyowati, 2003)
4. Beban maksimum akan langsung tersimpan secara otomatis.

Pengujian kuat tekan ini dilakukan pada umur 14 dan 28 hari. Berdasarkan Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI, 1989), besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

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

$P$  = beban tekan maksimum (N)

$A$  = luas penampang benda uji ( $\text{mm}^2$ )